

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

НТУУ
"КИЇВСЬКИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ"



МЕХАНІКО-
МАШИНОБУДІВНИЙ
ІНСТИТУТ



КАФЕДРА
ТЕХНОЛОГІЇ
МАШИНО-
БУДУВАННЯ



ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ 1

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

**КИЇВ
2015**



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

ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ 1

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

КИЇВ
2015

«Технологія машинобудування 1». Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт за напрямом підготовки бакалаврів 6.050502 «Інженерна механіка» подальшої спеціальності 7.05050201/8.05050201 «Технологія машинобудування» / Укладачі: Петраков Ю.В., Фролов В.К. – К.: КПІ, 2015. – 101 с. (електронне видання).

Затверджено на засіданні кафедри
технології машинобудування
«11» листопада 2015 року
Протокол №5

Рекомендовано Вченою радою
механіко-машинобудівного інституту
НТУУ «КПІ»
«23» листопада 2015 року
Протокол № 4

Навчальне видання

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

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

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

За редакцією укладачів

ЗМІСТ

Вступ. Точність механічного оброблення	4
Лабораторна робота № 1. Визначення похибки налагодження верстату при установці інструмента за лімбом та за жорстким упором.....	8
Лабораторна робота № 2. Дослідження похибки установки заготовок на токарних верстатах.....	14
Лабораторна робота № 3. Визначення пружно-жорсткісних характеристик елементів технологічної обробляючої системи.....	23
Лабораторна робота № 4. Дослідження впливу технологічних факторів на зношування різального інструмента.....	35
Лабораторна робота № 5. Температурні деформації різального інструмента	54
Література.....	68
Додаток 1. Технічні характеристики обладнання та вимірювальних інструментів.....	69
Додаток 2. Великий інструментальний мікроскоп. Інструкція з використання.....	78
Додаток 3. Методика та приклад побудови експериментальних і теоретичних кривих нормального закону розподілу Гаусса.....	81
Додаток 4. Методика та приклад побудови експериментальних і теоретичних кривих закону розподілу ексцентриситету Релея.....	88
Додаток 5. Перевірка гіпотези про узгодженість законів розподілу за χ^2 -критерієм Пірсона.....	96
Додаток 6. Густина ймовірності нормального розподілу $\varphi(z)$	100
Додаток 7. Значення інтегральної функції $F(z_u)$ для закону Релея.....	101

ВСТУП

ТОЧНІСТЬ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ

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

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

Стосовно до поверхонь деталей машин точність оцінюється такими показниками:

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

При оцінюванні точності розмірів використовують наступні поняття:

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

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

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

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

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

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

ОГРАНКА – відхилення форми від круглості, при якому реальний профіль являє собою багатогранну фігуру. Огранка означає, що контур поперечного перетину деталі складений із сполучених дуг різного радіуса. Огранка класифікується за кількістю граней.

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

Похибки форми площин найчастіше характеризуються такими показниками:

- відхиленням від прямолінійності;
- відхиленням від площинності.

Відхилення від площинності може бути у вигляді увігнутості або опуклості.

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

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

СУМАРНА ПОХИБКА ОБРОБЛЕННЯ ε_{Σ} є наслідком дії багатьох первинних похибок:

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

Найсуттєвіші з них наступні:

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

Тобто

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

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

СИСТЕМАТИЧНІ ПОСТІЙНІ ПОХИБКИ – це похибки, що не змінюються для всієї партії заготовок. Наприклад, у більшості випадків, - геометричні похибки верстату.

СИСТЕМАТИЧНІ ЗМІННІ ПОХИБКИ – це похибки, величина яких змінюється в ході технологічного процесу за визначеним законом. Наприклад, зношування різального інструменту.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ПОХИБКА ВІД ТЕМПЕРАТУРНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ЕЛЕМЕНТІВ ТОС $\varepsilon_{темн.деф}$. У режимі розігріву ТОС ця похибка є змінною систематичною. У стаціонарний період роботи похибка переходить у групу систематичних постійних.

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

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

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

Перед початком розрахунку ε_{Σ} треба визначити, які первинні похибки мають місце при отриманні розміру на конкретній операції. Наприклад, при

обробленні в центрах для діаметральних розмірів із складу ε_{Σ} можна виключити похибку установки $\varepsilon_{уст}$ тощо.

При визначенні ε_{Σ} використовують два основних методи:

- метод максимуму-мінімуму;
- ймовірнісний метод.

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

У загальному випадку ε_{Σ} визначають наступним чином:

- при обробленні площин

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

- при обробленні поверхонь обертання

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

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

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

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

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

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

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

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

де K – коефіцієнт ризику виникнення браку;

k_1, \dots, k_5 – коефіцієнти, що враховують відмінність закону розподілу первинної похибки від нормального закону Гаусса.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ НАЛАГОДЖЕННЯ ВЕРСТАТУ ПРИ УСТАНОВЦІ ІНСТРУМЕНТА ЗА ЛІМБОМ ТА ЗА ЖОРСТКИМ УПОРОМ

Мета та завдання роботи – ознайомитись з технологічними можливостями токарних верстатів; експериментально визначити похибку налагодження верстату при установці інструмента за лімбом та за жорстким упором; за результатами досліджень оцінити точність налагодження інструмента за лімбом та за жорстким упором.

Обладнання та оснащення

Лабораторну роботу виконують на токарно-револьверному верстаті моделі 1К341. При виконанні роботи використовують індикатори годинникового типу. Характеристики верстатів та вимірювальних інструментів приведені в Додатку 1.

Методичні рекомендації до виконання роботи

Місце зупинки вузлів верстату в певній точці їх траєкторії контролюють за допомогою лімбів або (при попередньому налагодженні верстату на визначений розмір) за упорами (рис.1.1).

При цьому дійсний розмір D_i , отриманий при обробленні, відрізняється від номінального D_n на величину похибки налагодження верстату $\varepsilon_{налаг}$. Ця похибка класифікується як випадкова через те, що в неї дві складових: систематична та випадкова. Систематична складова виникає через неточність самого верстату (залежить від жорсткості ланцюга переміщення, похибки кроку гвинта, зношування гвинтової пари, жорсткості регулювальних гвинтів та упорів, похибки нанесення поділок на лімбі тощо). Випадкова складова залежить від коливань сили тертя в напрямних, освітленості робочого місця, зору робітника, коливань зусилля, яке прикладає робітник при переміщенні супорта тощо. Загалом похибка налагодження верстату при установці інструмента підпорядковується нормальному закону розподілу Гаусса і характеризується двома параметрами: математичним очікуванням M (експериментальним середнім арифметичним значенням \bar{X}) та дисперсією σ^2 (експериментальною оцінкою дисперсії S^2).

Величина поля розсіювання складає:

$$\omega = 6S.$$



а



б



в

Рис. 1.1. Лімб токарного верстату (а), передній барабан з регулювальними гвинтами та упором (б), задній барабан з регулювальними гвинтами (в)

Величина розміру, який отримується на виконуваному переході, залежить, зокрема, від похибки налагодження і також є випадковою величиною, що підпорядковується нормальному закону розподілу (рис.1.2).

Для розмірів, що охоплюються (валів), виконуються співвідношення:

$$\begin{aligned} D_{max} &= D_n + es; \\ D_{min} &= D_n + ei; \\ T &= D_{max} - D_{min} = es - ei, \end{aligned}$$

де D_{max} – найбільший граничний розмір деталі;

D_{min} – найменший граничний розмір деталі;

D_n – номінальний розмір;

es – верхнє відхилення;

ei – нижнє відхилення;

T – допуск.

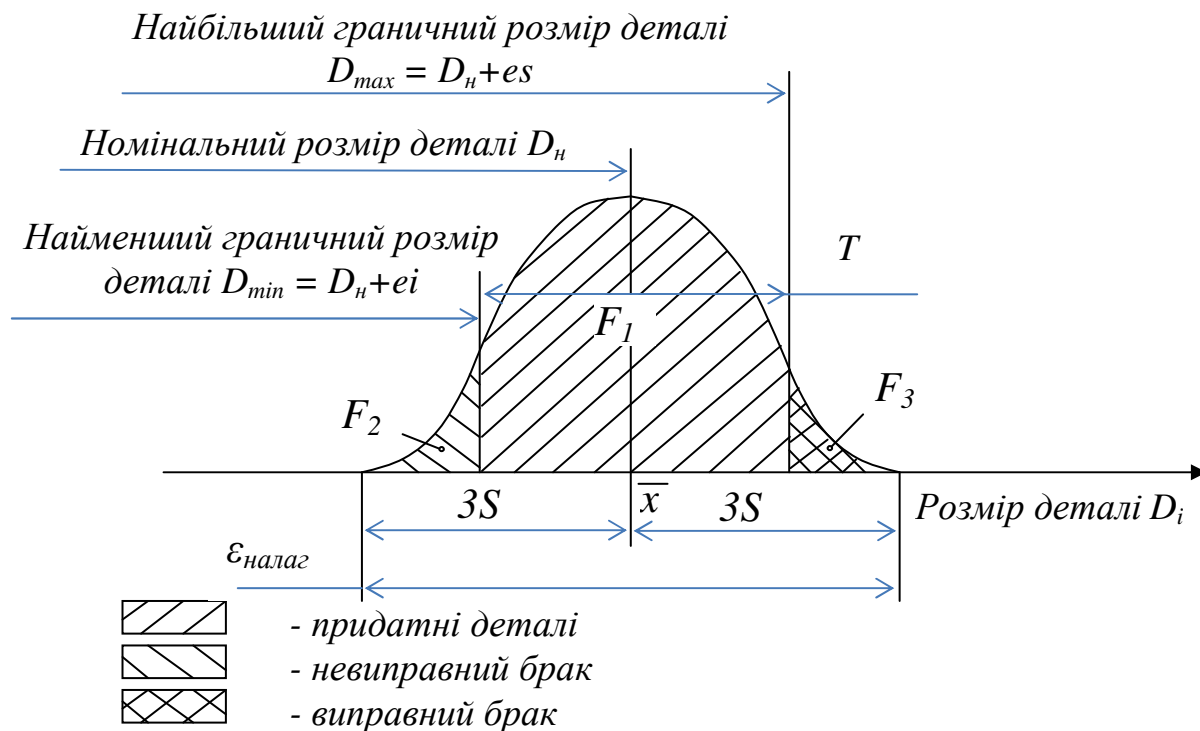


Рис. 1.2. Розташування поля допуску розміру та похибки налагодження верстату при установці інструмента при співпаданні центра групування похибки із серединою поля допуску

Якщо поле розсіювання похибки налагодження $\epsilon_{\text{налаг}}$ перевищує величину допуску T на розмір, то виникає ймовірність отримання бракованих деталей. При цьому, в залежності від розташування центру групування \bar{x} похибки $\epsilon_{\text{налаг}}$ відносно середини поля допуску розміру, можливе отримання різного співвідношення кількості придатних деталей, деталей з виправним і невиправним браком, які мають наступні розміри:

- придатні деталі $D_n + ei \leq D_i \leq D_n + es;$
- виправний брак $D_i > D_n + es$
- невиправний брак $D_i < D_n + ei.$

Відомо, що в межах поля розсіювання $6S$ знаходиться 99,73% отриманих розмірів. Знаючи, що сумарна площа під кривою нормального розподілу

$$F_{\Sigma} = F_1 + F_2 + F_3 = 1,$$

можна розрахувати кількість придатних деталей, виправного і невиправного браку як у відсотках, так і в штуках (рис. 1.2).

Якщо відомі параметри закону розподілу похибки налагодження верстату при установці інструмента, можна спрогнозувати наявність бракованих деталей

та, для запобігання появи браку, вжити відповідних заходів організаційного та технічного характеру.

Величину похибки налагодження верстату при установці інструмента визначають на підставі статистичного оброблення експериментальних даних, отриманих при багаторазово повторюваному експерименті (зупинці вузла верстату в тому самому положенні за лімбом та за жорстким упором з точним контролем зайнятого положення вимірювальним приладом).

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

Порядок виконання роботи

1. Вивчити техніку безпеки при роботі на верстаті.
2. Ознайомитись з обладнанням і вимірювальним інструментом, використовуваним у даній роботі.
3. Ознайомитись з технологічними можливостями токарних верстатів.
4. Підвести супорт з інструментом до вимірювального наконечника індикатора годинникового типу. Встановити на лімбі верстату та індикаторі нульові показники.
5. За допомогою штурвалу відвести супорт від наконечника індикатора на 5-10 мм, а потім повернути його у вихідне положення, контролюючи переміщення за лімбом. Зняти показники з індикатора, зважаючи на знак відхилення стрілки від нульової позначки.
УВАГА! Забороняється контролювати переміщення супорта за шкалою індикатора.
6. Повторити п.5 не менше 50 разів. Результати вимірів занести в табл. 1.1.
7. Підвести жорсткий упор, розташований на револьверному супорті, до регульовального гвинта барабану. При цьому супорт з інструментом повинен доторкнутись до вимірювального наконечника індикатора. Встановити на індикаторі нульові показники.
8. За допомогою штурвалу відвести супорт від наконечника індикатора на 5-10 мм, а потім повернути його у вихідне положення, зупиняючи переміщення в момент контакту упору з регульовальним гвинтом. Зняти показники з індикатора, зважаючи на знак відхилення стрілки від нульової позначки.
УВАГА! Забороняється контролювати переміщення супорта за шкалою індикатора.
9. Повторити п.8 не менше 50 разів. Результати вимірів занести в табл. 1.1.
10. Обрахувати отримані результати (окремо для випадку налагодження за лімбом та для випадку налагодження за жорстким упором) за методикою, приведеною в Додатку 3.

11. Побудувати графіки експериментальних та теоретичного розподілу.

12. Перевірити гіпотезу про узгодженість отриманих експериментальних законів розподілу теоретичним законам розподілу за критерієм згоди (χ^2 -критерієм Пірсона). Методика, приклад розрахунку та табличні значення χ^2 -розподілу Пірсона приведені в Додатку 5.

13. Оцінити точність налагодження за двома способами, порівняти поле розсіювання похибки налагодження з величиною поля допуску розміру $T = 0,15$ мм (або тим розміром, який задано викладачем).

14. Зробити висновки по роботі.

Таблиця 1.1.

Результати вимірів

Налагодження за лімбом				Налагодження за жорстким упором			
№ з/п	Похибка $\varepsilon_{налаг}$, мм	№ з/п	Похибка $\varepsilon_{налаг}$, мм	№ з/п	Похибка $\varepsilon_{налаг}$, мм	№ з/п	Похибка $\varepsilon_{налаг}$, мм
1		26		1		26	
2		27		2		27	
3		28		3		28	
4		29		4		29	
5		30		5		30	
6		31		6		31	
7		32		7		32	
8		33		8		33	
9		34		9		34	
10		35		10		35	
11		36		11		36	
12		37		12		37	
13		38		13		38	
14		39		14		39	
15		40		15		40	
16		41		16		41	
17		42		17		42	
18		43		18		43	
19		44		19		44	
20		45		20		45	
21		46		21		46	
22		47		22		47	
23		48		23		48	
24		49		24		49	
25		50		25		50	

Зміст протоколу

1. Номер, назва роботи.
2. Мета та завдання роботи.
3. Вихідні дані: марка верстату.
4. Назва та характеристики вимірювальних інструментів.
5. Результати вимірювання (табл.1.1).

6. Розрахунки для визначення середнього арифметичного значення \bar{X} , середньоквадратичного відхилення S , поля розсіювання ω для випадків налагодження положення інструменту за лімбом та за жорстким упором.

7. Графіки експериментальних та теоретичного розподілів.

8. Результати перевірки гіпотези про узгодженість отриманих експериментальних законів розподілу теоретичним законам розподілу за критерієм згоди (χ^2 – критерієм Пірсона).

9. Оцінка точності налагодження за двома способами, порівняння поля розсіювання похибки налагодження з величиною поля допуску розміру $T = 0,15$ мм (або тим розміром, який задано викладачем).

10. Висновки по роботі.

Питання для підготовки до виконання роботи

1. Мета та завдання роботи.

2. Чим викликана нестабільність місця зупинки інструмента при налагодженні за лімбом?

3. Чим викликана нестабільність місця зупинки інструмента при налагодженні за жорстким упором?

4. Порядок проведення роботи.

5. Завдання, які розв'язуються при визначенні величини похибки налагодження верстату при установці інструмента.

6. Як розрахувати середнє арифметичне значення \bar{X} ?

7. Як розрахувати середньоквадратичне відхилення S ?

8. Послідовність побудови емпіричної та теоретичної кривих розподілу за нормальним законом.

9. Як перевіряється узгодженість експериментального та теоретичного законів розподілу?

10. Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБКИ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ

Мета та завдання роботи – вивчити конструктивні особливості самоцентрівних пристроїв, що використовуються для установки заготовок на токарних верстатах; ознайомитися зі способами підвищення точності установки (центрування) заготовок у трьохкулачковому спірально-рейковому самоцентрівному патроні; експериментальним шляхом визначити похибку установки заготовок.

Обладнання та оснащення

Лабораторну роботу виконують на верстатах з ЧПК токарної групи фірми HAAS або на токарно-гвинторізному верстаті моделей 16B05П, 16K20, 1K62, 1A62. При виконанні роботи використовують індикатори годинникового типу. Характеристики верстатів та вимірювальних інструментів приведені в Додатку 1.

Методичні рекомендації до виконання роботи

Задана точність механічного оброблення може бути досягнута двома різними способами: способом пробних ходів та промірів і способом автоматичного отримання розмірів на попередньо налагоджених верстатах.

Необхідна точність оброблюваних деталей в умовах одиничного та (рідше) малосерійного виробництва досягається індивідуальною вивіркою положення заготовки на верстаті і послідовному уточненні положення інструменту щодо заготовки при виконанні пробних ходів та промірів. Таке налагодження верстату повторюється при обробленні кожної наступної заготовки. Тому даний спосіб характеризується значними витратами допоміжного часу, а забезпечувана ним точність істотно залежить від кваліфікації робітника.

В умовах серійного та масового виробництва точність оброблення забезпечується способом автоматичного отримання розмірів на попередньо налагодженому верстаті. Установку заготовок здійснюють без вивірки, в спеціальних пристроях, на заздалегідь обрані базові поверхні. При великій партії заготовок цей спосіб більш продуктивний, тому що оброблення відбувається за один прохід, а витрати часу на попереднє налагодження верстату розподіляються на всі деталі партії. Точність оброблення в цьому випадку залежить від кваліфікації наладчика, який виконує налагодження і періодичне підналагодження верстату.

Кожний з розглянутих способів досягнення заданої точності неминуче супроводжується похибками. Однією з причин похибок розміру, форми та

взаємного розташування поверхонь оброблюваної заготовки є похибка установки її на верстаті.

УСТАНОВКОЮ називається процес базування і закріплення заготовки або виробу.

ПОХИБКОЮ УСТАНОВКИ називають відхилення фактично досягнутого положення заготовки або виробу при установці від необхідного:

$$\varepsilon_{\text{уст}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{б}}^2 + \varepsilon_{\text{з}}^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2},$$

де $\varepsilon_{\text{б}}$ – похибка базування;

$\varepsilon_{\text{з}}$ – похибка закріплення;

$\varepsilon_{\text{пр}}$ – похибка пристрою.

ПОХИБКОЮ БАЗУВАННЯ називається відхилення фактично досягнутого положення заготовки або виробу при базуванні від необхідного. Похибка базування має місце при неспівпаданні вимірювальної і технологічної баз заготовки.

ПОХИБКОЮ ЗАКРІПЛЕННЯ називається різниця граничних відстаней вимірювальної бази до виставленого на розмір інструменту в результаті зсуву оброблюваних заготовок під дією сил закріплення. Зсув вимірювальної бази заготовки відбувається в результаті деформації ланок ланцюга (заготовка, установчі елементи і корпус пристрою), через який передається сила затиску. Для партії заготовок ця похибка може бути зведена до нуля (якщо величина зсуву буде хоча й велика, але постійна, тоді вона може бути врахована попереднім налагодженням верстату).

ПОХИБКА ПРИСТРОЮ виникає через помилки виготовлення та складання його установчих елементів, їхнє зношування, а також помилки установки та закріплення пристрою на верстаті. У масовому виробництві при однократному незмінному закріпленні пристрою його похибка $\varepsilon_{\text{пр}}$ зводиться попереднім налагодженням до певного мінімуму і враховується в процесі налагодження інструменту на заданий розмір.

При обробленні деталей типу тіл обертання їхнє базування здійснюється за зовнішніми та внутрішніми циліндричними поверхнями з використанням самоцентрівних пристроїв.

САМОЦЕНТРИВНИМ називається пристрій, установчі поверхні якого рухливі і пов'язані між собою таким чином, що можуть одночасно і з однаковим переміщенням зближатися до осі пристрою або віддалятися від неї. Установчі поверхні самоцентрівних пристроїв можуть бути виконані на кулачках патрону, пелюстках цанги або у вигляді суцільної циліндричної поверхні тонкостінної розрізаної втулки, що пружно деформується при дії сил затискача.

Для переміщення установчих поверхонь у радіальному напрямку використовуються різні механізми, серед яких найбільше поширення мають спіральні-рейкові, шестеренно-рейкові, важільні, клинові та гвинтові механізми, а також механізми з гідропластом. На їхній основі створені різні

варіанти самоцентрівних патронів: трьохкулачкові, двокулачкові, цангові, гідропластові тощо, які широко використовуються для установки заготовок на верстатах (рис. 2.1 - рис. 2.4).



Рис. 2.1. Трьохкулачковий спірально-рейковий патрон: 1 – отвір під ключ, 2 – ведуча конічна шестерня, 3 – зубчасте колесо, 4 – спіраль, 5 – кулачок

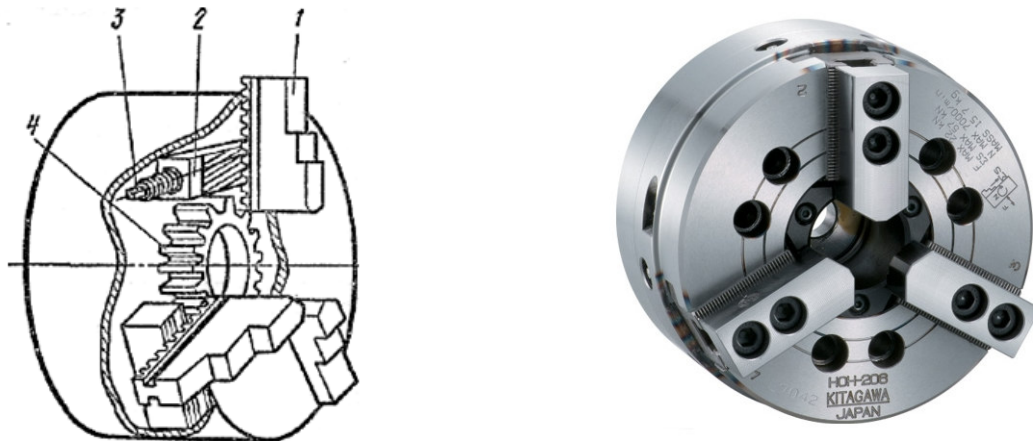


Рис. 2.2. Трьохкулачковий шестеренно-рейковий патрон: 1 – кулачок, 2 – косозуба рейка, 3 – гвинт, 4 – центральна шестерня

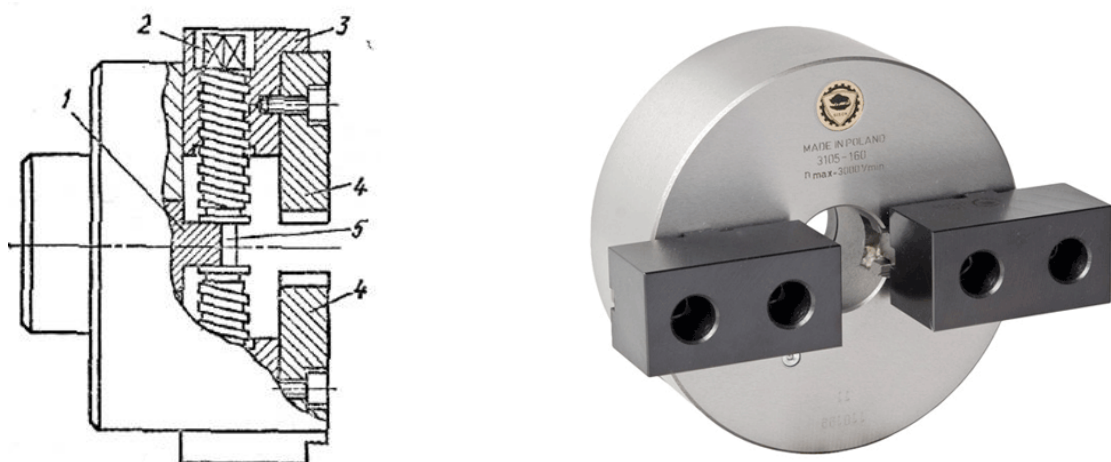


Рис. 2.3. Двокулачковий гвинтовий патрон: 1 – корпус, 2 – гвинт з правою та лівою різьбами, 3 – основні кулачки, 4 – накладні кулачки, 5 – центральна шийка гвинта

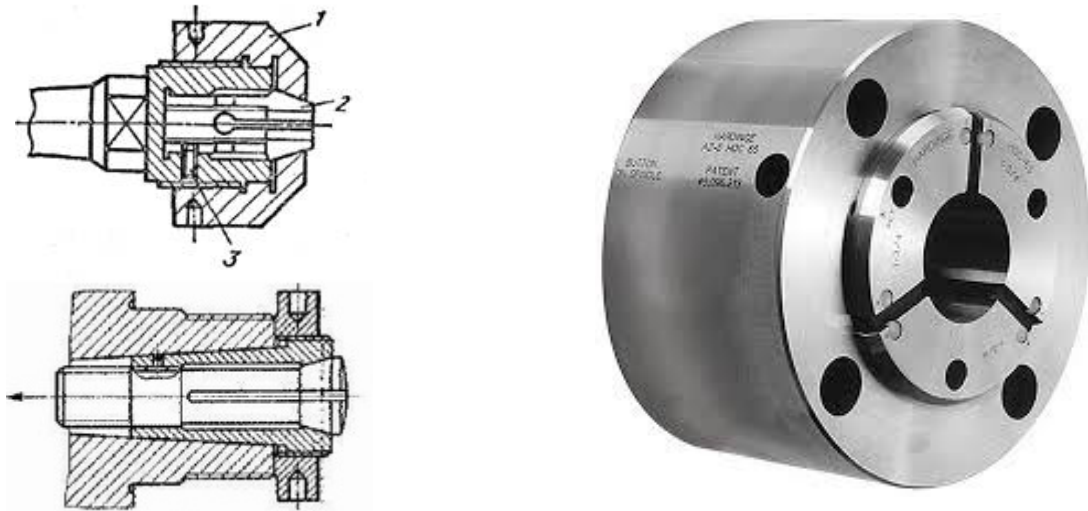


Рис. 2.4. Цанговий патрон: 1 – затискна гайка, 2 – цанга, 3 – стопорний гвинт

Найбільшого поширення в умовах одиничного та серійного виробництв отримали універсальні трьохкулачкові самоцентрівні спіральнорейкові патрони з конічною зубчастою передачею (рис. 2.1), які дозволяють обробляти заготовки з досить великим діапазоном діаметрів і прості в експлуатації. Початкова похибка установки заготовок в цих патронах становить приблизно 0,1 мм. Але в процесі експлуатації похибка установки швидко збільшується до 0,2...0,4 мм. Це викликано тим, що радіус кривизни на різних ділянках спіралі диска є змінним, а на спіралі кулачків – постійним. Тому контакт спіралей відбувається по вузьких площадках. Під дією сили закріплення в зоні контакту виникає великий питомий тиск, який призводить до інтенсивного зношування спіралі на кулачках і втрати точності центрування.

Більш точним є шестеренно-рейковий патрон (рис. 2.2), похибка установки в ньому $\epsilon_{уст} = 0,05...0,10$ мм. Рейкові патрони більш довговічні, дозволяють створювати більші зусилля закріплення. Але вони менш універсальні, тому що діапазон розмірів закріплюваних заготовок коливається в незначних межах. Для компенсації недоліку в патроні передбачена можливість зміни в радіальному напрямі положення накладних робочих кулачків відносно основних.

Для закріплення заготовок на верстатах токарної групи застосовують також цангові патрони (рис. 2.4). Перевага їх у тому, що вони не деформують базові поверхні заготовок і відрізняються найбільш низькою похибкою установки ($\epsilon_{уст} = 0,03...0,05$ мм). Але вони ще менш універсальні і при переході на новий діаметр базової поверхні заготовки вимагають заміни цанг. Через це область їх використання обмежена.

У виробничих умовах для зниження похибки установки заготовок в патронах широко застосовується розточування або шліфування затискних поверхонь кулачків на максимальний розмір заготовки з оброблюваної партії. Ця операція виконується при навантаженні кулачків і є досить трудомісткою.

Крім того, оброблені поверхні кулачків назад не відновлюються ☹. Але похибка установки при цьому знижується до $\varepsilon_{уст} = 0,01...0,02$ мм.

Іншим способом зниження похибки установки є застосування розрізних втулок, що розточуються під діаметр зовнішньої базової поверхні оброблюваної заготовки (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Розрізні втулки різних видів

Положення розрізної втулки в кулачках патрона повинно бути незмінним як при розточуванні втулки, так і при закріпленні в ній оброблюваної заготовки. З огляду на можливість довільного зсуву втулки відносно патрону в осьовому та кутовому напрямках, на втулці та патроні варто робити мітки, що дозволяють, при необхідності, відновити її положення. Закріплення втулки при її розточуванні необхідно здійснювати приблизно з таким же зусиллям, як і при закріпленні оброблюваної заготовки. Закріплення втулки при її розточуванні і при обробленні заготовок має відбуватись через одну й ту саму малу шестерню патрону.

Зі збільшенням зазору між установчою поверхнею втулки та базовою поверхнею деталі похибка збільшується. Оптимальним є зазор близько 0,1 мм. Похибка установки в патронах при закріпленні заготовок за допомогою розрізних втулок може становити $\varepsilon_{уст} = 0,03...0,05$ мм. При обробленні партії заготовок обсягом 80...120 штук в одній розрізній втулці похибка установки збільшується. Це обумовлено пластичними деформаціями поверхні втулки в місцях контакту із затискними кулачками, які призводять до невідновлюваної зміни форми і розміру втулки.

Похибку установки для конкретного верстату визначають експериментальним шляхом з використанням статистичного методу великих вибірок. В лабораторній роботі вимірюють радіальне биття поверхні заготовки, яке визначає точність патрону і є похибкою пристрою $\varepsilon_{пр}$, що входить до складу похибки установки $\varepsilon_{уст}$.

Відомо, що розподіл випадкових суттєво додатних величин, таких як ексцентриситет, радіальне та торцеве биття, різностінність, непаралельність, неперпендикулярність, овальність, конусоподібність тощо підпорядковується закону розподілу ексцентриситету Релея. Графік густини ймовірності для закону Релея приведено на рис. 2.6.

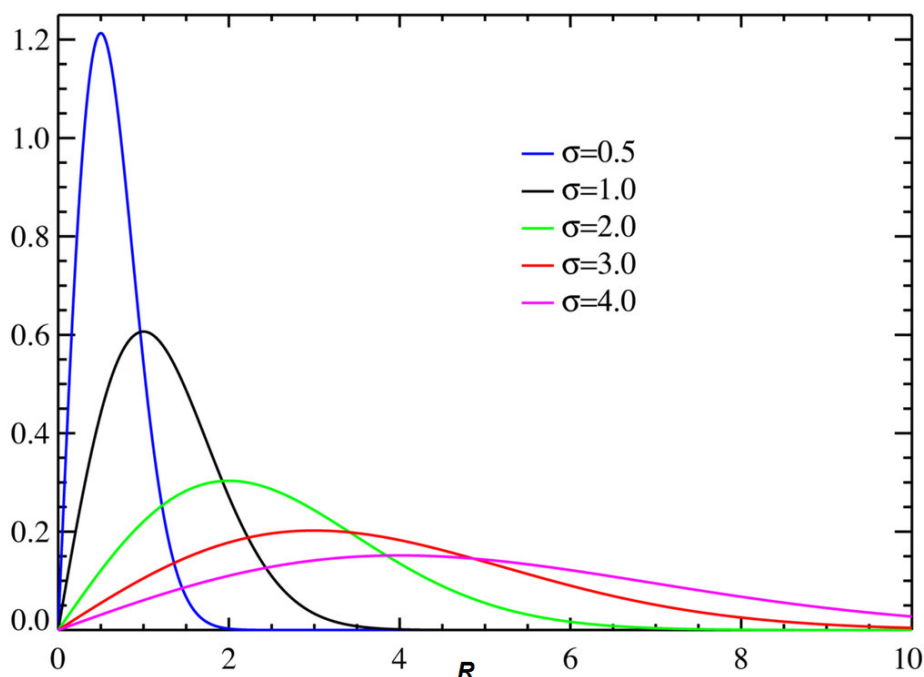


Рис. 2.6. Густина ймовірності розподілу Релея

Розподіл за законом Релея формується зокрема тоді, коли випадкова величина R є радіус-вектором при двомірному нормальному розподілі Гаусса, тобто якщо вона являє собою геометричну суму двох випадкових величин X та Y :

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2}.$$

При цьому величини X та Y мають бути некорельованими, їх математичні очікування повинні дорівнювати нулю:

$$M_X = M_Y = 0,$$

а дисперсії – одна одній:

$$\sigma_X^2 = \sigma_Y^2 = \sigma_0^2.$$

Розподіл Релея, на відміну від розподілу Гаусса, однопараметричний, його математичне очікування M (експериментальне середнє арифметичне значення \bar{r}) і дисперсія σ_r^2 (експериментальна оцінка дисперсії S_r^2) залежать від дисперсій двомірного нормального закону:

$$M = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma_0 = 1,253 \sigma_0,$$

$$\sigma_r^2 = \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) \sigma_0^2 = 0,429 \sigma_0^2.$$

Середньоквадратичні відхилення пов'язані залежностями:

$$\sigma_r = 0,655\sigma_0,$$

$$\sigma_0 = 1,527\sigma_r.$$

Величина поля розсіювання складає:

$$\omega_r = Z_q\sigma_0,$$

де $Z_q = \sqrt{-2\ln(1-q)}$,

q – прийнята надійна ймовірність.

При $q = 0,95$ отримаємо: $Z_q = 2,447$.

Тоді:

$$\omega_r = 2,447\sigma_0$$

або

$$\omega_r = 3,737\sigma_r.$$

Порядок виконання роботи

1. Вивчити техніку безпеки при роботі на верстаті.
2. Ознайомитись з обладнанням і вимірювальним інструментом, використовуваним у даній роботі.
3. Ознайомитись з конструкцією та технологічними можливостями токарних патронів та способами зменшення похибки установки.
4. Заготовку для експерименту закріпити в трьохкулачковому патроні. Наконечник індикатора годинникового типу підвести до контакту по нормалі з циліндричною поверхнею заготовки. Виміряти радіальне биття діаметрального розміру заготовки шляхом обертання патрону на 1-2 оберти. Зняти показники з індикатора. Розкріпити заготовку.
5. Повторити п.4 не менше 50 разів. Результати вимірів занести в табл. 2.1.
6. Встановити в патроні розрізну втулку. Заготовку закріпити в патроні через втулку. Наконечник індикатора годинникового типу підвести до контакту по нормалі з циліндричною поверхнею заготовки. Виміряти радіальне биття діаметрального розміру заготовки шляхом обертання патрону на 1-2 оберти. Зняти показники з індикатора. Розкріпити заготовку, не порушуючи положення розрізної втулки відносно патрону.
7. Повторити п.6 не менше 50 разів. Результати вимірів занести в табл. 2.1.
8. Обрахувати отримані результати (окремо для випадку установки заготовки без використання розрізної втулки та для випадку установки заготовки у втулці) за методикою, приведеною в Додатку 4. У випадку невідповідності закону розподілу експериментальних даних закону Релея скористатись методикою розрахунків, приведеною в Додатку 3.
9. Побудувати графіки експериментальних та теоретичних кривих розподілів.
10. Перевірити гіпотезу про узгодженість отриманих експериментальних законів розподілу теоретичним законам розподілу за критерієм згоди (χ^2 -

критерієм Пірсона). Методика, приклад розрахунку та табличні значення χ^2 -розподілу Пірсона приведені в Додатку 5.

11. Зробити висновки по роботі.

Таблиця 2.1.

Результати вимірів

Установка в патроні				Установка в розрізній втулці			
№ з/п	Радіальне биття, мм	№ з/п	Радіальне биття, мм	№ з/п	Радіальне биття, мм	№ з/п	Радіальне биття, мм
1		26		1		26	
2		27		2		27	
3		28		3		28	
4		29		4		29	
5		30		5		30	
6		31		6		31	
7		32		7		32	
8		33		8		33	
9		34		9		34	
10		35		10		35	
11		36		11		36	
12		37		12		37	
13		38		13		38	
14		39		14		39	
15		40		15		40	
16		41		16		41	
17		42		17		42	
18		43		18		43	
19		44		19		44	
20		45		20		45	
21		46		21		46	
22		47		22		47	
23		48		23		48	
24		49		24		49	
25		50		25		50	

Зміст протоколу

1. Номер, назва роботи.
2. Мета та завдання роботи.
3. Вихідні дані: марка верстату.
4. Назва та характеристики вимірювальних інструментів.
5. Результати вимірювань (табл. 2.1).

6. Розрахунки для визначення середнього арифметичного значення \bar{r} , середньоквадратичних відхилень S_r і S_0 та поля розсіювання ω_r для випадку установки заготовки без використання розрізної втулки та для випадку

установки заготовки у втулці.

7. Графіки експериментальних та теоретичних кривих розподілу.

8. Перевірка гіпотези про відповідність отриманих експериментальних законів розподілу теоретичним законам розподілу за критерієм згоди (χ^2 -критерієм Пірсона).

9. Висновки по роботі.

Питання для підготовки до виконання роботи

1. Мета та завдання роботи.

2. Похибка установки і її складові.

3. Загальна характеристика самоцентрівних патронів і схема базування в них.

4. Конструкція самоцентрівних патронів, їх переваги та недоліки.

5. Способи підвищення точності установки заготовок у спіральнорейкових патронах.

6. Порядок проведення роботи.

7. Як розрахувати середнє арифметичне значення \bar{r} ?

8. Як розрахувати середньоквадратичне відхилення S_r ?

9. Послідовність побудови емпіричної та теоретичної кривих розподілу за законом Релея.

10. Як перевіряється узгодженість експериментального та теоретичного законів розподілу?

11. Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи.

**ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНО-ЖОРСТКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОБРОБЛЯЮЧОЇ СИСТЕМИ**

Мета та завдання роботи – вивчити способи визначення пружно-жорсткісних характеристик елементів технологічної обробляючої системи (ТОС); визначити жорсткість і піддатливість заготовки для заданої схеми її закріплення в токарному верстаті; експериментальним шляхом визначити жорсткість і піддатливість ТОС при обробленні; встановити жорсткість передньої бабки, супорта та задньої бабки токарного верстата; оцінити стан вузлів верстата; встановити похибку оброблення, обумовлену піддатливістю елементів ТОС; розробити технологічні рекомендації по зменшенню похибок, що виникають в результаті пружних деформацій ТОС.

Обладнання та оснащення

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

Методичні рекомендації до виконання роботи

ТОС являє собою пружну систему, деформації якої в процесі оброблення обумовлюють похибки розмірів і геометричної форми оброблюваних заготовок. Пружні відтискання визначаються зусиллями, що діють у напрямку цих відтискань, і жорсткістю ТОС.

ЖОРСТКІСТЬ технологічної обробляючої системи – це здатність системи чинити опір дії деформуючих її сил.

Для розрахунку жорсткості системи можна скористатися залежністю:

$$j_{\text{ТОС}} = \frac{P_y}{U_{\text{ТОС}}} \quad (1)$$

де P_y – радіальна складова сили різання, направлена по нормалі до оброблюваної поверхні;

$U_{\text{ТОС}}$ – сумарне переміщення леза різального інструменту щодо оброблюваної поверхні заготовки, виміряне в напрямку дії сили P_y .

ПІДДАТЛИВІСТЬ технологічної обробляючої системи – величина, зворотна жорсткості. Вона характеризує здатність системи пружно деформуватись під дією зовнішніх сил:

$$\omega_{\text{ТОС}} = \frac{1}{j_{\text{ТОС}}} = \frac{y_{\text{ТОС}}}{P_y}. \quad (2)$$

Сумарна деформація в загальному вигляді має складові:

$$y_{\text{ТОС}} = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n,$$

де $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ – пружні деформації елементів ТОС.
Зважаючи на це та враховуючи (1), можна записати:

$$y_{\text{ТОС}} = \frac{P_y}{j_{\text{ТОС}}} = \frac{P_y}{j_1} + \frac{P_y}{j_2} + \frac{P_y}{j_3} + \dots + \frac{P_y}{j_n};$$

або (поділивши на P_y):

$$\frac{1}{j_{\text{ТОС}}} = \frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2} + \frac{1}{j_3} + \dots + \frac{1}{j_n};$$

або, враховуючи (2):

$$\omega_{\text{ТОС}} = \sum_{i=1}^n \omega_i,$$

де ω_i – піддатливість i -го елемента системи.

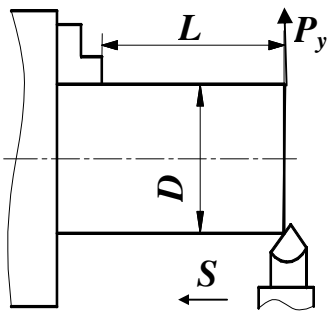
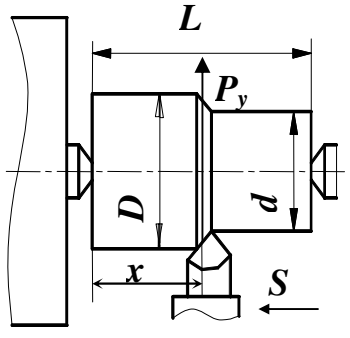
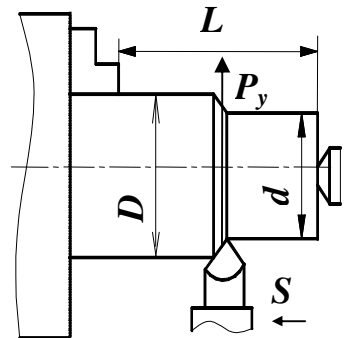
Пружні деформації та жорсткість заготовки окремо від жорсткості інших складових ТОС (які приймають нескінченно великими) можна визначити теоретично. При токарному обробленні існують три основні схеми закріплення заготовок: в патроні, в патроні і центрі задньої бабки, в передньому і задньому центрах (табл. 3.1).

Також можна визначити статичну жорсткість окремих елементів системи за допомогою спеціальних динамометрів стиснення або вантажів відомої маси. Відповідні переміщення в напрямку дії сили вимірюються стандартними вимірювальними засобами – індикаторами годинникового типу. Статична жорсткість характеризує здатність системи до опору статичним навантаженням.

Для експериментального визначення жорсткості системи в сталому режимі роботи використовується спосіб ступеневого обточування, як найбільш надійний і точний. Реалізація його здійснюється наступним чином: при заданій схемі установки заготовки і постійних елементах режиму різання (швидкості різання V і швидкості подачі S) виконується обточування ступінчастого валу (рис. 3.1). В момент переходу інструмента із ступені меншого діаметру d на ступень з більшим діаметром D відбувається стрибок глибини різання h та, відповідно, радіальної складової сили різання P_y :

Таблиця 3.1.

Залежності для визначення пружних деформацій і жорсткості заготовки при обробленні валів на токарних верстатах

Схема установки заготовки	Пружні деформації заготовки	Жорсткість заготовки
В патроні		
	$y_{\text{заг}} = \frac{P_y L^3}{3EI}$	$j_{\text{заг}} = \frac{3EI}{L^3}$
В патроні і центрі задньої бабки	При $x=L/2$	
	$y_{\text{заг}} = \frac{P_y L^3}{48EI}$	$j_{\text{заг}} = \frac{48EI}{L^3}$
	Для довільного перерізу x	
	$y_{\text{заг}} = \frac{P_y (L - x)^2 x^2}{3EIL}$	$j_{\text{заг}} = \frac{3EIL}{(L - x)^2 x^2}$
В передньому і задньому центрах		
	$y_{\text{заг}} = \frac{P_y L^3}{100EI}$	$j_{\text{заг}} = \frac{100EI}{L^3}$
Примітка: L – довжина заготовки; E – модуль пружності матеріалу заготовки (для сталі $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа); I – момент інерції перерізу заготовки $I \approx 0,05 \cdot D^4$.		

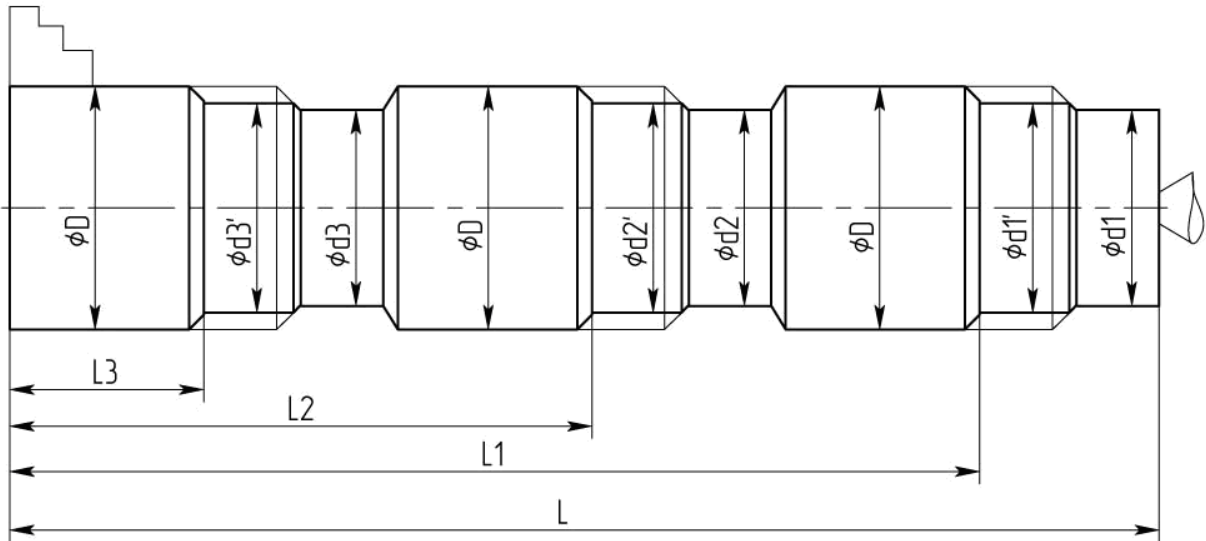


Рис. 3.1. Ескіз ступінчастого вала

$$P_y = 10C_{P_y} h^{x_{P_y}} S^{y_{P_y}} V^{n_{P_y}} K_{P_y}, \quad (3)$$

де C_{P_y} , x_{P_y} , y_{P_y} , n_{P_y} – коефіцієнт та показники степеня, що залежать від оброблюваного матеріалу, матеріалу інструмента і виду оброблення.

При зовнішньому поздовжньому точінні конструкційних сталей:

$$C_{P_y} = 243; x_{P_y} = 0,9; y_{P_y} = 0,6; n_{P_y} = -0,3.$$

Коефіцієнт K_{P_y} , що враховує фактичні умови оброблення, визначається за залежністю:

$$K_{P_y} = K_M K_\varphi K_\gamma K_\lambda K_r,$$

де K_M – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу;

$$K_M = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^{0,75};$$

σ_B – межа міцності при розтягуванні оброблюваного матеріалу (див. табл. 3.2);

K_φ – коефіцієнт, що враховує вплив головного кута в плані φ ;

K_γ – коефіцієнт, що враховує вплив переднього кута γ ;

K_λ – коефіцієнт, що враховує вплив кута нахилу головної різальної кромки λ ;

K_r – коефіцієнт, що враховує вплив радіуса заокруглення при вершині інструмента r .

Значення цих коефіцієнтів наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.2.

Межа міцності при розтягуванні деяких сталей

Сталь	Межа міцності σ_{σ} , МПа	Сталь	Межа міцності σ_{σ} , МПа	Сталь	Межа міцності σ_{σ} , МПа
10	340-420	30Г	550-700	12ХН3А	950-1400
20	420-500	60Г	710	20ХН3А	950-1450
30	500-600	20Х	720-850	40ХНМА	1100-1700
40	580-700	40Х	730-1050	15ХСНД	640-660
45	610-750	45Х	850-1050	30ХГСА	1100-1700
50	640-800	30ХМ	740-1000	1Х17Н2	960
60	690-900	40ХН	1000-1450	1Х18Н9Т	580

Таблиця 3.3.

Поправочні коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів різальної частини інструмента на радіальну складову сили різання (матеріал різальної частини – твердий сплав)

Параметри		Поправочні коефіцієнти	
Найменування	Величина	Найменування	Величина
Головний кут в плані φ , град.	30	K_{φ}	1,3
	45		1,0
	60		0,77
	90		0,5
Передній кут γ , град.	-15	K_{γ}	2,0
	0		1,4
	10		1,0
Кут нахилу головної різальної кромки λ , град.	-5	K_{λ}	0,75
	0		1,0
	5		1,25
	15		1,7
Радіус заокруглення при вершині інструмента r , мм	0,5	K_r	0,66
	1		0,82
	2		1,0
	3		1,14
	4		1,33

При різкому збільшенні глибини різання h через пружні деформації системи діаметр оброблюваної заготовки змінюється з розміру d_i на d_i' . При цьому пружна деформації системи складає:

$$y_{ТОСi} = \frac{d_i' - d_i}{2}. \quad (4)$$

Розрахувавши значення u_{TOS} для трьох оброблених ступенів валу, можна побудувати графік функції $u_{TOS} = f(l)$, де l – відстань від патрона до оброблюваної ділянки валу (рис. 3.2). Для побудови графіка використовувались реальні експериментальні дані.

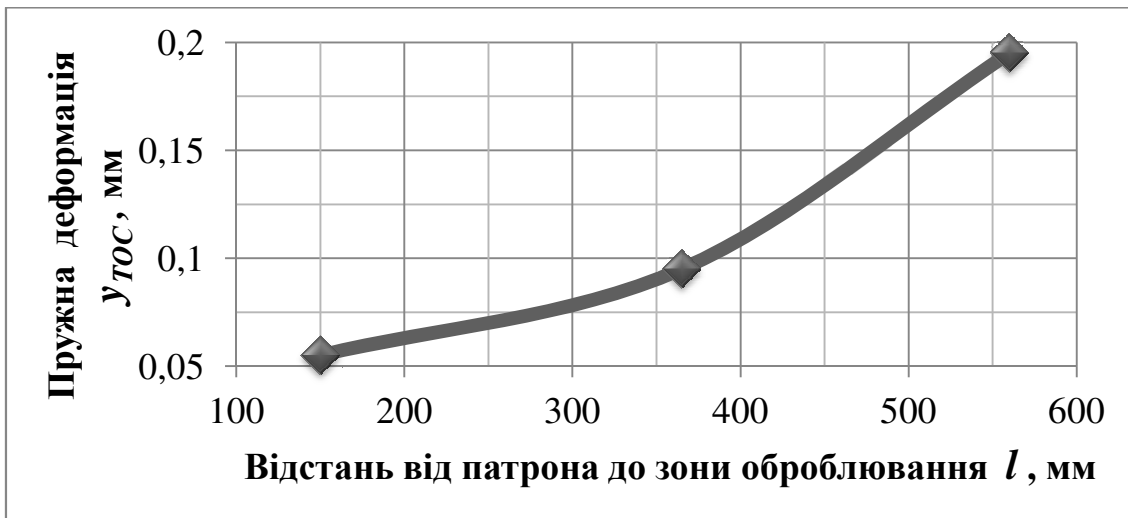


Рис. 3.2. Графік функції $u_{TOS} = f(l)$

ЗА ДОПОМОГОЮ MICROSOFT OFFICE EXCEL експериментальні дані можна апроксимувати за експонентною, лінійною, логарифмічною, поліноміальною та степеневою залежностями. При цьому коефіцієнти та показники степеня розраховуються автоматично ☺ та виводяться на поле діаграми. Крім того, можна контролювати достовірність апроксимації за параметром R^2 (рис. 3.3 - рис. 3.7).

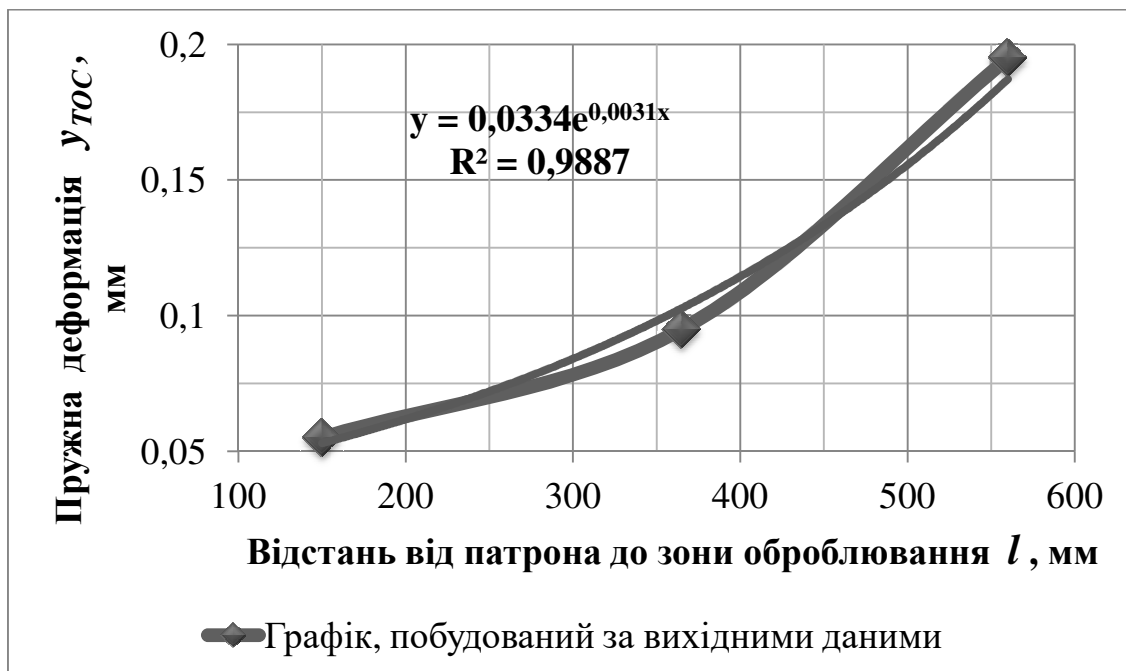


Рис. 3.3. Апроксимація функції $u_{TOS} = f(l)$ за експонентною залежністю в Microsoft Office Excel

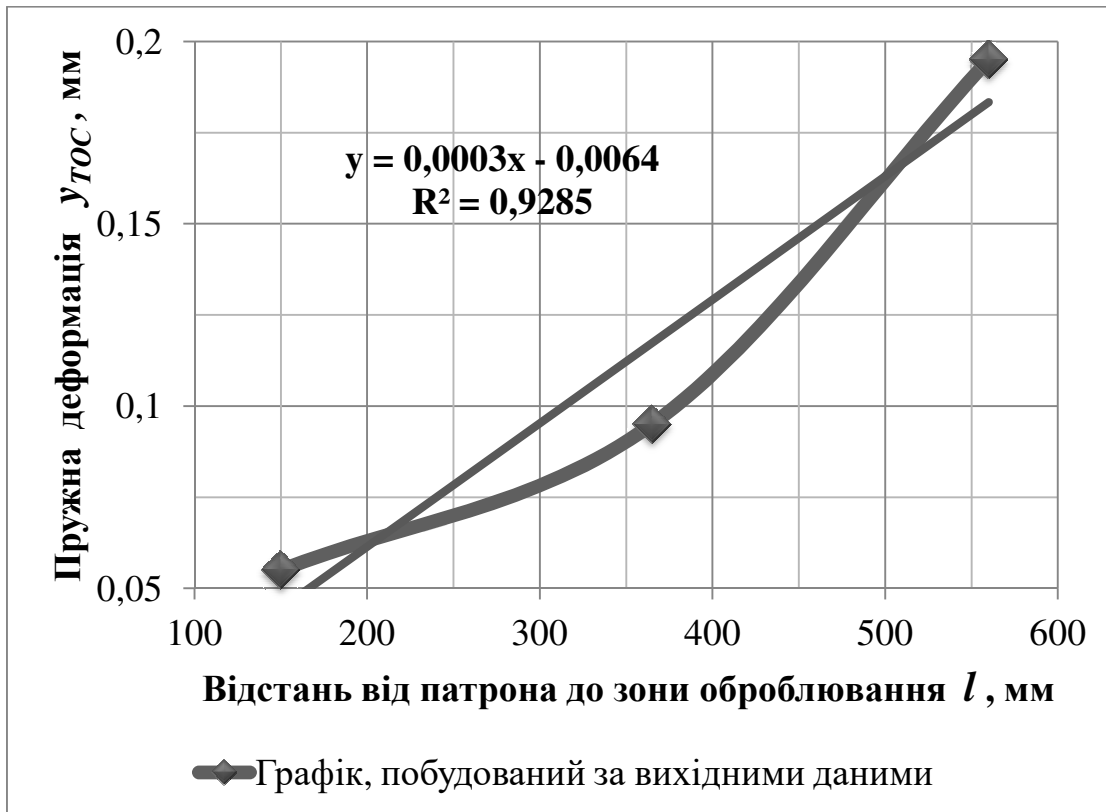


Рис. 3.4. Апроксимація функції $u_{ТОС} = f(l)$ за лінійною залежністю в Microsoft Office Excel

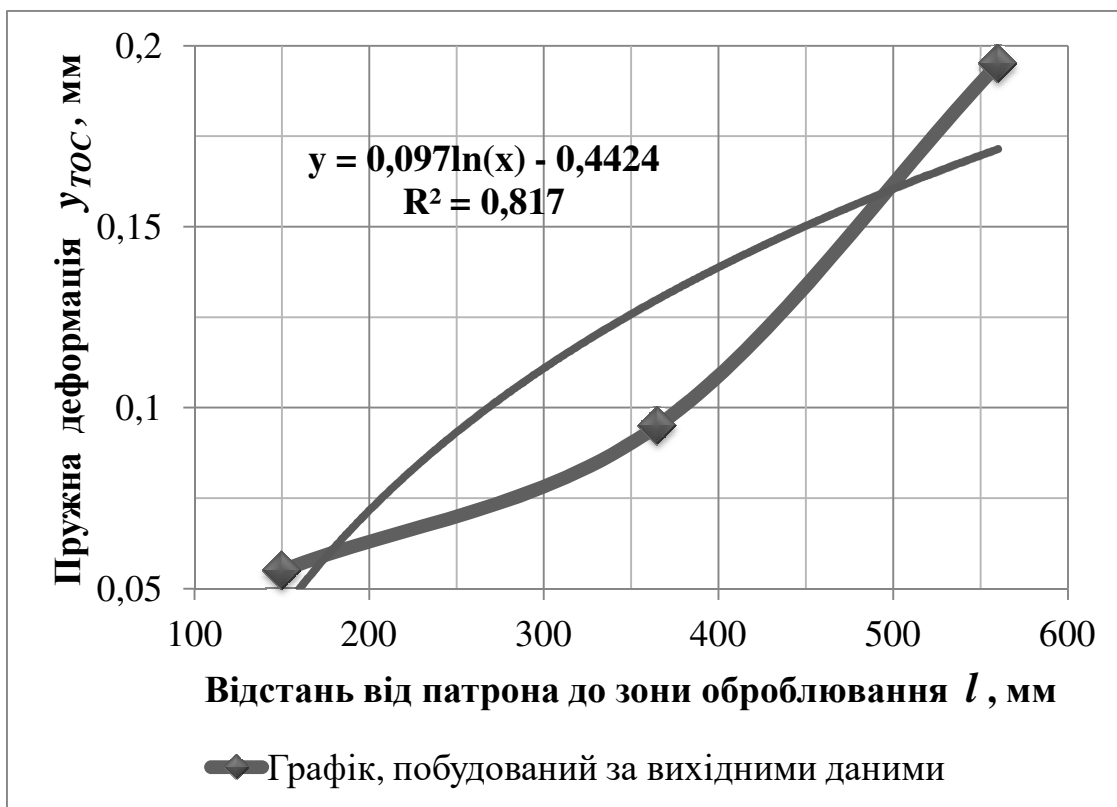


Рис. 3.5. Апроксимація функції $u_{ТОС} = f(l)$ за логарифмічною залежністю в Microsoft Office Excel

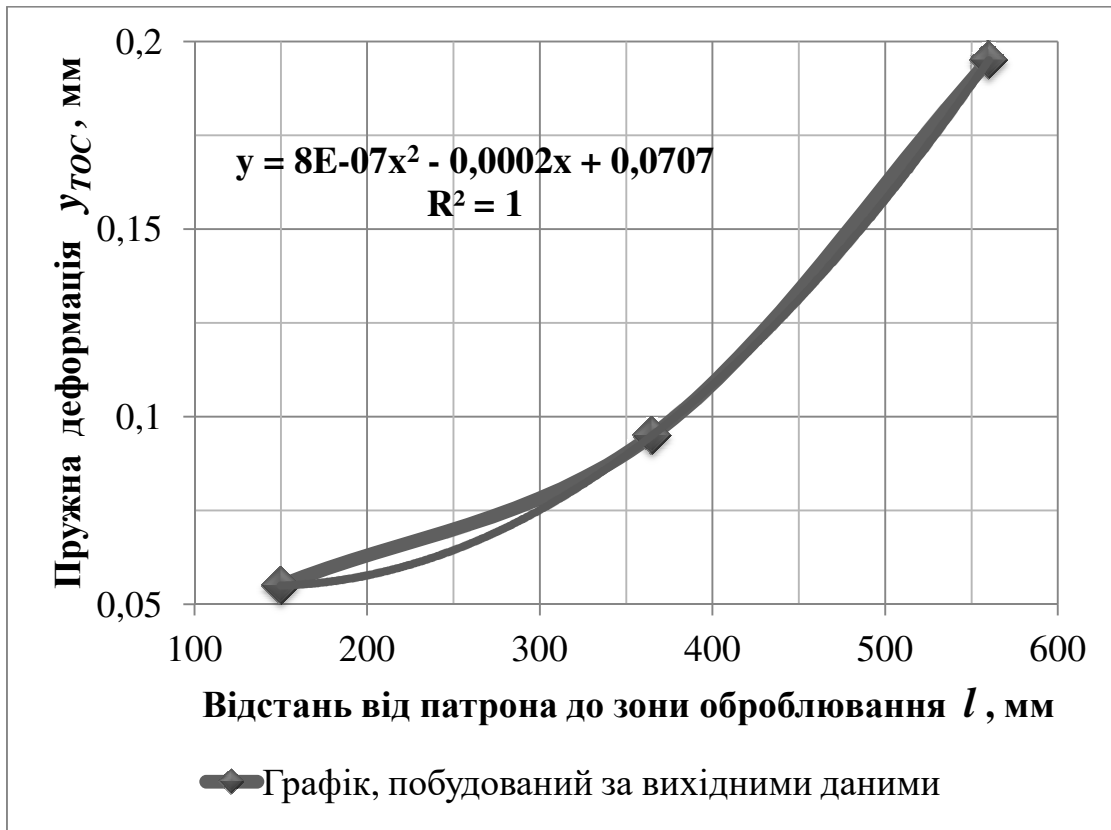


Рис. 3.6. Апроксимація функції $u_{ТОС} = f(l)$ за поліноміальною залежністю в Microsoft Office Excel

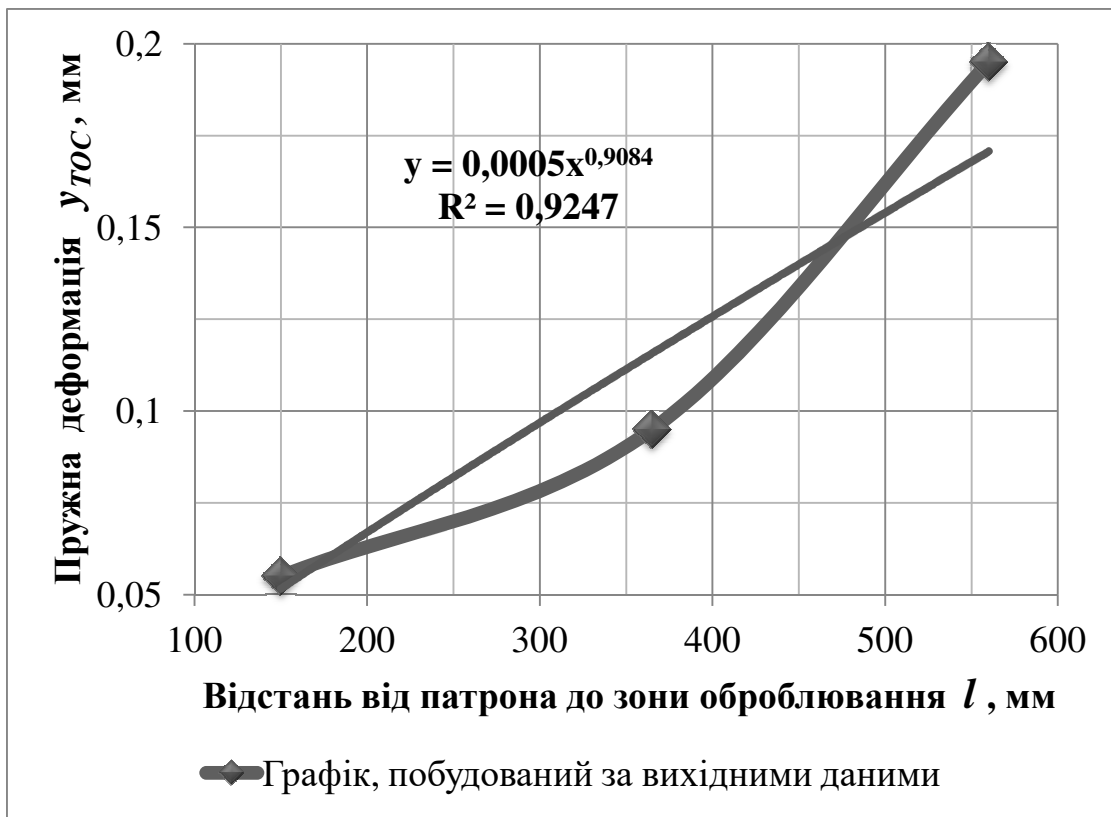


Рис. 3.7. Апроксимація функції $u_{ТОС} = f(l)$ за степеневою залежністю в Microsoft Office Excel

Результати апроксимації функції $y_{ТОС} = f(l)$ за допомогою Microsoft Office Excel зводять в табл. 3.4.

Таблиця 3.4.

Результати апроксимації функції $y_{ТОС} = f(l)$

Залежність, за якою апроксимувались вихідні дані	Функція апроксимації	Параметр достовірності апроксимації R^2
Експонентна	$y = 0,0334e^{0,0031x}$	$R^2 = 0,9887$
Лінійна	$y = 0,0003x - 0,0064$	$R^2 = 0,9285$
Логарифмічна	$y = 0,097\ln(x) - 0,4424$	$R^2 = 0,817$
Поліноміальна	$y = 8E-07x^2 - 0,0002x + 0,0707$	$R^2 = 1$
Степенева	$y = 0,0005x^{0,9084}$	$R^2 = 0,9247$

Аналіз результатів показує, що достовірність апроксимації найвища для поліноміальної функції ($R^2 = 1$), на другому місці за достовірністю ($R^2 = 0,9887$) – експонентна функція. Якщо прийняти до уваги, що поліноміальною залежністю відповідного степеня можна достовірно апроксимувати експериментальну функцію будь-якої складності, то можна зробити висновок: вихідні експериментальні дані підпорядковуються експонентній функції.

Для випадку закріплення, представленого на рис. 3.1, можна визначити пружні деформації основних вузлів верстата – передньої бабки $y_{п.б}$, задньої бабки $y_{з.б}$ та супорта $y_{суп}$ (рис. 3.8).

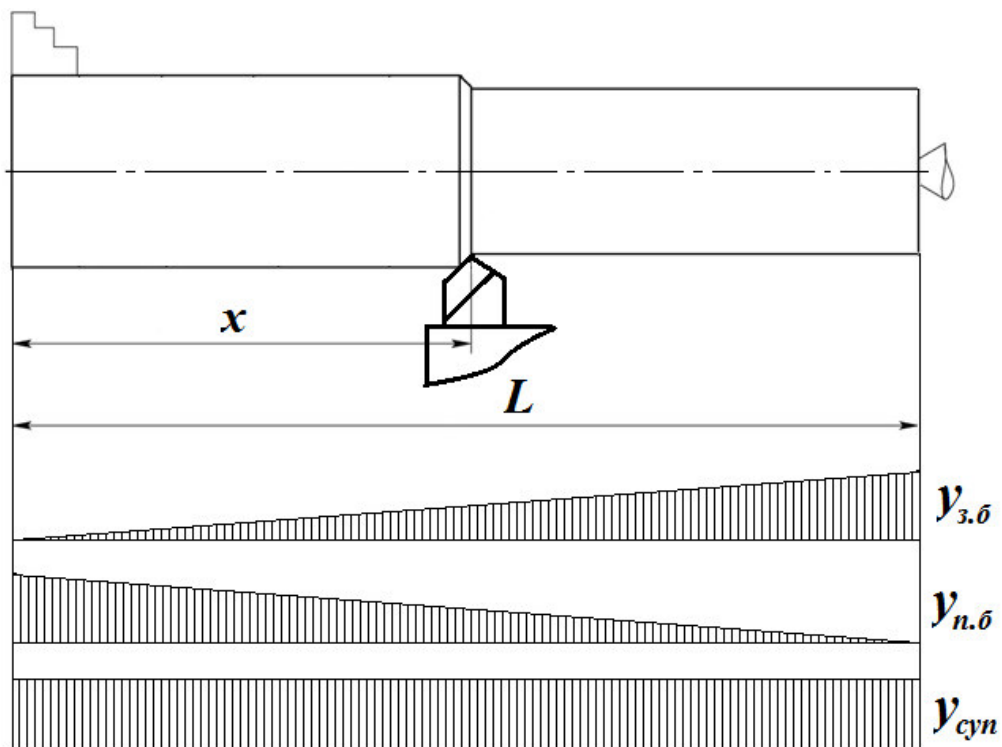


Рис. 3.8. Епюри пружних деформацій вузлів верстата

Тоді сумарна деформація ТОС:

$$u_{\text{ТОС}} = u_{\text{суп}} + \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 u_{\text{п.б}} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 u_{\text{з.б}}.$$

Справедливі також рівняння:

$$\frac{1}{j_{\text{ТОС}}} = \frac{1}{j_{\text{суп}}} + \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{\text{п.б}}} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{\text{з.б}}} \quad (5)$$

та

$$\omega_{\text{ТОС}} = \omega_{\text{суп}} + \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \omega_{\text{п.б}} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 \omega_{\text{з.б}} \quad (6)$$

Для визначення жорсткості та піддатливості елементів ТОС – супорта, передньої та задньої бабок – необхідно вирішити одну з систем рівнянь, складену на основі рівнянь (5) або (6):

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{j_{\text{ТОС}_1}} &= \frac{1}{j_{\text{суп}}} + \left(1 - \frac{l_1}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{\text{п.б}}} + \left(\frac{l_1}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{\text{з.б}}} \\ \frac{1}{j_{\text{ТОС}_2}} &= \frac{1}{j_{\text{суп}}} + \left(1 - \frac{l_2}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{\text{п.б}}} + \left(\frac{l_2}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{\text{з.б}}} \\ \frac{1}{j_{\text{ТОС}_3}} &= \frac{1}{j_{\text{суп}}} + \left(1 - \frac{l_3}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{\text{п.б}}} + \left(\frac{l_3}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{\text{з.б}}} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

або

$$\left. \begin{aligned} \omega_{\text{ТОС}_1} &= \omega_{\text{суп}} + \left(1 - \frac{l_1}{L}\right)^2 \omega_{\text{п.б}} + \left(\frac{l_1}{L}\right)^2 \omega_{\text{з.б}} \\ \omega_{\text{ТОС}_2} &= \omega_{\text{суп}} + \left(1 - \frac{l_2}{L}\right)^2 \omega_{\text{п.б}} + \left(\frac{l_2}{L}\right)^2 \omega_{\text{з.б}} \\ \omega_{\text{ТОС}_3} &= \omega_{\text{суп}} + \left(1 - \frac{l_3}{L}\right)^2 \omega_{\text{п.б}} + \left(\frac{l_3}{L}\right)^2 \omega_{\text{з.б}} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Порядок виконання роботи

1. Вивчити техніку безпеки при роботі на верстаті.
2. Ознайомитись з обладнанням і вимірювальним інструментом, використовуваним у даній роботі.
3. Занести дані про обладнання, інструмент, заготовку та режим оброблення до табл. 3.5.

Таблиця 3.5.

Вихідні дані та результати вимірювань

Верстат		Розміри заготовки, мм			
Інструмент		$D =$	$d_1 =$		
Матеріал заготовки				$L =$	$d_1' =$
Матеріал інструмента					
Геометричні параметри інструмента		Режим оброблення			
$\varphi, ^\circ =$	$\alpha, ^\circ =$	$S, \text{мм/об.} =$	$d_2' =$		
$\varphi_1, ^\circ =$	$\gamma, ^\circ =$	$n, \text{об./хв.} =$	$d_3 =$		
$\lambda, ^\circ =$	$r, \text{мм} =$	$l_3 =$	$d_3' =$		

4. Провести оброблення ступінчастої заготовки на трьох ділянках, виміряти її розміри у відповідності до рис. 3.1 та занести результати вимірювань до табл. 3.5.

5. Визначити максимальну пружну деформацію та жорсткість заготовки за формулами табл. 3.1.

6. Розрахувати пружну деформацію системи для трьох випадків оброблення за формулою (4).

7. Побудувати графік функції $u_{ТОС} = f(l)$.

8. Провести апроксимацію функції $u_{ТОС} = f(l)$.

9. Розрахувати радіальну складову сили різання P_y за формулою (3).

10. Визначити жорсткість та піддатливість системи на трьох ділянках за формулами (1) та (2).

11. Визначити жорсткість та піддатливість вузлів верстату, розв'язавши одну з систем рівнянь: (7) або (8).

12. Оцінити стан вузлів верстату, скориставшись табл. 3.6.

Таблиця 3.6.

Орієнтовні значення піддатливості вузлів токарних верстатів (за паспортними даними)

Вузол верстата	Висота центрів, мм		
	200	300	400
Піддатливість, мкм/кгс			
Передня бабка	0,20	0,13	0,10
Супорт	0,25	0,17	0,12
Задня бабка	0,30	0,20	0,16

13. Визначити максимальну похибку оброблення, що виникає за рахунок пружних деформацій елементів ТОС, за формулою:

$$\varepsilon_{\text{пруж.дефmax}} = 2u_{\text{ТОСmax}}$$

14. Розробити технологічні рекомендації по зменшенню похибок, що виникають в результаті пружних деформацій ТОС.
15. Зробити висновки по роботі.

Зміст протоколу

1. Номер, назва роботи.
2. Мета та завдання роботи.
3. Вихідні дані та результати вимірювань (рис. 3.1, табл. 3.5).
4. Розрахунок максимальної пружної деформації та жорсткості заготовки.
5. Розрахунок пружної деформації системи для трьох випадків оброблення.
6. Графік функції $u_{ТОС} = f(l)$.
7. Апроксимація функції $u_{ТОС} = f(l)$.
8. Розрахунок радіальної складової сили різання.
9. Визначення жорсткості та піддатливості системи на трьох ділянках.
10. Визначення жорсткості та піддатливості вузлів верстату.
11. Оцінка стану вузлів верстату.
10. Визначення максимальної похибки оброблення, що виникає за рахунок пружних деформацій елементів ТОС.
11. Технологічні рекомендації по зменшенню похибок, що виникають в результаті пружних деформацій ТОС.
12. Висновки по роботі.

Питання для підготовки до виконання роботи

1. Мета та завдання роботи.
2. Визначення жорсткості та піддатливості технологічної системи.
3. Навести епюри пружних переміщень технологічної системи.
4. Навести залежності для визначення жорсткості та піддатливості ТОС.
5. Визначити пружні деформації та жорсткість заготовки для різних схем її установки.
6. Характеристика похибок, що виникають внаслідок пружних переміщень елементів технологічної системи.
7. Загальна методика визначення жорсткості системи в сталому режимі роботи.
8. Загальна методика визначення пружно-жорсткісних характеристик елементів технологічної системи.
9. Заходи щодо зменшення похибок оброблення, що виникають в результаті пружних деформацій ТОС.
10. Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА

Мета та завдання роботи – дослідити вплив розмірного зношування інструмента на точність оброблення, вплив технологічних факторів на інтенсивність розмірного зношування інструментів, визначити математичні залежності розмірного зношування та стійкості інструмента від елементів режиму різання.

Обладнання та оснащення

Лабораторну роботу виконують на верстатах з ЧПК токарної групи фірми HAAS або на токарно-гвинторізному верстаті моделей 16K20, 1K62, 1A62. Характеристики верстатів приведені в Додатку 1. При виконанні роботи використовують великий інструментальний мікроскоп (Додаток 2).

Методичні рекомендації до виконання роботи

Всі металорізальні інструменти можна розподілити на дві групи:

- мірні (свердла, розвертки, протяжки, шпонкові фрези тощо);
- немірні (різці, торцеві, дискові фрези та ін.).

На точність оброблення заготовок безпосередньо впливають як неточність виготовлення, так і зношування різальних інструментів.

Враховуючи, що точність виготовлення інструментів досить висока (на 2...3 квалітети точніше, ніж точність оброблюваних поверхонь), то в основному похибки оброблення залежать від зношування інструмента.

При зношуванні мірного інструмента похибки його розміру повністю переносяться на готовий виріб, наприклад, зношування по діаметру розвертки призводить до зменшення діаметра отвору (систематична похибка, що змінюється за певним законом).

Для немірного інструмента зношування може бути компенсоване його підналагодженням.

При механічному обробленні існують наступні види зношування: механічне руйнування, абразивне, адгезійне, дифузійне зношування та їх комбінації.

Критеріями зношування є зміна розміру і форми задньої та передньої поверхні різальної частини інструмента, з'явлення блискучої смужки, виникнення вібрацій ТОС, зміна розміру обробленої поверхні, поява сторонніх звуків тощо.

Виконуючи аналіз впливу на точність оброблення похибки від зношування різального інструмента, технолог повинен визначити:

- чи можливе оброблення всієї партії заготовок без підналагодження (або заміни) певного різального інструмента;

- якщо це неможливо, то визначити, після оброблення якої заготовки партії треба зробити підналагодження (або заміну) певного різального інструмента.

Для зменшення похибки від зношування різального інструмента потрібно правильно, відповідно до умов оброблення (матеріал заготовки, стан її поверхні, твердість, етап обробки – чорновий, чистовий тощо) призначати матеріал різальної частини інструмента, його геометрію, якість загострення, режим оброблення, а також передбачати використання відповідних мастильно-охолоджувальних технологічних рідин.

Зношування різальних інструментів відбувається за законом, графік якого представлено на рис. 4.1.

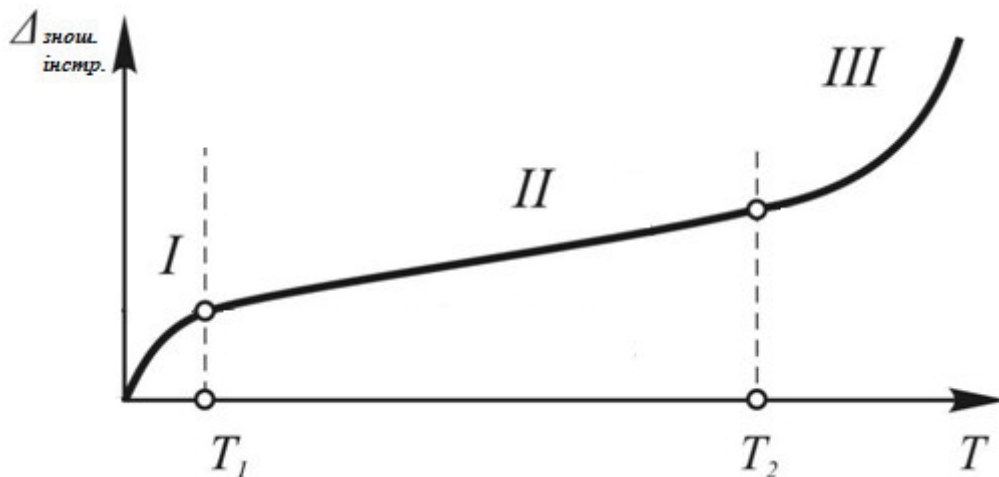


Рис. 4.1. Залежність величини зношування інструменту від часу його експлуатації

Весь період доцільної роботи інструмента умовно поділяють на два періоди: I – період припрацювання різальної кромки та II – період пропорційного зношування. Експлуатація інструменту у III періоді (катастрофічне зношування) не допускається.

Величина зношування у періоді припрацювання (початкове зношування) залежить від матеріалу різальної частини інструмента та матеріалу заготовки, якості загострення інструмента, режиму оброблення.

Пропорційне зношування (II період) характеризується прямо пропорційним до часу експлуатації інструменту (або шляху різання) збільшенням величини зношування.

На точність при токарному обробленні безпосередньо впливає розмірне зношування інструмента h_p , яке виникає через появу фаски зношування на задній поверхні величиною h_z (рис. 4.2).

Розмірне зношування викликає появу похибки оброблення від зношування різального інструмента $\epsilon_{\text{знош. інстр.}}$, яка є змінною систематичною похибкою.

При її виникненні змінюється діаметр оброблюваної заготовки

$$\Delta D = 2 h_p.$$

Крім того, похибка $\varepsilon_{знош.інстр}$ призводить до виникнення похибки форми заготовки – відхилення від циліндричності (конусоподібність). Кут конуса дорівнює:

$$\alpha = \arctg (h_p / 1000L),$$

де h_p – розмірне зношування інструмента під час оброблення заготовки, мкм;

L – довжина заготовки, мм.

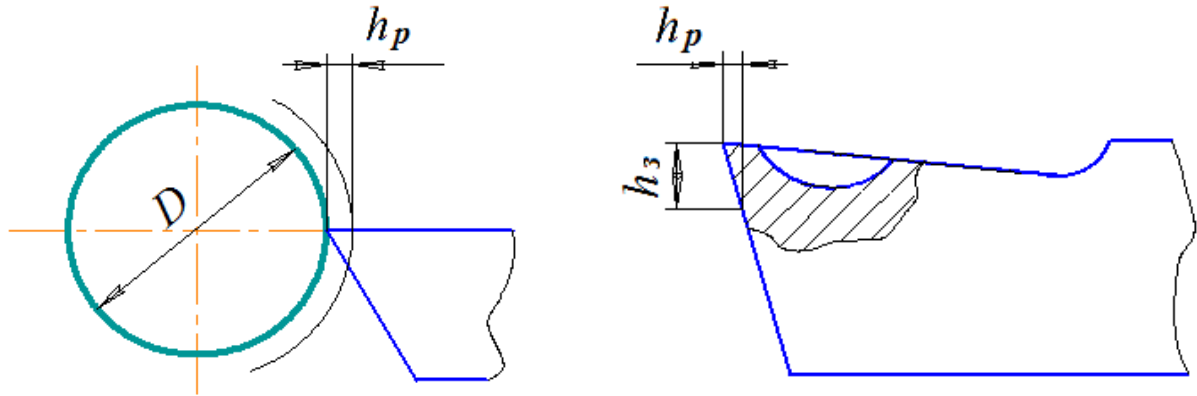


Рис. 4.2. Зношування різця: розмірне h_p та по задній поверхні h_3

ДОПУСТИМИМ РОЗМІРНИМ ЗНОШУВАННЯМ ІНСТРУМЕНТА $[h_p]$ називають максимальне розмірне зношування, при якому розміри оброблюваних заготовок не виходять за межі поля допуску, або якщо величина зношування досягає критичної межі катастрофічного зношування.

Зважаючи на те, що величина розмірного зношування інструмента h_p досить мала, для підвищення точності вимірювань в даній лабораторній роботі визначають величину зношування по задній поверхні h_3 , яка в десятки разів більша. Величини h_p та h_3 пов'язані наступним чином (рис 4.3).

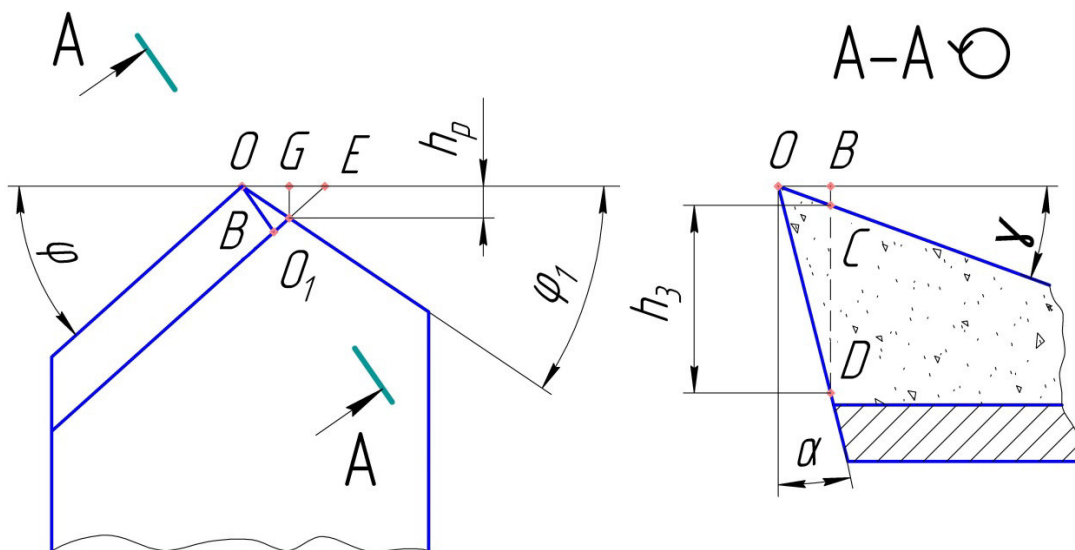


Рис. 4.3. Схема для визначення залежності $h_p = f(h_3)$

На рисунку точка O є вершиною загостреного різця, точка O_1 – зношеного.

Відрізок OB з трикутника OBD :

$$OB = BD \cdot tg\alpha = (BC + CD)tg\alpha.$$

Відрізок BC з трикутника OBC :

$$BC = OB \cdot tg\gamma,$$

а відрізок $CD = h_3$.

Тоді

$$OB = (OB \cdot tg\gamma + h_3)tg\alpha,$$

звідки

$$OB = \frac{h_3 \cdot tg\alpha}{1 - tg\alpha \cdot tg\gamma} = \frac{h_3}{ctg\alpha - tg\gamma}. \quad (1)$$

Відрізок OB з трикутника OEB :

$$OB = OE \cdot \sin\varphi = (OG + GE)\sin\varphi.$$

Відрізок OG з трикутника OGO_1 :

$$OG = GO_1 \cdot ctg\varphi_1 = h_p \cdot ctg\varphi_1.$$

Відрізок GE з трикутника GEO_1 :

$$GE = GO_1 \cdot ctg\varphi = h_p \cdot ctg\varphi.$$

Тоді

$$OB = h_p(ctg\varphi_1 + ctg\varphi)\sin\varphi. \quad (2)$$

Прирівнюючи (1) і (2), отримаємо

$$h_p = \frac{h_3}{(ctg\alpha - tg\gamma)(ctg\varphi + ctg\varphi_1)\sin\varphi}. \quad (3)$$

Для визначення впливу режиму оброблення (зокрема, швидкості різання) на зношування інструмента необхідно провести експериментальні дослідження.

Для кожного режиму оброблення через певні проміжки часу вимірюється величина зношування інструмента по задній поверхні h_3 . Визначається величина допустимого зношування інструмента по задній поверхні $[h_3]$ (значення $[h_3]$ отримується у викладача). Визначаються відповідні величини розмірного зношування інструмента h_p та величина допустимого розмірного зношування інструмента $[h_p]$ за допомогою формули (3).

За результатами вимірювань та обчислень будуються графіки залежності величини розмірного зношування інструмента від часу його експлуатації та швидкості різання (рис. 4.4).

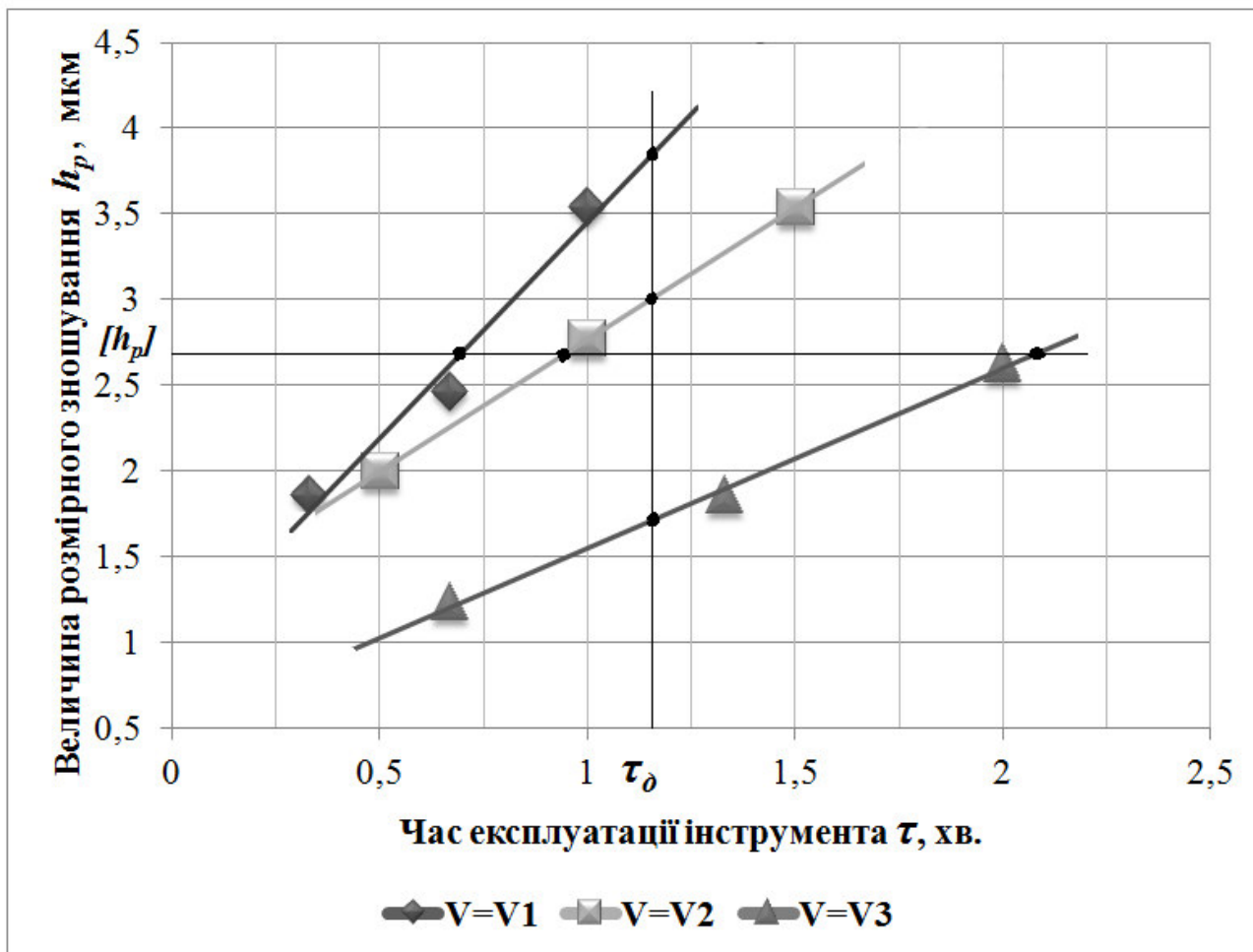


Рис. 4.4. Графіки залежностей величини розмірного зношування інструмента h_p від часу його експлуатації τ та швидкості різання V

Зважаючи на те, що експериментальні значення величини розмірного зношування отримані під час періоду пропорційного зношування інструмента (період II на рис. 4.3), залежності $h_p=f(\tau)$ описуються лінійними функціями виду

$$h_p = a\tau + b, \quad (4)$$

де a і b – коефіцієнти.

Для апроксимації експериментальних залежностей до лінійних функцій можна скористатись методом найменших квадратів, при якому сума квадратів похибок експериментальних значень від значень функції апроксимації $h_p = at + b$ є мінімальною.

ЗА ТРАДИЦІЙНОЮ МЕТОДИКОЮ РОЗРАХУНКІВ для визначення коефіцієнтів a і b для кожного з рівнів швидкості різання V необхідно вирішити ☹️ систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} N \cdot b + a \sum_{1}^N \tau_i &= \sum_{1}^N h_{pi}; \\ b \sum_{1}^N \tau_i + a \sum_{1}^N \tau_i^2 &= \sum_{1}^N (\tau_i \cdot h_{pi}), \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де N – кількість експериментальних точок для кожної з функцій.

ЗА ДОПОМОГОЮ MICROSOFT OFFICE EXCEL коефіцієнти a і b для кожного з рівнів швидкості різання V розраховуються автоматично 😊 і виводяться на поле діаграми. При бажанні можна також вивести на поле діаграми величину достовірності апроксимації R^2 (рис. 4.5). Для прикладу розрахунків використовувались реальні експериментальні дані.

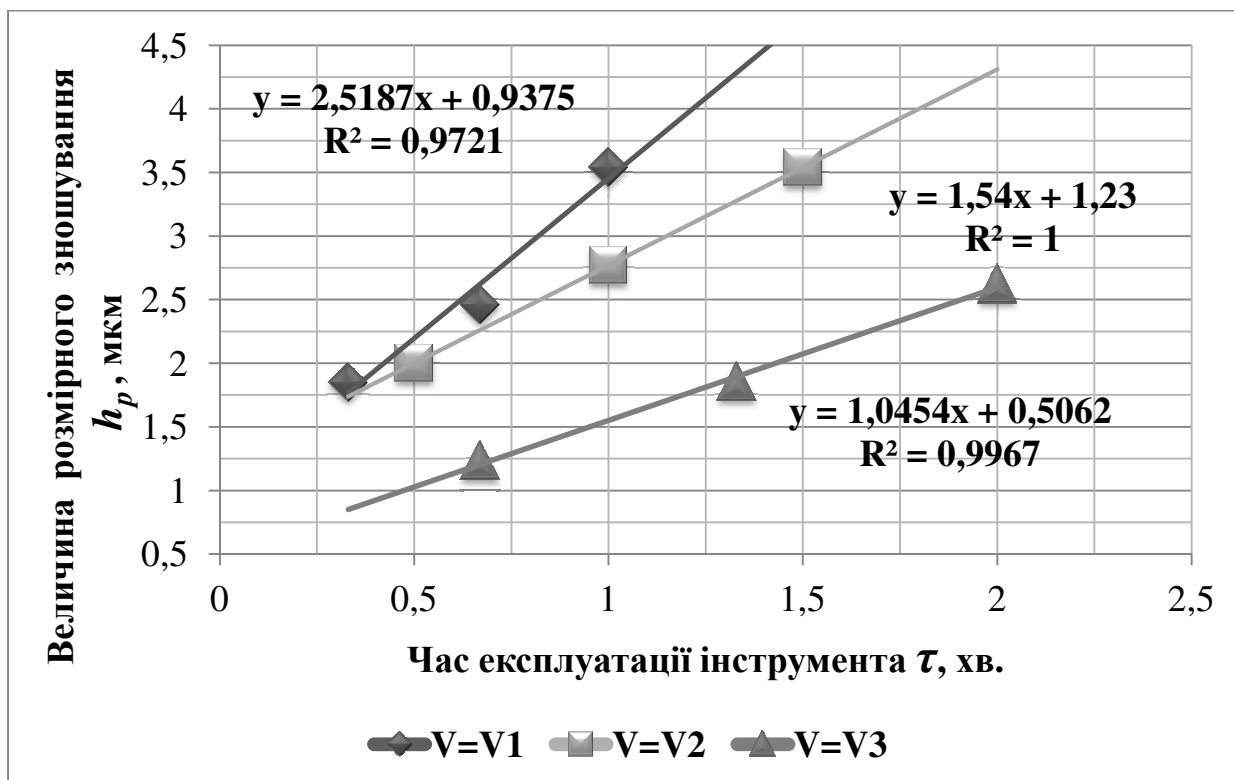


Рис. 4.5. Залежність величини розмірного зношування інструмента h_p від часу його експлуатації τ та швидкості різання V (за розрахунками в Microsoft Office Excel)

Якщо задати довільне значення часу τ_δ , то за допомогою залежностей (4) або графіків (рис. 4.4) можна отримати значення розмірного зношування інструмента h_p для кожного з рівнів швидкості різання V . При призначенні величини часу τ_δ необхідно зважати на те, що експериментально отриману функцію дозволено екстраполювати за межі досліджуваної області не більше, ніж на 10%.

При цьому закономірність зміни розмірного зношування h_p від швидкості різання V_j визначається за математичною моделлю. В літературних джерелах стверджується, що вона є степеневою функцією виду:

$$h_p = C_{h_p} V^k, \quad (6)$$

де C_{h_p} – коефіцієнт;

k – показник степеня; $0 < k < 1$.

При апроксимації експериментальних залежностей до виду степеневих функцій також можна скористатись методом найменших квадратів.

ЗА ТРАДИЦІЙНОЮ МЕТОДИКОЮ РОЗРАХУНКІВ для визначення C_{h_p} та k необхідно вирішити \odot систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} n \cdot \lg C_{h_p} + k \sum_1^n \lg V_j &= \sum_1^n \lg h_{p_j}; \\ \lg C_{h_p} \sum_1^n \lg V_j + k \sum_1^n (\lg V_j)^2 &= \sum_1^n (\lg V_j \cdot \lg h_{p_j}), \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де n – кількість досліджуваних рівнів швидкості різання.

Точність апроксимації перевіряють підстановкою в отриману математичну модель (6) вихідних експериментальних даних.

За вихідними даними та даними, отриманими в результаті розрахунків за моделлю, будуються графіки функції $h_p = f(V)$ (рис. 4.6).

Як видно з рис. 4.6, побудований за математичною моделлю графік не зовсім адекватний графіку, побудованому за вихідними даними. Це пояснюється тим, що масив вихідних даних не може бути в повній мірі описаний степеневою залежністю.

ЗА ДОПОМОГОЮ MICROSOFT OFFICE EXCEL експериментальні дані можна апроксимувати за експонентною, лінійною, логарифмічною, поліноміальною та степеневою залежностями. При цьому коефіцієнти та показники степеня розраховуються автоматично \odot та виводяться на поле діаграми. Крім того, можна контролювати достовірність апроксимації за параметром R^2 (рис. 4.7 - рис. 4.11).

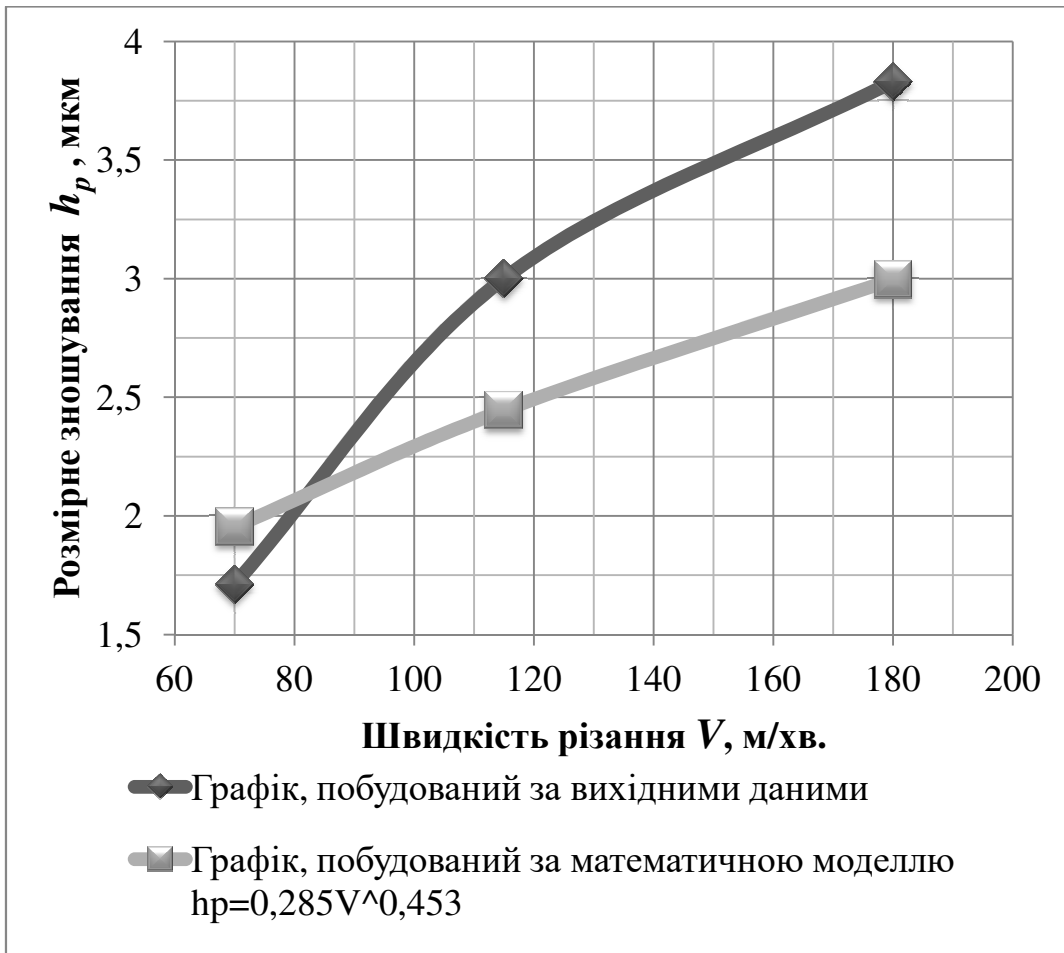


Рис. 4.6. Графіки функції $h_p = f(V)$

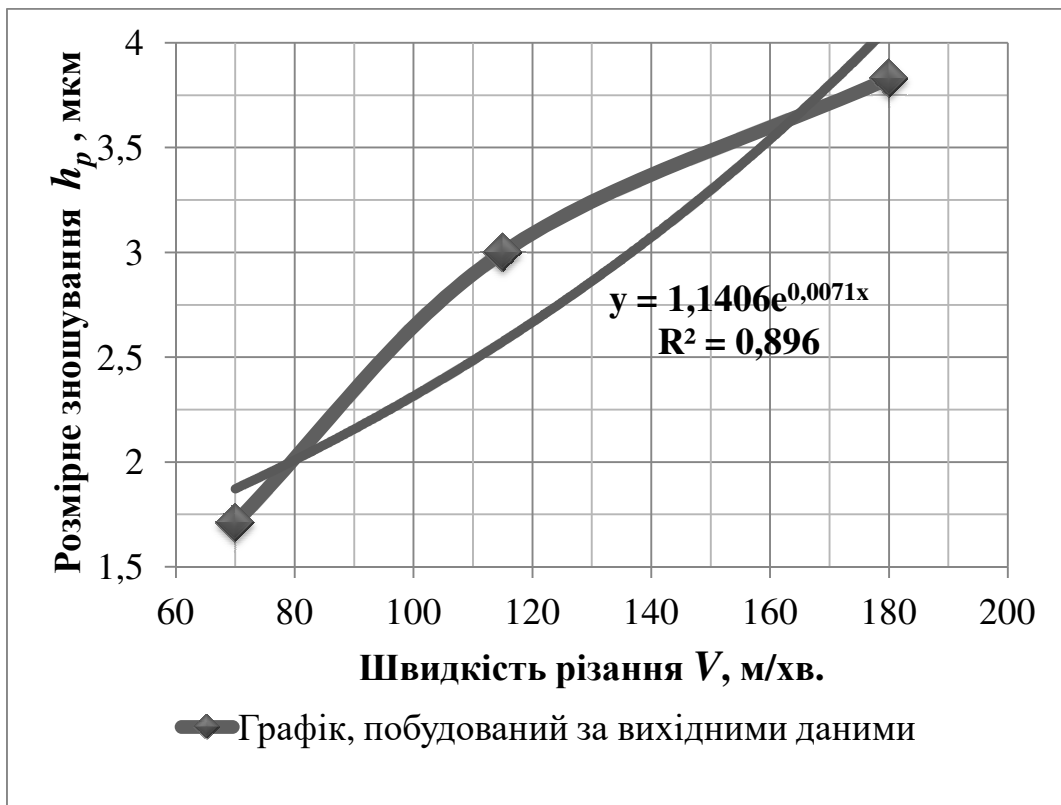


Рис. 4.7. Апроксимація функції $h_p = f(V)$ за експонентною залежністю в Microsoft Office Excel

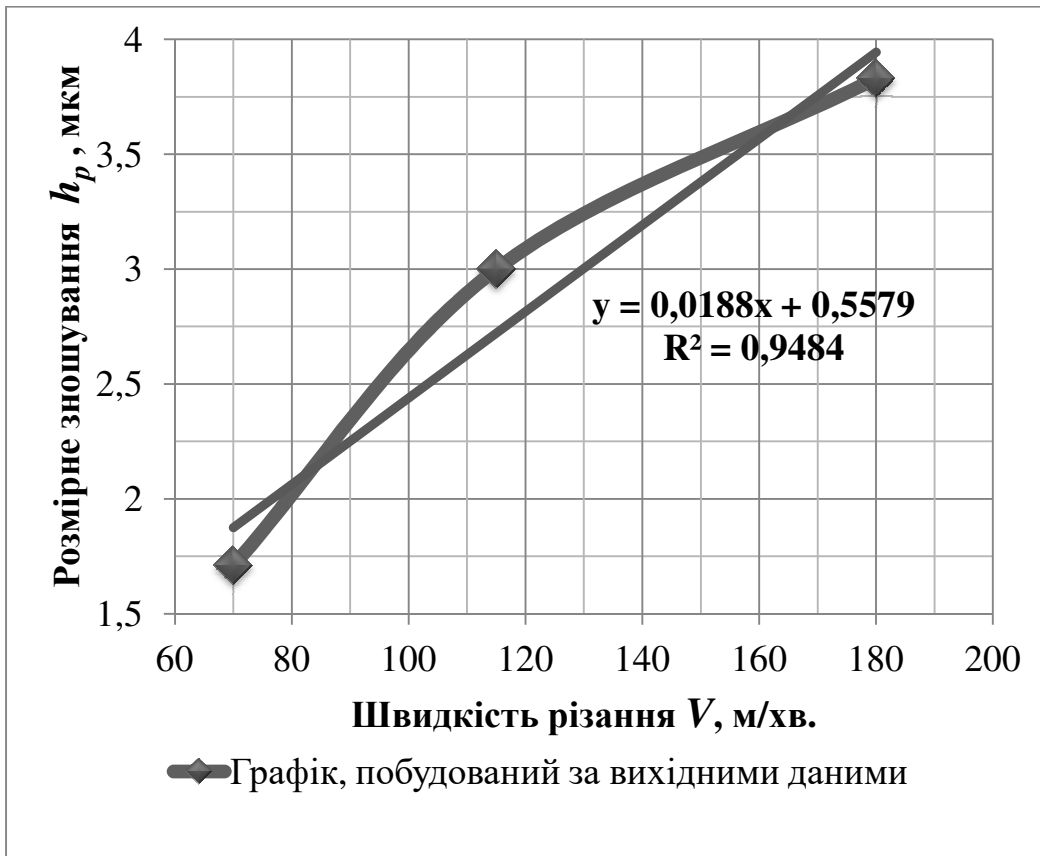


Рис. 4.8. Апроксимація функції $h_p = f(V)$ за лінійною залежністю в Microsoft Office Excel

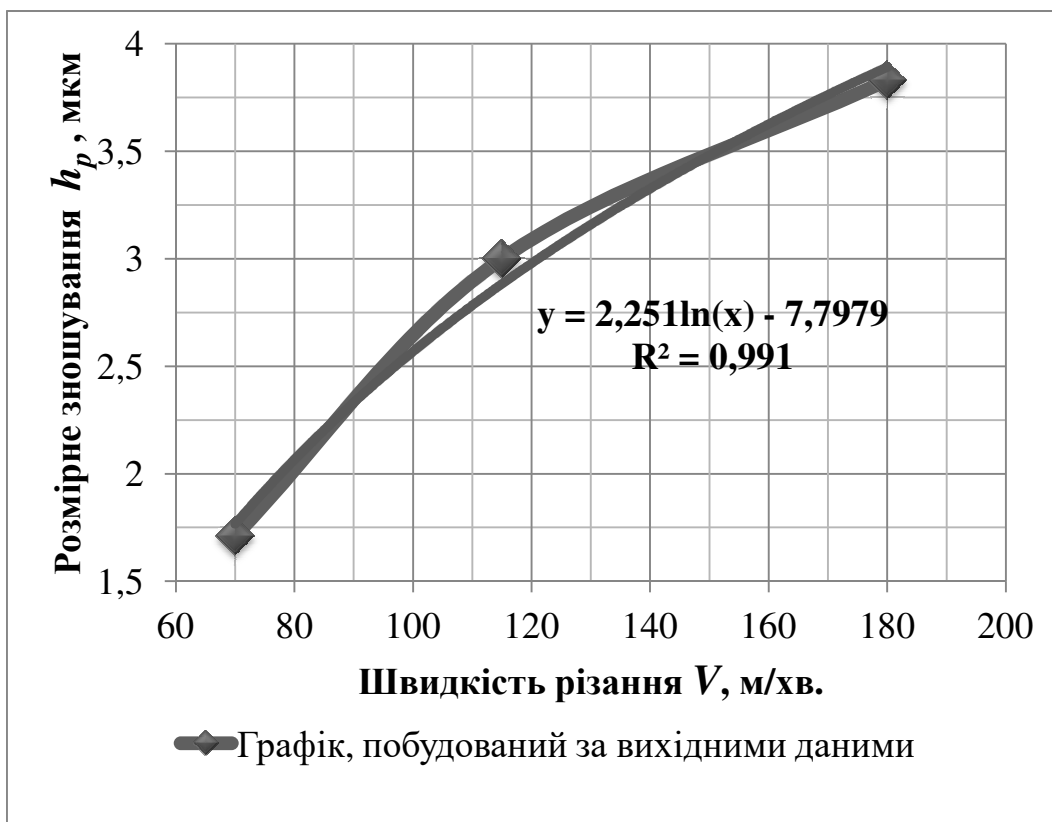


Рис. 4.9. Апроксимація функції $h_p = f(V)$ за логарифмічною залежністю в Microsoft Office Excel

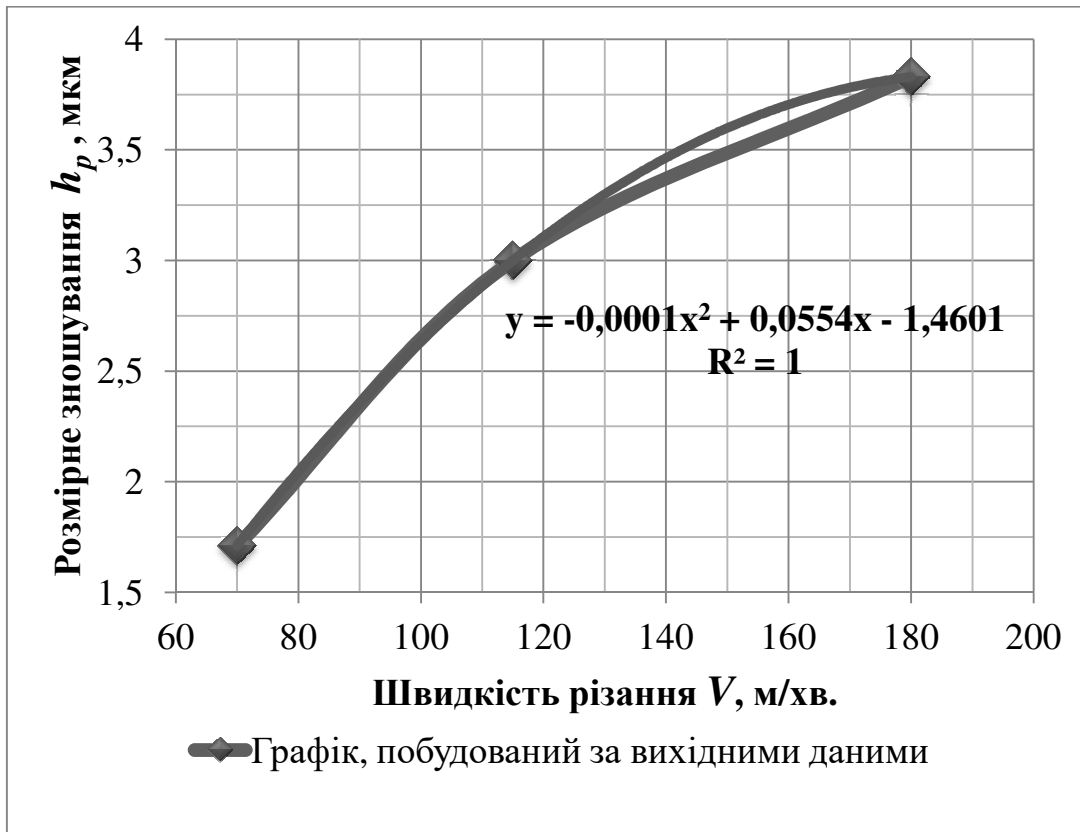


Рис. 4.10. Апроксимація функції $h_p = f(V)$ за поліноміальною залежністю в Microsoft Office Excel

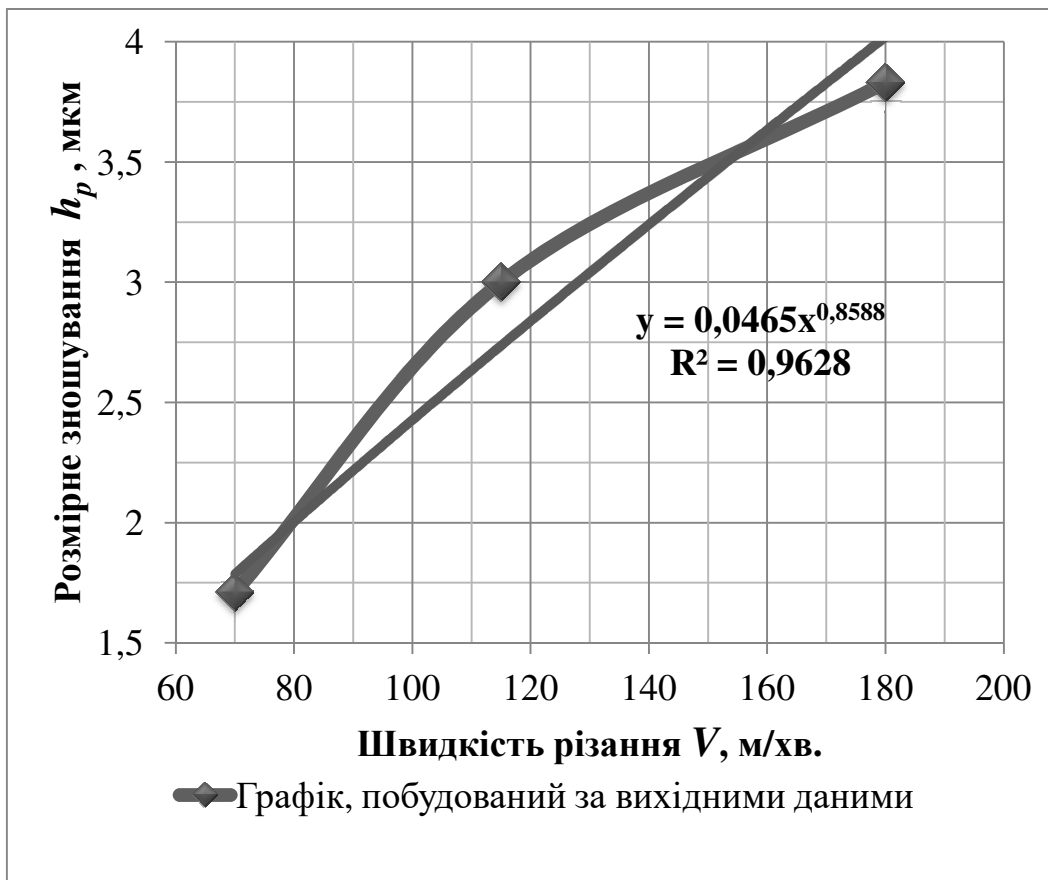


Рис. 4.11. Апроксимація функції $h_p = f(V)$ за степеневою залежністю в Microsoft Office Excel

Результати апроксимації функції $h_p = f(V)$ за допомогою Microsoft Office Excel зводять в табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

Результати апроксимації функції $h_p = f(V)$

Залежність, за якою апроксимувались вихідні дані	Функція апроксимації	Параметр достовірності апроксимації R^2
Експонентна	$y = 1,1406e^{0,0071x}$	$R^2 = 0,9484$
Лінійна	$y = 0,0188x + 0,5579$	$R^2 = 0,9484$
Логарифмічна	$y = 2,251\ln(x) - 7,7979$	$R^2 = 0,991$
Поліноміальна	$y = -0,0001x^2 + 0,0554x - 1,4601$	$R^2 = 1$
Степенева	$y = 0,0465x^{0,8588}$	$R^2 = 0,9628$

Аналіз результатів апроксимації показує, що достовірність апроксимації найвища для поліноміальної функції ($R^2 = 1$), а степенева функція, яка постулювалась як найбільш прийнятна для апроксимації, має лише третій результат за достовірністю ($R^2 = 0,9628$). Тобто вихідні експериментальні дані не в повній мірі підпорядковуються степеневій функції.

Це можна пояснити невірно побудованим планом експерименту (невірно вибрані значення рівнів кожного з факторів, кількість рівнів тощо).

Крім того, отримана за допомогою Microsoft Office Excel степенева функція своїми константами відрізняється від тієї, що розрахована за допомогою системи рівнянь (7) (див. рис. 4.6). Це можна пояснити тим, що при розрахунках використовуються різні критерії апроксимації (Microsoft Office Excel не використовує метод найменших квадратів).

Якщо задати величину допустимого розмірного зношування інструмента $[h_p]$, то за допомогою залежностей (4) або графіків (рис. 4.4) можна отримати значення періоду стійкості інструмента T_p для кожного з рівнів швидкості різання V .

ПЕРІОД СТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТА – це час експлуатації інструмента, при якому його розмірне зношування досягає допустимого значення.

З літературних джерел відомо, що математична модель залежності періоду стійкості інструмента T_p від швидкості різання V має вигляд:

$$T_p = C_{T_p} V^z, \quad (8)$$

де C_{T_p} – коефіцієнт;

z – показник степеня.

Це степенева функція з показником степеня $z < 0$.

ЗА ТРАДИЦІЙНОЮ МЕТОДИКОЮ РОЗРАХУНКІВ для визначення C_{Tp}

та z необхідно вирішити ☹️ систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} n \cdot \lg C_{Tp} + z \sum_{j=1}^n \lg V_j &= \sum_{j=1}^n \lg T_{pj}; \\ \lg C_{Tp} \sum_{j=1}^n \lg V_j + z \sum_{j=1}^n (\lg V_j)^2 &= \sum_{j=1}^n (\lg V_j \cdot \lg T_{pj}), \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

де n – кількість досліджуваних рівнів швидкості різання.

Точність апроксимації перевіряють підстановкою в отриману математичну модель (8) вихідних експериментальних даних.

За вихідними даними та даними, отриманими в результаті розрахунків за моделлю, будуються графіки функції $T_p = f(V)$ (рис. 4.12).

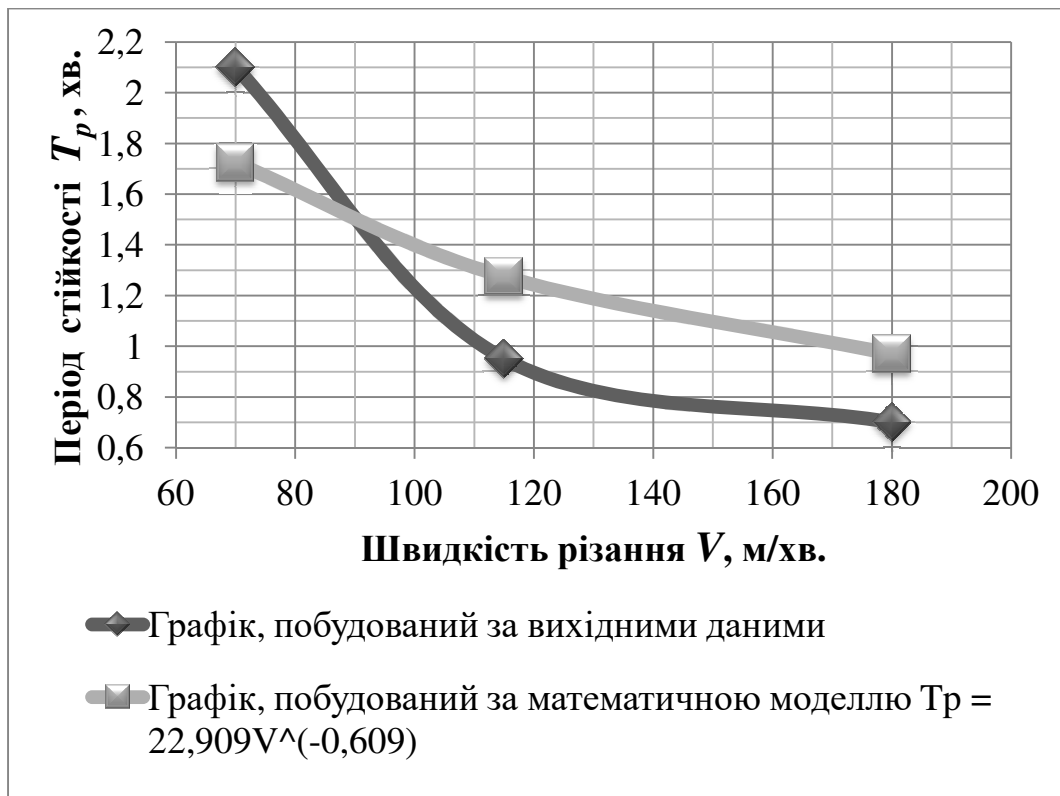


Рис. 4.12. Графіки функції $T_p = f(V)$

Як видно з рис. 4.12, побудований за математичною моделлю графік не зовсім адекватний графіку, побудованому за вихідними даними. Це пояснюється тим, що масив вихідних даних не може бути в повній мірі описаний степеневою залежністю.

ЗА ДОПОМОГОЮ MICROSOFT OFFICE EXCEL експериментальні дані можна апроксимувати за експонентною, лінійною, логарифмічною, поліноміальною та степеневою залежностями. При цьому коефіцієнти та показники степеня розраховуються автоматично ☺️ та виводяться на поле

діаграми. Крім того, можна контролювати достовірність апроксимації за параметром R^2 (рис. 4.13 - рис. 4.17).

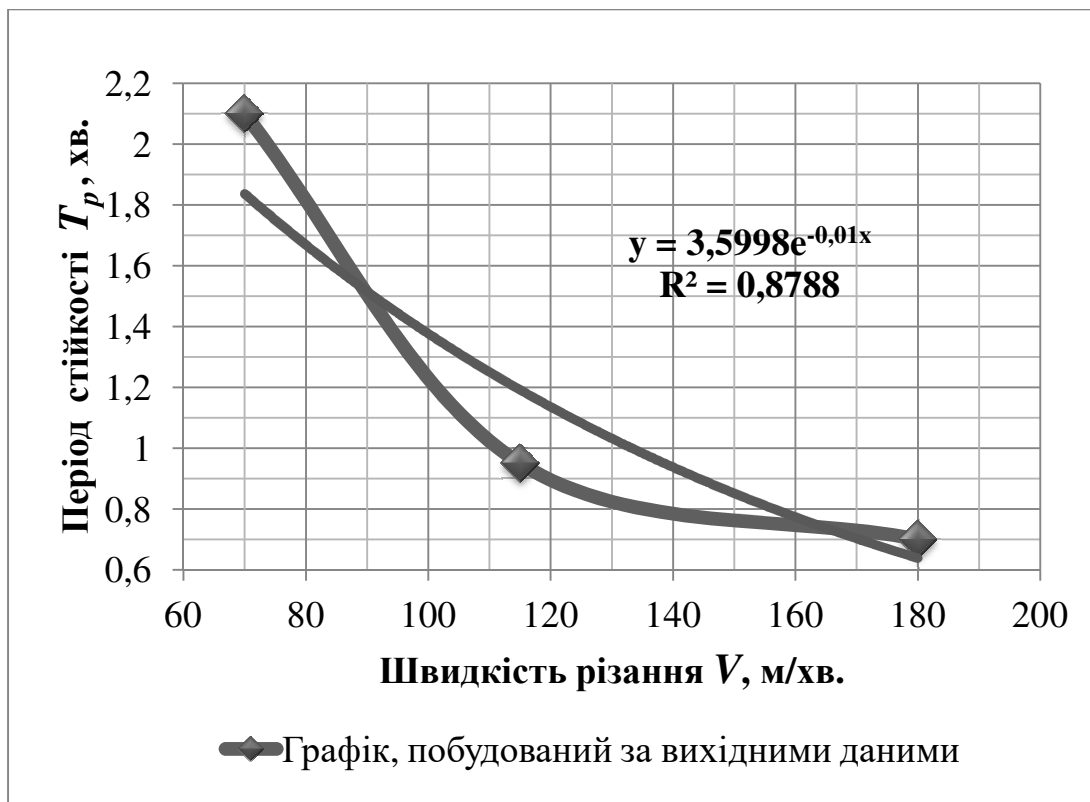


Рис. 4.13. Апроксимація функції $T_p = f(V)$ за експонентною залежністю в Microsoft Office Excel

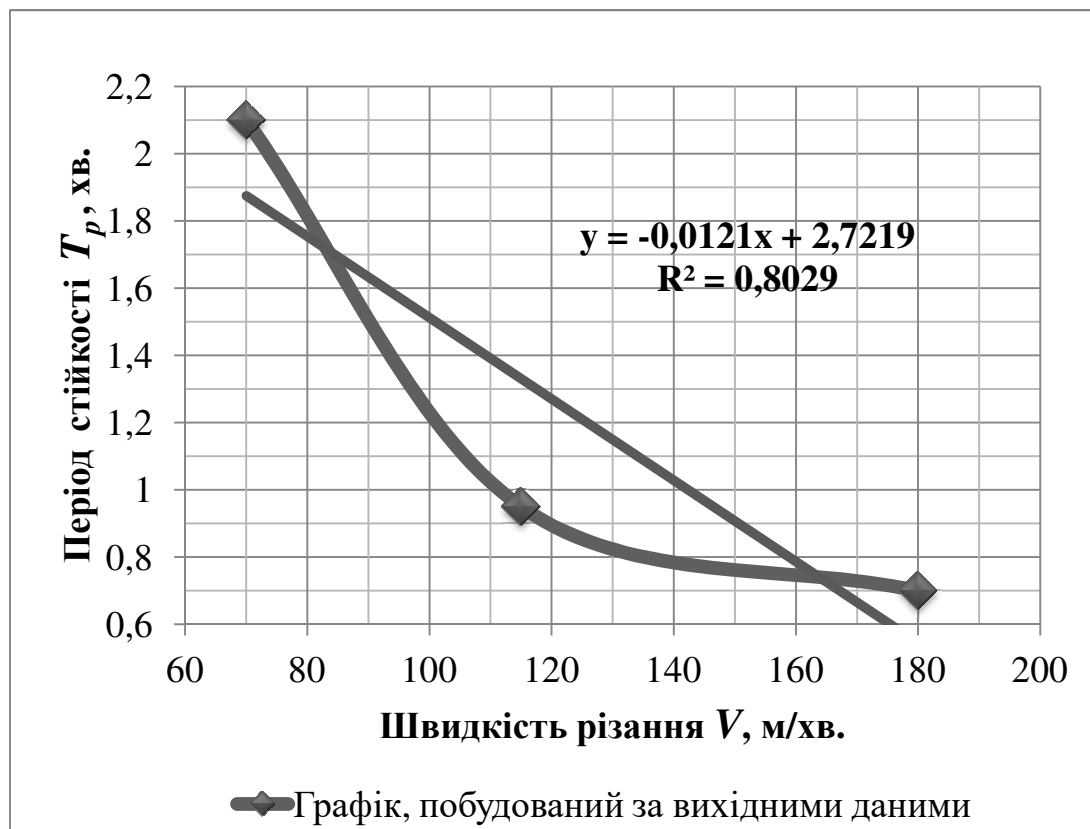


Рис. 4.14. Апроксимація функції $T_p = f(V)$ за лінійною залежністю в Microsoft Office Excel

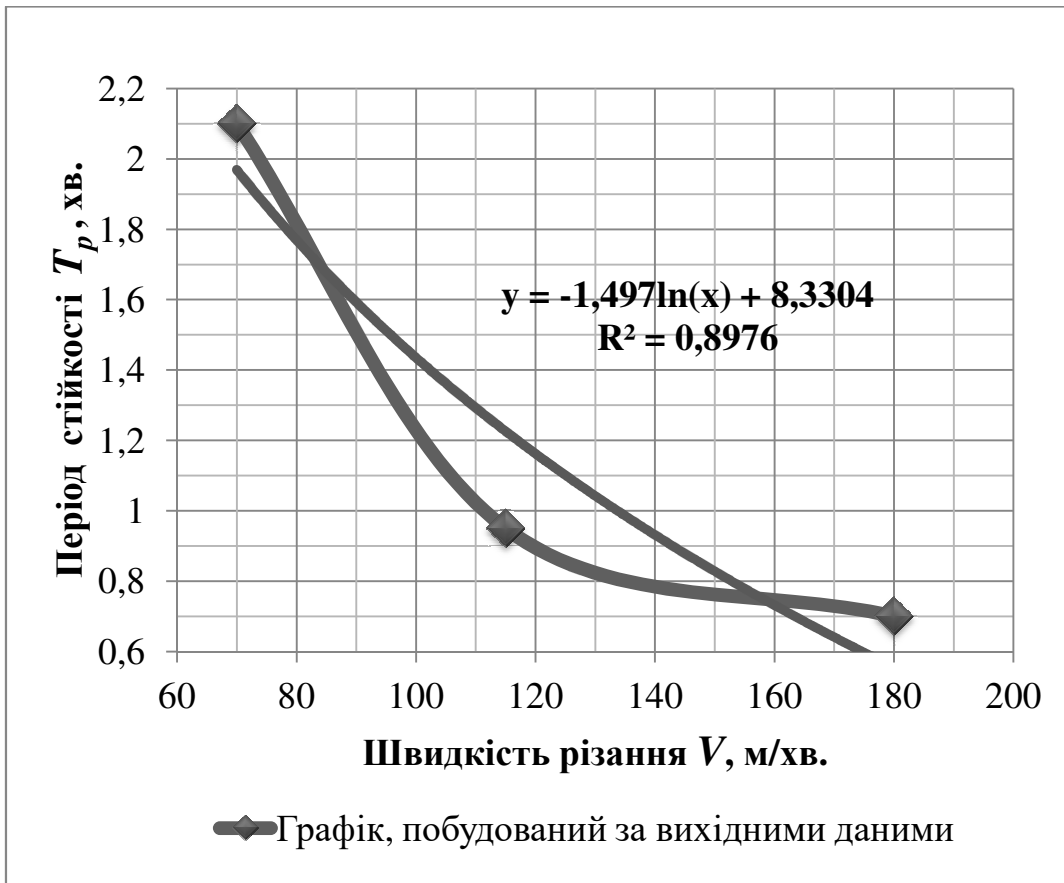


Рис. 4.15. Апроксимація функції $T_p = f(V)$ за логарифмічною залежністю в Microsoft Office Excel

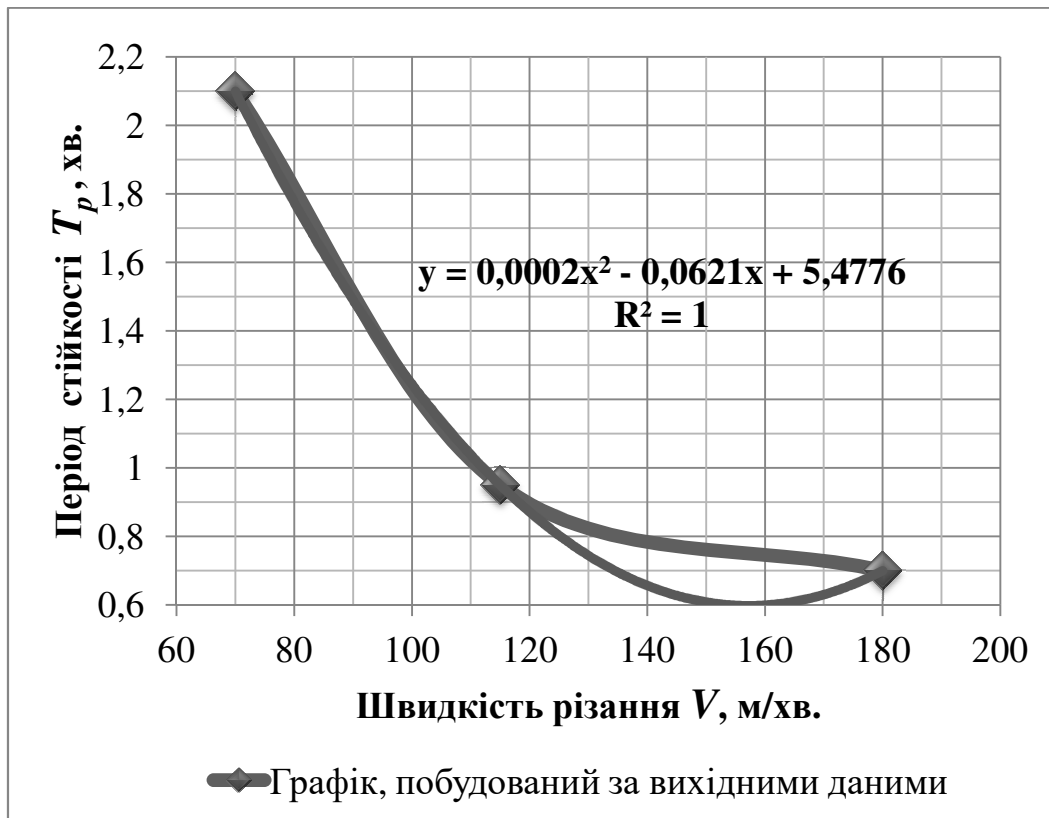


Рис. 4.16. Апроксимація функції $T_p = f(V)$ за поліноміальною залежністю в Microsoft Office Excel

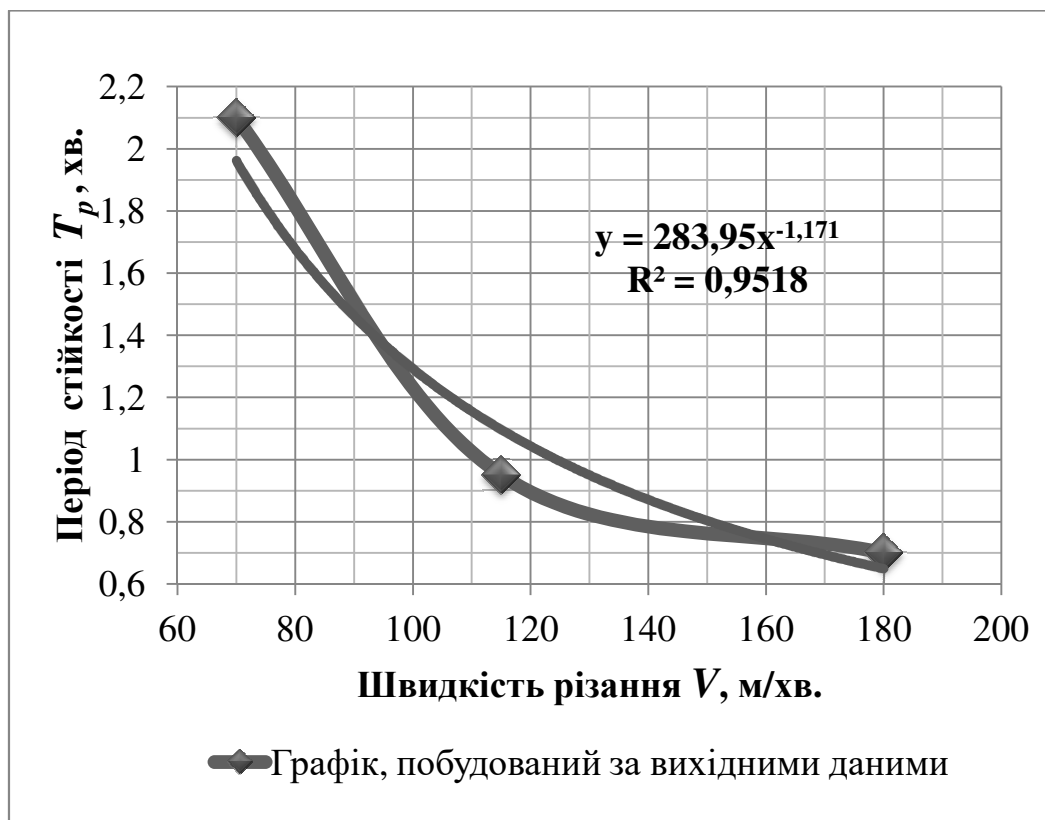


Рис. 4.17. Апроксимація функції $T_p = f(V)$ за степеневою залежністю в Microsoft Office Excel

Результати апроксимації функції $T_p = f(V)$ зводять в табл. 4.2.

Таблиця 4.2.

Результати апроксимації функції $T_p = f(V)$

Залежність, за якою апроксимувались вихідні дані	Функція апроксимації	Параметр достовірності апроксимації R^2
Експонентна	$y = 3,5998e-0,01x$	$R^2 = 0,8788$
Лінійна	$y = -0,0121x + 2,7219$	$R^2 = 0,8029$
Логарифмічна	$y = -1,497\ln(x) + 8,3304$	$R^2 = 0,8976$
Поліноміальна	$y = 0,0002x^2 - 0,0621x + 5,4776$	$R^2 = 1$
Степенева	$y = 283,95x^{-1,171}$	$R^2 = 0,9518$

Аналіз результатів апроксимації показує, що достовірність апроксимації найвища для поліноміальної функції ($R^2 = 1$), а степенева функція має другий результат з достовірністю ($R^2 = 0,9518$). Якщо прийняти до уваги, що поліноміальною залежністю відповідного степеня можна достовірно апроксимувати експериментальну функцію будь-якої складності, то можна зробити висновок: вихідні експериментальні дані дійсно підпорядковуються степеневій функції.

Отримана за допомогою Microsoft Office Excel степенева функція своїми константами відрізняється від тієї, що розрахована за допомогою системи

рівнянь (9) (див. рис. 4.12). Це можна пояснити тим, що при розрахунках використовуються різні критерії апроксимації (Microsoft Office Excel не використовує метод найменших квадратів).

Порядок виконання роботи

1. Вивчити техніку безпеки при роботі на верстаті.
2. Ознайомитись з обладнанням і вимірювальним інструментом, що використовується в даній роботі. Величина зношення інструмента вимірюється за допомогою великого інструментального мікроскопа (Додаток 2).
3. Занести дані про обладнання, інструмент, заготовку та режим оброблення до табл. 4.3.

Таблиця 4.3.
Вихідні дані

Верстат	Інструмент	Діаметр заготовки, мм: $D =$	
Матеріал заготовки	Матеріал інструмента	Геометричні параметри інструмента	
Глибина різання, мм $h =$	Подача, мм/об. $S =$		
Частота обертання заготовки n, об./хв.		$\varphi, ^\circ =$	$\alpha, ^\circ =$
$n_1 =$	$n_2 =$	$\varphi_1, ^\circ =$	$\gamma, ^\circ =$
	$n_3 =$		

4. Виконати експериментальну частину лабораторної роботи, отримані дані записати до табл. 4.4.

5. Отримати у викладача значення допустимого зношування по задній поверхні $[h_3]$, записати його до табл. 4.4.

6. Обрахувати загальну тривалість роботи інструмента τ_{Σ} , величину розмірного зношування h_p , величину допустимого розмірного зношування $[h_p]$, записати дані до табл. 4.4.

7. Користуючись даними табл. 4.4, побудувати графіки залежності величини розмірного зношування інструмента h_p від часу його експлуатації τ та швидкості різання V (рис. 4.4).

8. Апроксимувати експериментальні залежності до лінійних функцій (4) за допомогою системи рівнянь (5).

9. Призначити довільне значення тривалості роботи інструмента τ_0 , визначити з отриманих лінійних функцій або побудованих графіків величину розмірного зношування інструмента h_p для кожного з рівнів швидкості різання V . Записати дані до табл. 4.5.

10. Враховуючи допустиме розмірне зношування інструмента $[h_p]$, визначити з отриманих лінійних функцій або побудованих графіків величину періоду стійкості інструмента T_p для кожного із рівнів швидкості різання V .

Записати дані до табл. 4.5.

Таблиця 4.4.
Результати вимірювань та розрахунків

№ інструмента	Швидкість різання V , м/хв.		Тривалість роботи інструмента між вимірюваннями τ , хв.		Загальна тривалість роботи інструмента τ_{Σ} , хв.		Величина зношування по задній поверхні h_3 , мкм	Величина розмірного зношування h_p , мкм
1	V_1		τ_{11}		τ_{11}			
			τ_{12}		$\tau_{11}+$ τ_{12}			
			τ_{13}		$\tau_{11}+$ $\tau_{12}+$ τ_{13}			
2	V_2		τ_{21}		τ_{21}			
			τ_{22}		$\tau_{21}+$ τ_{22}			
			τ_{23}		$\tau_{21}+$ $\tau_{22}+$ τ_{23}			
3	V_3		τ_{31}		τ_{31}			
			τ_{32}		$\tau_{31}+$ τ_{32}			
			τ_{33}		$\tau_{31}+$ $\tau_{32}+$ τ_{33}			
Величина допустимого зношування							$[h_3]$, мкм	$[h_p]$, мкм

11. Користуючись даними табл. 4.5, визначити невідомі параметри в математичній моделі (6) за допомогою системи рівнянь (7) або провести апроксимацію експериментальних даних за допомогою Microsoft Office Excel.

12. Побудувати графіки функції $h_p = f(V)$.

13. Користуючись даними табл. 4.5, визначити невідомі параметри в

математичній моделі (8) за допомогою системи рівнянь (9) або провести апроксимацію експериментальних даних за допомогою Microsoft Office Excel.

Таблиця 4.5.
Результати розрахунків

Швидкість різання V , м/хв.	Довільне значення τ_0 , хв.	Величина розмірного зношування h_p , мкм	Величина допустимого розмірного зношування інструмента $[h_p]$, мкм	Період стійкості інструмента T_p , хв.
V_1				
V_2				
V_3				

14. Побудувати графіки функції $T_p = f(V)$.

15. Розробити технологічні рекомендації по зменшенню похибок, що виникають в результаті зношування інструмента.

16. Зробити висновки по роботі.

Зміст протоколу

1. Номер, назва роботи.

2. Мета та завдання роботи.

3. Вихідні дані, результати вимірювань та розрахунків (табл. 4.3, табл. 4.4).

4. Графіки залежності величини розмірного зношування інструмента h_p від часу його експлуатації τ та швидкості різання V (рис. 4.4).

5. Розрахунки для визначення лінійних функцій $h_p = f(\tau)$.

6. Результати розрахунків (табл. 4.5).

7. Розрахунки для визначення параметрів математичної моделі $h_p = f(V)$ або графіки функцій апроксимації, отриманих за допомогою Microsoft Office Excel.

8. Графіки функції $h_p = f(V)$.

9. Розрахунки для визначення математичної моделі $T_p = f(V)$ або графіки функцій апроксимації, отриманих за допомогою Microsoft Office Excel.

10. Графіки функції $T_p = f(V)$.

11. Технологічні рекомендації по зменшенню похибок, що виникають в результаті зношування інструмента.

12. Висновки по роботі.

Питання для підготовки до виконання роботи

1. Мета та завдання роботи.
2. Які види зношування розрізняють при механічному обробленні?
3. Які періоди (стадії) розрізняють при зношуванні інструмента?
4. Що називають розмірним зношуванням інструмента?
5. Що називають періодом стійкості інструмента?
6. Як впливає розмірне зношування інструмента на точність оброблення?
7. Які технологічні фактори впливають на зношування інструмента?
8. Який з елементів режиму різання найбільше впливає на зношування інструмента?
9. Методика визначення періоду стійкості інструмента, що використовується в даній лабораторній роботі.
10. Які види функцій можуть використовуватись для апроксимації експериментальних залежностей?
11. Як на практиці вимірюється величина розмірного зношування інструмента?
12. Технологічні рекомендації по зменшенню похибок, що виникають в результаті зношування інструмента.
13. Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи.

ТЕМПЕРАТУРНІ ДЕФОРМАЦІЇ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА

Мета та завдання роботи – дослідити вплив температурних деформацій різального інструмента на точність оброблення, вплив технологічних факторів на температурні деформації різальних інструментів, визначити математичні залежності температурних деформацій інструмента від елементів режиму різання.

Обладнання та оснащення

Лабораторну роботу виконують на верстатах з ЧПК токарної групи фірми HAAS або на токарно-гвинторізному верстаті моделі 16K20 (1K62). Температурні деформації інструмента вимірюються за допомогою індикатора годинникового типу, закріпленого на магнітній стійці. Облік часу роботи інструмента та часу його охолодження проводиться за допомогою секундоміра. Характеристики верстатів та вимірювальних інструментів приведені в Додатку 1.

Методичні рекомендації до виконання роботи

В процесі оброблення деталей на металорізальних верстатах в ТОС виділяється значна кількість теплоти. Джерелами теплоти є: процес різання (теплота різання), тертя сполучених деталей і вузлів верстата (теплота тертя), нагрівання електро- і гідроапаратури. Теплота, що виділяється, сприймається навколишнім середовищем і частково елементами самої ТОС, що призводить до зміни лінійних розмірів окремих деталей і вузлів ТОС та їх просторової орієнтації.

Для більшості способів оброблення теплота розподіляється таким чином:

- 10-15% - в інструмент;
- 10% - в заготовку (при свердлінні до 50%);
- 5% - в навколишнє середовище;
- 50-80% - в стружку.

ТЕМПЕРАТУРНА ДЕФОРМАЦІЯ деталі або вузла ТОС – це величина зміни лінійного розміру або просторової орієнтації цієї деталі або вузла в результаті нагрівання.

Температурні деформації елементів ТОС впливають на точність виготовлення виробів. Так, наприклад, різна деформація передніх і задніх підшипників шпинделя призводить до зміни положення осі його обертання (вісь обертання шпинделя стає непаралельною напрямним верстата), в результаті чого оброблена поверхня буде мати відхилення від циліндричності.

У певний момент часу кількість теплоти, що сприймається елементами ТОС, стане дорівнювати кількості теплоти, що віддається ними до навколишнього середовища, тобто настане ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ТОС.

Починаючи з цього часу температура, а значить і температурні деформації елементів ТОС будуть постійними.

Розрізняють три типи процесів механічного оброблення: стаціонарні, нестаціонарні та квазістаціонарні.

СТАЦІОНАРНИМ ПРОЦЕСОМ механічного оброблення називається такий процес, при якому система досягла теплового балансу і температурні деформації елементів ТОС не змінюються в часі.

НЕСТАЦІОНАРНИМ ПРОЦЕСОМ механічного оброблення називається такий процес, при якому температурні деформації елементів ТОС залежать від часу оброблення.

КВАЗІСТАЦІОНАРНИМ ПРОЦЕСОМ механічного оброблення називається такий процес, при якому ТОС не досягла теплового балансу, але температурні деформації елементів ТОС майже стабілізовано за рахунок її періодичного охолодження.

Температурні деформації одного з елементів ТОС - інструмента - викликають похибку $\varepsilon_{\text{темн.деф}}$, яка є змінною систематичною або постійною систематичною похибкою в залежності від стаціонарності процесу оброблення.

На рис. 5.1 приведено графіки залежності похибки $\varepsilon_{\text{темн.деф}}$ від часу роботи інструмента (1 – графік $\varepsilon_{\text{темн.деф}}=f(\tau)$ на початку роботи інструмента; 2 – графік $\varepsilon_{\text{темн.деф}}=f(\tau)$ при зупинці роботи на тривалий час; 3 – графік $\varepsilon_{\text{темн.деф}}=f(\tau)$ при роботі з короткими перервами, що викликані заміною заготовок, проведенням контролю розмірів тощо).

Графік 1 складається з ділянок нестаціонарного і стаціонарного процесів, графік 3 – з ділянок нестаціонарного і квазістаціонарного процесів.

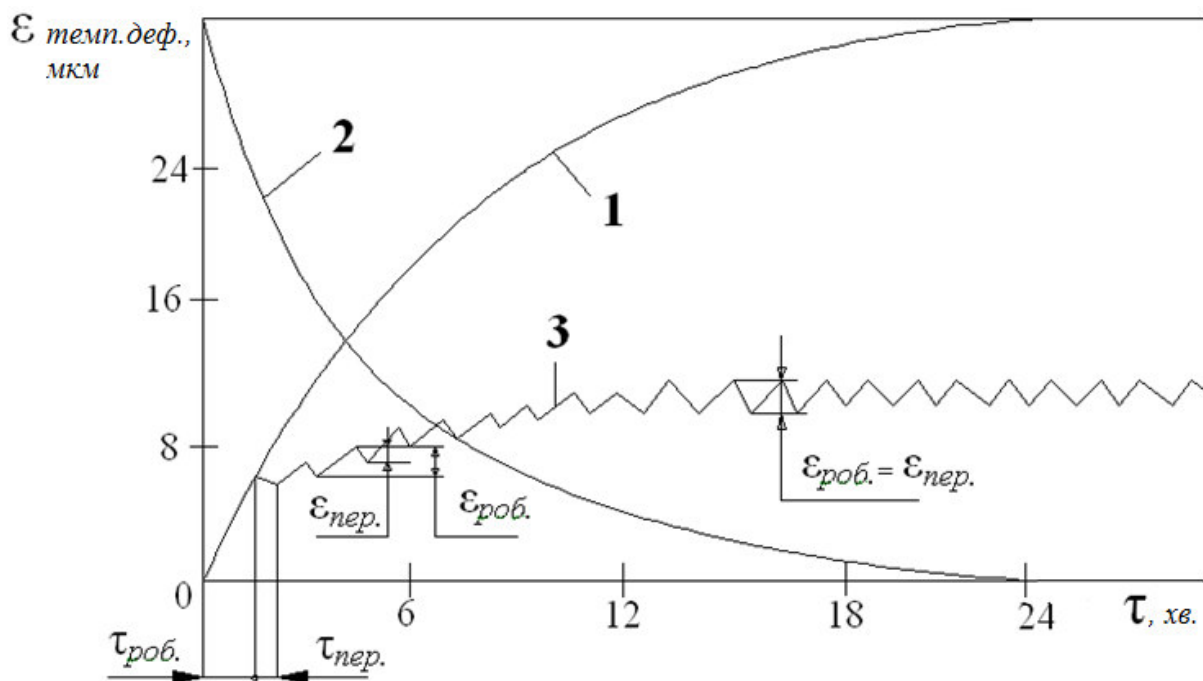


Рис. 5.1. Графіки залежності похибки $\varepsilon_{\text{темн.деф}}$ від часу роботи інструмента τ

Похибка $\varepsilon_{\text{темп.деф}}$ безпосередньо впливає на точність оброблюваних заготовок з появою похибки форми і похибки розміру. При обточуванні в нестационарному режимі роботи з'являється відхилення від циліндричності разом з похибкою розміру, діаметр заготовки зменшується за залежністю

$$D_i = D_{\text{налаг}} - \varepsilon_{\text{темп.деф.}i} = D_{\text{налаг}} - 2\Delta_{li},$$

де $D_{\text{налаг}}$ – початковий налагоджувальний розмір;

Δ_{li} – зміна розміру (температурна деформація) інструмента під час роботи.

При досягненні стаціонарного або квазістаціонарного режимів роботи відхилення від циліндричності відсутнє, залишається похибка розміру, що дорівнює

$$\Delta D = \varepsilon_{\text{темп.деф.}max} = 2\Delta_{lmax}.$$

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ТЕМПЕРАТУРНІ ДЕФОРМАЦІЇ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ. Найбільша кількість теплоти, що виділяється ТОС, припадає на процес різання. Кількість виділеної теплоти різання при токарному обробленні можна визначити за емпіричною залежністю:

$$Q = C_Q P_Z V,$$

де C_Q – коефіцієнт пропорційності;

P_Z – тангенціальна складова сили різання;

V – швидкість різання.

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ. Підвищення швидкості різання призводить до зростання загальної виділеної кількості теплоти різання, в той ж час відбувається перерозподіл частки теплоти, що поглинається стружкою, заготовкою, інструментом та зовнішнім середовищем. Через це при збільшенні швидкості різання температурні деформації різального інструмента можуть збільшуватися або зменшуватися.

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ПОДАЧІ. Вплив швидкості подачі на температурні деформації різального інструменту обумовлений залежністю від неї тангенціальної складової сили різання

$$P_Z = C_{P_Z} \cdot S^{0,75} \cdot h,$$

де C_{P_Z} - коефіцієнт пропорційності;

S – швидкість подачі;

h - глибина різання.

Крім того, збільшення величини подачі призводить до збільшення довжини лінії контакту стружки з передньою поверхнею інструмента та збільшенню усадки стружки, що також підвищує загальну кількість виділеної теплоти і, зокрема, теплоти, поглиненої інструментом.

ВПЛИВ ГЛИБИНИ РІЗАННЯ. Вплив глибини різання на температурні деформації різального інструмента пов'язаний залежністю від неї тангенціальної складової сили різання (див. вище). Крім того, при збільшенні глибини різання збільшується ширина контакту стружки з передньою поверхнею різця, що призводить до додаткового його нагріву.

Для визначення впливу режиму оброблення (зокрема, швидкості подачі) на температурні деформації різального інструмента необхідно провести експериментальні дослідження.

Для кожного режиму оброблення (змінюється швидкість подачі) заготовки оброблюються протягом певного часу. Після припинення роботи інструмент підводиться до індикатора, встановленого на індикаторній стійці на станині верстата (використовується індикатор годинникового типу з ціною поділки $C = 0,001$ мм). За допомогою секундоміра визначається час, що минув з моменту закінчення роботи інструмента до початку вимірювання. Через певні проміжки часу визначається величина зменшення довжини (температурної деформації) інструмента.

За результатами вимірювань будуються графіки залежностей температурної деформації інструмента Δ_l від часу охолодження τ та величини подачі S (рис. 5.2).

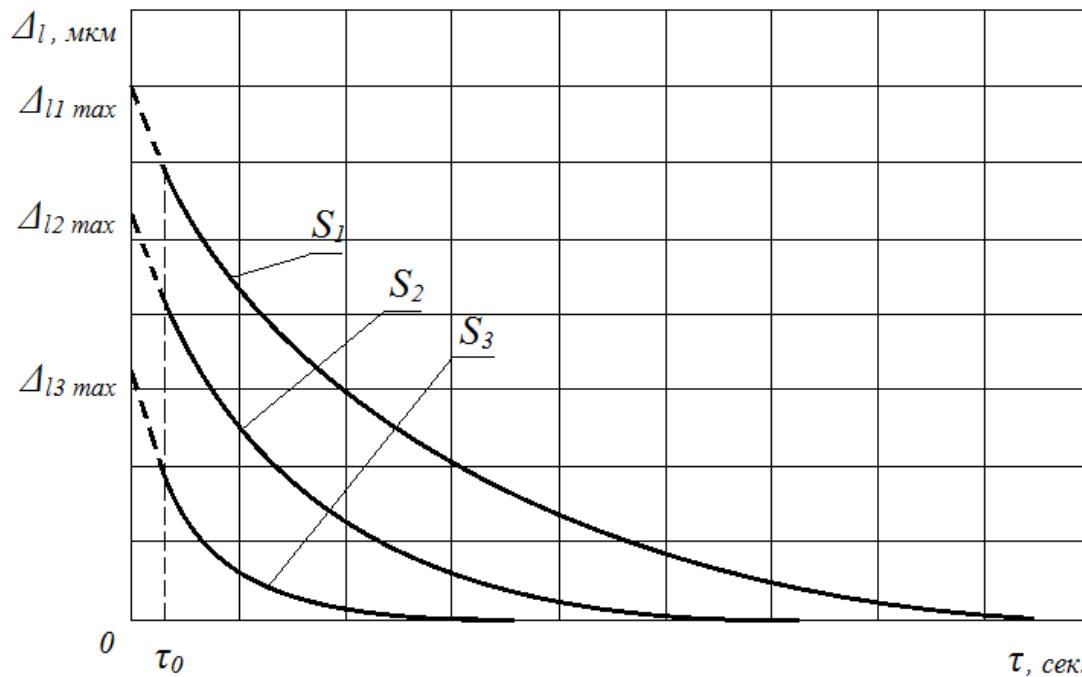


Рис. 5.2. Графіки залежностей температурної деформації інструмента Δ_l від часу охолодження τ та величини подачі S

Зважаючи на те, що певний час (від моменту закінчення роботи інструмента $\tau=0$ до моменту початку вимірювань $\tau=\tau_0$) температурна деформація інструмента Δ_l не контролюється, на цю ділянку ($\tau=0\dots\tau_0$) графіки функцій $\Delta_l = f(\tau)$ потрібно екстраполювати. Тенденцію поведінки функцій на ділянці $\tau=0\dots\tau_0$ визначають за їх поведінкою на момент початку вимірювань.

В літературних джерелах стверджується, що функція $\Delta_l = f(\tau)$ є показниковою (експонентною) функцією виду:

$$y = c \cdot a^x = c \cdot e^{x \cdot \ln a},$$

де c – коефіцієнт;

a – основа степеня.

При $0 < a < 1$ функція приймає вид:

$$y = c \cdot e^{-bx},$$

або (для виконуваних розрахунків):

$$\Delta_l = c \cdot e^{-b\tau}. \quad (1)$$

При апроксимації функції використовується метод найменших квадратів. При цьому доцільно розраховувати не мінімальні суми квадратів відхилень функції, а мінімальні суми квадратів відхилень логарифмів функції.

ЗА ТРАДИЦІЙНОЮ МЕТОДИКОЮ РОЗРАХУНКІВ для визначення параметрів c і b для кожного з рівнів подачі S необхідно вирішити ☹ систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} N \cdot \ln c - b \sum_{1}^N \tau_i &= \sum_{1}^N \ln \Delta_{li}; \\ \ln c \sum_{1}^N \tau_i - b \sum_{1}^N \tau_i^2 &= \sum_{1}^N (\tau_i \cdot \ln \Delta_{li}), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де N – кількість експериментальних точок для кожної з функцій.

ЗА ДОПОМОГОЮ MICROSOFT OFFICE EXCEL параметри c і b для кожного з рівнів подачі S розраховуються автоматично ☺ і виводяться на поле діаграми. При бажанні можна також вивести на поле діаграми величину достовірності апроксимації R^2 (рис. 5.3). Для прикладу розрахунків використовувались реальні експериментальні дані.

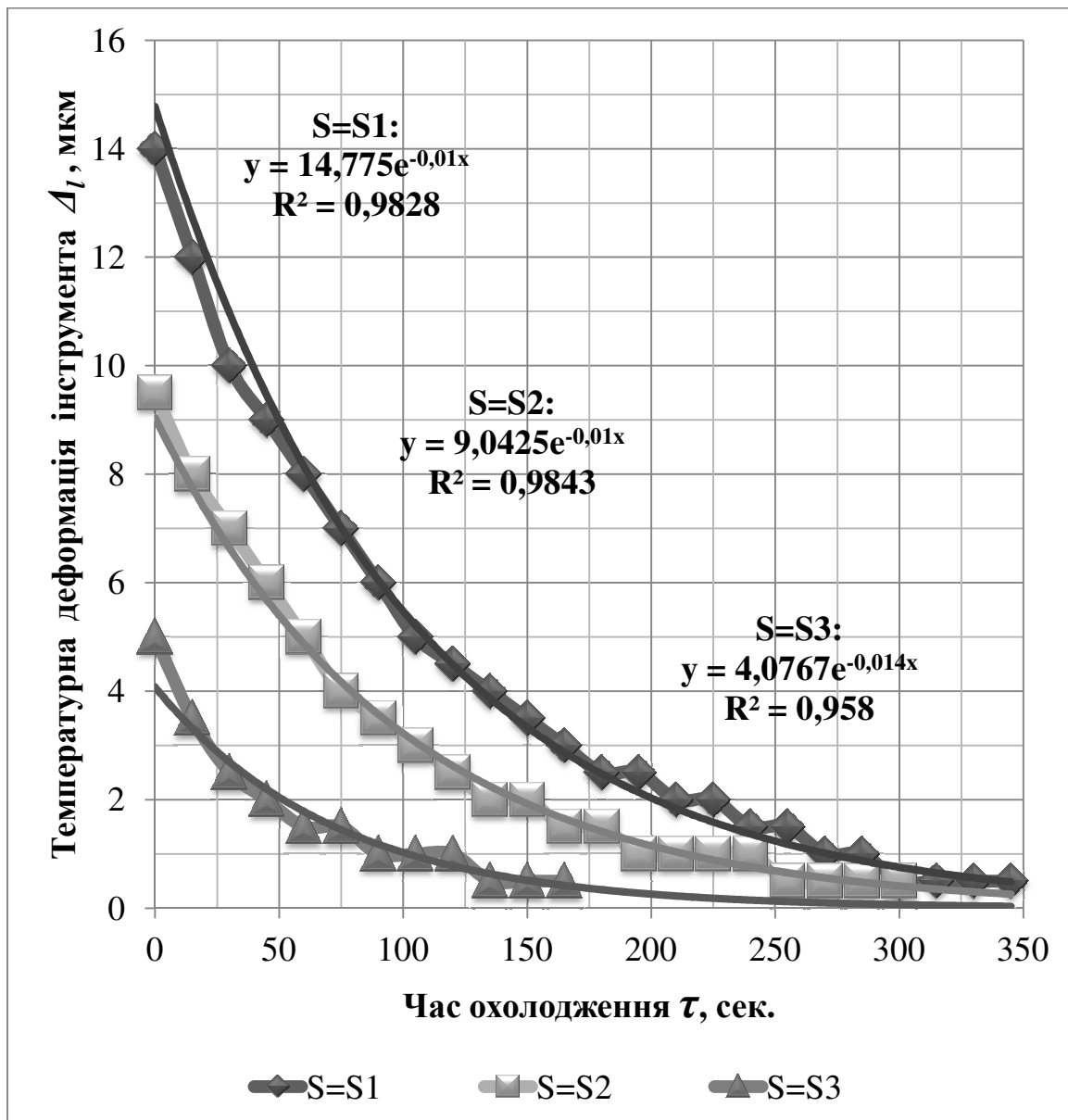


Рис. 5.3. Залежність температурної деформації інструмента Δ_l від часу охолодження τ та величини подачі S (за розрахунками в Microsoft Office Excel)

Якщо задати значення часу, що відповідає моменту закінчення роботи інструмента ($\tau=0$), то за допомогою залежностей (1) або графіків (рис. 5.2) можна отримати значення величини $\Delta_{l\max}$ для кожного з рівнів подачі S .

З літературних джерел відомо, що математична модель залежності величини температурної деформації інструмента Δ_l від швидкості подачі S має вигляд:

$$\Delta_l = C_{\Delta_l} S^m, \quad (3)$$

де C_{Δ_l} – коефіцієнт;

m – показник степеня; $0 < m < 1$.

При апроксимації експериментальних залежностей до виду степеневих функцій також можна скористатись методом найменших квадратів, але при цьому доцільно мінімізувати суми квадратів відхилень функції.

ЗА ТРАДИЦІЙНОЮ МЕТОДИКОЮ РОЗРАХУНКІВ для визначення C_{Δ_l} та m необхідно вирішити \ominus систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} n \cdot \lg C_{\Delta_l} + m \sum_1^n \lg S_j &= \sum_1^n \lg \Delta_{l_j}; \\ \lg C_{\Delta_l} \sum_1^n \lg S_j + m \sum_1^n (\lg S_j)^2 &= \sum_1^n (\lg S_j \cdot \lg \Delta_{l_j}), \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де n – кількість досліджуваних рівнів швидкості подачі.

Точність апроксимації перевіряють підстановкою в отриману математичну модель (3) вихідних експериментальних даних.

За вихідними даними та даними, отриманими в результаті розрахунків за моделлю, будуються графіки функції $\Delta_l = f(S)$ (рис. 5.4).

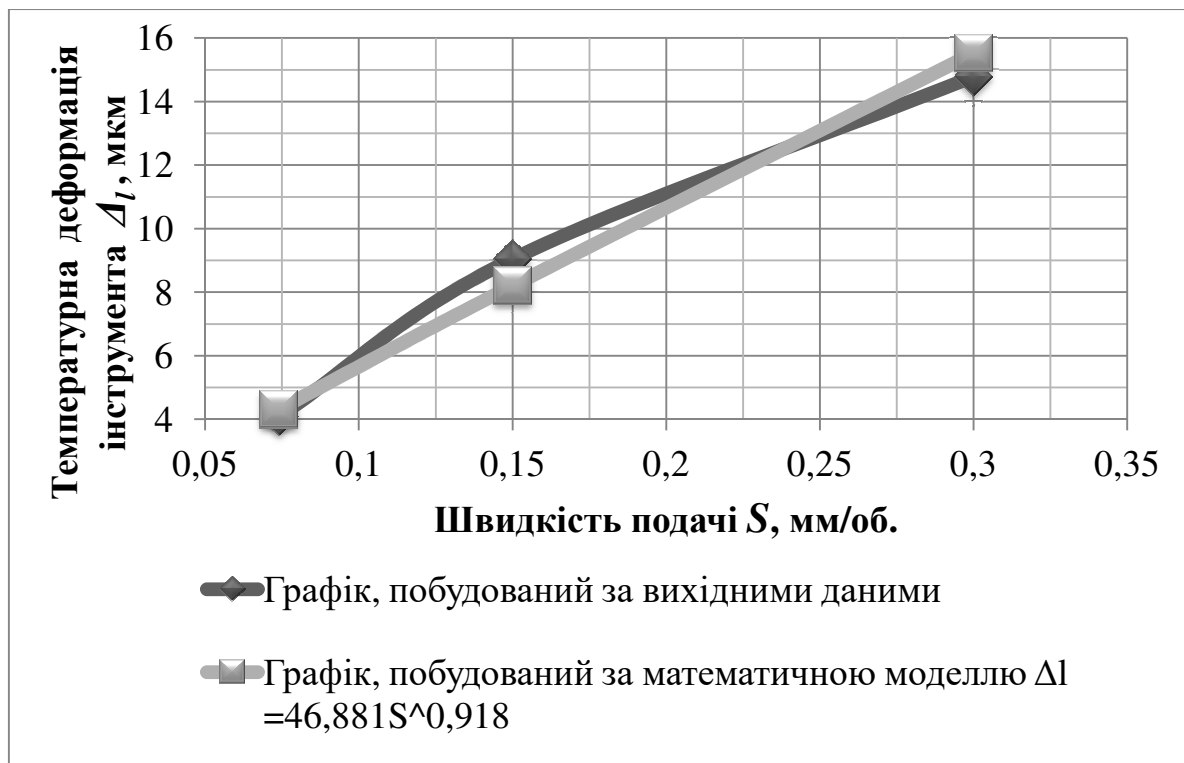


Рис. 5.4. Графіки функції $\Delta_l = f(S)$

Як видно з рис. 5.4, побудований за математичною моделлю графік не зовсім адекватний графіку, побудованому за вихідними даними. Це пояснюється тим, що масив вихідних даних не може бути в повній мірі описаний степеневою залежністю.

ЗА ДОПОМОГОЮ MICROSOFT OFFICE EXCEL експериментальні дані можна апроксимувати за експонентною, лінійною, логарифмічною,

поліноміальною та степеневою залежностями. При цьому коефіцієнти та показники степеня розраховуються автоматично ☺ та виводяться на поле діаграми. Крім того, можна контролювати достовірність апроксимації за параметром R^2 (рис. 5.5 - рис. 5.9).

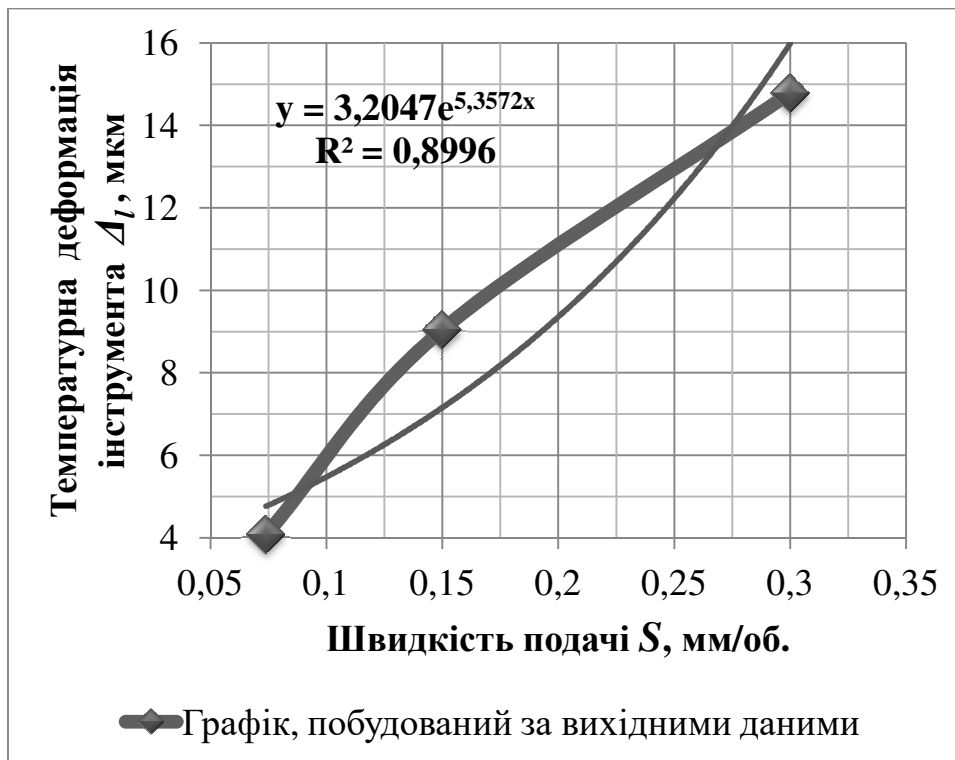


Рис. 5.5. Апроксимація функції $\Delta_l = f(S)$ за експонентною залежністю в Microsoft Office Excel

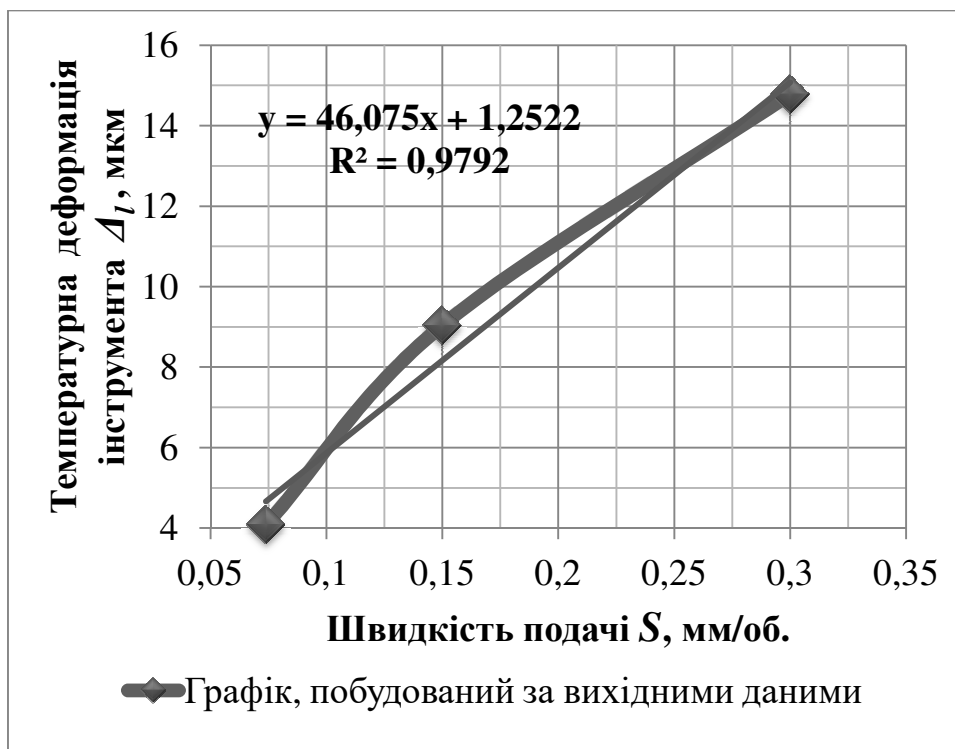


Рис. 5.6. Апроксимація функції $\Delta_l = f(S)$ за лінійною залежністю в Microsoft Office Excel

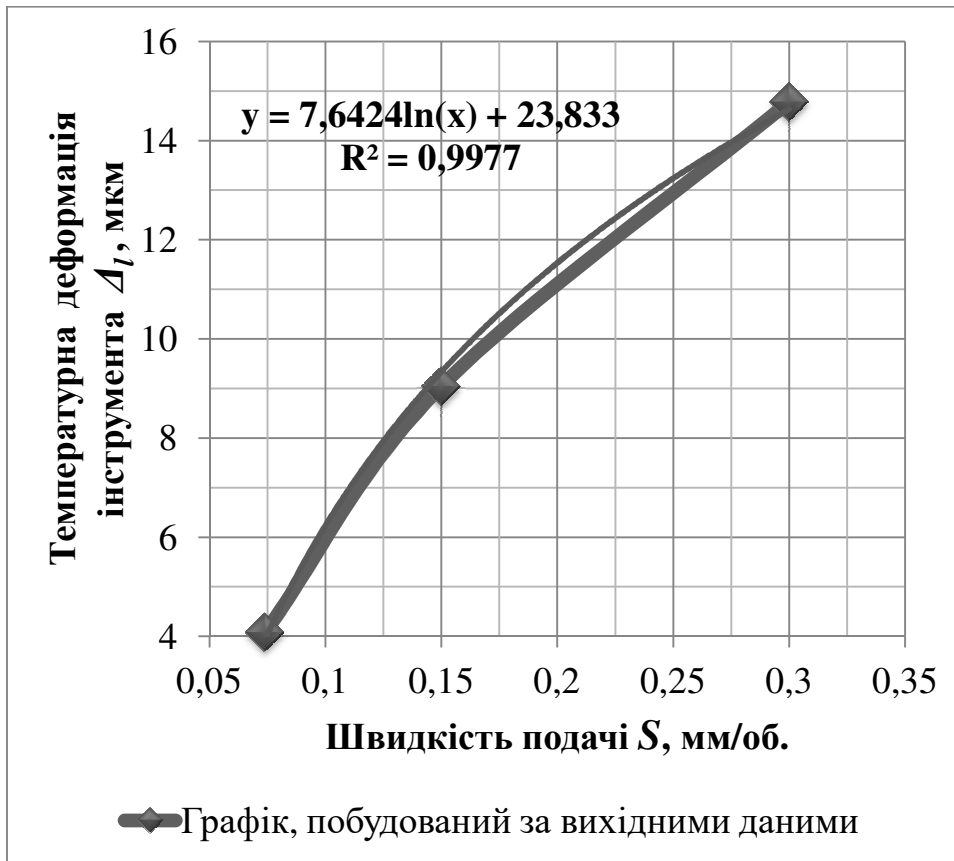


Рис. 5.7. Апроксимація функції $\Delta_l = f(S)$ за логарифмічною залежністю в Microsoft Office Excel

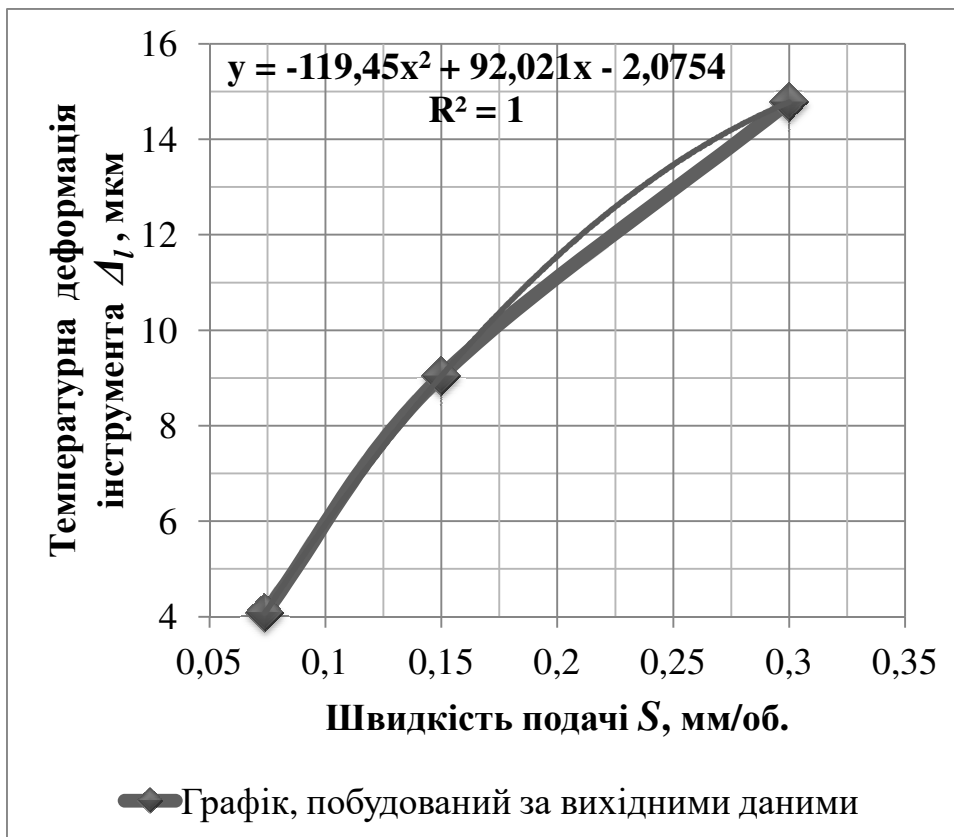


Рис. 5.8. Апроксимація функції $\Delta_l = f(S)$ за поліноміальною залежністю в Microsoft Office Excel

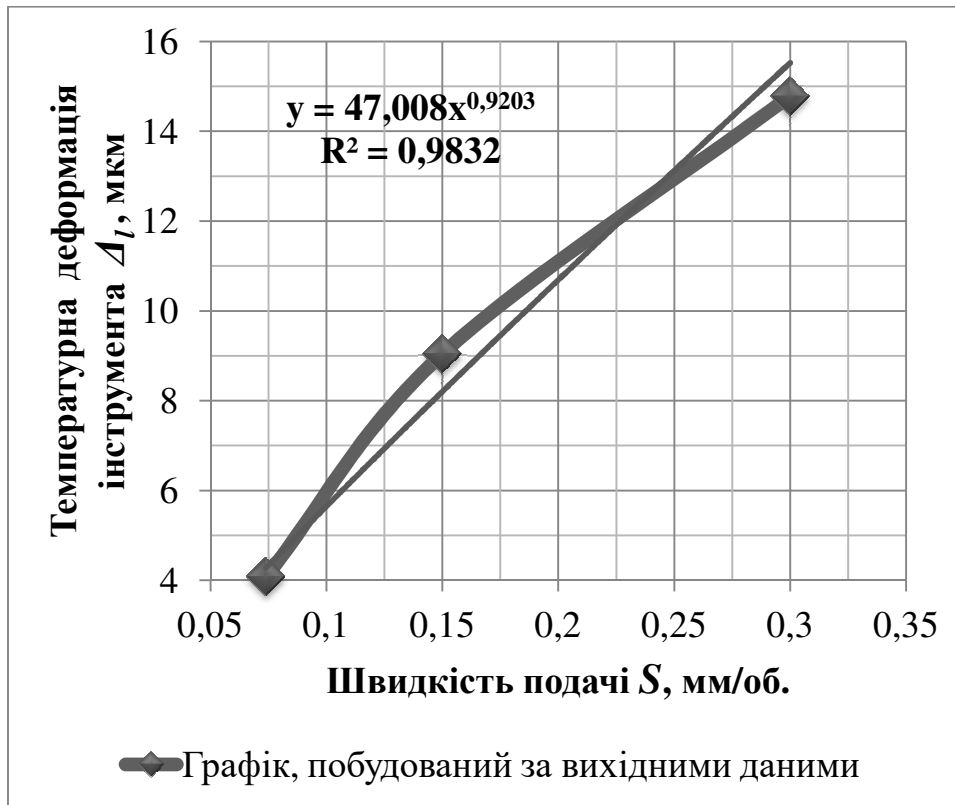


Рис. 5.9. Апроксимація функції $\Delta_l = f(S)$ за степеневою залежністю в Microsoft Office Excel

Результати апроксимації функції $\Delta_l = f(S)$ зводять в табл. 5.1.

Таблиця 5.1.

Результати апроксимації функції $\Delta_l = f(S)$

Залежність, за якою апроксимувались вихідні дані	Функція апроксимації	Параметр достовірності апроксимації R^2
Експонентна	$y = 3,2047e^{5,3572x}$	$R^2 = 0,8996$
Лінійна	$y = 46,075x + 1,2522$	$R^2 = 0,9792$
Логарифмічна	$y = 7,6424\ln(x) + 23,833$	$R^2 = 0,9977$
Поліноміальна	$y = -119,45x^2 + 92,021x - 2,0754$	$R^2 = 1$
Степенева	$y = 47,008x^{0,9203}$	$R^2 = 0,9832$

Аналіз результатів апроксимації показує, що достовірність апроксимації найвища для поліноміальної функції ($R^2 = 1$), а степенева функція, яка постулювалась як найбільш прийнятна для апроксимації, має лише третій результат з достовірністю ($R^2 = 0,9832$). Тобто вихідні експериментальні дані не в повній мірі підпорядковуються степеневій функції.

Це можна пояснити невірно побудованим планом експерименту (невірно вибрані значення рівнів кожного з факторів, кількість рівнів тощо).

Отримана за допомогою Microsoft Office Excel степенева функція своїми константами майже не відрізняється від тієї, що розрахована за допомогою системи рівнянь (4) (див. рис. 5.4).

Порядок виконання роботи

1. Вивчити техніку безпеки при роботі на верстаті.
2. Ознайомитись з обладнанням і вимірювальним інструментом, що використовується в даній роботі.
3. Занести дані про обладнання, інструмент, заготовку та режим оброблення до табл. 5.2.

Таблиця 5.2.
Вихідні дані

Верстат	Інструмент	Діаметр заготовки, мм: $D =$	
Матеріал заготовки	Матеріал інструмента	Час роботи інструмента, $T =$ хв.	
Глибина різання, мм $h =$	Частота обертання заготовки, об./хв. $n =$	Геометричні параметри інструмента	
Подача, мм/об. $S_1 =$ $S_2 =$ $S_3 =$		$\varphi, ^\circ =$	$\alpha, ^\circ =$
		$\varphi_1, ^\circ =$	$\gamma, ^\circ =$

4. Виконати експериментальну частину лабораторної роботи, отримані дані записати до табл. 5.3.

При заповненні таблиці необхідно враховувати, що:

- τ_{stop} – момент часу, коли закінчилась робота інструмента;
- τ_0 – момент часу початку вимірювань;
- τ_1, τ_2, τ_3 – час першого, другого, третього виміру тощо;
- P_{max} – максимальне показання індикатора;
- $\Delta_{l max}$ – максимальна температурна деформація інструмента (відповідає моменту часу τ_{stop});
- $\Delta_{l 0}$ – температурна деформація інструмента від моменту закінчення його роботи $\tau = \tau_{stop} = 0$ до моменту початку вимірювань $\tau = \tau_0$. Величина $\Delta_{l 0}$ визначається шляхом екстраполяції.

5. Користуючись даними табл. 5.3, побудувати графіки експериментальних залежностей температурної деформації інструмента Δ_l від часу охолодження τ та величини подачі S (рис. 5.2).

6. Апроксимувати експериментальні залежності до показникових (експонентних) функцій (1) за допомогою системи рівнянь (2) або за допомогою Microsoft Office Excel (рис. 5.3).

7. Користуючись даними табл. 5.3, визначити невідомі параметри в математичній моделі (3) за допомогою системи рівнянь (4) або провести

апроксимацію експериментальних даних за допомогою Microsoft Office Excel.

8. Побудувати графіки функції $\Delta_l = f(S)$.

9. Розробити технологічні рекомендації по зменшенню похибок, що виникають в результаті температурних деформацій інструмента.

10. Зробити висновки по роботі.

Таблиця 5.3.

Результати вимірювань та розрахунків

Час τ , сек.	$S_1 =$		$S_2 =$		$S_3 =$	
	Показання індикатора Π , мкМ	Температурна деформація інструмента Δ_l , мкМ	Показання індикатора Π , мкМ	Температурна деформація інструмента Δ_l , мкМ	Показання індикатора Π , мкМ	Температурна деформація інструмента Δ_l , мкМ
$\tau_{stop} = 0$	-	$\Delta_{l\ max} = \Pi_{max} +$ $\Delta_{l\ 0} =$	-	$\Delta_{l\ max} = \Pi_{max} +$ $\Delta_{l\ 0} =$	-	$\Delta_{l\ max} = \Pi_{max} +$ $\Delta_{l\ 0} =$
$\tau_0 = 15$	-	$\Pi_{max} =$	-	$\Pi_{max} =$	-	$\Pi_{max} =$
$\tau_1 = 30$	$\Pi_1 =$	$\Pi_{max} - \Pi_1 =$	$\Pi_1 =$	$\Pi_{max} - \Pi_1 =$	$\Pi_1 =$	$\Pi_{max} - \Pi_1 =$
$\tau_2 = 45$	$\Pi_2 =$	$\Pi_{max} - \Pi_2 =$	$\Pi_2 =$	$\Pi_{max} - \Pi_2 =$	$\Pi_2 =$	$\Pi_{max} - \Pi_2 =$
$\tau_3 = 60$	$\Pi_3 =$	$\Pi_{max} - \Pi_3 =$	$\Pi_3 =$	$\Pi_{max} - \Pi_3 =$	$\Pi_3 =$	$\Pi_{max} - \Pi_3 =$
$\tau_4 = 75$	$\Pi_4 =$	$\Pi_{max} - \Pi_4 =$	$\Pi_4 =$	$\Pi_{max} - \Pi_4 =$	$\Pi_4 =$	$\Pi_{max} - \Pi_4 =$
$\tau_5 = 90$	$\Pi_5 =$	$\Pi_{max} - \Pi_5 =$	$\Pi_5 =$	$\Pi_{max} - \Pi_5 =$	$\Pi_5 =$	$\Pi_{max} - \Pi_5 =$
$\tau_6 = 105$	$\Pi_6 =$	$\Pi_{max} - \Pi_6 =$	$\Pi_6 =$	$\Pi_{max} - \Pi_6 =$	$\Pi_6 =$	$\Pi_{max} - \Pi_6 =$
$\tau_7 = 120$	$\Pi_7 =$	$\Pi_{max} - \Pi_7 =$	$\Pi_7 =$	$\Pi_{max} - \Pi_7 =$	$\Pi_7 =$	$\Pi_{max} - \Pi_7 =$
$\tau_8 = 135$	$\Pi_8 =$	$\Pi_{max} - \Pi_8 =$	$\Pi_8 =$	$\Pi_{max} - \Pi_8 =$	$\Pi_8 =$	$\Pi_{max} - \Pi_8 =$
$\tau_9 = 150$	$\Pi_9 =$	$\Pi_{max} - \Pi_9 =$	$\Pi_9 =$	$\Pi_{max} - \Pi_9 =$	$\Pi_9 =$	$\Pi_{max} - \Pi_9 =$
$\tau_{10} = 165$	$\Pi_{10} =$	$\Pi_{max} - \Pi_{10} =$	$\Pi_{10} =$	$\Pi_{max} - \Pi_{10} =$	$\Pi_{10} =$	
$\tau_{11} = 180$	$\Pi_{11} =$	$\Pi_{max} - \Pi_{11} =$	$\Pi_{11} =$	$\Pi_{max} - \Pi_{11} =$	$\Pi_{11} =$	
$\tau_{12} = 195$	$\Pi_{12} =$	$\Pi_{max} - \Pi_{12} =$	$\Pi_{12} =$	$\Pi_{max} - \Pi_{12} =$	$\Pi_{12} =$	
$\tau_{13} = 210$	$\Pi_{13} =$	$\Pi_{max} - \Pi_{13} =$	$\Pi_{13} =$	$\Pi_{max} - \Pi_{13} =$		
$\tau_{14} = 225$	$\Pi_{14} =$	$\Pi_{max} - \Pi_{14} =$	$\Pi_{14} =$	$\Pi_{max} - \Pi_{14} =$		
$\tau_{15} = 240$	$\Pi_{15} =$	$\Pi_{max} - \Pi_{15} =$	$\Pi_{15} =$			
$\tau_{16} = 255$	$\Pi_{16} =$	$\Pi_{max} - \Pi_{16} =$	$\Pi_{16} =$			
$\tau_{17} = 270$	$\Pi_{17} =$	$\Pi_{max} - \Pi_{17} =$	$\Pi_{17} =$			
$\tau_{18} = 285$	$\Pi_{18} =$	$\Pi_{max} - \Pi_{18} =$				
$\tau_{19} = 300$	$\Pi_{19} =$	$\Pi_{max} - \Pi_{19} =$				
$\tau_{20} = 315$	$\Pi_{20} =$	$\Pi_{max} - \Pi_{20} =$				
$\tau_{21} = 330$	$\Pi_{21} =$	$\Pi_{max} - \Pi_{21} =$				
$\tau_{22} = 345$	$\Pi_{22} =$	$\Pi_{max} - \Pi_{22} =$				
$\tau_{23} = 360$	$\Pi_{23} =$					
$\tau_{24} = 375$	$\Pi_{24} =$					
$\tau_{25} = 390$	$\Pi_{25} =$					

Зміст протоколу

1. Номер, назва роботи.
2. Мета та завдання роботи.
3. Вихідні дані, результати вимірювань та розрахунків (табл. 5.2, табл. 5.3).
4. Графіки експериментальних залежностей температурної деформації інструмента Δ_l від часу охолодження τ та величини подачі S (рис. 5.2).
5. Розрахунки для визначення показникових (експонентних) функцій $\Delta_l=f(\tau)$ або графіки функцій апроксимації, отриманих за допомогою Microsoft Office Excel.
6. Розрахунки для визначення параметрів математичної моделі $\Delta_l = f(S)$ або графіки функцій апроксимації, отриманих за допомогою Microsoft Office Excel.
7. Графіки функції $\Delta_l = f(S)$.
8. Технологічні рекомендації по зменшенню похибок, що виникають в результаті температурних деформацій інструмента.
9. Висновки по роботі.

Питання для підготовки до виконання роботи

1. Мета та завдання роботи.
2. Причини виникнення температурних деформацій ТОС.
3. Як впливають температурні деформації ТОС на точність оброблення?
4. Чим відрізняються нестационарні процеси оброблення від стаціонарних та квазістаціонарних?
5. Що називається тепловим балансом ТОС?
6. Які технологічні фактори впливають на температурні деформації інструмента?
7. Як впливають на температурні деформації інструмента елементи режиму різання (швидкість різання, швидкість подачі, глибина різання)?
8. Як впливають температурні деформації різального інструмента (мірного та немірного) на точність оброблення?
9. Як експериментально визначити величину температурних деформацій інструмента при точінні?
10. Функцією якого виду апроксимується залежність температурних деформацій інструмента під час його охолодження?
11. Технологічні рекомендації по зменшенню похибок, що виникають в результаті температурних деформацій інструмента.

ЛІТЕРАТУРА

1. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1985. – 496 с.
2. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А., Петраков Ю. В. Технологія машинобудування. Підручник.: ЖДТУ, Житомир.–2005, 835 с.
3. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учеб. для машиностроит. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 2001. – 591 с.
4. Дальский А.М., Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Суслов А.Г. Справочник технолога-машиностроителя. 5-е изд., исправл. – М.: Машиностроение-1. Т.1, 2003. – 912 с.
5. Дальский А.М., Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Суслов А.Г. Справочник технолога-машиностроителя. 5-е изд., исправл. – М.: Машиностроение-1. Т.2, 2003. – 944 с.
6. Скраган В.А., Амосов И.С., Смирнов А.А. Лабораторные работы по технологии машиностроения. Учебное пособие для студентов вузов по курсу «Технология машиностроения». Л.: Машиностроение, 1974. 192 с.
7. Панов А.А., Аникин В.В. и др. Обработка металлов резанием. Справочник технолога. Второе издание, переработанное и дополн. – М.: Машиностроение. 2004. – 784 с.
8. Измерения и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности. Дунин-Барковский И.В., Карташова А.Н. – М.: Машиностроение., 1978. – 232 с.
9. Королюк В.С., Портенко Н.И., Скороход А.В. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Наука. 1985. – 640 с.
10. Радзевич С.П. Формообразование поверхностей деталей. Основы теории. Монография. – К.: Растан, 2001. – 592с.
11. ГОСТ 25346-89. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений.
12. ГОСТ 25347-2013. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Ряды допусков, предельные отклонения отверстий и валов.
13. ГОСТ 25142-1982. Шероховатость поверхности. Термины и определения.
14. ГОСТ 10356-63. Отклонения формы и расположения поверхностей. Основные определения. Предельные отклонения.
15. ГОСТ 24643-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения.
16. ГОСТ Р 53442-2009. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения.
17. Правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт.

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЛАДНАННЯ ТА ВИМІРЮВАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

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



Параметры рабочей зоны

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

Параметры шпинделя

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

Параметры подач

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

Параметры инструментального револьвера

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

Параметры приводного инструмента и С-оси

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

Включает 1 радиальную и 1 осевую приводные станции

Параметры точности

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

Параметры устройства ЧПУ

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

Параметры управления УЧПУ

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

Параметры подключения и установки

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

Особенности конструкции

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

Базовая комплектация

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

Опции, включенные в европейскую комплектацию

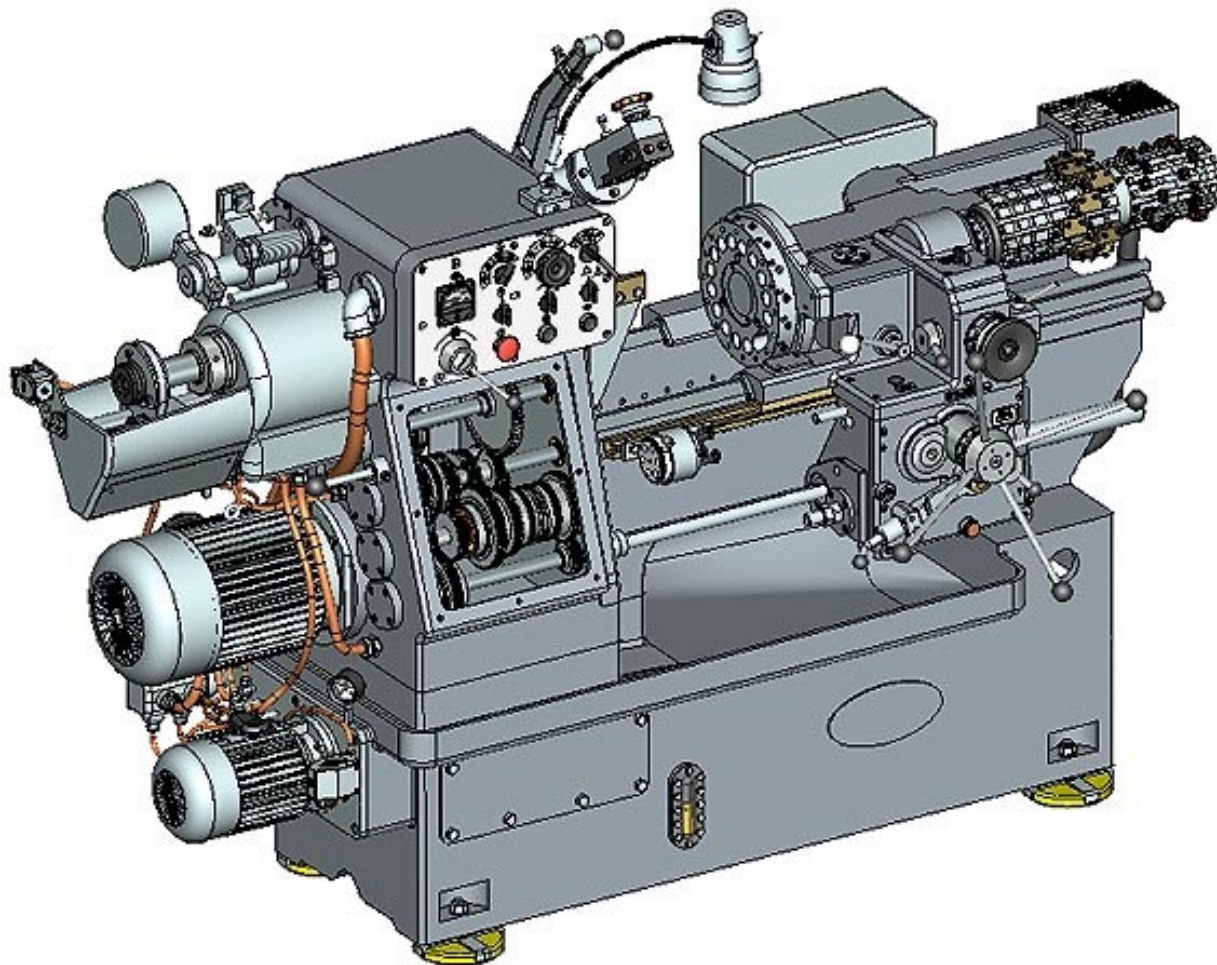
LT2-HT	Система приводного инструмента и С-оси
USB	USB порт
SO	Ориентация шпинделя
RTAP	Цикл прямого резьбонарезания
EXPACK	Экспортная упаковка
INTRN	Внутренний автотрансформатор (354–480 В)
KEY	Кнопочный выключатель для блокировки памяти
CE	Соответствие нормам безопасности CE

ТОКАРНО-ГВИНТОРИЗНЫЙ ВЕРСТАТ 16К20 (1К62)



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

ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНИЙ ВЕРСТАТ 1К341



Верстати моделі 1К341 призначені для оброблення деталей з прутка і штучних заготовок в умовах серійного і малосерійного виробництва. Обточування, розточування, проточування канавок, свердління, зенкерування, розвертання, нарізування різьби плашками, мітчиками.

Максимальний діаметр оброблюваного прутка 40 мм

Найбільший діаметр заготовки, що затискається в патроні:

- над станиною 400 мм

- над кареткою супорта 380 мм

Число частот обертання шпинделя 8 (60-2000 об./хв.)

Число поперечних подач 8 (0,03-0,48 мм/об.)

Число повздовжніх подач 16 (0,05-1,6 мм/об.)

Найбільша довжина нарізування різьби 50 мм

Габаритні розміри 3000x1200x1600 мм

Клас точності верстату за ГОСТ 8-82, (Н, П, В, А, С) Н

Найбільша довжина оброблюваної деталі, мм 630

Потужність електродвигуна головного руху, кВт 5,5

Маса, кг 2200

Аналог 1341

ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНИЙ ВЕРСТАТ 16Б05П

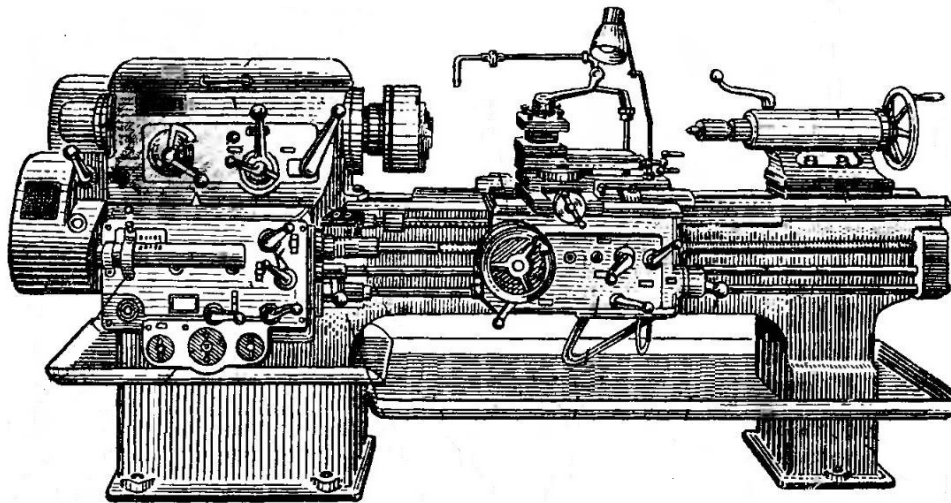


Токарно-гвинторізний верстат 16Б05П відноситься до класу верстатів з підвищеною точністю робіт. Основне призначення верстату полягає у виконанні різних видів токарних робіт при закріпленні заготовок в центрах, патроні, цанзі і на планшайбі, а також операцій по нарізуванні модульної, метричної та дюймової різьби.

Верстат 16Б05П знаходить застосування в галузях приладобудування, точного машинобудування та в інструментальній промисловості.

Характеристики	
Клас точності верстату за ГОСТ 8-82, (Н, П, В, А, С)	П
Максимальний діаметр деталі над станиною, мм	250
Максимальний діаметр деталі над супортом, мм	145
Максимальна довжина оброблюваної деталі, мм	500
Межі частот обертання шпинделя, Min/Max, об./хв.	30/3000
Потужність двигуна головного руху, кВт	1.5
Габаритні розміри:	1510x725x1360
Вага, кг	715

ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНИЙ ВЕРСТАТ 1А62



Технічні характеристики верстату 1А62

Клас точності за ГОСТ 8-82 Н

Найбільший діаметр заготовки над станиною – 400 мм

Найбільший діаметр заготовки над супортом - 210 мм

Найбільша довжина заготовки (ВМЦ) - 750, 1000, 1500 мм

Шпиндель:

Діаметр наскрізного отвору в шпинделі 38 мм

Найбільший діаметр прутка - 36 мм

Число ступенів частот прямого обертання шпинделя - 21

Частота прямого обертання шпинделя, об./хв. - 11,5...1200

Число ступенів частот зворотного обертання шпинделя - 12

Частота зворотного обертання шпинделя, об./хв. - 18...1520

Розмір внутрішнього конусу в шпинделі - Морзе 5

Кінець шпинделя за ГОСТ 12593-72

Подачі:

Найбільша довжина ходу каретки - 650, 900, 1400 мм

Найбільший поперечний хід супорта - 280 мм

Найбільший хід верхнього супорта (різцевих санчат) - 113 мм

Число ступенів поздовжніх подач - 35

Межі робочих подач поздовжніх, мм/об. - 0,082...1,59

Число ступенів поперечних подач - 35

Межі робочих подач поперечних, мм/об. - 0,027...0,522

Кількість нарізаних різьб метричних - 19

Межі кроків різьб метричних - 1...12 мм

Кількість нарізаних різьб дюймових - 20

Межі кроків різьб дюймових - 24...2

Кількість нарізаних різьб модульних - 10

Межі кроків різьб модульних - 0,5...3

Кількість нарізаних різьб пітчевих - 24

Межі кроків різьб пітчевих - 95...7

Електрообладнання:

Кількість електродвигунів на верстаті - 2

Електродвигун головного приводу - 7 кВт

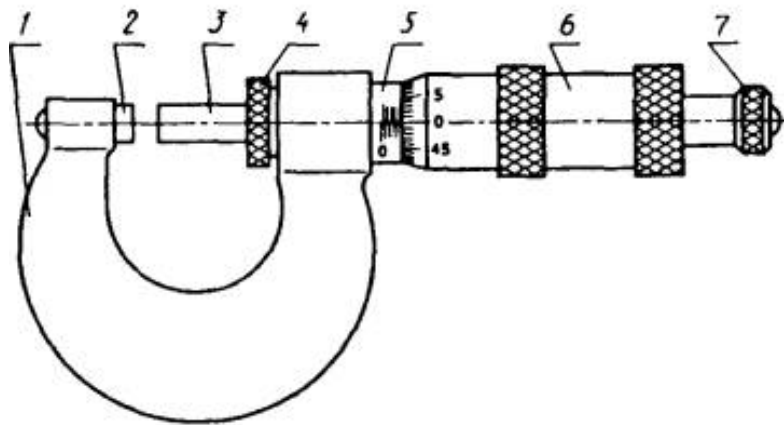
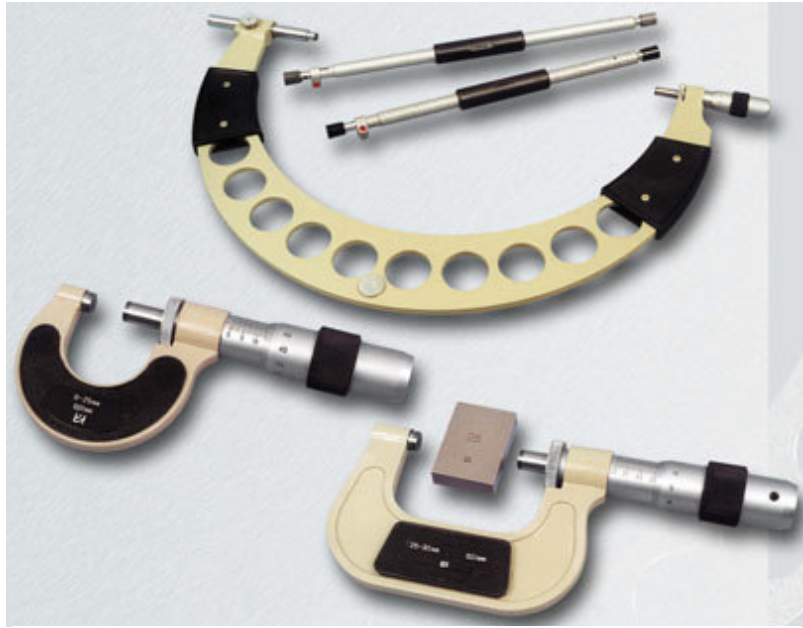
Електродвигун насоса охолодження - 0,125 кВт

Насос охолодження (помпа) ПА-22

Габарити верстату (довжина*ширина*висота) (ВМЦ = 1000) - 2650 * 1580 * 1210 мм

Маса верстату (ВМЦ = 1000) – 2105 кг

МІКРОМЕТР ГЛАДКИЙ ТИПУ МК



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

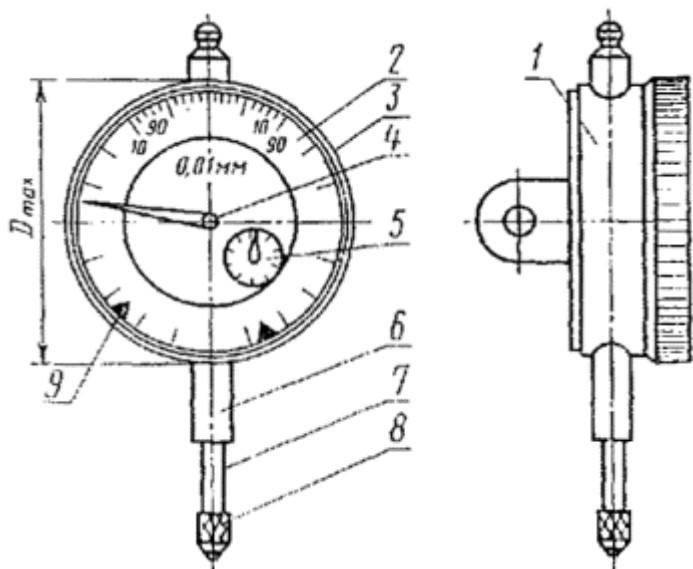
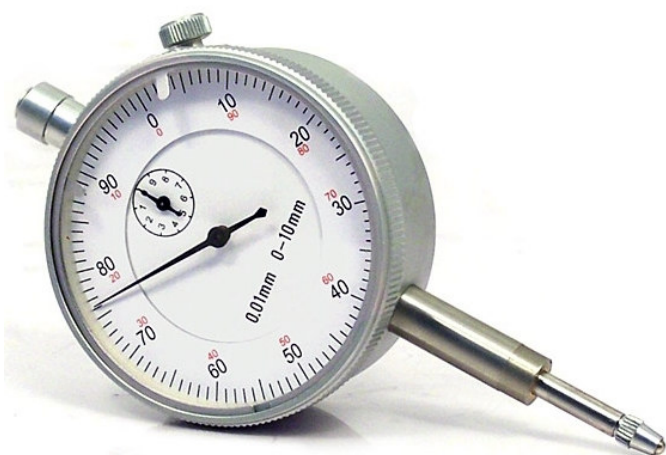
Основні параметри, розміри та класи точності мікрометрів, мм

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

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

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

ІНДИКАТОР ГОДИННИКОВОГО ТИПУ

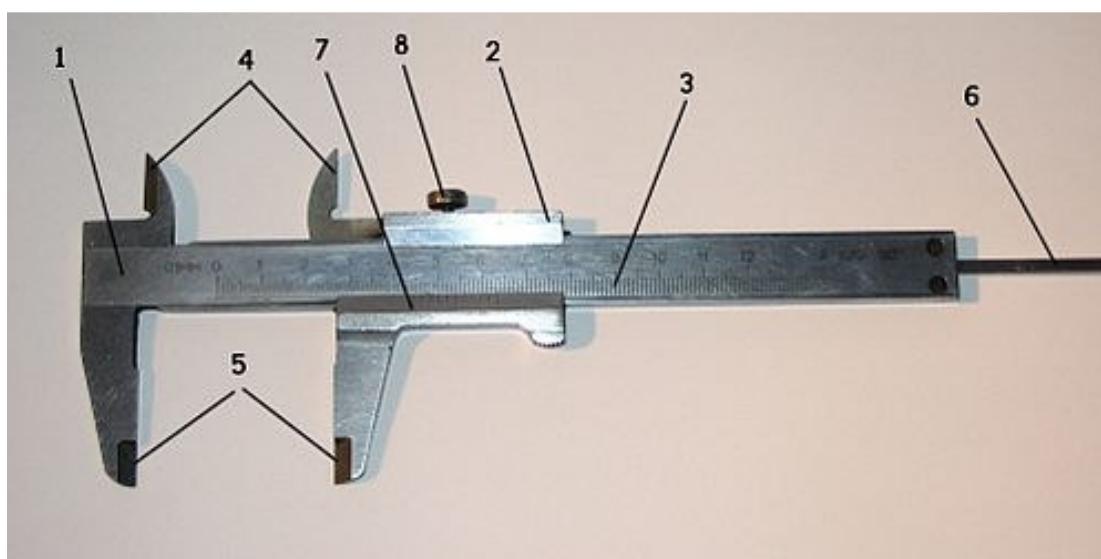
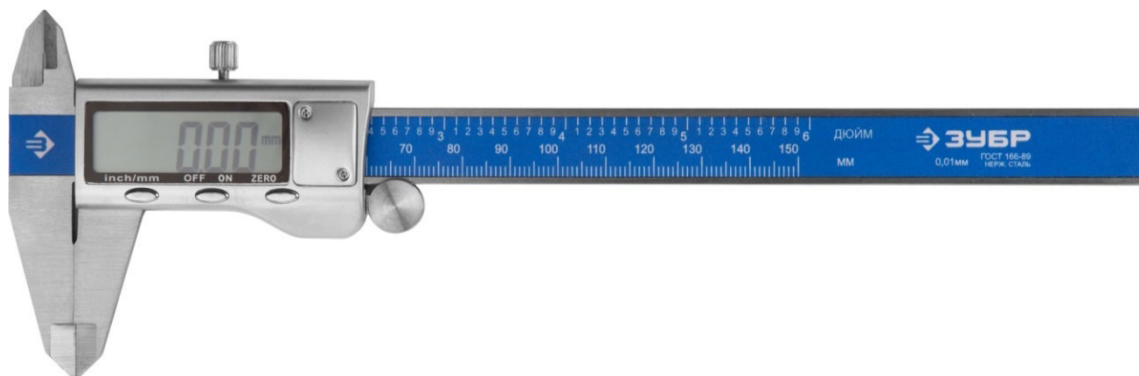
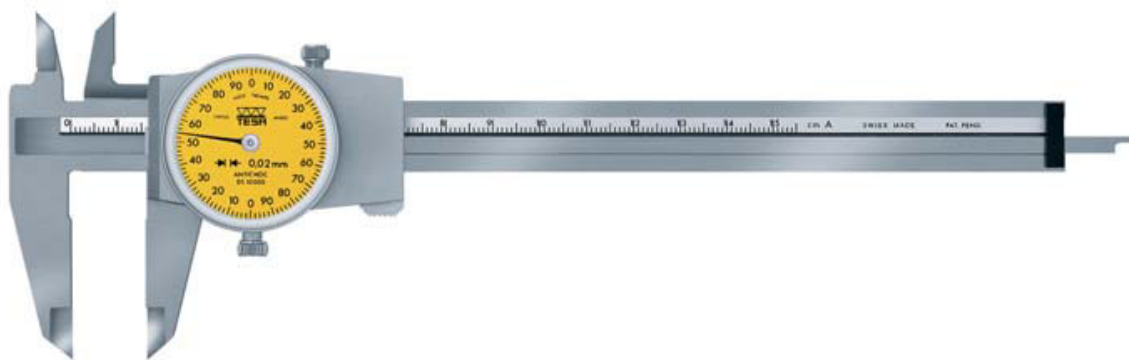


- 1 – корпус, 2 – циферблат, 3 – ободок,
 4 – стрілка, 5 – покажчик, 6 – гільза,
 7 – вимірювальний стрижень,
 8 – вимірювальний наконечник,
 9 – покажчик нуля допуску

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

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

ШТАНГЕНЦИРКУЛЬ



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

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

Приклад умовного позначення штангенциркуля типу II з діапазоном вимірювань 0-250 мм та значенням відліку по ноніусу $0,05$ мм:

Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89.

ВЕЛИКИЙ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ МІКРОСКОП. ІНСТРУКЦІЯ З ВИКОРИСТАННЯ

Інструментальні мікроскопи (ГОСТ 8074-82) призначені для виміру довжин, кутів, елементів різьб, конусів і різних профілів.

Великий мікроскоп інструментальний (ВМІ) має такі основні вимірювальні характеристики: діапазон вимірювання в поздовжньому напрямку 0-150 мм, у поперечному 0-50 мм; діапазон показань мікрометрів 0-25 мм; ціна поділки мікрометричних пристроїв 0,005 мм; діапазон вимірювання куткових розмірів 0°-360°; ціна поділки окулярної кутомірної головки 1 хв. Метод вимірювання лінійних розмірів - координатний.

Загальний вигляд ВМІ представлений на рис.Д.2.1.

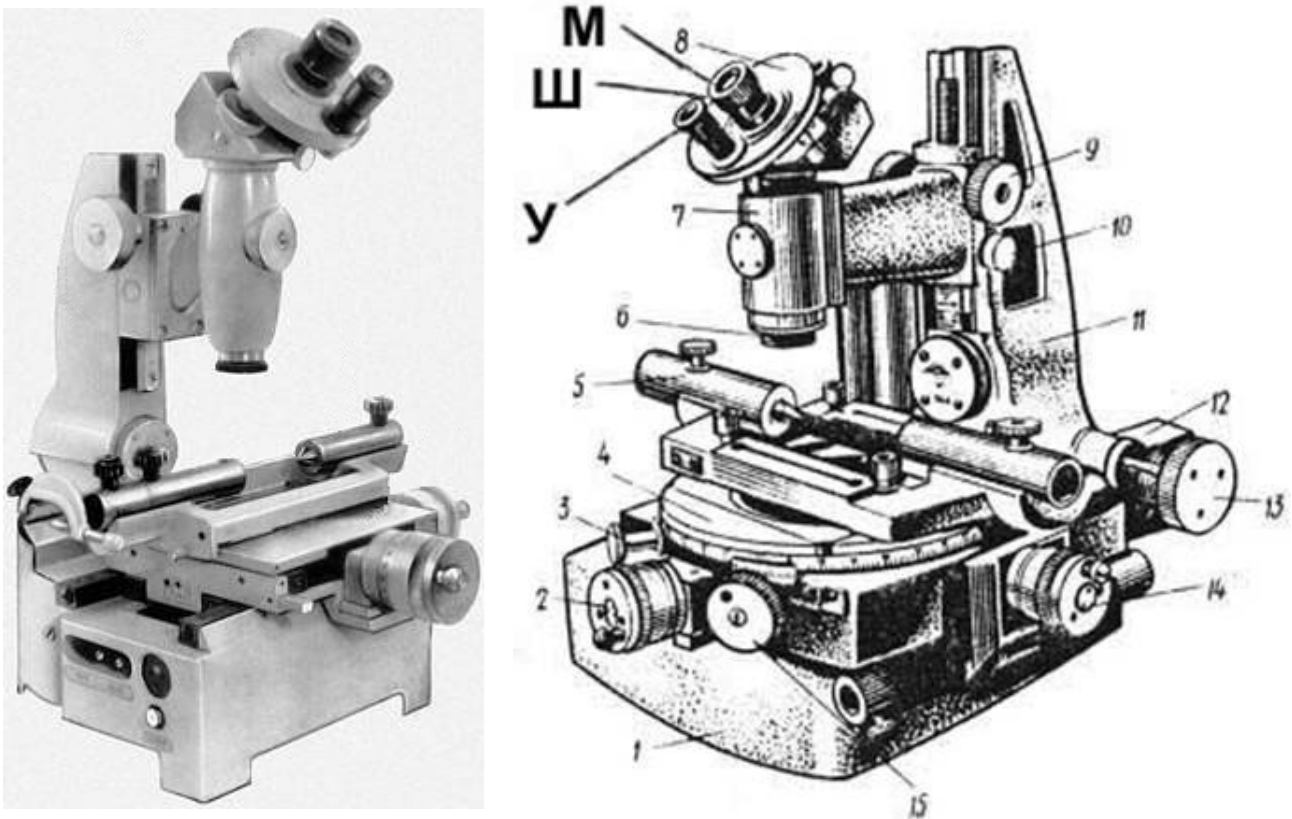


Рис.Д.2.1. Інструментальний мікроскоп (1 – корпус, 2 – мікрометричний пристрій поперечної подачі, 3 – рукоятка кріплення столу, 4 – предметний стіл, 5 – центрова бабка, 6 – кільце фокусування тубуса, 7 – кронштейн з тубусом, 8 – штрихова окулярна головка з відліковим мікроскопом кутової шкали, 9 – кремальєра переміщення кронштейна, 10 – гальмо кронштейна, 11 – колонка, 12 – освітлювач, 13 – маховик нахилу колонки, 14 – мікрометричний пристрій поздовжньої подачі, 15 – маховик повороту столу)

Увага! Щоб уникнути порушення налагодження приладу не рекомендується переміщувати елементи фокусування 6, 9 і повороту столу 15. Стопори 3, 5 та 10 повинні бути закріплені.

Всередині корпусу окулярної головки знаходяться скляна пластина зі штриховою сіткою і лімб, розділений по колу на 360 рівних частин. Пластина зі штриховою сіткою і лімб градусної шкали жорстко пов'язані між собою і мають загальний центр обертання, який знаходиться на оптичній осі мікроскопа. Штрихова сітка спостерігається в центральний окуляр мікроскопа М, а градусна і хвилинна шкали – в відліковий кутомірний мікроскоп У.

Штрихова сітка показана на рис.Д.2.2, схеми наведення на поверхні виробу довільної форми представлені на рис.Д.2.3. Поворот штрихової сітки в процесі наведення здійснюється маховичком Ш (рис.Д.2.1).

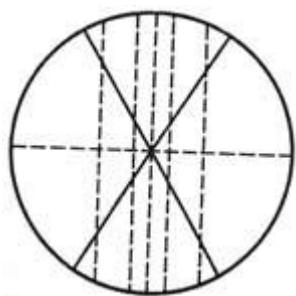


Рис.Д.2.2. Штрихова сітка

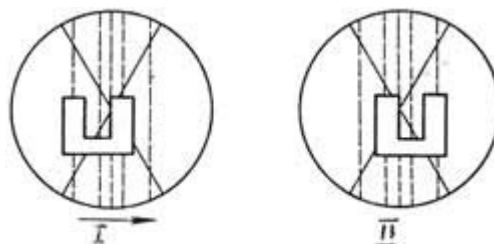


Рис.Д.2.3. Проекція виробу на штриховій сітці

При лінійних вимірах, після установки штрихової сітки в нульове положення, вимірюваний виріб ставлять таким чином, щоб одна з його сторін, від якої проводиться вимірювання, збігалася з якою-небудь штриховою лінією сітки. При цьому проводиться перший відлік за мікрометричним пристроєм. Потім виріб з предметним столом переміщується до співпадання сторони, до якої проводиться вимірювання, з цією ж штриховою лінією сітки. Після цього проводиться другий відлік за мікрометричним пристроєм. Різниця в відліках є результатом вимірювання. Таким чином, вимірювання лінійних розмірів проводяться за методом координат.

При кутових вимірюваннях центральну штрихову лінію сітки суміщують з твірною кута поверхні деталі. За відліковим кутомірним мікроскопом проводиться перший відлік (бажано, щоб він дорівнював нулю). Потім повертається штрихова сітка до співпадання її центральної штрихової лінії з другої твірною кута виробу (рис.Д.2.4) і проводиться другий відлік. Якщо перший відлік дорівнював нулю, то другий буде результатом вимірювання. Якщо перший відлік не дорівнював нулю, то треба відняти його величину з величини другого відліку і отримати результат вимірювання.

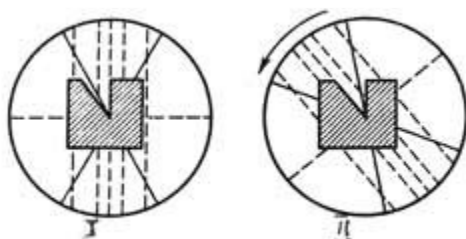


Рис.Д.2.4. Проекція виробу на штриховій сітці при кутових вимірюваннях

Приклад відліку показань при вимірюванні відстані між поверхнями деталі наведено на рис.Д.2.5. Результат вимірювання кута наведено на рис.Д.2.6.

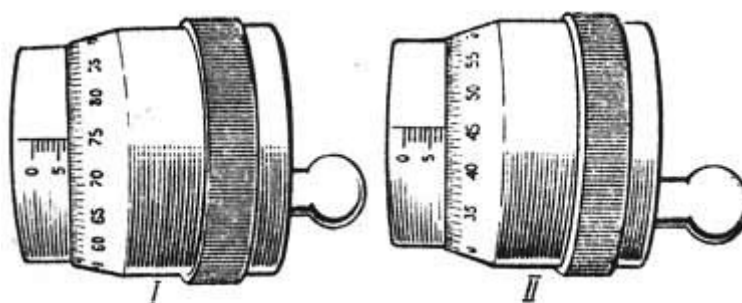


Рис.Д.2.5. Показання: I – 6,75 мм, II – 7,455 мм. Результат вимірювання:
 $7,455 - 6,75 = 0,705$ мм

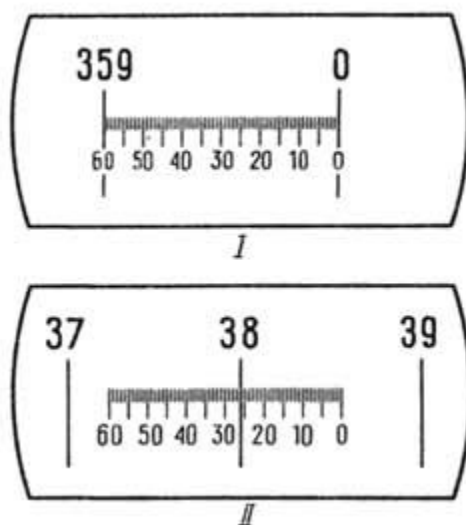


Рис. Д.2.6. Показання: I – 0, II – 38°26'. Результат вимірювання: 38°26'

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

Позначення та терміни:

M – математичне очікування випадкової величини;

D – дисперсія випадкової величини;

σ – середньоквадратичне відхилення випадкової величини;

W – поле розсіювання випадкової величини;

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

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

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

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

ω – експериментальне (емпіричне) поле розсіювання;

x_{min} – мінімальне значення випадкової величини;

x_{max} – максимальне значення випадкової величини;

R – експериментальний розмах випадкової величини;

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

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

R' – скорегований розмах випадкової величини;

N – кількість значень випадкової величини;

k – кількість інтервалів;

h – величина інтервалу;

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

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

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

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

z_u – нормована координата середини інтервалу;

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

Завдання:

За експериментальними даними, приведеними у табл.Д.3.1, побудувати експериментальну (емпіричну) та скореговану (згладжену) криві розподілу випадкової величини. Передбачуваний закон розподілу випадкової величини – нормальний Гаусса. Кількість значень випадкової величини $N = 20$.

Таблиця Д.3.1.

Експериментальні дані

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

Рішення:

1. Визначається мінімальне та максимальне значення випадкової величини

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

2. Визначається розмах випадкової величини

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

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

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

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

4. Визначається величина інтервалу

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

Округлюється до найближчого більшого цілого: $h = 4$ мм.

5. Визначається скорегований розмах випадкової величини

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

6. Визначається скореговане значення величини x_{min} :

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

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

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

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

Умова виконується: $12 \geq 10,2$.

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

7. Визначаються межі інтервалів:

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

8. Визначаються середини інтервалів

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

9. Визначаються експериментальні частоти m_u (кількість попадань випадкової величини у відповідний інтервал) з таблиці Д.3.1. Значення x_i належить до певного інтервалу, якщо

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

Для останнього інтервалу:

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

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

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

11. Результати розрахунків за п.п.7-10 заносяться до табл.Д.3.2.

Таблиця Д.3.2.

Групування результатів вимірів

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

12. Визначається статистична характеристика розподілу $x_u m_u$. Результати розрахунків заносяться до табл.Д.3.3.

13. Визначається експериментальне середнє арифметичне значення

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

14. Визначається статистична характеристика розподілу $(x_u - \bar{x})^2 m_u$. Результати розрахунків заносяться до табл.Д.3.3.

Таблиця Д.3.3.

Розрахунок статистичних характеристик розподілу

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

15. Розраховується експериментальне значення середньоквадратичного відхилення S за формулами:

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

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

Для даної задачі:

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

16. Розраховуються експериментальні значення дисперсії S^2 та поля розсіювання ω :

$$S^2 = 22,06 \text{ мм}^2;$$

$$\omega = 6S = 28,18 \text{ мм.}$$

17. Визначаються статистичні характеристики згладженої експериментальної кривої розподілу та заносяться до табл.Д.3.4:

- нормована координата середини інтервалу

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

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

- скорегована ймовірність

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

- скорегована частота

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

Таблиця Д.3.4.

Статистичні характеристики для побудови згладженої експериментальної кривої розподілу

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

18. За даними табл.Д.3.2 та табл.Д.3.4 будуються графіки експериментальної кривої (полігону розподілу) та згладженої експериментальної кривої розподілу. Якщо ці графіки побудовано в

координатах ($m_u - x_i$), вони називаються полігоном частот, або розподілом частот (рис.Д.3.1). Якщо ж в координатах ($P_u - x_i$), – полігоном ймовірностей, або розподілом ймовірностей (рис.Д.3.2).

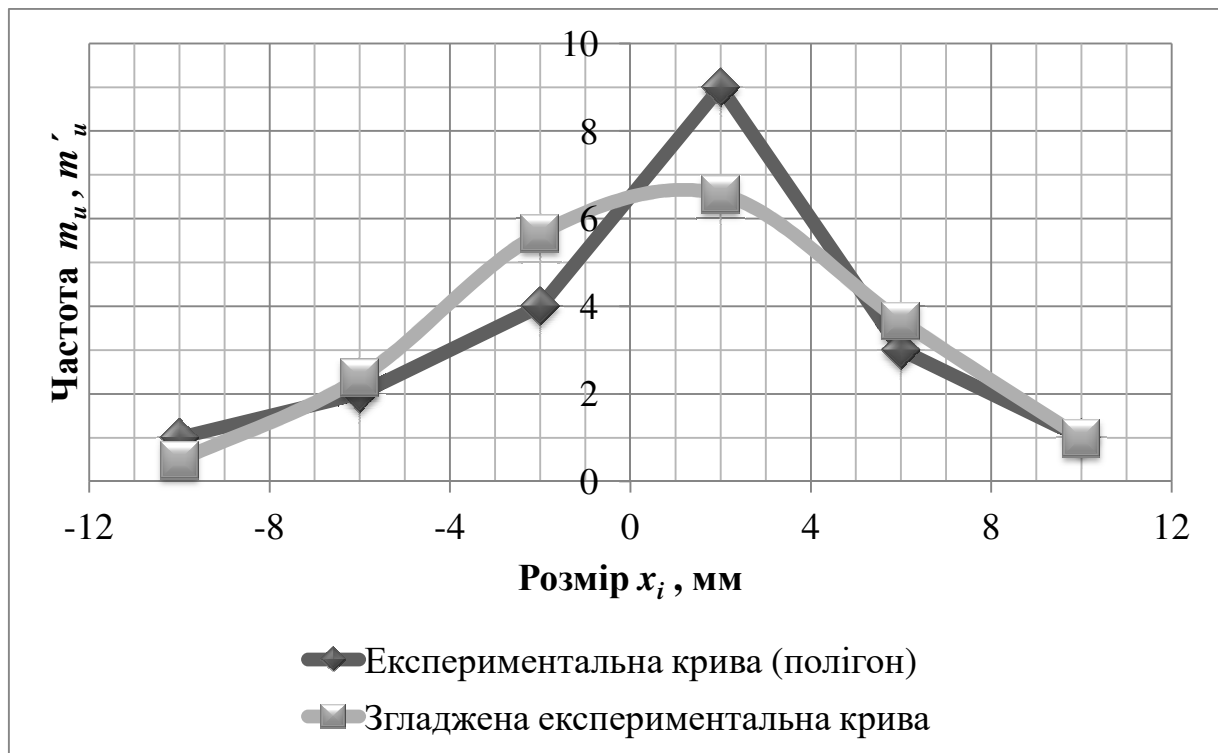


Рис.Д.3.1. Розподіл частот. Графіки експериментальної кривої та згладженої експериментальної кривої розподілу

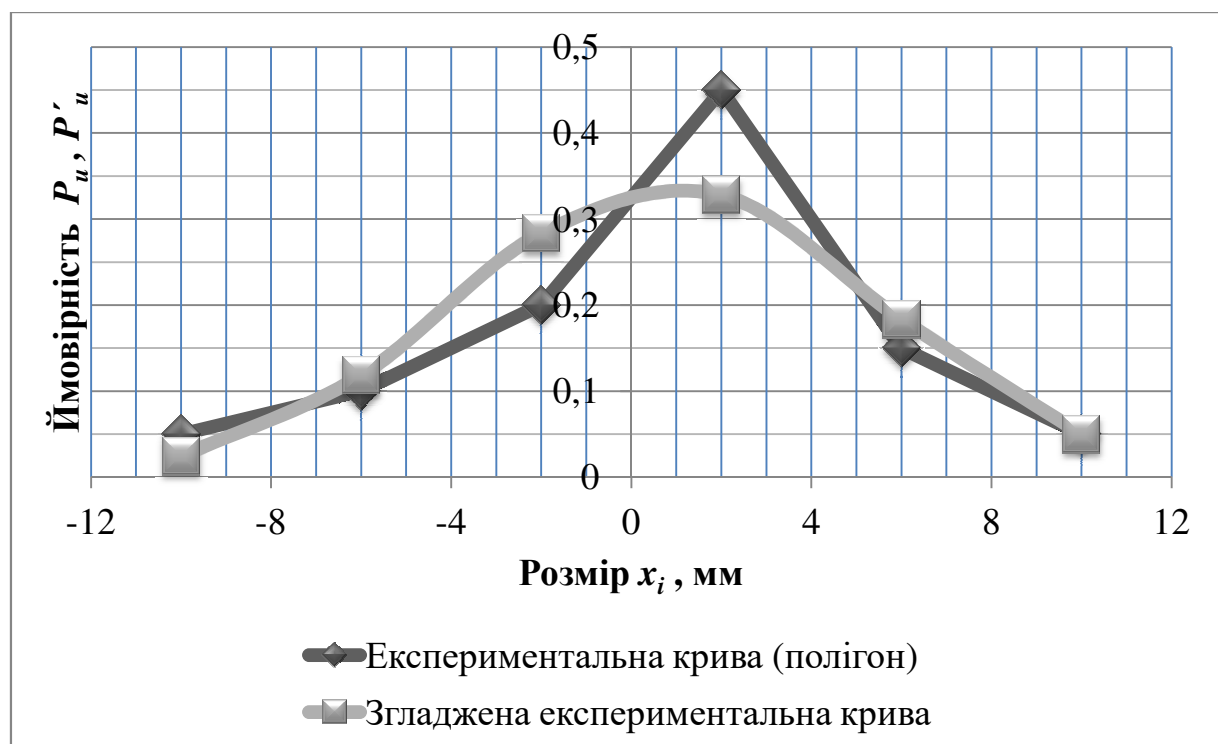


Рис.Д.3.2. Розподіл ймовірностей. Графіки експериментальної кривої та згладженої експериментальної кривої розподілу

19. Для порівняння будується теоретична крива нормального закону розподілу Гаусса з математичним очікуванням випадкової величини $M = 0,8$ мм, дисперсією $D = 22,06$ мм², середньоквадратичним відхиленням $\sigma = 4,697$ мм та полем розсіювання $W = 28,18$ мм, тобто графік функції густини ймовірності

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

Графік представлено на (рис.Д.3.3).

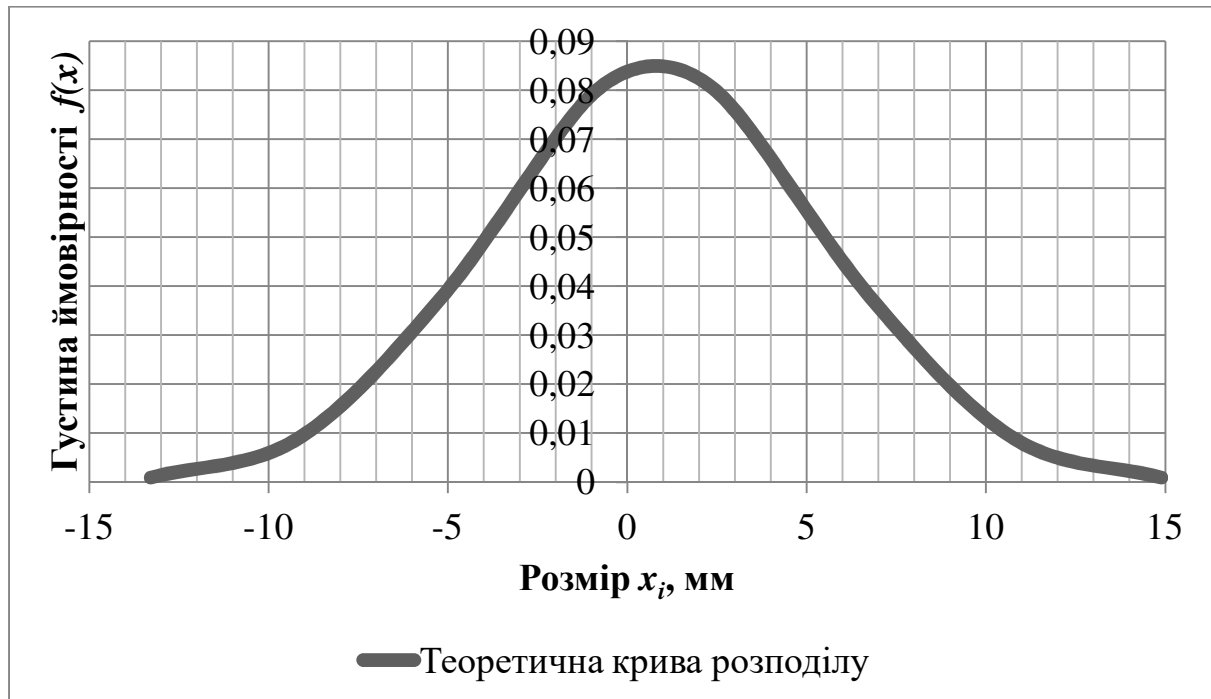


Рис.Д.3.3. Графік теоретичної кривої нормального розподілу Гаусса

МЕТОДИКА ТА ПРИКЛАД ПОБУДОВИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ І ТЕОРЕТИЧНИХ КРИВИХ ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ ЕКСЦЕНТРИСИТЕТУ РЕЛЄЯ

Позначення та терміни:

M – математичне очікування випадкової величини;

D – дисперсія випадкової величини;

σ_r – середньоквадратичне відхилення випадкової величини закону Релєя;

σ_0 – середньоквадратичне відхилення випадкової величини вихідного нормального закону;

W – поле розсіювання випадкової величини;

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

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

S_r^2 – експериментальна (емпірична) дисперсія випадкової величини (оцінка дисперсії) закону Релєя;

S_r – експериментальне (емпіричне) середньоквадратичне відхилення випадкової величини (оцінка середньоквадратичного відхилення) закону Релєя;

S_0^2 – експериментальна (емпірична) дисперсія випадкової величини (оцінка дисперсії) вихідного нормального закону;

S_0 – експериментальне (емпіричне) середньоквадратичне відхилення випадкової величини (оцінка середньоквадратичного відхилення) вихідного нормального закону;

ω_r – експериментальне (емпіричне) поле розсіювання закону Релєя;

r_{min} – мінімальне значення випадкової величини;

r_{max} – максимальне значення випадкової величини;

R – експериментальний розмах випадкової величини;

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

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

R' – скорегований розмах випадкової величини;

N – кількість значень випадкової величини;

k – кількість інтервалів;

h – величина інтервалу;

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

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

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

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

z_u – нова змінна для правої межі кожного інтервалу;

$F(z_u)$ – інтегральна функція для закону Релея.

Завдання:

За експериментальними даними, приведеними в табл.Д.4.1, побудувати експериментальну (емпіричну) та скореговану (згладжену) криві розподілу випадкової величини. Передбачуваний закон розподілу випадкової величини – закон ексцентриситету Релея. Кількість значень випадкової величини $N = 30$.

Таблиця Д.4.1.

Експериментальні дані

№ з/п	Значення випадкової величини r_i , мм	№ з/п	Значення випадкової величини r_i , мм	№ з/п	Значення випадкової величини r_i , мм
1	0,03	11	0,06	21	0,02
2	0,04	12	0,02	22	0,04
3	0,04	13	0,04	23	0,05
4	0,05	14	0,05	24	0,06
5	0,12	15	0,01	25	0,08
6	0,07	16	0,06	26	0,06
7	0,02	17	0,02	27	0,05
8	0,05	18	0,04	28	0,09
9	0,04	19	0,01	29	0,02
10	0,01	20	0,06	30	0,04

Рішення:

1. Визначається мінімальне та максимальне значення випадкової величини

$$r_{min} = 0,01 \text{ мм}; \quad r_{max} = 0,12 \text{ мм.}$$

2. Визначається розмах випадкової величини

$$R = r_{max} - r_{min} = 0,12 - 0,01 = 0,11 \text{ мм.}$$

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

$$k = 1 + 1,443 \cdot \ln N = 1 + 1,443 \cdot \ln 30 = 5,91.$$

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

4. Визначається величина інтервалу

$$h = \frac{R}{k} = \frac{0,11}{6} = 0,018 \text{ мм.}$$

Округлюється до найближчого більшого знаку: $h = 0,02$ мм.

5. Визначається скорегований розмах випадкової величини

$$R' = h \cdot k = 0,02 \cdot 6 = 0,12 \text{ мм.}$$

6. Визначається скореговане значення величини r'_{min} :

$$r'_{min} = r_{min} - \frac{R' - R}{2} = 0,01 - \frac{0,12 - 0,11}{2} = 0,005.$$

Значення r'_{min} можна округлити до найближчого знаку $r'_{min} = 0$, якщо виконується умова:

$$r'_{max} \geq r_{max}.$$

Визначається $r'_{max} = r'_{min} + R' = 0 + 0,12 = 0,12$.

Умова виконується: $0,12 = 0,12$.

Значення r'_{min} округлюється до найближчого знаку $r'_{min} = 0$.

7. Визначаються межі інтервалів:

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

8. Визначаються середини інтервалів

$$r_u = \frac{r_{u \ max} + r_{u \ min}}{2}.$$

9. Визначаються експериментальні частоти m_u (кількість попадань випадкової величини у відповідний інтервал) з таблиці Д.4.1. Значення r_i належить до певного інтервалу, якщо

$$r_{u \min} \leq r_i < r_{u \max}$$

Для останнього інтервалу:

$$r_{k \min} \leq r_i \leq r_{k \max}$$

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

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

11. Результати розрахунків за п.п.7-10 заносяться до табл.Д.4.2.

Таблиця Д.4.2.

Групування результатів вимірів

№ інтервалу	Межі інтервалу, мм		Середина інтервалу r_u , мм	Експериментальна частота m_u	Експериментальна ймовірність P_u
	$r_{u \min}$	$r_{u \max}$			
1	0,00	0,02	0,01	3	0,10
2	0,02	0,04	0,03	6	0,20
3	0,04	0,06	0,05	12	0,40
4	0,06	0,08	0,07	6	0,20
5	0,08	0,10	0,09	2	0,07
6	0,10	0,12	0,11	1	0,03
Сума				30	1,0

12. Визначається статистична характеристика розподілу $r_u m_u$.
Результати розрахунків заносяться до табл.Д.4.3.

13. Визначається експериментальне середнє арифметичне значення

$$\bar{r} = \frac{\sum_{u=1}^k r_u m_u}{\sum_{u=1}^k m_u} = \frac{1,52}{30} = 0,05 \text{ мм.}$$

14. Визначається статистична характеристика розподілу $(r_u - \bar{r})^2 m_u$.
Результати розрахунків заносяться до табл.Д.4.3.

15. Розраховується експериментальне значення середньоквадратичного відхилення S_r за формулами:

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

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

Для даної задачі:

$$S_r = \sqrt{\frac{\sum_{u=1}^k (r_u - \bar{r})^2 m_u}{N}} = \sqrt{\frac{0,0164}{30}} = 0,0234 \text{ мм.}$$

Таблиця Д.4.3.

Розрахунок статистичних характеристик розподілу

№ інтервалу	$r_u m_u$	$(r_u - \bar{r})^2 m_u$
1	0,03	0,0048
2	0,18	0,0024
3	0,60	0
4	0,42	0,0024
5	0,18	0,0032
6	0,11	0,0036
Сума	1,52	0,0164

16. Розраховується експериментальне значення середньоквадратичного відхилення S_0 вихідного нормального закону

$$S_0 = S_r / 0,655 = 0,0234 / 0,655 = 0,0357 \text{ мм.}$$

17. Розраховуються експериментальні значення дисперсій S_r^2, S_0^2 та поля розсіювання ω_r :

$$S_r^2 = 0,0005 \text{ мм}^2;$$

$$S_0^2 = 0,0013 \text{ мм}^2$$

$$\omega_r = 3,737 \cdot S_r = 3,737 \cdot 0,0234 = 0,087 \text{ мм,}$$

або

$$\omega_r = 2,447 \cdot S_0 = 2,447 \cdot 0,0357 = 0,087 \text{ мм.}$$

18. Визначаються статистичні характеристики згладженої експериментальної кривої розподілу та заносяться до табл.Д.4.4:

- нова змінна для правої межі кожного інтервалу

$$z_u = \left| \frac{r_u \max}{S_0} \right|;$$

- інтегральна функція $F(z_u)$ для закону Релея (визначається з таблиці Додатку 7);

- скорегована ймовірність

$$P'_u = F(z_u) - F(z_{u-1});$$

де $F(z_{u-1})$ – значення інтегральної функції для попереднього інтервалу (при $u = 1$: $z_{u-1} = z_0 = \left| \frac{r_{1 \min}}{S_0} \right|$; для даного прикладу розрахунку $z_0 = 0$ та $F(z_0)=0$);

- скорегована частота

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

Таблиця Д.4.4.

Статистичні характеристики для побудови згладженої експериментальної кривої розподілу

№ інтервалу	z_u	$F(z_u)$	P'_u	m'_u
1	0,56	0,1451	0,1451	4,35
2	1,12	0,4659	0,3208	9,62
3	1,68	0,7562	0,2903	8,71
4	2,24	0,9186	0,1624	4,87
5	2,80	0,9802	0,0616	1,85
6	3,36	0,9965	0,0163	0,49
Сума			0,9965	29,89

19. За даними табл.Д.4.2 та табл.Д.4.4 будуються графіки експериментальної кривої (полігону розподілу) та згладженої експериментальної кривої розподілу. Якщо ці графіки побудовано в координатах $(m_u - r_i)$, вони називаються полігоном частот, або розподілом частот (рис.Д.4.1). Якщо ж в координатах $(P_u - r_i)$, – полігоном ймовірностей, або розподілом ймовірностей (рис.Д.4.2).

20. Для порівняння будується теоретична крива закону розподілу Релея, для якого:

- математичне очікування випадкової величини

$$M = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \delta_0 = \sqrt{\frac{\pi}{2}} S_0 = \sqrt{\frac{\pi}{2}} 0,0357 = 0,045 \text{ мм};$$

- середньоквадратичне відхилення вихідного нормального закону

$$\sigma_0 = S_0 = 0,0357 \text{ мм};$$

- дисперсія

$$D = \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) \delta_0^2 = \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) S_0^2 = \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) 0,0357^2 = 0,0005 \text{ мм}^2;$$

- поле розсіювання

$$W = 2,447 \sigma_0 = 2,447 \cdot 0,0357 = 0,087 \text{ мм},$$

тобто графік функції густини ймовірності

$$f(r) = \frac{r}{\sigma_0^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma_0^2}}.$$

Графік представлено на (рис.Д.4.3).

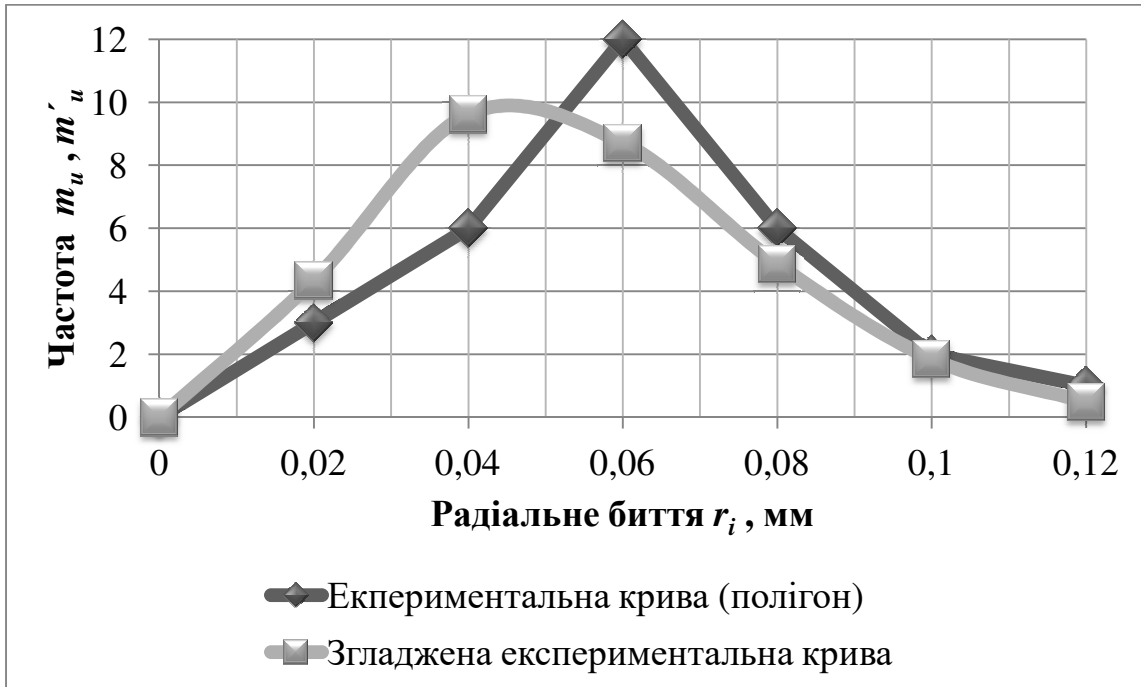


Рис.Д.4.1. Розподіл частот. Графіки експериментальної кривої та згладженої експериментальної кривої розподілу

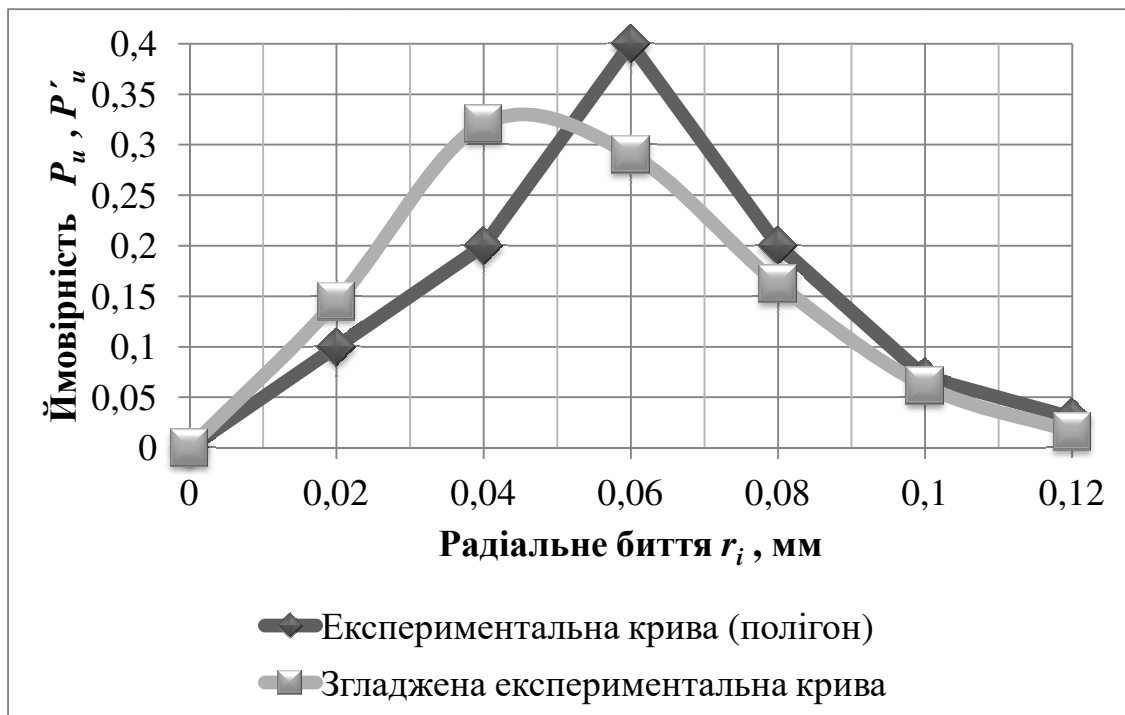


Рис.Д.4.2. Розподіл ймовірностей. Графіки експериментальної кривої та згладженої експериментальної кривої розподілу

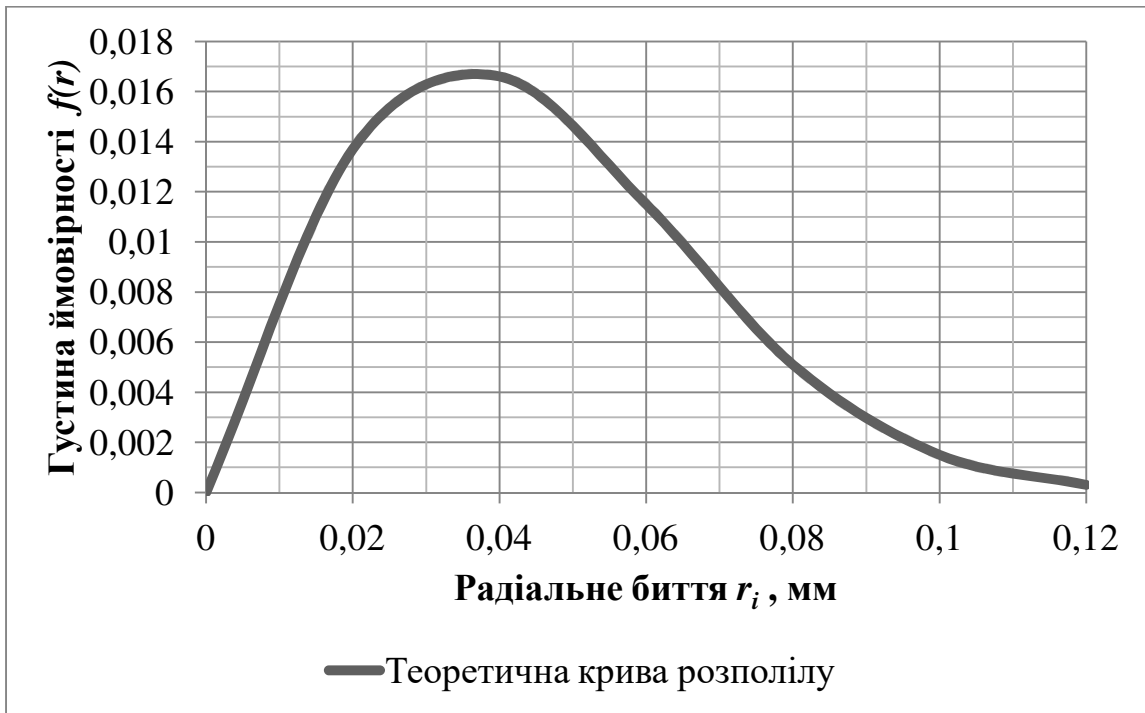


Рис.Д.4.3. Графік теоретичної кривої розподілу Релея

ДОДАТОК 5

**ПЕРЕВІРКА ГІПОТЕЗИ ПРО УЗГОДЖЕНІСТЬ ЗАКОНІВ
РОЗПОДІЛУ ЗА χ^2 - КРИТЕРІЄМ ПІРСОНА**

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

МЕТОДИКА ПЕРЕВІРКИ ГІПОТЕЗИ

При побудові експериментальної кривої розподілу визначають дійсні частоти попадання випадкової величини в певний інтервал m_u , а при побудові згладженої експериментальної кривої – скореговані m'_u (див. Додаток 2). Якщо дійсні частоти значно відрізняються від скорегованих, то гіпотезу про відповідність двох експериментальних (дійсного та скорегованого) законів розподілу одне одному слід відкинути, в протилежному випадку – прийняти.

Ступінь розходження між дійсними та скорегованими частотами визначає χ^2 - критерій Пірсона:

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

де k – кількість інтервалів.

Критерій має f ступенів вільності:

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

де r – число параметрів розподілу.

Правило застосування χ^2 - критерію наступне. Розрахувавши значення χ^2 та вибравши рівень значущості α , за таблицею χ^2 - розподілу (див. нижче) визначають χ^2_α .

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

ПРИКЛАД 1 ПЕРЕВІРКИ ГІПОТЕЗИ

Перевіряється гіпотеза про узгодженість розподілів за χ^2 -критерієм Пірсона для дійсного та скорегованого експериментальних законів розподілу, розрахованих в Додатку 3. Вихідні дані заносяться до табл.Д.5.1.

Таблиця Д.5.1.
Вихідні дані

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

Розраховується χ^2 -критерій Пірсона:

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

при кількості інтервалів $k=6$.

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

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

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

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

ПРИКЛАД 2 ПЕРЕВІРКИ ГІПОТЕЗИ

Перевіряється гіпотеза про узгодженість розподілів за χ^2 -критерієм Пірсона для дійсного та скорегованого експериментальних законів розподілу, розрахованих в Додатку 4. Вихідні дані заносяться до табл.Д.5.2.

Таблиця Д.5.2.
Вихідні дані

№ інтервалу	Межі інтервалу, мм		Експериментальна частота m_u	Дійсна частота m'_u
	$r_u \min$	$r_u \max$		
1	0,00	0,02	3	4,35
2	0,02	0,04	6	9,62
3	0,04	0,06	12	8,71
4	0,06	0,08	6	4,87
5	0,08	0,10	2	1,85
6	0,10	0,12	1	0,49
Сума			30	29,89

Розраховується χ^2 -критерій Пірсона:

$$\chi^2 = \sum_{u=1}^k \frac{(m_u - m'_u)^2}{m'_u} = \frac{27,311}{29,89} = 0,91$$

при кількості інтервалів $k=6$.

Закон розподілу ексцентриситету Релея однопараметричний, він характеризується дисперсією D (або експериментальною дисперсією S_0^2) вихідного нормального закону. В такому випадку $r = 1$, а число ступенів вільності складає:

$$f = 6 - 1 - 1 = 4.$$

За таблицею χ^2 -розподілу (при числі ступенів вільності $f=4$ та рівні значущості $\alpha=0,05$) визначаємо $\chi_\alpha^2 = 9,49$.

Порівнявши $\chi^2 = 0,91$ та $\chi_\alpha^2 = 9,49$, можна зробити висновок, що гіпотеза про узгодженість дійсного та скорегованого експериментальних законів розподілу приймається.

χ^2 - РОЗПОДІЛ

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

ДОДАТОК 6

ГУСТИНА ЙМОВІРНОСТІ НОРМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ $\varphi(z)$

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

ДОДАТОК 7

ЗНАЧЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ $F(z_u)$ ДЛЯ ЗАКОНУ РЕЛЄЯ

z	Другий знак після коми для z									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,0000	0,0001	0,0002	0,0005	0,0008	0,0013	0,0018	0,0024	0,0032	0,0040
0,1	0,0050	0,0060	0,0072	0,0084	0,0098	0,0112	0,0127	0,0143	0,0161	0,0179
0,2	0,0198	0,0218	0,0239	0,0261	0,0284	0,0308	0,0332	0,0358	0,0384	0,0412
0,3	0,0440	0,0469	0,0499	0,0530	0,0562	0,0594	0,0628	0,0662	0,0697	0,0732
0,4	0,0769	0,0806	0,0844	0,0883	0,0923	0,0963	0,1004	0,1046	0,1088	0,1131
0,5	0,1175	0,1220	0,1265	0,1310	0,1357	0,1404	0,1451	0,1499	0,1548	0,1597
0,6	0,1647	0,1698	0,1749	0,1800	0,1852	0,1904	0,1957	0,2010	0,2064	0,2118
0,7	0,2173	0,2228	0,2283	0,2339	0,2395	0,2452	0,2508	0,2566	0,2623	0,2681
0,8	0,2739	0,2797	0,2855	0,2914	0,2973	0,3032	0,3091	0,3151	0,3211	0,3270
0,9	0,3330	0,3390	0,3450	0,3511	0,3571	0,3632	0,3692	0,3753	0,3813	0,3874
1,0	0,3935	0,3995	0,4056	0,4117	0,4177	0,4238	0,4298	0,4359	0,4419	0,4479
1,1	0,4539	0,4599	0,4659	0,4719	0,4779	0,4838	0,4897	0,4956	0,5015	0,5074
1,2	0,5132	0,5191	0,5249	0,5307	0,5364	0,5422	0,5479	0,5536	0,5592	0,5649
1,3	0,5704	0,5760	0,5815	0,5871	0,5925	0,5980	0,6034	0,6088	0,6141	0,6194
1,4	0,6247	0,6299	0,6351	0,6403	0,6454	0,6505	0,6555	0,6606	0,6655	0,6705
1,5	0,6753	0,6802	0,6850	0,6898	0,6945	0,6992	0,7038	0,7084	0,7130	0,7175
1,6	0,7220	0,7264	0,7308	0,7351	0,7394	0,7437	0,7479	0,7520	0,7562	0,7602
1,7	0,7643	0,7682	0,7722	0,7761	0,7799	0,7837	0,7875	0,7912	0,7949	0,7985
1,8	0,8021	0,8056	0,8092	0,8126	0,8160	0,8194	0,8227	0,8260	0,8292	0,8324
1,9	0,8355	0,8386	0,8417	0,8447	0,8477	0,8506	0,8535	0,8564	0,8592	0,8619
2,0	0,8647	0,8674	0,8700	0,8726	0,8752	0,8777	0,8802	0,8826	0,8851	0,8874
2,1	0,8898	0,8920	0,8943	0,8965	0,8987	0,9009	0,9030	0,9051	0,9071	0,9091
2,2	0,9111	0,9130	0,9149	0,9168	0,9186	0,9204	0,9222	0,9240	0,9257	0,9274
2,3	0,9290	0,9306	0,9322	0,9338	0,9353	0,9368	0,9383	0,9397	0,9411	0,9425
2,4	0,9439	0,9452	0,9465	0,9478	0,9490	0,9503	0,9515	0,9527	0,9538	0,9550
2,5	0,9561	0,9572	0,9582	0,9593	0,9603	0,9613	0,9623	0,9632	0,9641	0,9651
2,6	0,9660	0,9668	0,9677	0,9685	0,9693	0,9702	0,9709	0,9717	0,9724	0,9732
2,7	0,9739	0,9746	0,9753	0,9760	0,9766	0,9772	0,9778	0,9784	0,9790	0,9796
2,8	0,9802	0,9807	0,9813	0,9818	0,9823	0,9828	0,9833	0,9837	0,9842	0,9846
2,9	0,9851	0,9855	0,9859	0,9863	0,9867	0,9871	0,9875	0,9878	0,9882	0,9885
3,0	0,9889	0,9892	0,9896	0,9899	0,9902	0,9905	0,9907	0,9910	0,9913	0,9916
3,1	0,9918	0,9921	0,9923	0,9925	0,9928	0,9930	0,9932	0,9934	0,9936	0,9938
3,2	0,9940	0,9942	0,9944	0,9946	0,9947	0,9949	0,9951	0,9952	0,9954	0,9955
3,3	0,9957	0,9958	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968
3,4	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974	0,9975	0,9976	0,9976	0,9977
3,5	0,9978	0,9979	0,9980	0,9980	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984
3,6	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986	0,9987	0,9987	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989
3,7	0,9990	0,9990	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993
3,8	0,9993	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,9	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997	0,9997