

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАТРОНІКИ І РОБОТОТЕХНІКИ

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МАШИНОБУДУВАННЯ

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
для здобувачів спеціальностей G9 «Прикладна механіка»,
G11 «Машинобудування»

Частина I

Кропивницький

2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАТРОНІКИ І РОБОТОТЕХНІКИ

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МАШИНОБУДУВАННЯ

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
для здобувачів спеціальностей G9 «Прикладна механіка»,
G11 «Машинобудування»

Частина I

Затверджено на засіданні кафедри
«Машинобудування, мехатроніки і
робототехніки»
Протокол № 25 від 29.06.2026 р.

Кропивницький

2026

Технологічні основи машинобудування: метод. рекомендації до виконання лабораторних робіт для здобувачів спец. G9 «Прикладна механіка», G11 «Машинобудування» / О. І. Скібінський, В. М. Селєхова // М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки. - Кропивницький : ЦНТУ, 2026. – Ч. I. – 35 с.

Укладачі:

Скібінський О.І. – канд. техн. наук, доцент

Селєхова В.М. – ас.

Рецензент: Щербина К.К. – канд. техн. наук, доцент

© Скібінський О.І., Селєхова В.М.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1	
Дослідження точності токарної операції методом математичної статистики.....	9
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2	
Визначення впливу похибок базування на точність механічної обробки...	22
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	33

ВСТУП

Сучасне машинобудівне виробництво розвивається в умовах постійного зростання вимог до точності, якості та надійності виробів, скорочення термінів їх освоєння та підвищення економічної ефективності технологічних процесів. Конкурентоспроможність продукції машинобудівної галузі значною мірою визначається технологічним рівнем виробництва – досконалістю обладнання, оснащення та методів контролю, а також кваліфікацією інженерних кадрів, здатних забезпечити стабільне виконання заданих параметрів точності в умовах реального виробництва. Забезпечення заданих експлуатаційних характеристик деталей і машин безпосередньо залежить від рівня технологічної підготовки фахівця, його вміння свідомо застосовувати теоретичні знання з технології машинобудування у практичній інженерній діяльності. Саме тому дисципліна «Технологічні основи машинобудування» є однією з базових у підготовці здобувачів вищої освіти спеціальностей G9 «Прикладна механіка» та G11 «Машинобудування» і формує фундамент їхньої майбутньої професійної компетентності.

Дисципліна «Технологічні основи машинобудування» посідає особливе місце в структурно-логічній схемі підготовки фахівця, оскільки інтегрує знання, здобуті під час вивчення низки попередніх дисциплін, і водночас створює теоретичне підґрунтя для подальшого засвоєння профільних технологічних курсів. Її вивчення спирається на знання, отримані здобувачами під час опанування таких дисциплін, як «Вища математика», «Теоретична механіка», «Опір матеріалів», «Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання», «Нарисна геометрія, інженерна та комп'ютерна графіка». Водночас засвоєний у межах даної дисципліни матеріал є базовим для подальшого вивчення таких курсів, як «Технологія машинобудування», «Металорізальні верстати», «Різальний інструмент», а також використовується здобувачами під час дипломного проєктування. Така міждисциплінарна інтеграція обумовлює необхідність формування у здобувачів цілісного розуміння технологічних процесів машинобудівного виробництва вже на етапі вивчення базового курсу.

Метою вивчення дисципліни є формування у здобувачів вищої освіти системи знань про закономірності формування точності та якості поверхонь деталей машин у процесі механічної обробки, про методи технологічного забезпечення взаємозамінності виробів, а також про принципи раціонального базування заготовок при виконанні технологічних операцій. Теоретичний матеріал, який вивчається в лекційному курсі, набуває практичного значення лише за умови його закріплення під час виконання лабораторних робіт, що передбачають безпосередню роботу здобувачів з реальним технологічним обладнанням, вимірювальними засобами та експериментальними даними. Лише поєднання теоретичної підготовки з практичними навичками дозволяє сформувати у майбутнього фахівця здатність самостійно аналізувати технологічні ситуації, приймати обґрунтовані інженерні рішення та оцінювати їх наслідки з точки зору точності й економічності виробництва.

Виконання лабораторних робіт спрямоване на формування у здобувачів вищої освіти таких компетентностей, як здатність застосовувати методи математичної статистики для аналізу технологічних процесів, здатність обґрунтовано обирати технологічні бази та схеми установки заготовок, здатність оцінювати точність і якість механічної обробки деталей машин, а також здатність самостійно проводити експериментальні дослідження та формулювати обґрунтовані технічні висновки на основі отриманих даних.

Перед виконанням кожної лабораторної роботи здобувачам вищої освіти необхідно опрацювати відповідний теоретичний матеріал, ознайомитися з будовою та принципом роботи обладнання, пристосувань і вимірювальних інструментів, які використовуватимуться під час заняття.

До роботи в лабораторіях допускаються лише ті здобувачі, які пройшли інструктаж з техніки безпеки.

Перед виконанням кожної лабораторної роботи здобувачі повинні ознайомитися з методикою її проведення, вибрати необхідне обладнання та пристрої, намітити технологічні режими, визначити та оцінити можливі похибки

під час виконання експериментальних дослідів та при технічних вимірюваннях, а також запропонувати статистичні методи обробки експериментальних даних.

Здобувачам категорично забороняється самотійно включати верстати і керувати ними. Виконання всіх прийомів, що стосуються виконання лабораторних робіт з використанням металорізального обладнання та затискних пристроїв, здійснює навчальний майстер або викладач.

При виконанні експериментальних досліджень на металорізальному обладнанні здобувачі розміщуються для спостережень у безпечних зонах.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Дослідження точності токарної операції методом математичної статистики

Мета роботи - визначення похибки механічної обробки на основі теорії ймовірності та математичної статистики.

Загальні відомості

При виготовленні деталей на металорізальних верстатах неможливо отримати абсолютно точний розмір, який відповідав би кресленню без жодних відхилень. Під час механічної обробки деталей на металорізальному обладнанні неминуче виникають похибки. Внаслідок їхньої сумарної дії розміри, форма чи взаємне розташування поверхонь деталі відхиляються від заданих значень. Тому для кожного розміру деталі встановлюють не одне точне значення, а певний діапазон допустимих значень, у межах якого деталь вважається придатною до експлуатації.

Номінальний розмір – розмір, який зазначений на кресленні та служить початком відліку відхилень.

Дійсний розмір – розмір, отриманий фактично в результаті обробки деталі та виміряний з допустимою похибкою вимірювального засобу.

Граничні розміри – два крайніх допустимих значення розміру, між якими повинен знаходитися дійсний розмір придатної деталі: найбільший граничний розмір (D_{max}), найменший граничний розмір (D_{min}).

Допуском називається різниця між найбільшим і найменшим граничними розмірами:

$$T = D_{max} - D_{min}$$

Допуск завжди є додатною величиною і характеризує поле розсіювання дійсних розмірів, у межах якого деталь визнається придатною незалежно від того, яке саме значення в межах цього поля прийняв дійсний розмір.

Допуск визначає точність виготовлення: чим менший допуск, тим вища вимагається точність обробки, тим складніше технологічне оснащення та вищі витрати на виготовлення. І навпаки – розширення допуску здешевлює процес виготовлення, але може погіршити експлуатаційні характеристики з'єднання (точність посадки, взаємозамінність тощо).

Для зручності розрахунків і позначення на кресленнях використовують не самі граничні розміри, а їх відхилення від номінального розміру:

- верхнє відхилення (es) – різниця між найбільшим граничним і номінальним розмірами;
- нижнє відхилення (ei) – різниця між найменшим граничним і номінальним розмірами.

Відхилення можуть бути додатними, від'ємними або дорівнювати нулю і позначаються на кресленні поруч із номінальним розміром (наприклад: $\varnothing 25^{+0,021}$; $\varnothing 32_{-0,16}$; $\varnothing 40^{+0,31}_{-0,28}$).

Допуск через відхилення виражається як:

$$T = es - ei$$

Деталь вважається придатною, якщо її дійсний розмір знаходиться в межах поля допуску, тобто:

$$D_{min} \leq D_{\text{дійсний}} \leq D_{max}$$

За своєю природою та характером прояву всі похибки обробки поділяють на дві категорії:

- систематичні похибки – залишаються постійними для всієї партії деталей або ж закономірно змінюються від деталі до деталі;
- випадкові похибки – виникають спонтанно під впливом великої кількості між собою не пов'язаних факторів.

Причинами виникнення постійних або закономірно змінюваних систематичних похибок є:

- геометрична неточність, знос та деформації верстатів, пристроїв та різального інструменту;
- деформації оброблюваних заготовок;
- теплові процеси, що відбуваються у технологічній системі;
- похибки теоретичної схеми обробки.

Головна особливість систематичних похибок полягає в тому, що їх можна виміряти та усунути завдяки належному підналагодженню й регулюванню обладнання.

Навіть на налаштованому верстаті під час обробки партії виникають випадкові відхилення. Основними чинниками їх появи є:

- коливання твердості та хімічного складу матеріалу заготовок;
- нерівномірність величини припуску на обробку;
- пружні деформації під дією змінних сил різання.

Передбачити момент виникнення чи точну величину конкретної випадкової похибки неможливо через її випадковий характер.

Сумарна дія всіх похибок обумовлює відхилення розмірних параметрів оброблених заготовок, які підпорядковуються різним законам розподілу. Практичний досвід доводить: для оцінки розподілу дійсних розмірів заготовок, виготовлених на настроєних верстатах, найзастосовнішим є закон нормального розподілу (закон Гауса). Він ґрунтується на фундаментальному положенні теорії ймовірностей про розподіл суми великої кількості незалежних випадкових величин.

Щоб оцінити точність процесу, застосовують метод вибірок з генеральної сукупності. Закономірності, виявлені у вибірці, характеризують всю партію. Наприклад, якщо протягом інтервалу між підналагодженнями виготовляється партія з 5000 деталей, і її досліджуваний розмірний параметр підпорядковується закону Гауса, то й репрезентативна вибірка (від 50 до 200 шт.) підпорядковуватиметься цьому ж закону. Таким чином, встановивши характеристики вибірки, можна з високою вірогідністю оцінити якість усієї виготовленої партії.

Криву, що зображає щільність розподілу ймовірності за нормальним законом (рис. 1.1), визначають рівнянням:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{-(x_i - x_{\text{сер}})^2}{2\sigma^2}} \quad (1.1)$$

де X_i – змінна випадкова величина;

$X_{\text{сер}}$ – координата центра групування випадкової величини;

σ – середнє квадратичне відхилення X_i від $X_{\text{сер}}$, яке є мірою розсіювання випадкової величини відносно центру групування.

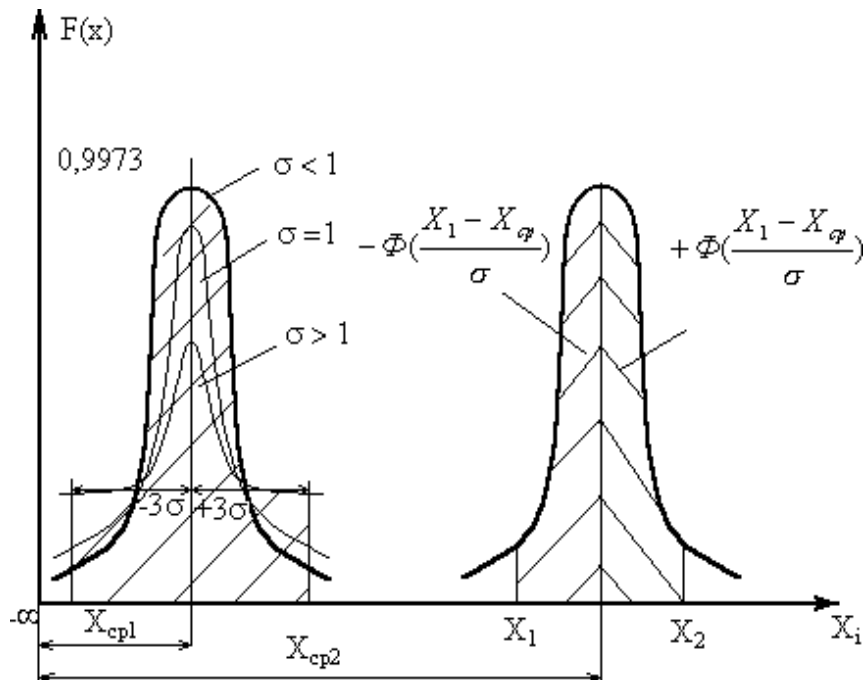


Рисунок 1.1 – Теоретичні криві нормального розподілу

Положення кривої відносно осі координат змінюється із зміною $X_{\text{сер}}$.

Параметр σ впливає на форму кривої розподілу: при зменшенні величини σ висота кривої збільшується і вона стискається по осі ординат, при збільшенні σ крива сплющується розтягуючись уздовж осі абсцис (рис. 1.1).

Інтегральний закон нормального розподілу має вигляд:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{\frac{-(x_i-x_{\text{сеп}})^2}{2\sigma^2}} dx \quad (1.2)$$

Якщо X підпорядковується нормальному закону, то ймовірність:

$$P(-\infty < X < +\infty) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{\frac{-(x_i-x_{\text{сеп}})^2}{2\sigma^2}} dx = 1 \quad (1.3)$$

Для практичних розрахунків приймають площину, обмежену кривою та віссю абсцис в границях $6\sigma(\pm 3\sigma)$, що дорівнює 0,9973.

Ймовірність значень X в будь-якому інтервалі X_1-X_2 :

$$P(x_1 < x < x_2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{\frac{-(x_i-x_{\text{сеп}})^2}{2\sigma^2}} dx \quad (1.4)$$

Якщо прийняти

$$\frac{x_i - x_{\text{сеп}}}{\sigma} = t \quad (1.5)$$

і ввести нові границі

$$t_1 = \frac{x_1 - x_{\text{сеп}}}{\sigma} \quad (1.6)$$

та

$$t_2 = \frac{x_2 - x_{\text{сер}}}{\sigma} \quad (1.7)$$

то

$$P(x_1 < x < x_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_1} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (1.8)$$

Інтеграл

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (1.9)$$

є нормованою функцією Лапласа, значення якої для різних $t = \frac{x_i - x_{\text{сер}}}{\sigma}$ наведені у таблиці 1.3.

Отже, ймовірність того, що потрібний параметр знаходиться в межах X_1 - X_2 , буде:

$$P(x_1 < x < x_2) = \varphi(t_2) - \varphi(t_1) = \varphi\left(\frac{x_2 - x_{\text{сер}}}{\sigma}\right) - \varphi\left(\frac{x_1 - x_{\text{сер}}}{\sigma}\right) \quad (1.10)$$

Наведені залежності математичної статистики дозволяють виявити та проаналізувати закономірності розподілу розмірів заготовок при їх розсіюванні, що дає можливість цілеспрямовано впливати на точність обробки заготовок, до мінімуму зменшуючи браковану продукцію.

Порядок виконання роботи

Для проведення статистичного аналізу оброблено вибірку деталей з 36 шт.

(або 72 шт., за вказівкою викладача), яку розміщено на лабораторній установці.

Для розв'язування задачі статистичної оцінки точності необхідно виконати наступне:

1. Виміряти зовнішній діаметр кожної втулки вибірки та зафіксувати одержані результати.

2. Наведені розміри поділити на групи встановлених інтервалів, тобто визначити розмах коливань розмірів в вибірці X_{min} та X_{max} (наприклад, $X_{min} = 23,68$ мм, $X_{max} = 24,22$ мм).

3. Для подальших розрахунків розміри від X_{min} до X_{max} розділити на інтервали з градацією $\Delta X = 0,03 \dots 0,05$ мм (кількість інтервалів має бути не менше п'яти). При цьому границі інтервалів не повинні повторюватися. Наприклад, перший інтервал ($\Delta X = 0,03$): 23,68...23,70; другий 23,71...23,73 і т. п. Отриманні результати занести до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Вихідні та розрахункові дані

Номер інтервалу	Інтервал	Середина інтервалу X_i	Абсолютна частота m_i	Відносна частота $K_i = \frac{m_i}{n}$	$X_i \cdot m_i$	$X_i - X_{сер}$	$(X_i - X_{сер})^2$	$(X_i - X_{сер})^2 \cdot m_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\sum m_i = n$ $\sum K_i = 1$ $\sum X_i m_i$ $\sum (X_i - X_{сер})^2 \cdot m_i$								

4. Визначити середній арифметичний розмір інтервалів (наприклад, $(X_{i1} = 23,69; X_{i2} = 23,72$ і т. п.).

5. Визначити кількість розмірів, одержаних в результаті вимірювань, які попадають в даний інтервал, абсолютну частоту (наприклад, в границях першого

інтервалу – три розміри; другого – шість; третього – нуль і т. д.). перевірити результати, при цьому:

$$\sum m_i = n,$$

де n – число деталей вибірки, $n = 36(72)$.

6. Для переходу до відносних величин визначити відносну частоту для кожного інтервалу:

$$K_i = \frac{m_i}{n} \quad (1.11)$$

Перевірити $\sum K_i = 1$. (Допустима помилка в третьому знакові).

7. Визначити середнє арифметичне відхилення:

$$X_{\text{сер}} = \frac{\sum x_i m_i}{n} \quad (1.12)$$

8. Побудувати експериментальну криву розподілу розмірів в координатах $X_i - K_i$ (рис. 1.2), відклавши по осі абсцис значення середини інтервалів X_i , а по осі ординат – відповідні значення K_i .

9. Заповнити графі таблиці 1.1, та визначити середнє квадратичне відхилення розмірів:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X_{\text{сер}})^2 m_i}{n}} \quad (1.13)$$

Якщо в формулі використовувати заокруглене значення

$$X' = X_{\text{сер}} \pm \alpha$$

де α - різниця між дійсним та заокругленим значеннями $X_{\text{сер}}$,

то середнє квадратичне відхилення розмірів матиме вигляд:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X'_{\text{сер}})^2 m_i - \alpha^2 n}{n}} \quad (1.14)$$

10. Побудувати криву нормального розподілу, сумістивши її з експериментальною (рис. 1.2). При цьому:

а) Відкласти на осі абсцис X_i значення центра групування розмірів $X_{\text{сер}}$ і провести вісь симетрії кривої нормального розподілу K_i .

б) Визначити X залежно від даного аргументу Y , виразивши X в частках σ і привести значення аргументу до дійсного масштабу.

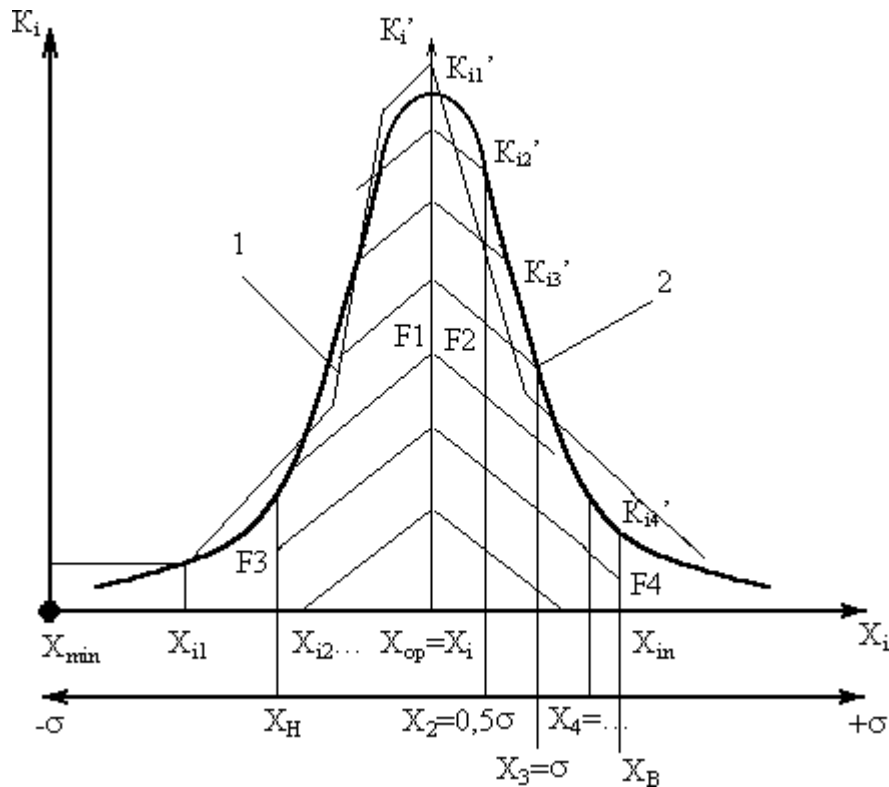


Рисунок 1.2 – Експериментальна крива (1) і крива нормального розподілу розмірів (2)

Для $\sigma = 1$ значення Y табульовані (табл. 1.2). Але, так як на практиці значення σ рідко дорівнює одиниці, для приведення кривої до дійсного масштабу необхідно значення аргументу Y помножити на масштабний

коефіцієнт:

$$K'_i = Y_i \frac{\Delta X}{\sigma} \quad (1.15)$$

де K'_i - ордината кривої в дійсному масштабі;

Y_i - табульоване (табл. 1.2) значення аргументу при $\sigma = 1$;

ΔX - інтервал, прийнятий при побудові експериментальної кривої (див. табл. 1.1).

Таблиця 1.2 – Значення абсциси і ординати нормального розподілу при $\sigma = 1$

X	0	$\pm 0,5\sigma$	$\pm 1\sigma$	$\pm 1,5\sigma$	$\pm 2\sigma$	$\pm 2,5\sigma$	$\pm 3\sigma$
Y	0,4	0,35	0,24	0,13	0,054	0,018	0,004

Криву нормального розподілу будують, розташовуючи значення абсциси ліворуч і праворуч від осі симетрії ($X_{\text{сер}}$); ордината на вісі симетрії кривої K'_i . Отримані точки з'єднують плавною кривою.

в) Зробити висновки про наближення експериментальної кривої до кривої нормального розподілу.

11. Визначити точність токарної операції механічної обробки втулки.

11.1. Нанести на вісь абсцис кривої нормального розподілу поле допуску деталі (визначене викладачем), відклавши нижнє X_H та верхнє X_B граничні відхилення.

11.2. Використовуючи залежності (1.6) та (1.7), і приймаючи

$$X_1 = X_H$$

$$X_2 = X_B$$

визначити з таблиці 1.3 значення функції Лапласа $\Phi(t)$. При цьому площі F_1 та F_2 визначаються:

$$F_1 = \Phi(t_1) \quad (1.16)$$

$$F_2 = \Phi(t_2) \quad (1.17)$$

Таблиця 1.3 – Значення функції Лапласа

t	Φ(t)	t	Φ(t)	t	Φ(t)
0,00	0,000	1,00	0,3415	2,00	0,4775
0,05	0,020	1,05	0,3530	2,05	0,4800
0,10	0,040	1,10	0,3645	2,10	0,4820
0,15	0,0595	1,15	0,3750	2,15	0,4840
0,20	0,0795	1,20	0,3850	2,20	0,4860
0,25	0,0985	1,25	0,3945	2,25	0,4880
0,30	0,1180	1,30	0,4030	2,30	0,4895
0,35	0,1370	1,35	0,4115	2,35	0,4905
0,40	0,1555	1,40	0,4190	2,40	0,4920
0,45	0,1735	1,45	0,4265	2,45	0,4930
0,50	0,1915	1,50	0,4330	2,50	0,4940
0,55	0,2090	1,55	0,4395	2,55	0,4945
0,60	0,2255	1,60	0,4450	2,60	0,4955
0,65	0,2420	1,65	0,4505	2,65	0,4960
0,70	0,2580	1,70	0,4555	2,70	0,4965
0,75	0,2735	1,75	0,4600	2,75	0,4970
0,80	0,2880	1,80	0,4640	2,80	0,4975
0,85	0,3025	1,85	0,4680	2,85	0,4975
0,90	0,3160	1,90	0,4715	2,90	0,4980
0,95	0,3290	1,95	0,4745	2,95	0,4985

Примітка: Проміжні значення табл. 1.3 визначають екстраполяванням.

11.3. Визначити (рис. 1.2), %:

- загальну кількість придатних деталей

$$F_r = F_1 + F_2 \quad (1.18)$$

- загальну кількість браку

$$\sum F_{\text{бп}} = (1 - (F_1 + F_2)) \cdot 100\% \quad (1.19)$$

- кількість непоправного браку

$$F_3 = (0,5 - F_1) \cdot 100\% \quad (1.20)$$

- кількість виправного браку

$$F_4 = (0,5 - F_2) \cdot 100\% \quad (1.21)$$

11.3.Зробити висновок про точність технологічної операції, враховуючи допустимий відсоток браку.

12. Запропонувати заходи по зменшенню загальної кількості браку; невивправного браку.

Зміст звіту

У звіті повинно бути наведено наступне:

1. Назва і мета роботи.
2. Загальні відомості.
3. Результати вимірів і обчислень наведені в таблиці 1.1.
4. Рисунок суміщених експериментальної кривої і кривої нормального розподілу.
5. Необхідні розрахунки та їх результати.
6. Висновки по роботі.

Запитання для самоперевірки

1. Що називають номінальним розміром?

2. Що називають дійсним розміром?
3. Що називають граничними розмірами?
4. Що називають допуском на розмір?
5. Що називають придатною деталлю?
6. Фактори, що впливають на точність обробки.
7. Поняття похибок та їх різновиди.
8. Види систематичних похибок та шляхи їх зменшення.
9. Розкрити суть метода оцінки точності технологічних операцій.
10. Навести приклади систематичної постійної, систематичної змінної та випадкової похибок.
11. Як залежать форма і розташування кривої нормального розподілу від параметрів $X_{\text{сер}}$ і σ ?
12. В чому полягає вибір плану систематичного регулювання?
13. Як визначити ймовірний відсоток бракованих та придатних деталей?
14. Шляхи підвищення точності технологічних операцій.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Визначення впливу похибок базування на точність механічної обробки

Мета роботи - практичне ознайомлення з впливом похибок базування на точність механічної обробки та засвоєння методики їх визначення.

Обладнання та інструменти

1. Викладена нижче методика передбачає виконання роботи на універсально-фрезерному верстаті моделі 676П.
2. Пристрій для установки і закріплення деталей.
3. Фреза кінцева.
4. Мікрометр МР 0-25.
5. Оброблювані заготовки – 4шт.

Загальні відомості

Для механічної обробки деталі на металорізальному верстаті, деталь необхідно встановити та закріпити. При встановленні заготовки в пристрій верстата вирішуються дві задачі: надання деталі потрібного для обробки положення, що забезпечується базуванням, а створення нерухомості деталі в пристрої верстата забезпечується закріпленням.

Базуванням називається надання деталі потрібного положення відносно вибраної системи координат.

База це поверхня, лінія, точка або їх комплект відносно яких здійснюється орієнтація деталі.

За призначенням бази є такими: конструкторськими, технологічними, вимірювальними.

Конструкторська база – це база, яка використовується для визначення

положення деталі або складальної одиниці у виробі.

Технологічна база це база, яка використовується для визначення положення заготовки або виробу при виготовленні чи ремонті.

Вимірювальна база – це база, яка використовується для визначення положення заготовки або виробу відносно засобів вимірювання.

Базуванням при механічній обробці заготовок на верстатах прийнято вважати надання заготовці необхідного положення відносно елементів верстата.

Принцип єдності (суміщення) баз полягає в тому, що в якості технологічних баз, слід вибирати поверхні які є одночасно конструкторськими та вимірювальними базами.

Принцип постійності баз полягає в тому, що під час розробки технологічного процесу необхідно прагнути до використання однієї і тієї ж технологічної бази, не застосовуючи без особливої необхідності зміни технологічних баз.

Заготовки на торці повинні мати маркування у відповідності з табл. 2.1. Діаметри валиків з маркуванням «НБ», «НМ» виконані по граничним розмірам встановленого на діаметр D допуску ($\varnothing 24_{-0.28}$).

Таблиця 2.1 – Дані для маркування заготовок

Дійсні діаметральні розміри валиків	Маркування валиків	Кількість
24,00	«НБ»	2
23,72	«НМ»	2

У відповідності з операційним ескізом (рис. 2.1) необхідно обробити поверхню 1 на валику заданого діаметру – $D = 24_{-0.28}$.

Виходячи із службового призначення валика, конструктор може задати положення поверхні 1 з необхідною точністю одним з трьох розмірів: A_1 , A_2 , A_3 .

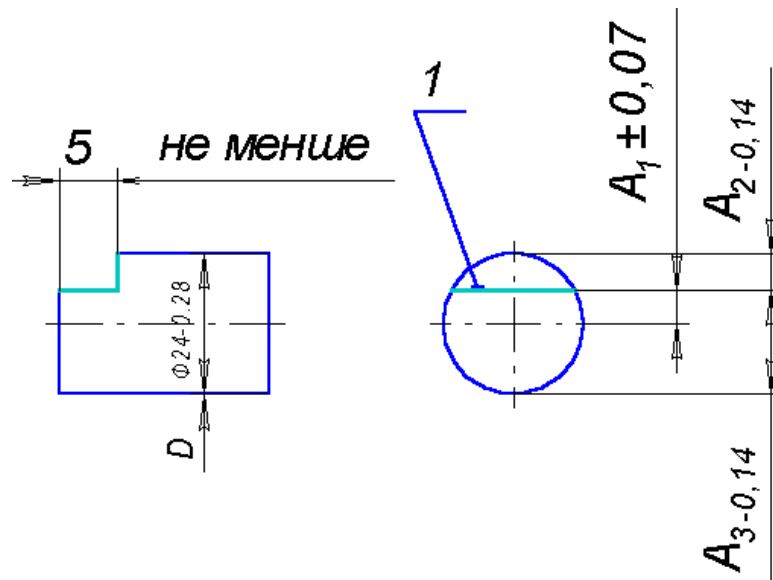


Рисунок 2.1 – Операційний ескіз оброблюваної заготовки

Технолог при обробці поверхні 1 може обрати декілька можливих варіантів схем базування, для матеріалізації яких потрібні різні пристрої. Завдання полягає у виборі найбільш раціональної схеми базування заготовок, як з точки зору забезпечення заданої точності, так і з точки зору простоти конструкції верстатного пристрою, що використовується.

Необхідно проаналізувати три можливих варіанти базування валика на операції, що виконується:

- установка в призму;
- установка в трикулачковому самоцентрувальному патроні;
- установка на площину (тобто у призму з кутом $\alpha = 180^\circ$).

На етапі проєктування операції необхідно обрати схему базування і розрахувати похибку базування для заданого параметру точності.

Похибка базування ε_6 є частиною похибки установки деталі при обробці чи складанні, тобто, згідно з вимогами, йдеться про відхилення фактично досягнутого положення заготовки при встановленні від заданого.

Похибка установки визначається за формулою:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2} \quad (2.1)$$

де ε_3 – похибка закріплення деталі в напрямку вимоги точності;

$\varepsilon_{\text{пр}}$ – похибка пристрою в тому ж напрямку.

Похибка базування виникає у випадках несуміщення конструкторської і технологічної баз для заданого параметру точності.

При розробці операції технологічного процесу механічної обробки деталі, технолог повинен прагнути до принципу суміщення конструкторської і технологічної баз, але це можливо зробити не для всіх параметрів точності.

Відомо два методи визначення похибки базування: графічний та аналітичний.

Графічний заснований на зображенні схем установки заготовок, що базуються, з граничними розмірами базових поверхонь.

Аналітичний метод заснований на побудові розмірної схеми операції, що виконується, та її розмірному аналізі.

Найбільше застосування має перший метод, як найбільш простий, хоча і менш універсальний. В роботі розглядається лише перший метод визначення похибки базування.

Визначення похибки базування по першому варіанту

При встановленні валу в призму його положення по висоті буде змінюватись в залежності від допуску на діаметр валу – δD і кута призми – α (рис. 2.2).

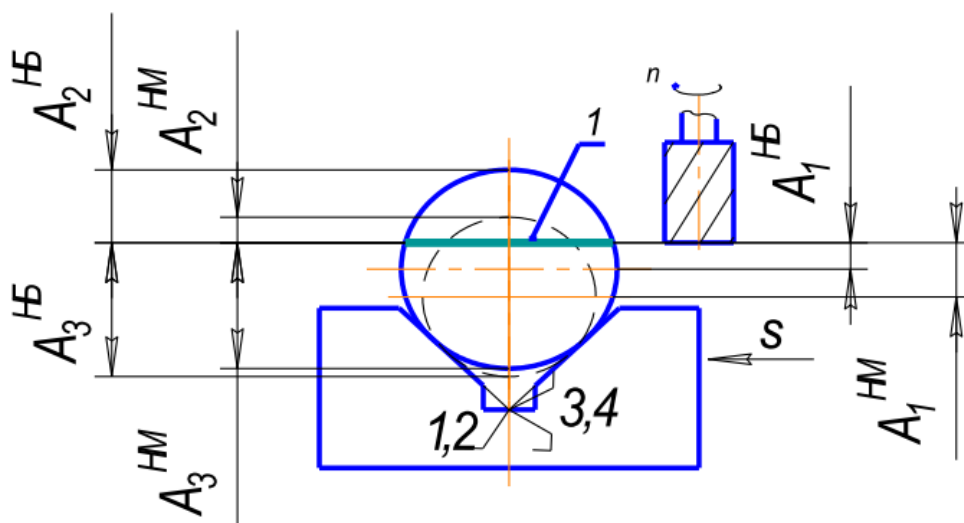


Рисунок 2.2 – Схема установки валу в призму

При обробці поверхні 1 у валу найбільшого діаметра, отримуються розміри, $A_1^{нб}$, $A_2^{нб}$, $A_3^{нб}$, а у валу найменшого діаметра – $A_1^{нм}$, $A_2^{нм}$, $A_3^{нм}$.

Різниця між найбільшим і найменшим розмірами і буде похибкою їх базування.

Для розмірів A_1, A_2, A_3 похибки базування $\varepsilon_6(A_1)$, $\varepsilon_6(A_2)$, $\varepsilon_6(A_3)$, що неважко встановити простими геометричними побудовами, становлять:

$$\varepsilon_6(A_1) = A_1^{нб} - A_1^{нм} = \frac{Td}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (2.2)$$

$$\varepsilon_6(A_2) = A_2^{нб} - A_2^{нм} = \frac{Td}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right) \quad (2.3)$$

$$\varepsilon_6(A_3) = A_3^{нб} - A_3^{нм} = \frac{Td}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) \quad (2.4)$$

де Td – допуск на розмір.

Як видно з формул (2.2)...(2.4) при обробці поверхні 1 на валах, що встановлюються у призму, у відповідності з першим варіантом базування, принцип єдності баз для розмірів A_1, A_2, A_3 не виконується.

Знаючи допуск Td з креслення заготовки і кут призми (як правило $\alpha = 90^\circ$), можна аналітично розрахувати значення похибок базування для вказаних розмірів.

Визначення похибки базування по другому варіанту

При встановленні валів різних діаметрів (у межах допуску) в самоцентрувальний патрон технологічною базою є вісь зовнішньої поверхні валу, яка контактує з кулачками патрона (рис. 2.3.).

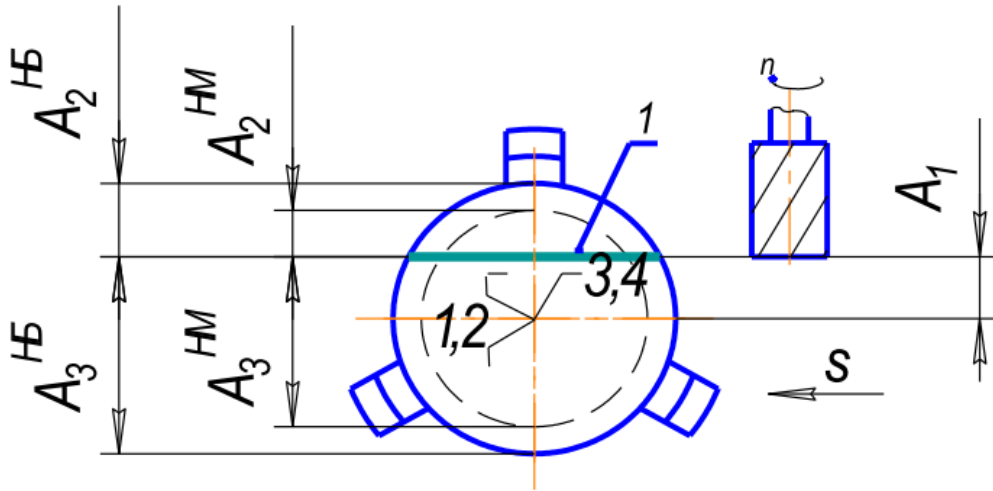


Рисунок 2.3 – Схема установки валу в самоцентрувальний патрон

Похибки базування для розмірів A_1 , A_2 , A_3 у цьому випадку становлять:

$$\varepsilon_6(A_1) = 0 \quad (2.5)$$

$$\varepsilon_6(A_2) = \varepsilon_6(A_3) = \frac{Td}{2} \quad (2.6)$$

Як видно із схеми, тільки для розміру A_1 виконується принцип єдності баз, тобто конструкторська і технологічна бази суміщені.

Визначення похибки базування по третьому варіанту

При встановленні валів різних діаметрів на площину (у призму з кутом $\alpha=180^\circ$) не змінює свого положення (тобто є технологічною базою) лише твірна зовнішньої поверхні валу, по якій вона контактує з площиною (рис. 2.4).

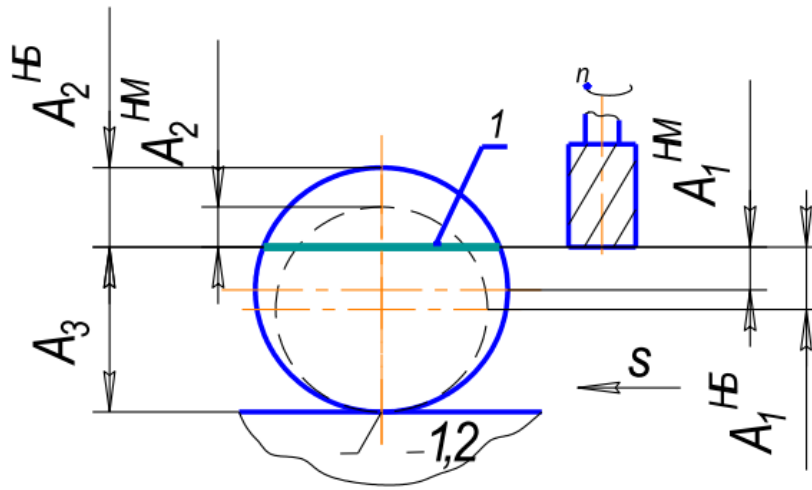


Рисунок 2.4 – Схема установки валу на площину

Похибки базування для розмірів A_1 , A_2 , A_3 для цієї схеми становлять:

$$\varepsilon_6(A_1) = \frac{Td}{2} \quad (2.7)$$

$$\varepsilon_6(A_2) = Td \quad (2.8)$$

$$\varepsilon_6(A_3) = 0 \quad (2.9)$$

Можливі також інші варіанти схем базування валів для виконання операції, яка розглядається.

Аналіз цих варіантів дозволяє вибрати найбільш раціональний.

Порядок виконання роботи

1. Визначити розрахункові похибки базування $\varepsilon_6(A_i)$ для розмірів A_1, A_2, A_3 для всіх трьох варіантів установки валу за формулами 2.2-2.9.
2. Установити пристрій на стіл верстата і закріпити.
3. Установити і закріпити фрезу.
4. У відповідності з нормативами режимів різання при фрезеруванні кінцевими фрезами для глибини різання $t = 0,1 \dots 1,0$ мм вибрати, згідно із

паспортними даними:

- подачу $S_z = 0,07 \dots 0,24$ мм/зуб;
- швидкість різання $V = 40 \dots 60$ м/хв.

Визначити частоту обертання шпинделя n_p за формулою:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V}{d_{\text{фр}} \cdot \pi} \quad (2.10)$$

де $d_{\text{фр}}$ – діаметр фрези, мм.

Скоригувати згідно із паспортними даними верстата n_p (прийняти найближче менше значення n_d) і встановити n_d на верстаті.

Ряд частот обертання шпинделя універсально-фрезерного верстату моделі 676П: 63; 80; 100; 120; 160; 205; 255; 315; 410; 515; 640; 790; 1050; 1330; 1655; 2040.

Визначити дійсну швидкість різання V_d , м/хв.

$$V_d = \frac{\pi \cdot d_{\text{фр}} \cdot n}{1000} \quad (2.11)$$

Визначити хвилинну подачу $S_{\text{хв}}$ за формулою:

$$S_{\text{хв}} = S_z \cdot n_d \cdot Z \quad (2.12)$$

де n_d – дійсна частота обертання шпинделя;

Z – кількість зубів фрези.

Скоригувати за паспортними даними верстата $S_{\text{хв}}$ (прийняти найближче менше значення $S_{\text{хв}}$) і встановити $S_{\text{хв}}$ на верстаті.

Ряд хвилинних подач універсально-фрезерного верстату моделі 676П: 13; 17; 21; 26; 33; 42; 52; 64; 82; 104; 130; 160; 200; 255; 320; 395.

5. Установити і закріпити заготовку в призмі пристрою.

Оброблювана деталь з боку фрези не повинна виступати більше ніж на 30 мм.

Оброблена лиска на валику повинна бути приблизно паралельна площині стола верстата з метою забезпечення зняття припуску по всій поверхні.

6. Налаштувати верстат, забезпечивши потрібну ширину фрезерування (5...6 мм) і вказану в пункті 4 глибину різання t . Закріпити стіл від можливих вертикальних і горизонтальних переміщень.

7. Не змінюючи режими різання, обробити поверхню 1 у всіх чотирьох валиків.

8. Виміряти мікрометром розміри A_1, A_2, A_3 у всіх оброблених валиків. Результати вимірювань занести до таблиці 2.2 у відповідності з маркуванням валиків і знайти поля розсіювання розмірів для заготовок з різним маркуванням.

Таблиця 2.2 – Значення A_1, A_2, A_3 для варіантів базування

Розмір, що контролюється	Маркування валиків				Поле розсіювання ωA_i	Розрахункова похибка базування $\varepsilon_6(A_i)$
	НБ	НБ	НМ	НМ		
Перший варіант базування						
A_1						
A_2						
A_3						
Другий варіант базування						
A_1						
A_2						
A_3						
Третій варіант базування						
A_1						
A_2						
A_3						

Визначити поле розсіювання ωA_i за формулою:

$$\omega A_i = A_i^{\text{НБ}} - A_i^{\text{НМ}} \quad (2.13)$$

де $A_i^{\text{НБ}}$ – найбільший розмір з двох розмірів НБ;

$A_i^{\text{НМ}}$ – найменший розмір з двох розмірів НМ.

Зміст звіту

У звіті повинно бути наведено наступне:

1. Назва і мета роботи.
2. Відомості про верстат, пристрій, різальний інструмент.
3. Операційний ескіз обробки та режими різання (t , S , V).
4. Схеми операції по трьох варіантах базування з наведеними формулами для визначення очікуваних похибок базування.
5. Результати вимірювань і розрахунків, зведені у таблицю 2.2.
6. Висновки про доцільність варіантів базування з точки зору забезпечення заданої точності обробки.
7. Висновки по роботі.

Питання для самоперевірки

1. Дати визначення понять «базування», «база», «конструкторська база», «технологічна база», «вимірювальна база».
2. Суть принципу єдності баз.
3. Суть принципу постійності баз.
4. Поняття похибки базування і причини її утворення.
5. Теоретичні схеми базування валу у призмі, патроні, на площині.
6. На якому етапі механічної обробки виникає похибка базування?
7. Кількість позбавлених степенів рухомості при встановленні деталі по

циліндричній поверхні.

8. Поняття похибки установки заготовки при механічній обробці.
9. Значення похибки базування при автоматичному отриманні розмірів на металорізальних верстатах?
10. Чи всі компоненти загальної похибки деталі (розмірів, геометричної форми, взаємного розташування) викликають похибку базування заготовки?
11. Випадки, при яких похибка базування дорівнює нулю.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Адаменко Ю. І., Герасимчук О. М., Майданюк С. В., Мініцька Н. В., Пасічник В. А., Плівак О. А. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 1 [Електронний ресурс]: навчальний посібник. Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. – 164 с.
2. Базь О. С., Захаренко Г. С. Токарна справа. Частина 1: навчальний посібник. – Чернівці: Букрек, 2020. – 232 с.
3. Базь О. С., Захаренко Г. С., Паржницький О. В. Токарна справа. Частина 2: навчальний посібник. – Чернівці: Букрек, 2021. – 176 с.
4. Булига, Ю. В. Теорія різання. Розрахунок режимів різання : практикум / Булига Ю. В., Веселовська Н. Р., Міськов В. П. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 67с.
5. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання : метод. вказ. до викон. лаб. робіт / [уклад. : А.М. Артюхов, А.Р. Апаракін] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. технології машинобудування. – Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – 52 с.
6. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання. Практикум : підруч. для студ. вищ. навч. закл. освіти / Г. О. Іванов, В. С. Шебанін, Д. В. Бабенко, Полянський П.М.; за ред. Г. О. Іванова і В. С. Шебаніна. – Миколаїв : МНАУ, 2016. – 428 с.
7. Гоменюк Д. В. Технології верстатних робіт: підручник / [Д. В. Гоменюк, Л. А. Романов, М. М. Шимановський]. – Житомир, «Полісся», 2021. – 492 с.
8. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2013. 125 с.
9. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2015. 112 с.
10. Добрянський С. С., Малафєєв Ю. М. Технологічні основи машинобудування: підручник для студ. спец. 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» [Електронний ресурс]. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.

11. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів : підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, А.І. Грабченко, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов ; під заг. ред. М.П. Мазура. – 3-є вид. перероб. і доп. – Львів : Новий світ–2000, 2018. – 471 с.
12. Назаренко І. І. та ін. Технологія машинобудування: навчальний посібник для студ. спец. 133 «Галузеве машинобудування», 015 «Професійна освіта (машинобудування)», 131 «Прикладна механіка» / / І. І. Назаренко, М. М. Ручинський, О. П. Дєдов, Є. О. Міщук // Київ: КНУБА, 2024. – 164 с.
13. Павленко, І. І. Роботизовані технологічні комплекси : монографія / І. І. Павленко, В. А. Мажара ; за ред. І. І. Павленка. - Кропивницький : КОД, 2019. - 382 с.
14. Солодкий, В. І. Основи проектування різального інструмента. Частина II [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / В. І. Солодкий, О. А. Плівак ; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,25 Мбайт). – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 178 с.
15. Технологічні основи машинобудування. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей «Прикладна механіка», «Галузеве машинобудування» / Укл.: проф., д.т.н. Павленко І.І., доц., к.т.н. Артюхов А.М.; доц., к.т.н. Підгаєцький М.М., викладач Сторожук М.О. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 50 с.
16. Тичинська Л. М. Теорія ймовірностей. Ч. 1. Історичні екскурси та основні теоретичні відомості: навчальний посібник / Л. М. Тичинська, А. А. Черепашук. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 112 с.
17. Швець В. Т. Теорія ймовірностей, математична статистика та випадкові процеси: навчальний посібник. – Одеса, 2021. – 234 с.

Технологічні основи машинобудування
Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
для здобувачів спеціальностей G9 «Прикладна механіка», G11
«Машинобудування»

Частина I

Укладачі: Скібінський О.І., Селехова В.М.

Кропивницький