

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБРОБЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ВИГОТОВЛЕНИХ АБО ВІДНОВЛЕНИХ КОМПЛЕКСНИМ МЕТОДОМ

Розроблений оптимізаційний процес фінішної механічної обробки деталей, виготовлених або відновлених комплексним методом. Розроблена блок-схема та програма оптимізаційного процесу фінішної механічної обробки деталей тіл обертання.

The article presents an optimization process developed by the finish machining of detail machines manufactured or refurbished complex method. The block diagram of the optimization process and the program finish machining of parts of bodies of revolution.

1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Розвиток способів обробки деталей машин пар тертя, що призводять до збільшення їхнього ресурсу, надійності та довговічності є пріоритетним напрямком у машинобудуванні. Традиційні методи обробки вже не задовольняють нових вимог, що висуваються до сучасних машин і механізмів. На передній план виходять методи обробки, що або використовують нові джерела енергії, або базуються на нових засадах застосування відомих методів обробки. Це дозволяє отримувати поверхні деталей машин з новою якістю, що збільшує їх ресурс, підвищує їх надійність та довговічність. Новим методом виготовлення та відновлення зношуваних поверхонь деталей є комплексний метод. Він полягає у хімічному покритті та дифузійному хромуванні за визначеними режимами. При реалізації режимів даного методу, на робочих поверхнях пар тертя отримуємо композитні дифузійні шари різної морфології, завдяки чому у декілька разів зростає ресурс деталей, виготовлених або відновлених комплексним методом. Оскільки ключовими параметрами таких деталей є, також, висока точність та низька шорсткість робочих поверхонь, то у процесі виготовлення важливою є кінцева механічна обробка.

²³ Українська академія друкарства

2. МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Розробити оптимальний технологічний процес кінцевої механічної обробки та розрахувати технологічні параметри поверхонь деталей машин, зміцнених комплексним методом.

3. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Оптимальний режим різання повинен забезпечувати максимальну довговічність отриманих деталей, найбільшу продуктивність і найменшу собівартість їх оброблення із забезпеченням необхідної точності оброблення.

Довговічність отриманої деталі T , яка вимірюється в циклах [1, 3, 4, 6, 7, 12, 13], залежить від усередненої мікротвердості та товщини зміцненого шару ($h \cdot H_\mu$, мм·МПа), шорсткості поверхні (Ra , мкм) і відхилення від заданого розміру (ΔR , мкм):

$$T = f(h \cdot H_\mu, Ra, \Delta R). \quad (1)$$

На основі отриманих експериментальним шляхом даних, довговічність деталей можна описати залежністю

$$T = C_T \cdot (h \cdot H_\mu) \cdot Ra^{-0,98} \cdot \Delta R^{-0,3}. \quad (2)$$

Звідси

$$C_T = T / ((h \cdot H_\mu) \cdot Ra^{-0,98} \cdot \Delta R^{-0,3}) = (T \cdot Ra^{0,98} \cdot \Delta R^{0,3}) / h \cdot H_\mu. \quad (3)$$

Згідно отриманих даних проведених стендових експериментів довговічності деталей

$$C_T = \Sigma C_{Ti} / 12 = 1,37 \cdot 10^4. \quad (4)$$

Тоді $T = 1,37 \cdot 10^4 \cdot (h \cdot H_\mu) \cdot Ra^{-0,98} \cdot \Delta R^{-0,3}$,

$$\text{або } T = \frac{1,37 \cdot 10^4 \cdot h \cdot H_\mu}{Ra_i^{0,98} \cdot \Delta R_i^{0,3}}. \quad (5)$$

На основі стендових досліджень та методик, викладених у [2, 5, 8-10] розраховано технологічні параметри операцій.

На основі спроектованих каскадних графів технологічних процесів виготовлення деталей машин та проведених розрахунків отримано технологічні процеси виготовлення деталей.

Маршрутна технологія виготовлення деталей типу тіл обертання:

005 Заготівельна

010 Токарно-револьверна чорнова

015 Токарно-револьверна чистова

020 Хімічна обробка

025 Термічна (дифузійне хромування)

030 Токарно-гвинторізна

035 Контрольна

Задачу оптимізації технологічного процесу виготовлення, встановлення оптимальних режимів різання, яку розрахуємо для широко розповсюджених деталей тіл обертання, зводиться до нелінійної задачі математичного програмування. За умовою необхідно максимізувати довговічність роботи деталі.

На основі статистичної обробки даних з точності виготовлення деталей типу тіл обертання [9], отриманих на ВАТ «Львівський завод фрезерних верстатів», ЗАТ «Завод комунального транспорту», отримано залежності впливу відхилення ΔR від розміру на собівартість $C_{T.O.}$ точності обробки фінішної операції, грн.:

$$C_{T.O.} = 169,12 \cdot \Delta R^{-1,49}, \quad (6)$$

і на собівартість C_B виготовлення, грн.

$$C_B = 3,2 \cdot \Delta R. \quad (7)$$

$$\text{Функція мети: } T = \frac{1,37 \cdot 10^4 \cdot h \cdot H_\mu}{Ra_i^{0,98} \cdot \Delta R_i^{0,3}} \Rightarrow \max; \quad (8)$$

$$\text{за критерієм: } |C_B - C_{T.O.}| \rightarrow \min. \quad (9)$$

За результатами виконаних експериментальних досліджень планування експерименту отримані залежності для шліфування:

$$\Delta R_1 \leq 1,69 \cdot t_{ш}^{0,18} \cdot s_{ш}^{0,57} \cdot v_{ш}^{0,33} \cdot z_r^{0,28}; \quad (10)$$

$$Ra_1 \leq 0,27 \cdot t_{ш}^{0,16} \cdot s_{ш}^{0,5} \cdot v_{ш}^{0,29} \cdot z_r^{0,12}; \quad (11)$$

$$\text{для точіння: } \Delta R_2 \leq 94,3 \cdot t_T^{0,13} \cdot s_T^{0,47} \cdot v_T^{0,2} \cdot r^{0,05}; \quad (12)$$

$$Ra_2 \leq 14,31 \cdot t_T^{0,07} \cdot s_T^{0,46} \cdot v_T^{0,16} \cdot r^{0,01}; \quad (13)$$

де ΔR_1 – точність обробленої поверхні при шліфуванні, мкм;

Ra_1 – шорсткість отриманої поверхні при шліфуванні, мкм;

ΔR_2 – точність обробленої поверхні при точінні, мкм;

Ra_2 – шорсткість отриманої поверхні при точінні, мкм;

$t_{ш}$ – глибина різання при шліфуванні, мм;

$s_{ш}$ – подача при шліфуванні, мм/об;

$v_{ш}$ – швидкість різання при шліфуванні, м/хв;

z_r – зернистість;

t_T – глибина різання при точінні, мм;

s_T – подача при точінні, мм/об;

v_T – швидкість різання при точінні, м/хв;

r – радіус вершини різця, мм.

Оптимізацію проводимо з урахуванням таких обмежень:

$$\left. \begin{aligned}
 a_1 &\leq \Delta R_1 \leq b_1; \\
 a_2 &\leq Ra_1 \leq b_2; \\
 a_3 &\leq h \cdot H_\mu \leq b_3; \\
 a_4 &\leq \Delta R_2 \leq b_4; \\
 a_5 &\leq Ra_2 \leq b_5; \\
 a_6 &\leq t_{III} \leq b_6; \\
 a_7 &\leq s_{III} \leq b_7; \\
 a_8 &\leq v_{III} \leq b_8; \\
 a_9 &\leq zr \leq b_9; \\
 a_{10} &\leq t_T \leq b_{10}; \\
 a_{11} &\leq s_T \leq b_{11}; \\
 a_{12} &\leq v_T \leq b_{12}; \\
 a_{13} &\leq r \leq b_{13}.
 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Для розв'язання поставленої задачі на комп'ютері використовували метод Монте-Карло, який полягає в наступному. Межі допустимих розв'язків у поставленій задачі є перетином n -вимірного паралелепіпеда, що визначається лінійними обмеженнями (9), та деякої площі, яка визначається нелінійними обмеженнями (10)-(13) [11].

Якщо позначити кількість всіх дослідів через N , а кількість точок, які попали в межі допустимих розв'язків, через K , то імовірність P попадання точки в межі допустимих розв'язків окремого випробування можна охарактеризувати відношенням $P = \frac{K}{N}$. Водночас можливі такі

випадки:

$P = 0$ – область допустимих розв'язків відсутня (на практиці цей випадок може зустрітися тільки за некоректної постановці задачі).

$0 < P < 1$ – перетин обмежень (9) і обмежень (10)-(13).

$P = 1$ – область допустимих розв'язків співпадає з областю обмежень (4)-(7).

У процесі роботи на комп'ютері імовірність попадання окремих точок в область допустимих розв'язків не перевищує 0,2, а в окремих випадках становить 0,02–0,05. Тому кількість випробувань доходить до кількох десятків тисяч. Однак цю кількість можна суттєво зменшити, якщо межі точки функції мети оточити достатньо малим паралелепіпедом і провести дослідження в цьому паралелепіпеді.

Для реалізації поставленої задачі була розроблена програма для комп'ютера, яка передбачала дослідження в паралелограмі, який включає границі допустимих розв'язків. Водночас в паралелограмі утворюється послідовність псевдовипадкових чисел μ_i в інтервалі $[0, 1]$, які перетворювалися до значень ΔR_{1i} , Ra_{1i} , та інших. Величини ΔR_{1i} ,

Ra_{1i} , та інші попарно незалежні та рівномірно розподілені на відрізках $[a_1, b_1], [a_2, b_2] \dots [a_{13}, b_{13}]$.

Програма була поділена на дві частини: навчаючу та виконавчу. Після вводу початкових даних навчаюча програма проводить серію досліджень у межах області обмежень (9), оцінює отриману імовірність P попадання окремої точки в межі області допустимих розв'язків і будує новий паралелограм, в якому цикл повторюється. Точки, для яких не виконуються умови (10)-(13), відкидаються, а для точок, що попали в область допустимих розв'язків, обчислюється собівартість.

Далі навчаюча програма будує новий паралелограм таким чином, щоб збільшити відношення числа K точок, що попали в межі області допустимих розв'язків, до числа досліджень N в наступній серії і т.д. За імовірності $P \geq 0,95$ навчаюча програма припиняє роботу та передає керування виконавчій програмі, яка і визначає оптимальний режим різання.

Значення собівартості, які отримані на кожному етапі, порівнюються з попередніми. Більші з них та відповідні йому значення ΔR_{1i} , Ra_{1i} , ΔR_{2i} та інші запам'ятовуються і весь процес повторюється. У ході обчислень з точок, які попали в область допустимих розв'язків, обирається точка з найменшим значенням собівартості.

Для отримання послідовності псевдовипадкових чисел μ_i використовувався генератор комп'ютера. Отримані числа за залежностями:

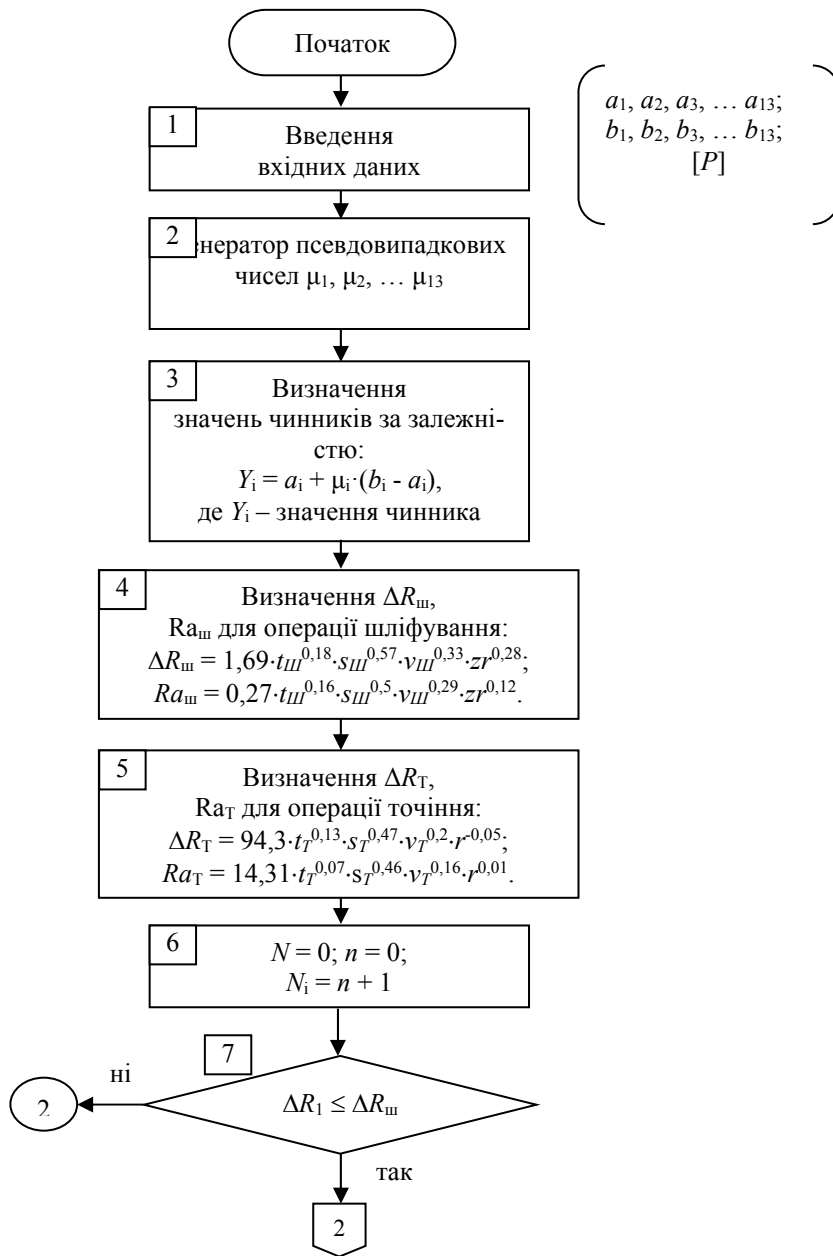
$$Y_i = a_1 + \mu_{i1}(b_i - a_1); \quad (15)$$

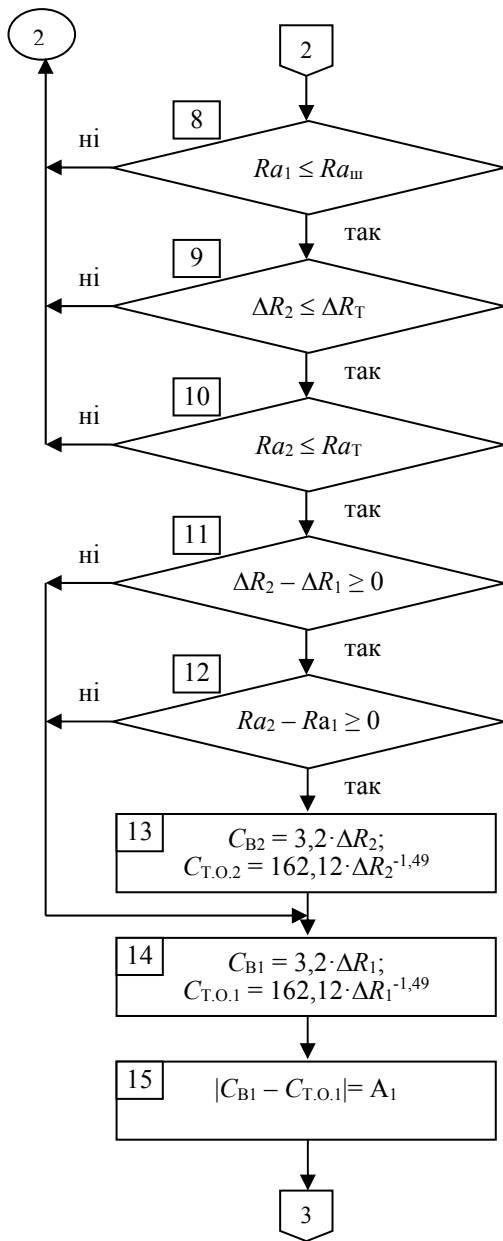
перетворювалися до інтервалів змінних $a_1 \dots b_1; a_2 \dots b_2; \dots a_{13} \dots b_{13}$.

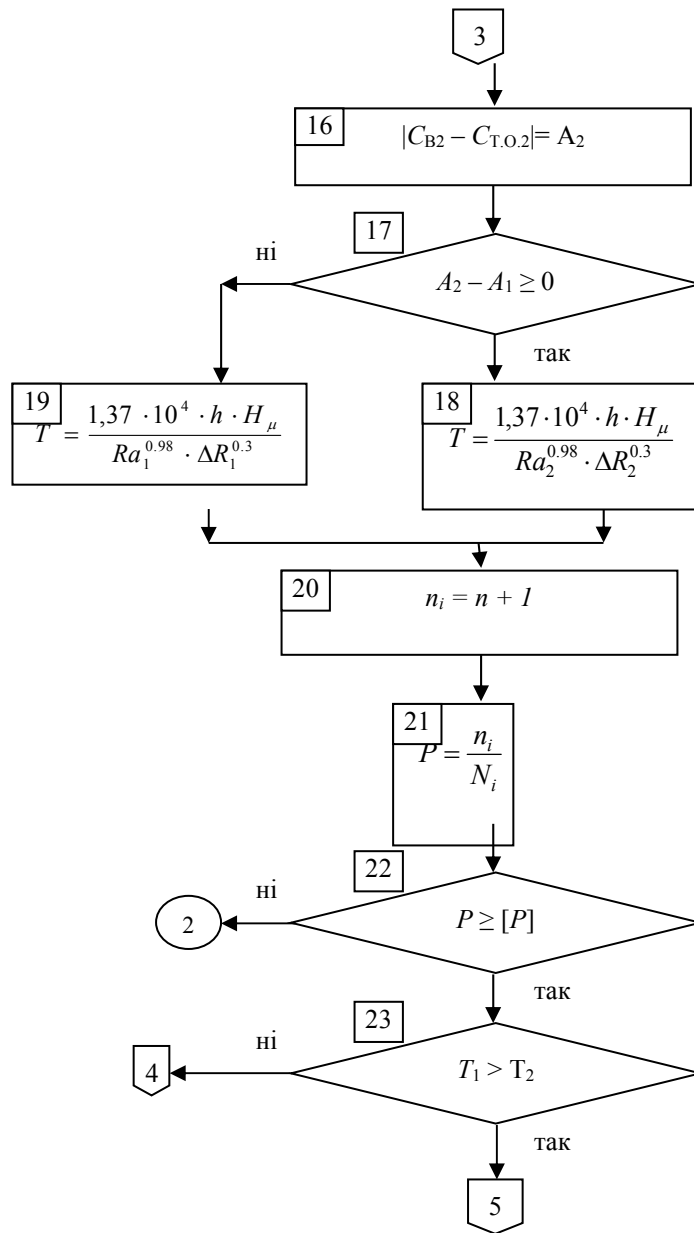
Блок-схему алгоритму оптимізації технологічних чинників на фінішній операції механічної обробки деталей показано на рис. 1.

Після введення вхідних даних програма за допомогою генератора псевдовипадкових чисел (блок 2) визначає значення усіх чинників (блок 3).

Далі за залежностями (10-13), отриманими згідно методики планування експерименту, обчислюється ΔR і Ra для операцій точіння та шліфування (блоки 4 і 5). Отримані дані порівнюються із граничними (блоки 7, 8, 9 і 10). Якщо значення точності та шорсткості є меншими граничним значенням, то програма повертається до блоку 2, де генератор визначає інше число і обчислення проводяться спочатку. При більшому чи рівному співвідношенні програма поводить обчислення собівартості виготовлення та собівартості точності обробки для операцій круглого шліфування та точіння (блоки 13 і 14).







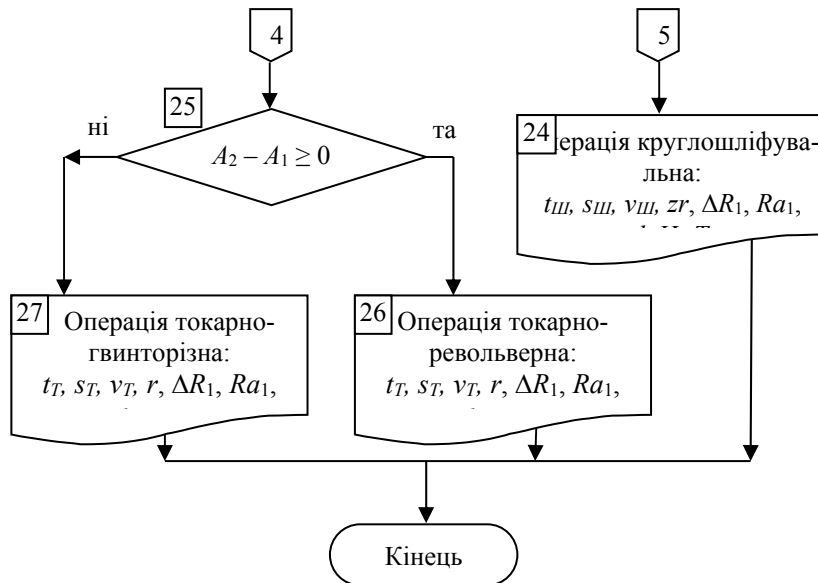


Рис. 1. Блок-схема алгоритму оптимізації технологічних чинників на фінішній операції механічної обробки деталей типу тіл обертання

Після цього програма за формулою (5) розраховує ресурс деталі (блоки 18 і 19). Після цього розраховується P та порівнюється із $[P]$, щоб задовольнялася рівність: $P \geq [P]$ (блок 22), інакше програма знову повертається до блоку 2. Якщо рівність виконується, то проводиться порівняння ресурсу при точінні і при шліфуванні (блок 23), і залежно від отриманого результату проводиться вивід даних режимів для плоскошліфувальної операції (блок 24) або для токарних операцій (блок 26 і 27) на робоче вікно результатів програми (рис. 2), яка написана у середовищі ліцензованої Delphi 7, де наведено результати розрахунку технологічних параметрів фінішної обробки та маршрутна технологія обробки експериментального зразка, виготовленого зі сталі 45.

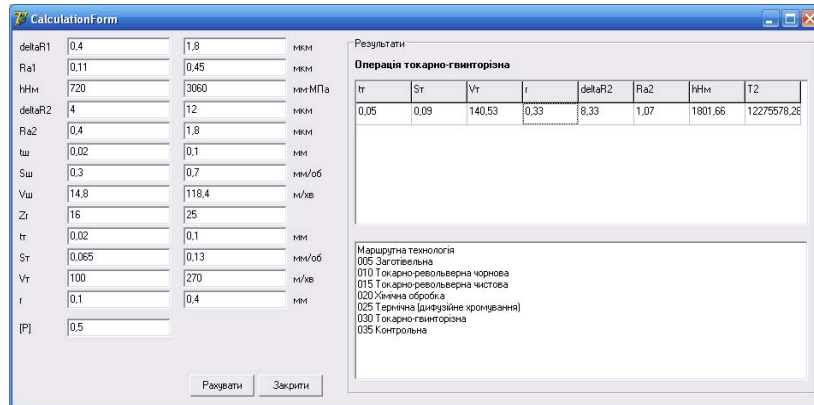


Рис. 2. Зовнішній вигляд робочого вікна програми оптимізаційного процесу фінішної механічної обробки деталей тіл обертання

4. ВИСНОВКИ

Розроблений оптимальний технологічний процес механічної обробки, блок-схема алгоритму оптимізації технологічних чинників на фінішній операції механічної обробки деталей і розроблена на її основі програма розрахунку дозволяє інженерам-технологам проектувати технологічний процес та розраховувати елементи режиму різання фінішної операції деталей, виготовлених або відновлених комплексним методом, що має важливе теоретичне і практичне значення.

1. Гаркунов Д.Н. Повышение износостойкости деталей конструкций самолетов / Д.Н. Гаркунов, А.А. Поляков. – М., Машиностроение, 1974, 218с.
2. Гусев А.А. Технология машиностроения (специальная часть) / [А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов и др.] – М. Машиностроение, 1986. – 480с.
3. Долговечность трущихся деталей машин: Сб. статей. Вып. 2/ Под ред. Д.Н. Гаркунова. – М.:Машиностроение, 1987. – 304 с.
4. Икрамов У.А. Расчетные методы оценки абразивного износа / У.А. Икрамов. – М., Машиностроение, 1987, – 288с.
5. Картавов С.А. Технология машиностроения. Специальная часть / Сергей Алексеевич Картавов. – Киев: Вища школа, 1984. – 272 с. 2-е издание, перераб. и дополн.
6. Комвопулос. Трение пропахивания при скольжении металлов без смазки и со смазкой / Комвопулос, Сака, Су. // Проблемы трения и смазки. 1986, № 3, С. 1-15.
7. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов – М., Машиностроение, 1977, 528с.
8. Медвідь М.В. Теоретичні основи технології машинобудування. / М.В. Медвідь, В.А. Шабайкович. – Львів: Вища шк., 1975. – 234 с.
9. Сологуб Н.А. Планирование эксперимента при изучении процесса ионного азотирования стали 45Х / Н.А. Сологуб, В.Г. Каплун, А.Е. Рудык // Прobl.

трения и изнашивания. -1985.- № 29. -С.33-36. 10. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мецзякова. – М. Машиностроение, 1985. – 656 с. 11. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний. / Михаил Никитович Степнов. Справочник. – М.:Машиностроение, 1985. – 232 с.; ил. 12. Стецкив О.П. О геометрии износа подшипников скольжения и влияние зазоров на их износостойкость / О.П. Стецкив, О.С. Клюфас, В.И. Ющик // Трение и износ. 1981, №6, Т.2, С.1044-1049. 13. Fayeulle S. Tribological Behaviour of Nitrogen-Implanted Materials // Wear, 1986, Vol. 107, №1, P.61-70.