

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

Котляр Олексій Віталійович



УДК 621.91

**БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР НАЙВИГІДНІШОГО  
ВАРІАНТУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ  
ТИПУ ТІЛ ОБЕРТАННЯ**

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Карпуть Владислав Євгенович**,  
Національний технічний університет  
“Харківський політехнічний інститут”, м. Харків,  
професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Мироненко Євгеній Васильович**,  
Донбаська державна машинобудівна академія,  
м. Краматорськ,  
декан факультету техніки та менеджменту,  
професор кафедри металорізальних верстатів та інструментів

кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
**Бородінов Володимир Олександрович**,  
Виробничо-технічний центр Харківської філії державного підприємства “Харківстандартметрологія”, м. Харків,  
директор

Захист відбудеться “20” січня 2011 р. о 14<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.050.12 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розіслано “17” грудня 2010 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Пермяков О.А.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Деталі типу тіл обертання складають значну частку деталей машин та механізмів. Згідно з типовими маршрутами обробки та в залежності від конструктивно-технологічних особливостей і величини виробничої партії тіла обертання можуть оброблятися на різних типах токарних, фрезерних, свердлильних та шліфувальних верстатів як з ручним керуванням, так і з ЧПК, що призводить до зростання числа конкуруючих варіантів технологічних процесів (ТП) їх обробки. В умовах багатомоделного виробництва, що характеризується нестабільністю об'єктів виробництва та виробничих партій деталей, вибір найвигіднішого варіанту ТП з числа конкуруючих є складною і трудомісткою задачею.

Ефективність функціонування машинобудівних виробництв залежить від великої кількості внутрішніх та зовнішніх факторів, які впливають на показники діяльності підприємства та визначають критерії оптимізації ТП. Тому оцінку виробничої діяльності підприємства, пов'язану з процесом виготовлення деталей та визначення найвигіднішого ТП слід проводити на підставі багатокритеріальної оптимізації з урахуванням системи критеріїв, яка характеризує організаційно-технологічну структуру машинобудівного виробництва і дозволяє найбільш точно визначити область ефективного застосування технологічного обладнання. Питання, що пов'язані з багатокритеріальною оптимізацією ТП потребують значної уваги, особливо це стосується вибору найбільш ефективного методу оптимізації з урахуванням виробничих умов.

Незважаючи на широке впровадження автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва виконання техніко-економічних розрахунків при проектуванні ТП в умовах багатомоделного виробництва залишається досить трудомісткою задачею, для вирішення якої необхідна розробка методики, що дозволяє з високою достовірністю та мінімальною трудомісткістю розраховувати норми часу та значення критеріїв оптимальності. Слід відзначити також необхідність підвищення ефективності виробництва шляхом впровадження конструкторсько-технологічних способів інтенсифікації обробки, які дозволять збільшити продуктивність та розширити технологічні можливості металорізальних верстатів. Отже, вибір найвигіднішого варіанту ТП виготовлення деталей типу тіл обертання з використанням багатокритеріальної оптимізації з урахуванням конструктивно-технологічних характеристик та величини виробничої партії деталей є актуальною науково-технічною задачею та визначає напрямок дисертаційного дослідження.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дисертації є частиною наукового напрямку кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", пов'язаного з розробкою методів та систем моделювання об'єктів і процесів та інтенсифікацією обробки на верстатах з ЧПК, який розробляється у рамках завдань держбюджетних НДР (тема №2304) та госпдоговірних робіт з Державним підприємством ХМЗ «ФЕД» (м. Харків), де здобувач був виконавцем окремих етапів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності виготовлення деталей типу тіл обертання шляхом вибору оптимальних ТП з урахуванням

конструктивно-технологічних характеристик та величини виробничої партії деталей, а також розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності металорізальних верстатів.

Відповідно до поставленої мети сформульовано наступні задачі дослідження:

- розробити систему критеріїв вибору оптимального варіанту ТП обробки деталей типу тіл обертання, яка б всебічно характеризувала діяльність машинобудівних виробництв і обґрунтовано розширювала межі ефективного застосування металорізального обладнання;

- обґрунтувати вибір найбільш ефективного методу багатокритеріальної оптимізації ТП з урахуванням виробничих умов;

- розробити методику визначення трудомісткості обробки деталей, що дозволяє оперативним з мінімальними витратами часу визначати норми часу для конкуруючих варіантів ТП;

- запропонувати конструкторсько-технологічні способи інтенсифікації обробки, які дозволяють розширити технологічні можливості і підвищити продуктивність металорізальних верстатів та розробити комбінований різець і багаторізцевий тримач;

- виявити вплив пружних деформацій елементів технологічної системи багаторізцевої обробки на токарних верстатах з ЧПК з використанням комбінованого різця та багаторізцевого тримача на величину похибок обробки.

*Об'єкт дослідження* – технологічний процес обробки деталей типу тіл обертання.

*Предмет дослідження* – організаційно-технологічні закономірності вибору найвигіднішого варіанту ТП обробки деталей типу тіл обертання в умовах багатоміністратурного виробництва.

*Методи дослідження.* Аналітичні дослідження виконувалися на базі теоретичних основ технології машинобудування, теорії різання металів, математичної статистики і системного аналізу. Теоретичні розрахунки та математичне моделювання процесів обробки деталей проводилися на ЕОМ із застосуванням сучасних прикладних програм. Дослідження напружено-деформованого стану технологічних систем здійснювалося методом скінченних елементів. Достовірність висновків теоретичних розробок підтверджена результатами експериментальних досліджень, що здійснювалися в лабораторних та виробничих умовах.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що вперше запропоновано систему багатокритеріального вибору найвигіднішого варіанту ТП з числа конкуруючих на підставі показників, які відображають технологічні та економічні аспекти діяльності машинобудівних виробництв з урахуванням конструктивно-технологічних характеристик деталей та організаційно-технологічних умов виготовлення. При цьому отримані такі нові результати:

- доведена доцільність використання багатокритеріального вибору найвигіднішого варіанту ТП обробки деталей типу тіл обертання з урахуванням показників, які сприяють інтенсифікації виробництва, підвищують ефективність використання матеріальних і енергетичних ресурсів та надійність процесу функціонування обладнання, дозволяючи об'єктивно уточнити та розширити межі ефективного застосування ТП;

- обґрунтовано вибір найбільш ефективного методу багатокритеріальної оптимізації ТП з урахуванням стохастичного та умовно детермінованого характеру вихідних даних, а також кількості конкуруючих варіантів ТП, що дає змогу зменшити складність та трудомісткість розрахунків і підвищити об'єктивність вибору найвигіднішого варіанту ТП;

- визначено вплив конструкторсько-технологічних способів інтенсифікації обробки на токарних, свердлильних та фрезерних верстатах як з ручним керуванням, так і з ЧПК на вибір найвигіднішого ТП обробки деталі, що забезпечує розширення області ефективного застосування верстатів з ЧПК;

- теоретичні та експериментальні дослідження багаторізевої обробки на токарних верстатах з ЧПК із застосуванням запропонованого комбінованого різця та багаторізевого тримача дозволили виявити вплив пружних деформацій елементів технологічної системи на формування похибки обробки, що дало змогу підвищити точність багаторізевої обробки.

### **Практичне значення отриманих результатів** для машинобудівної галузі.

Розроблено методику багатокритеріальної оптимізації ТП виготовлення деталей типу тіл обертання. Запропоновано спосіб визначення трудомісткості обробки деталей типу тіл обертання, що дозволяє в автоматизованому режимі на підставі статистичних значень інтенсивності формоутворення з мінімальними витратами часу визначати трудомісткість обробки деталі для конкуруючих варіантів ТП. Розроблені та запатентовані багатопшпindelні головки, швидкозмінний різцевий блок і збірний комбінований осьовий інструмент, які дозволяють розширити технологічні можливості та підвищити продуктивність металорізальних верстатів за рахунок скорочення основного і допоміжного часу. Для запатентованого комбінованого різця та багаторізевого тримача розроблена конструкторська та технологічна документація і виготовлені дослідні зразки. Розроблені математичні залежності для визначення похибок багаторізевої обробки на токарних верстатах з ЧПК з використанням комбінованого різця та багаторізевого тримача. Дослідні зразки комбінованого різця та багаторізевого тримача, патентна документація, результати теоретичних і експериментальних досліджень, а також практичні рекомендації з використання, передані для виробничого впровадження на ДП ХМЗ "ФЕД", про що складено акт.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення і результати досліджень отримані здобувачем самостійно. Серед них: виконання аналітичних та експериментальних досліджень; узагальнення одержаних результатів; обґрунтування планів експериментів; розробка технологічної документації та участь у виробничому впровадженні. Постановка задач дослідження та аналіз деяких результатів виконані разом з науковим керівником.

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові положення та результати роботи доповідалися на: 13-й міжнародній науково-технічній конференції "Физические и компьютерные технологии" (м. Харків, 2007 р.); 14-й міжнародній науково-методичній конференції "Технологии XXI века" (м. Алушта, 2007 р.); XII–XIV міжнародних конгресах двигунобудівників (с. Рибаче, 2007–2009 рр.); XIV–XVI міжнародних науково-технічних конференціях "Машиностроение и техносфера XXI века" (м. Севастополь, 2007–2009 рр.); XXVII і XXVIII науково-технічних семінарах "Се-

мковские молодежные научные чтения” (м. Харків, 2007 р., 2008 р.); 12-й міжнародній науково-технічній конференції “Автоматизация: проблемы, идеи, решения” (м. Тула, Росія, 2007 р.); 7-й та 8-й Всеукраїнських молодіжних науково-технічних конференціях “Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво” (м. Одеса, 2007 р.; м. Луцьк, 2008 р.); 8-й та 9-й міжнародних промислових конференціях “Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях” (с. Славське, 2008 р., 2009 р.); Науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів, студентів інженерного факультету СумДУ (м. Суми, 2008 р.); IX та X міжнародних науково-практичних конференціях “Прогресивна техніка та технологія” (м. Київ, 2008 р.; м. Севастополь, 2009 р.); XVII міжнародному науково-технічному семінарі “Високі технології: тенденції розвитку” (м. Алушта, 2008 р.); міжнародній науково-технічній конференції “Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении” (м. Одеса, 2008 р.); IX міжнародній молодіжній науково-технічній конференції “Автоматизация, технология и качество в машиностроении” (м. Донецьк, 2008 р.); IV міжнародній науково-технічній конференції “Современные проблемы машиностроения” (м. Томськ, Росія, 2008 р.); V міжнародній науково-практичній конференції “Настоящи изследвания – 2009” (м. Софія, Болгарія, 2009 р.); II міжнародній науково-практичній конференції “Теоретичні і експериментальні дослідження в технологіях сучасного матеріалознавства та машинобудування” (м. Луцьк, 2009 р.); VII міжнародній науково-технічній конференції “Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку” (м. Краматорськ, 2009 р.); V міжнародній науково-практичній конференції “Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2009” (м. Пшемисль, Польща, 2009 р.).

У повному обсязі дисертація доповідалася і схвалена на наукових семінарах кафедр технології машинобудування та металорізальних верстатів НТУ «ХП», а також металорізальних верстатів та інструментів і технології та управління виробництвом Донбаської державної машинобудівної академії.

**Публікації.** Основний зміст дисертації відображено у 44 наукових публікаціях, серед яких 15 статей у спеціалізованих наукових фахових виданнях ВАК України і 8 патентів України.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, шести розділів, висновків, додатків та списку літератури. Загальний обсяг дисертації становить 207 сторінок, із них 129 рисунків по тексту, 12 рисунків на 9 сторінках; 26 таблиць по тексту; 4 додатки на 13 сторінках; 174 найменування використаних літературних джерел на 19 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено наукову новизну та практичну цінність роботи.

У **першому розділі** виконаний аналіз конструкторсько-технологічних особливостей деталей типу тіл обертання та металорізального обладнання для їх обробки. Розглянуті шляхи підвищення продуктивності і розширення технологічних можливостей верстатів за рахунок паралельної концентрації технологічних переходів.

Ефективність роботи підприємств залежить від великої кількості зовнішніх факторів, що впливають на показники, на підставі яких приймаються технологічні рішення, пов'язані з вибором оптимального ТП виготовлення деталі. Це обумовлює необхідність розробки системи критеріїв вибору найвигіднішого ТП, яка відображає різні аспекти діяльності підприємства у взаємозв'язку з іншими системами і всебічно характеризує його роботу.

Виконано огляд робіт, присвячених методам багатокритеріальної оптимізації, серед яких: метод вагових коефіцієнтів, послідовних поступок, близькості до ідеальної точки, з використанням теорії нечітких множин та аналізу ієрархій. Слід відзначити, що різні методи багатокритеріальної оптимізації істотно відрізняються за складністю та трудомісткістю розрахунків, а разом з тим немає достатньо науково обґрунтованих положень стосовно вибору найбільш ефективного методу багатокритеріальної оптимізації ТП з урахуванням виробничих умов.

Аналіз літературних джерел, присвячених методам визначення трудомісткості обробки деталей, які дозволяють мінімізувати витрати часу на проектування ТП, підтвердив їх не високу ефективність з точки зору достовірності результатів і обумовив необхідність розробки більш ефективних. На підставі проведеного аналізу сформульовано основні задачі дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** запропоновано підхід до проектування ТП, який передбачає здійснення вибору найвигіднішого варіанту ТП з числа конкуруючих із застосуванням багатокритеріальної оптимізації. Конкуруючі варіанти ТП визначаються згідно з типовим маршрутом обробки на підставі схеми, наведеної на рис. 1.

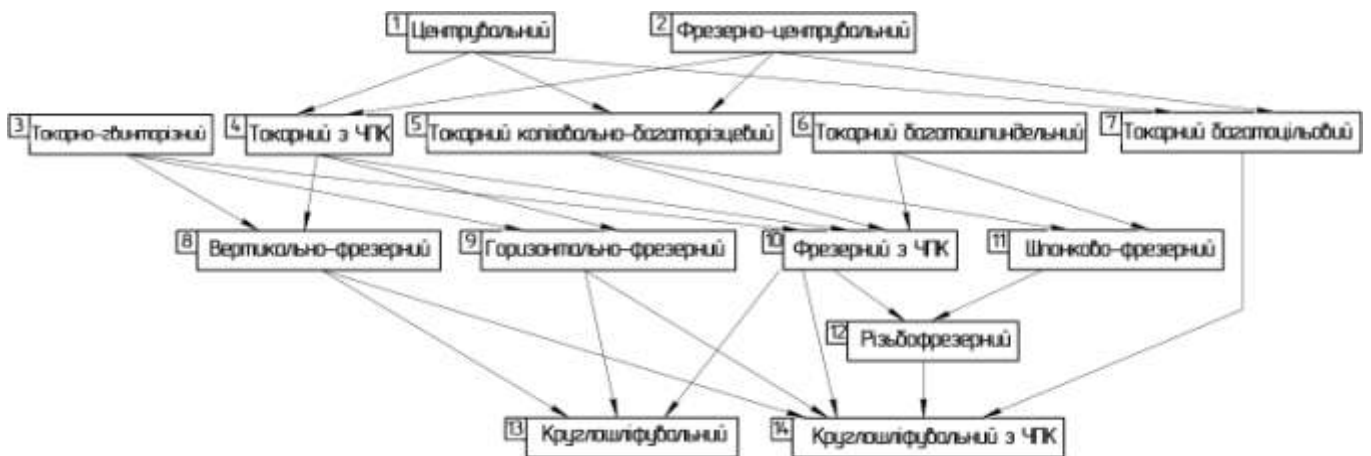


Рис. 1. Схема формування конкуруючих варіантів технологічного процесу обробки ступінчастого вала на різних типах верстатів

З урахуванням найбільш значимих показників, що впливають на виробничу діяльність підприємства розроблена система критеріїв вибору найвигіднішого варіанту ТП, яка всебічно характеризує процес виготовлення деталі та відображає рівень інтенсифікації виробництва і включає наступні критерії: інтенсивність формоутворення; інтенсивність маржинального прибутку; постійні витрати, що припадають на виробничу партію деталей; електромісткість прибутку та імовірність виконання виробничого завдання.

Інтенсивність формоутворення  $W_H$ , мм/хв являє собою фіктивну швидкість розосередженого впливу кінематично або структурно пов'язаних різальних інструмен-

тів на заготовку з урахуванням технологічних, конструктивних і експлуатаційних факторів. Цей критерій має ієрархічну структуру, що відповідає структурі технологічної системи та показника «штучна продуктивність».

Інтенсивність маржинального прибутку  $I_{\Pi}$ , грн/хв відображає величину одержуваного маржинального прибутку від реалізації продукції, що припадає на одиницю часу, витраченого на її виробництво. Маржинальний прибуток згідно з методом часткового розподілення витрат - система "дірект-костінг" (direct costing), який в останні десятиріччя набув розвитку, визначається різницею між доходом та перемінними витратами, що залежать від обсягу виробництва.

Постійні витрати, що припадають на виробничу партію деталей  $S_{\Pi}$ , грн у поєднанні з інтенсивністю маржинального прибутку дозволяють об'єктивно оцінити економічну діяльність підприємства у продовж виконання виробничого завдання.

Електромісткість прибутку  $E_{\Pi}$ , кВт/грн визначає відношення витрат електроенергії, спожитої в процесі виготовлення деталі до прибутку, отриманого в результаті її використання.

Імовірність виконання завдання  $P$  характеризує надійність процесу функціонування обладнання і дозволяє оцінити стохастичний зв'язок між необхідною та реально досягнутою продуктивністю, а також дозволяє визначити необхідний резерв часу, потрібний для виконання виробничого завдання із заданою імовірністю.

Система критеріїв вибору оптимально варіанту ТП має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} W_H = \sum_{j=1}^m \left( \sum_{i=1}^{P_j} W_{Tij} \frac{t_{Oij}}{T_{штij} + T_{пзj} / N_D + \tau_j} \right) \rightarrow \max; \\ I_{\Pi} = \frac{\Pi_D - \Pi_3 - \sum_{j=1}^m \left( \sum_{i=1}^{P_j} \frac{(\Pi_{PIij} + C_{Cij} / z_{ij} + 1) \cdot K_{уб} \cdot t_{Oij}}{T_{ij} \cdot z_{ij}} + 3P_j + C_{Ej} \right)}{\sum_{j=1}^m (T_{штj} + T_{пзj} / N_D + \tau_j)} \rightarrow \max; \\ S_{\Pi} = \sum_{j=1}^m \left( \frac{(S_{Oj} + S_{Bj}) \cdot \gamma_j \cdot 12 \cdot C_P + C_{Обj} \cdot H_A}{\Phi_D} + 3EOj \right) \cdot \frac{T_{штkj} \cdot N_D}{60} \rightarrow \min; \\ E_{\Pi} = \frac{\sum_{j=1}^m \left( \sum_{i=1}^{P_j} (P_{Pij} \cdot L_{ij} / W_{Tij}) / \eta_{Pj} + (\sum P_{Bj} \cdot k_{Pj} / \eta_{Bj} + P_{Эlj}) \cdot T_{штj} \right)}{\Pi_D} \rightarrow \min; \\ P = 1 - e^{-\lambda_j \cdot t_s - \mu_j \cdot \tau} \sum_{v=1}^n \frac{(\lambda_j \cdot t_s)^v}{v!} \left( \sum_{w=0}^{n-1} \frac{(\mu_j \cdot \tau)^w}{w!} \right) \cdot \prod_{i=1}^{N_{kj}} \left( 1 - e^{-(\lambda_{q,j} \cdot t_r)^b - \mu_{q,j} \cdot \tau} \cdot a_{w,v} \sum_{v=1}^m \frac{((\lambda_{q,j} \cdot t_r)^b)^v}{v!} \left( \sum_{w=0}^{m-1} \frac{(\mu_{q,j} \cdot \tau)^w}{w!} \right) \right) \rightarrow \max.. \end{array} \right.$$

І тут  $W_{Tij}$  - технологічна інтенсивність формоутворення 1-ї поверхні на j-му верстаті, мм/хв;  $T_{штij}$  - норма штучного часу обробки i-ї поверхні на j-му верстаті, хв;  $t_{Oij}$  - основний час обробки i-ї поверхні на j-му верстаті, хв;  $T_{пзj}$  - підготовчо-заклучний час, пов'язаний з обробкою партії деталей на j-му верстаті, хв;  $N_D$  - величина виробничої партії деталей, шт;  $\tau_j$  - резерв часу, необхідний для відновлення працездатності j-го верстата у разі випадкової відмови верстата або РІ, хв; де  $\Pi_D$  - ринкова ціна



деталі, грн;  $C_3$  – ринкова ціна заготовки, грн;  $m$  – кількість металорізальних верстатів, задіяних при обробці деталі, шт;  $p_j$  – кількість оброблюваних поверхонь деталі на  $j$ -му верстаті, шт;  $K_{вб}$  – коефіцієнт випадкової втрати РІ;  $T_{ij}$  – стійкість комплекту РІ для обробки  $i$ -ї поверхні на  $j$ -му верстаті, хв;  $З_{рj}$  – заробітна плата основних і допоміжних робітників з нарахуваннями на  $j$ -му верстаті, грн;  $S_{oj}$  – виробнича площа, яку займає  $j$ -й верстат,  $m^2$ ;  $\gamma_j$  – коефіцієнт, що враховує додаткову площу  $j$ -го верстата;  $C_p$  – вартість місячної оренди  $1m^2$  виробничої площі, грн/ $m^2$ ;  $C_{обj}$  – балансова вартість  $j$ -го верстата, грн;  $H_A$  – норма амортизаційних відрахування по обладнанню;  $З_{эoj}$  – витрати на експлуатацію та обслуговування обладнання, технологічного оснащення та виробничих площ  $j$ -го верстата, грн;  $\Phi_d$  – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год;  $P_{рj}$  – споживання електроенергії двигунами головного руху при обробці  $i$ -ї поверхні на  $j$ -му верстаті, кВт;  $\Sigma P_{вj}$  – сумарна потужність допоміжних двигунів  $j$ -го верстата, кВт;  $\Pi_d$  – маржинальний прибуток від реалізації деталі, грн;  $\lambda_j$ ,  $\mu_j$  – відповідно інтенсивність відказів та відновлень  $j$ -го верстата,  $1/хв$ ;  $b$  – показник степені розподілу Вейбула;  $N_{kj}$  – кількість інструментів, що використовуються при виготовленні деталі на  $j$ -му верстаті, шт.

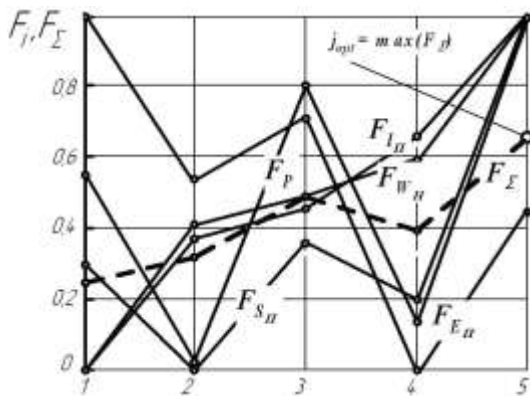
Технічними обмеженнями для розробленої системи критеріїв оптимальності є: обмеження по ринковій ціні заготовки та деталі; балансовій вартості верстата кожного типу; споживанню електроенергії; виробничій площі, яку займають верстати і їх виносні пристрої; вартості орендної плати за використання виробничих площ та інтенсивності відмов та відновлень верстатів.

З метою вибору ефективного методу багатокритеріальної оптимізації ТП був проведений порівняльний аналіз результатів оптимізації токарних операцій, отриманих різними методами. Токарна обробка є з найбільш трудомісткою при обробці тіл обертання і відзначається багатоваріантністю, а тому в найбільшій мірі впливає на вибір найвигіднішого варіанту ТП. Дослідження проводилися на прикладі вибору оптимального типу токарного верстата для обробки фланця при величині виробничої партії деталей  $N_d = 150$  шт. Результати розрахунків дозволили виділити дві групи методів, які ґрунтуються на однакових принципах оптимізації та забезпечують однакові результати. До першої групи входять методи вагових коефіцієнтів та аналізу ієрархій, а до другої – методи близькості до ідеальної точки, послідовних поступок і нечітких множин. Дані, наведені на рис. 1 - 4, дозволяють наочно охарактеризувати особливості визначення оптимального варіанту різними методами. Позначення верстатів на рисунках 1 - 4 наступне: 1-токарно-гвинторізний; 2-токарний з ЧПК; 3-токарно-револьверний; 4-токарний двошпindelний з ЧПК; 5-токарний багатошпindelний напівавтомат.

Оптимізація методами близькості до ідеальної точки, послідовних поступок і з використанням теорії нечітких множин базується на принципі гарантованого результату, згідно з яким у оптимального варіанту значення одночасно усіх критеріїв найбільш наближені до оптимальних величин. При оптимізації цими методами найвигіднішим є токарно-револьверний напівавтомат (рис. 3, 4, варіант 3), у якого всі

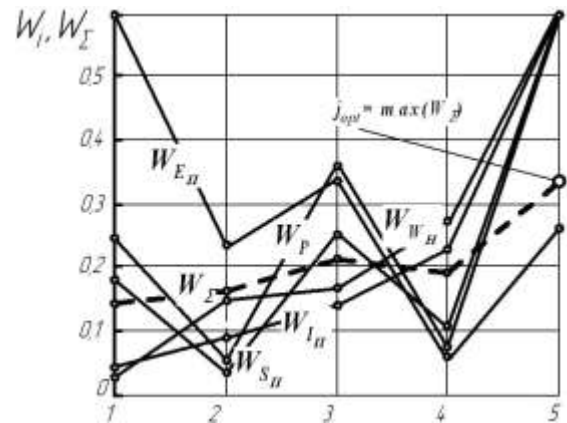
критерії оптимальності приймають середні значення серед конкуруючих варіантів.

Оптимізація методом вагових коефіцієнтів і аналізу ієрархій базується на принципі сумарного впливу, при якому враховується сумарний внесок абсолютних значень кожного критерію. Для даного випадку оптимальним є токарний багатопиндельний напівавтомат (рис. 1, 2, варіант 5), у якого чотири критерії мають оптимальні значення, а один має одне з найгірших серед можливих варіантів, але тим самим цей варіант забезпечує найбільше сумарне значення критеріїв. Враховуючи отримані результати робимо висновок, що методи вагових коефіцієнтів і аналізу ієрархій забезпечують більш об'єктивну оцінку і найчастіше є найбільш прийнятними для оптимізації ТП обробки деталей.



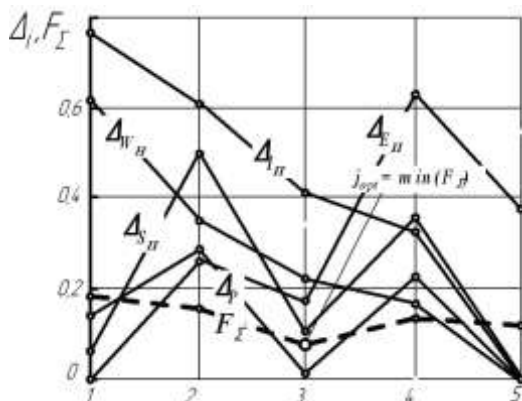
Тип верстата

Рис. 1. Залежності величини локальних ( $F_i$ ) та узагальнюючого ( $F_\Sigma$ ) критеріїв для різних типів токарних верстатів при оптимізації методом вагових коефіцієнтів



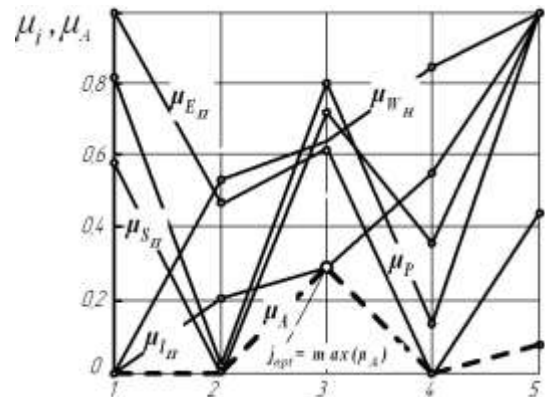
Тип верстата

Рис. 2. Залежності величини локальних ( $W_i$ ) та глобального ( $W_\Sigma$ ) пріоритетів для різних типів токарних верстатів при оптимізації методом аналізу ієрархій



Тип верстата

Рис. 3. Залежності величини нормованих різниць ( $\Delta_i$ ) та узагальнюючого критерію ( $F_\Sigma$ ) для різних типів токарних верстатів при оптимізації методом близькості до ідеальної точки



Тип верстата

Рис. 4. Залежності величини функцій приналежності для різних типів токарних верстатів при оптимізації методом нечітких множин

Встановлено також, що при наявності не більше трьох конкуруючих варіантів, усі методи оптимізації забезпечують однакові результати і вибір найбільш ефектив-

ного з них варто проводити з урахуванням мінімальної складності та трудомісткості розрахунків. У випадку, коли вихідні дані параметрів математичних моделей мають умовно детермінований характер, варто застосовувати метод вагових коефіцієнтів, а при стохастичному характері вихідних даних - метод з використанням теорії нечітких множин.

Дослідження результатів вибору найвигіднішого типу токарного верстата, які проводилися з використанням тільки деяких критеріїв оптимальності із запропонованої системи критеріїв дало змогу встановити, що збільшення числа критеріїв об'єктивно розширює межі ефективного застосування ТП і дозволяє уточнити граничні значення величини виробничої партії деталей, які визначають найвигідніший варіант ТП. Так, при використанні запропонованої системи критеріїв межі ефективного застосування токарно-гвинторізного верстата збільшується в 2,35 рази, токарного з ЧПК - в 1,85, токарного двошпindelного з ЧПК - в 2,65, а токарно-револьверного - в 1,7 рази відповідно (рис. 5).

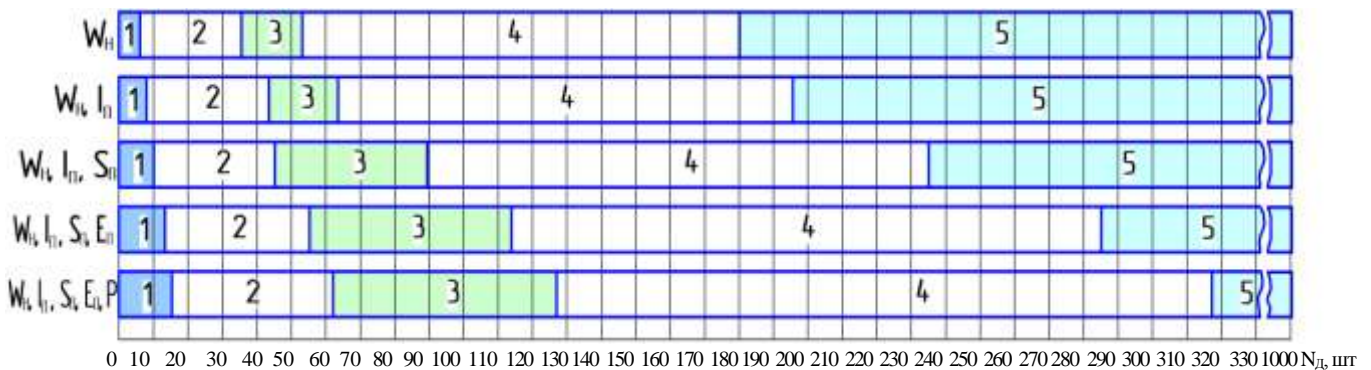


Рис. 5. Діаграма впливу кількості критеріїв оптимальності на величину виробничої партії деталей, межі якої визначають оптимальний тип токарного верстата: 1-токарно-гвинторізний; 2-токарний з ЧПК; 3-токарно-револьверний; 4 - токарний двошпindelний з ЧПК; 5-токарний багатошпindelний

Таким чином, результати проведених досліджень підтверджують доцільність застосування багатокритеріальної оптимізації та використання розробленої системи критеріїв для вибору найвигіднішого варіанту ТП.

У третьому розділі для забезпечення можливості порівняння конкуруючих варіантів запропонований спосіб спрощеного автоматизованого визначення трудомісткості обробки деталі на підставі статистичних значень нормативної інтенсивності формоутворення, який дозволяє з мінімальними витратами часу визначати трудомісткість обробки деталі для конкуруючих варіантів ТП.

Трудомісткість обробки деталі  $T_{ШТК}$  визначається шляхом використання статистичних значень нормативної інтенсивності формоутворення на металорізальних верстатах, на яких вона виготовляється.

$$T_{ШТК} = \sum_{j=1}^m \left( \sum_{i=1}^{p_j} \frac{L_{ij}}{W_{Hij}^*} \right),$$

де  $m$  - кількість металорізальних верстатів, що застосовуються для обробки деталі, шт;  $p_j$  - кількість оброблюваних поверхонь деталі на  $j$ -му верстаті, шт;  $L_{ij}$  - довжина  $i$ -ї поверхні, оброблюваної на  $j$ -му верстаті, мм;  $W_{Hij}^*$  - статистичний показник

нормативної інтенсивності формоутворення і-ї поверхні на j – му верстаті, мм/хв.

Для визначення статистичних значень показників нормативної інтенсивності формоутворення металорізальних верстатів розроблені аналітичні залежності, які враховують конструктивні параметри оброблюваних поверхонь, технологічні особливості обробки та ступінь концентрації технологічних переходів.

У загальному випадку ці залежності мають вигляд:

$$W_H^* = (a \cdot e^{b \cdot d} + c) \cdot (m \cdot \ln(L + f) + g) \cdot (h + k \cdot N),$$

де  $a, b, c, f, g, h, k, m$  – коефіцієнти, що характеризують тип верстата, характер і умови обробки та матеріал заготовки;  $d$  – діаметр обробки, мм;  $L$  – довжина обробки, мм;  $N$  – кількість інструментів у наладці, шт.

Аналітичні залежності отримані шляхом апроксимації результатів розрахунків інтенсивності формоутворення з використанням загальномашинобудівних нормативів часу та режимів різання для різних типів верстатів і технологічних переходів, що застосовуються при обробці деталей типу тіл обертання. У табл. 1 наведено деякі аналітичні залежності для визначення нормативної інтенсивності формоутворення поверхонь фланця на верстаті з ЧПК.

Таблиця 1

**Аналітичні залежності для спрощеного визначення нормативної інтенсивності формоутворення поверхонь фланця на верстатах з ЧПК**

Чорнове точіння	$W_H^* = (0,72 \cdot \ln(L + 75,25) - 1,17) \cdot (1,17 \cdot e^{-5,8 \cdot 10^{-3} \cdot D} + 0,57) \cdot (55,9 + 33,2 \cdot N)$
Чорнове розточування	$W_H^* = (0,485 \cdot \ln(L + 76,15) - 1,13) \cdot (1,06 \cdot e^{-3,2 \cdot 10^{-3} \cdot D} + 0,167) \cdot (26,7 + 34,2 \cdot N)$
Свердління	$W_H^* = (88,83 \cdot e^{-0,019 \cdot D} + 7,56) \cdot (0,77 \cdot \ln(L + 58,46) - 2,25)$
Фрезерування пазів	$W_H^* = (1,66 \cdot \ln(L + 13,4) + 7,4) \cdot (7,7 \cdot e^{-0,075 \cdot D} + 1,2)$
Зовнішнє шліфування	$W_H^* = (0,47 \cdot e^{-1,43 \cdot 10^{-3} \cdot D} + 0,5) \cdot (9,82 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,032 \cdot L} + 0,23)$
Внутрішнє шліфування	$W_H^* = (-0,935 \cdot e^{-0,021 \cdot D} + 1,447) \cdot (0,053 \cdot e^{-0,025 \cdot L} + 0,024)$

Автоматизований розрахунок трудомісткості здійснюється на підставі розробленої інформаційної моделі деталі, яка сформована з інформаційних моделей окремих поверхонь згідно схеми, показаної на рис. 6.

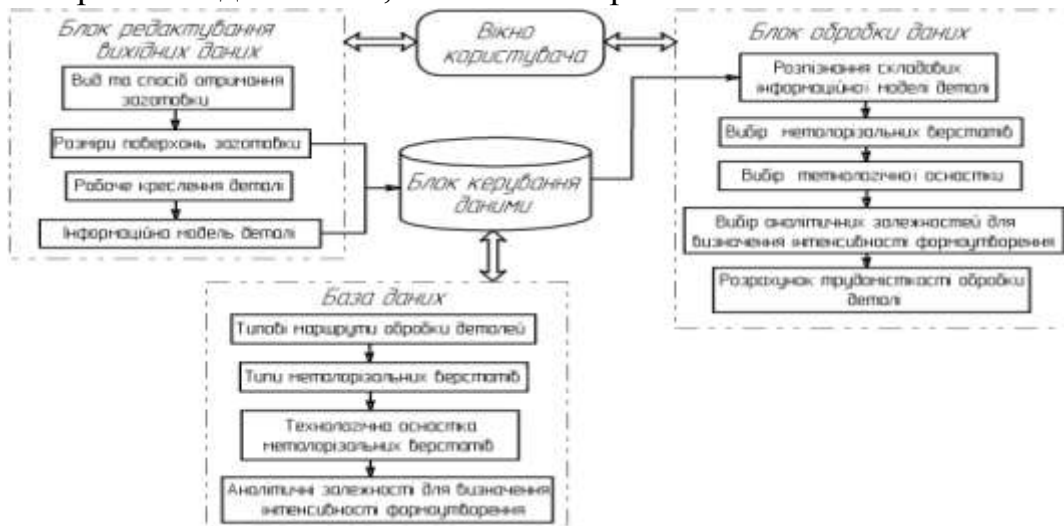


Рис. 6. Схема автоматизованого визначення трудомісткості обробки деталі

Розроблена методика визначення трудомісткості обробки забезпечує отримання результатів з похибкою в межах 15% у порівнянні з розрахунками за нормативами.

Використання запропонованої методики спрощеного автоматизованого визначення трудомісткості обробки при розрахунку норм часу та значень критеріїв оптимальності для конкуруючих варіантів ТП обробки ступінчастого вала і фланця дало змогу істотно скоротити витрати часу на технологічну підготовку виробництва і забезпечило оптимальні умови для визначення найвигіднішого варіанту ТП обробки деталей типу тіл обертання. Результати проведених досліджень підтвердили високу ефективність запропонованої методики та дали змогу обґрунтовано використовувати її при оптимізації ТП.

**У четвертому розділі** розроблені способи розширення технологічних можливостей та підвищення продуктивності металорізальних верстатів шляхом використання розроблених конструкцій комбінованого різця, багаторізецевого тримача, багатошпиндельних головок та швидкозмінного різцевого блоку.

Підвищити продуктивність токарно-гвинторізних та токарних верстатів з ЧПК шляхом впровадження багаторізецевої обробки дозволяють комбінований різець (рис. 7) та багаторізецевий тримач (рис. 8).

Встановлено, що використання комбінованого різця та багаторізецевого тримача дозволяє підвищити продуктивність токарних верстатів з ЧПК в 1,4...2,45 рази. Причому ефективність їх застосування збільшується при використанні прогресивних ріжучих інструментів, наприклад, фірми Sandvik Coromant та високошвидкісних верстатів з ЧПК.

Скоротити допоміжний час на зміну інструментів дозволяє швидкозмінний різцевий блок (пат. України № 31382). Його застосування збільшує продуктивність токарно-гвинторізних верстатів на 5%, а високошвидкісних верстатів з ЧПК - на 12%.

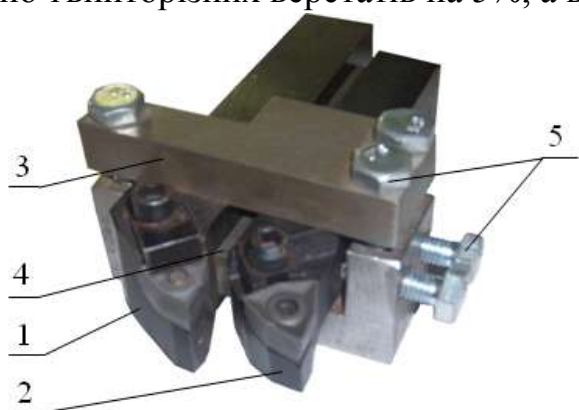


Рис. 7. Комбінований різець (пат. України № 24137): 1 - базовий різець; 2 – різцева вставка; 3 - затискний кронштейн; 4 - прокладка; 5 - болт



Рис. 8. Багаторізецевий тримач (пат. України № 24139): 1- тримач; 2, 3 - різець; 4 - прокладка; 5 - планка; 6 - базовий різець; 7 - болт

Запропонована багатошпиндельна головка для токарного верстата (рис. 9) дозволяє проводити обробку кріпильних отворів у деталях типу диска та фланця на токарно-гвинторізних верстатах. Вона розширює їх технологічні можливості і істотно підвищує продуктивність обробки за рахунок скорочення основного та допоміжного часу, а також дозволяє виключити додаткову свердлильну операцію.

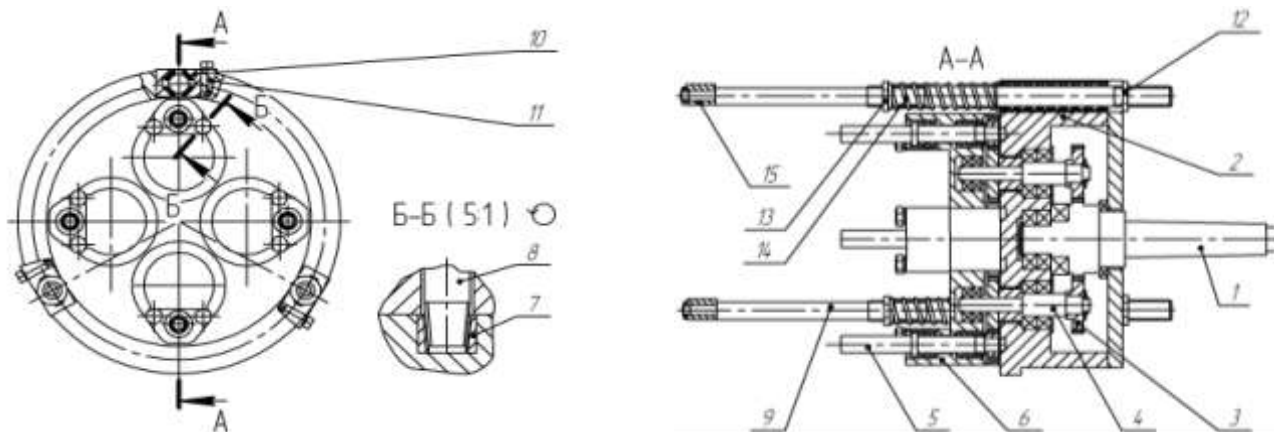


Рис. 9. Багатошпindelна головка для токарного верстата (пат. України № 36305): 1 - вал-шестірня; 2 – корпус; 3 – шестірня; 4 – вал; 5 – шпindel; 6 – корпус шпindelю; 7 – розрізна вставка; 8 – болт; 9 – пересувна скалка; 10 - напрямні кочення; 11 – затискний клин; 12, 13 – гайка; 14 – пружина; 15 - ексцентрикова втулка

Підвищити продуктивність обробки отворів дозволяють також запропоновані багатошпindelні головки (пат. України № 31383, № 36304, №40394). Ефективність їх застосування також збільшується при використанні ріжучих інструментів фірми Sandvik Coromant і обробці на високошвидкісних верстатах з ЧПК.

Застосування запропонованих багатошпindelних головок на свердлильних верстатах з ручним керуванням дозволяє в середньому збільшити продуктивність обробки отворів у порівнянні з одноінструментною обробкою в 2,2 рази, на свердлильно-фрезерних верстатах з ЧПК - в 2,9, а на високошвидкісних свердлильно-фрезерних з ЧПК - в 3,65 рази.

Розроблена технологічна оснастка розширює технологічні можливості та межі ефективного використання металорізального обладнання, особливо сучасних верстатів з ЧПК. Використання запропонованої технологічної оснастки на верстатах з ЧПК збільшує величину виробничої партії деталей, в межах якої їх застосування є оптимальним (позначення б) і в) на рис. 10).

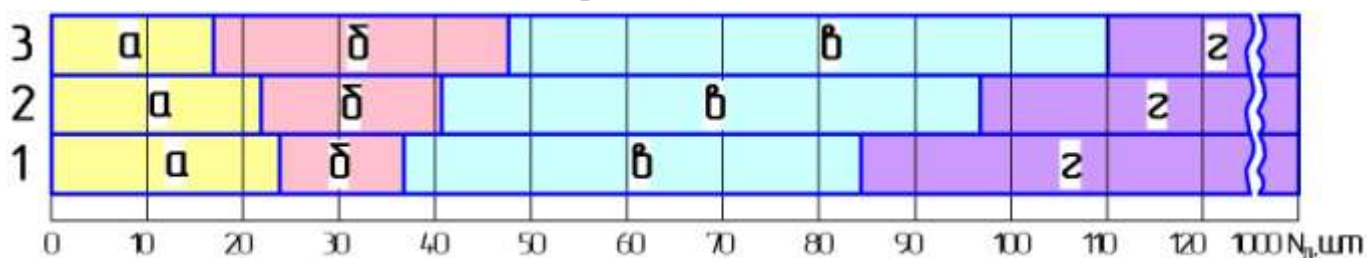


Рис. 10. Діаграма впливу технологічної оснастки на величину виробничої партії деталей, межі якої визначають оптимальний технологічний процес обробки вала:

1 – використання стандартної технологічної оснастки; 2 – використання швидкозмінного різцевого блоку; 3 - використання швидкозмінного різцевого блоку та багаторізцевого тримача

Використання швидкозмінного різцевого блоку та багаторізцевого тримача на універсальних (позначення б) на рис. 10) та багатоцільових верстатах з ЧПК (позначення в) на рис. 10) дозволяє майже вдвічі збільшити величину виробничої партії деталей, межі якої визначають оптимальний ТП у порівнянні з обробкою на універсальних верстатах з ручним керуванням (позначення а) на рис. 10) та верстатах

напівавтоматах (позначення  $\gamma$ ) на рис. 10).

У п'ятому розділі виконані дослідження закономірностей формування похибок багаторізевої обробки на токарних верстатах з ЧПК з використанням запропонованого комбінованого різця та багаторізевого тримача.

З використанням методу скінченних елементів проведені дослідження напружено-деформованого стану елементів технологічної системи. Дослідження проводилися для різних значень поздовжнього  $L_P$  і поперечного  $L_B$  вильотів різців, а також діаметрів  $d$  і довжин  $L$  заготовки. Навантаження відповідали силам різання при глибині точіння 1 і 4 мм і режимах різання згідно рекомендацій загальномашинобудівних нормативів. Пружні переміщення передньої та задньої бабок, а також заготовки збільшують діаметр оброблюваної поверхні. Вплив пружних деформацій револьверного супорта та різців  $\Delta_P$  на похибку обробки, що визначаються з прямокутного трикутника OAB (рис. 11) становить 58% від сумарної величини деформації  $\Sigma\Delta_P$ , викликаної силою різання.

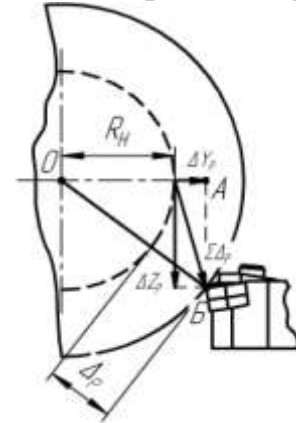


Рис. 11. Вплив пружних деформацій різців на величину похибки обробки

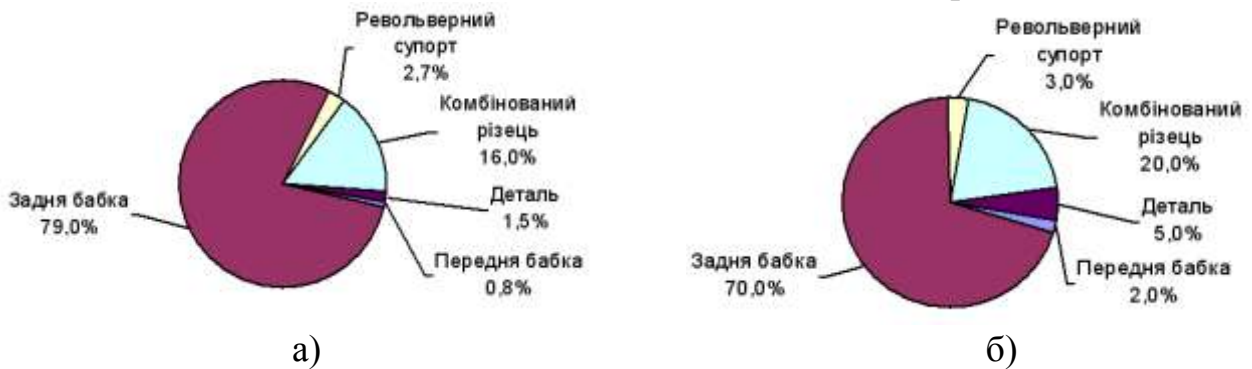


Рис. 12 Вплив пружних переміщень елементів технологічної системи на похибку обробки комбінованим різцем ( $L_B = 45$  мм;  $L_P = 30$  мм):

а –  $d = 64$  мм;  $L = 640$  мм; б –  $d = 32$  мм;  $L = 160$  мм

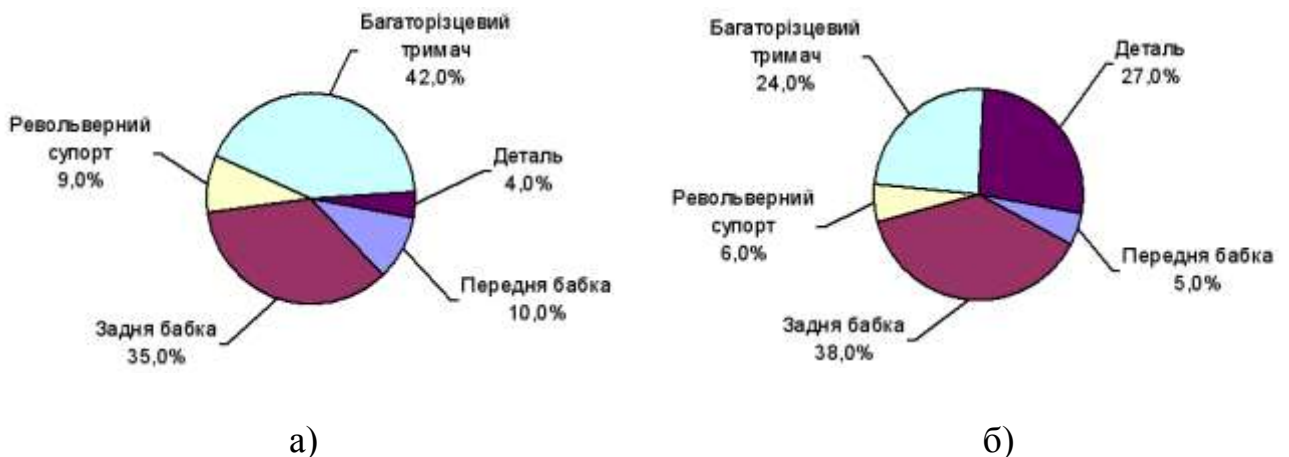


Рис. 13. Вплив пружних переміщень елементів технологічної системи на похибку обробки багаторіздцевим тримачем з триріздцевою наладкою ( $L_P = 85$  мм;  $L_B = 55$  мм):

а –  $d = 64$  мм;  $L = 320$  мм; б –  $d = 32$  мм;  $L = 320$  мм

Встановлено також, що пружні переміщення комбінованого різця складають не більше 20% від загальної похибки, викликані деформаціями складових технологічної системи (рис. 12), а багаторіздцевого тримача - не більше ніж 42% від загальної похибки (рис. 13).

Призначення при налагодженні різців корекцій їх вихідного положення по осях X та Y, що відповідають розрахунковим значенням пружних переміщень елементів технологічної системи забезпечило підвищення точності обробки. На рис. 14 наведені залежності похибки обробки комбінованим різцем та багаторіздцевим тримачем для різних умов обробки.

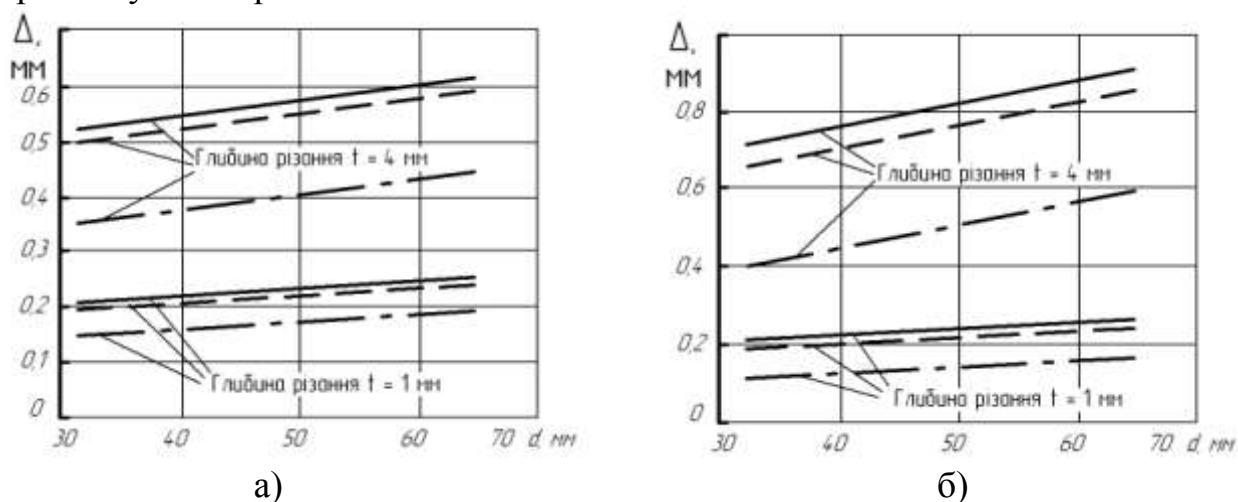


Рис. 14. Залежність похибки обробки комбінованим різцем (а) та багаторіздцевим тримачем (б) від діаметру обробки: — - без корекції положення різців ;  
- - - - з корекцією по осі Y; - · - з корекцією по осях Y та Z

Введення корекції у положення різців при налагодженні дозволило підвищити точність обробки комбінованим різцем на 35%, а багаторіздцевим тримачем на 47%.

**У шостому розділі** для перевірки адекватності аналітичних розрахунків були проведені експериментальні дослідження точності багаторіздцевої обробки на токарних верстатах з ЧПК з використанням комбінованого різця та багаторіздцевого тримача. Дослідження проводилися на токарному верстаті з ЧПК мод. 16K20Ф3С32 при обробці вала, виготовленого зі сталі 45 (рис. 15, 16).



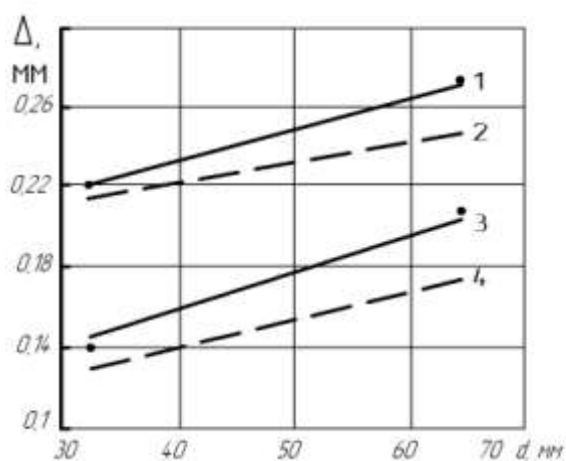


Рис. 15. Процес обробки деталі з використанням комбінованого різця

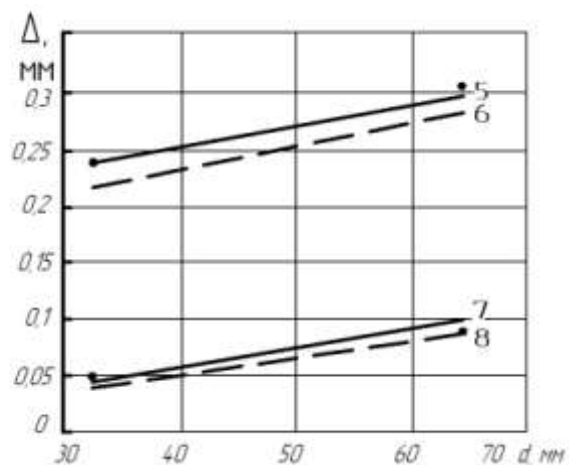


Рис. 16. Процес обробки деталі з використанням багаторізевого тримача

За результатами досліджень отримані аналітичні залежності для визначення похибок багаторізевої обробки. Порівняльний аналіз результатів моделювання методом скінченних елементів та експериментальних досліджень підтвердив високу достовірність аналітичних розрахунків. При цьому різниця між аналітичними та експериментальними значеннями похибок багаторізевої обробки не перевищує 14% (рис. 17).



а)



б)

Рис. 17. Порівняльний аналіз результатів аналітичних і експериментальних досліджень похибки обробки (— - результати експерименту, - - - - результати моделювання) комбінованим різцем (а) та багаторізовим тримачем (б):

1,2 -  $L_p = 30$  мм;  $L_B = 45$  мм;  $L/d = 10$ ;      3,4 -  $L_p = 18$  мм;  $L_B = 35$  мм;  $L/d = 5$ ;  
 5,6 -  $L_p = 85$  мм;  $L_B = 55$  мм;  $L/d = 10$ ;      7,8 -  $L_p = 55$  мм;  $L_B = 25$  мм;  $L/d = 5$ ;

В результаті дослідження встановлено, що похибки багаторізевої обробки з використанням запропонованого комбінованого різця та багаторізевого тримача знаходяться у межах поля допуску на чорнову і напівчистову токарну обробку.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-практична задача підвищення ефективності виготовлення деталей типу тіл обертання в умовах багатона-

менклатурного виробництва шляхом багатокритеріального вибору оптимальних ТП.

1. Розроблено систему критеріїв вибору найвигіднішого варіанту ТП з використанням критеріїв інтенсивності формоутворення, інтенсивності маржинального прибутку, постійних витрат, що припадають на виробничу партію деталей, електроємності прибутку та імовірності виконання завдання, що відображає технологічні та економічні аспекти діяльності машинобудівних виробництв та об'єктивно розширює межі ефективного застосування ТП і дозволяє уточнити граничні значення величини виробничої партії деталей, які визначають найвигідніший варіант ТП.

2. Обґрунтовано вибір найбільш ефективного методу багатокритеріальної оптимізації ТП. Встановлено, що у випадку, коли вихідні дані параметрів математичної моделі мають умовно детерміновані значення, оптимізацію ТП варто проводити методом вагових коефіцієнтів. При стохастичному характері вихідних даних і наявності не більше трьох конкуруючих варіантів ТП доцільно застосовувати метод з використанням теорії нечітких множин, а при наявності більше трьох конкуруючих варіантів - метод аналізу ієрархій.

3. Розроблено спосіб спрощеного визначення трудомісткості обробки, який дозволяє на підставі статистичних значень показників інтенсивності формоутворення в автоматизованому режимі з високою достовірністю результатів (похибка розрахунків не перевищує 15%) визначати норми часу для конкуруючих варіантів ТП.

4. Обґрунтовано доцільність використання конструкторсько-технологічних засобів інтенсифікації обробки на токарних і свердлильно-фрезерних верстатах з ЧПК. Розроблені і запатентовані конструкції комбінованого різця та багаторізевого тримача дозволяють підвищити продуктивність токарних верстатів з ЧПК в 1,4 - 1,95 рази, а при використанні різального інструменту фірми Sandvik Coromant і обробці на високошвидкісних верстатах - в 1,64 - 2,45 рази. Використання розробленого швидкозмінного різцевого блоку підвищує продуктивність токарно-гвинторізних верстатів в 1,05, а високошвидкісних токарних верстатів з ЧПК в 1,12 рази. Розроблені багатопшпindelні головки підвищують продуктивність вертикально-свердлильних верстатів в 1,68 - 3,05 рази, а високошвидкісних свердлильно-фрезерних верстатів з ЧПК - в 1,96 - 3,65 рази.

5. Результати моделювання методом скінченних елементів, а також експериментальні дослідження точності багаторізевої обробки на токарних верстатах з ЧПК дозволили встановити, що похибки багаторізевої обробки з використанням запропонованого комбінованого різця та багаторізевого тримача знаходяться у межах поля допуску на чорнову і напівчистову токарну обробку. Встановлено, що пружні переміщення комбінованого різця складають не більше 20% від загальної похибки, викликані деформаціями складових технологічної системи, а пружні деформації багаторізевого тримача - не більше 42% від загальної похибки. Корекція вихідного положення різців при налагодженні з урахуванням пружних деформацій елементів технологічної системи дозволяє підвищити точність обробки комбінованим різцем на 35%, а багаторізцевим тримачем на 47%.

6. Передані для виробничого впровадження дослідні зразки комбінованого різця та багаторізевого тримача, патентна документація, результати теоретичних і експериментальних досліджень, а також практичні рекомендації щодо їх викорис-

тання на ДП ХМЗ "ФЕД" дали змогу провести дослідження ефективності застосування багаторізцевого тримача для токарної обробки шліцевого вала РПЗ. 130. 081, які дозволили встановити можливість підвищення продуктивності обробки при дворізцевому налагодженні в 1,47 рази, а при трирізцевому налагодженні в 1,91 рази.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Котляр А. В. Многорезцовая обработка на токарных станках с ЧПУ / В. Е. Карпусь, А. В. Котляр // Вестник машиностроения. – М.: Машиностроение, 2007. – № 12. – С. 59–62.

Здобувач обґрунтував ефективність використання вдосконаленого багаторізцевого тримача.

2. Kotlyar A. V. "Multicutter machining on controlled lathes" / V. E. Karpus', A. V. Kotlyar // Russian Engineering Research. – USA.: Allerton Press, 2007. – Vol. 27, No. 12. – p. 884–887.

Здобувач обґрунтував ефективність використання вдосконаленого багаторізцевого тримача.

3. Котляр А. В. Производительность многоцелевых станков / В. Е. Карпусь, А. В. Котляр, В. А. Иванов, Д. А. Миненко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – № 7 (43). – С. 198–201.

Здобувачем досліджено інтенсивність формоутворення осевих інструментів.

4. Котляр А. В. Назначение режимов резания для многорезцовых наладок / В. Е. Карпусь, А. В. Котляр // Сучасні технології у машинобудуванні: зб. наук. статей. – Харків : НТУ "ХП", 2007. – С. 63–71.

Здобувач провів розрахунок оптимальних режимів різання.

5. Котляр А. В. Укрупненная оценка трудоемкости механической обработки деталей типа тел вращения / В. Е. Карпусь, А. В. Котляр // Високі технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ "ХП", 2008. – Вип. 1 (16). – С. 135–148.

Здобувачем розроблено інформаційну модель деталі та методику автоматизованого визначення трудомісткості обробки деталі.

6. Котляр А. В. Высокопроизводительная оснастка для станков с ЧПУ / В. Е. Карпусь, А. В. Котляр, В. А. Иванов // Прогресивні технології і системи машинобудування: міжнар. зб. наук. праць. – Донецьк : ДонНТУ, 2008. – Вип. 36. – С. 71–75.

Здобувачем обґрунтовано доцільність застосування розробленого багаторізцевого тримача з метою підвищення ефективності використання верстатів.

7. Котляр А. В. Конструктивно-технологическое обеспечение эффективной эксплуатации станков с ЧПУ / В. Е. Карпусь, В. А. Иванов, А. В. Котляр // Авиационно-космическая техника и технология. – 2008. – № 7 (54). – С. 32–35.

Здобувачем обґрунтовано доцільність використання багатошпindelних головок на свердлильно-фрезерних верстатах з ЧПК.

8. Котляр А. В. Система критериев оценки технологических решений / В. Е. Карпусь, А. В. Котляр // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків : НТУ "ХП". – 2008. – № 23. – С. 79–86.

Здобувач розробив систему критеріїв для визначення оптимального технологічного процесу.

9. Котляр А. В. Сравнительный анализ интенсивности формообразования деталей типа вал для различных станков / В. Е. Карпусь, А. В. Котляр // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків : НТУ “ХПІ”. – 2008. – № 4. – С. 111–122.

Здобувач провів порівняльний аналіз інтенсивності формоутворення різних типів токарних верстатів.

10. Котляр А. В. Определение вероятности выполнения производственного задания в течение планового периода / В. Е. Карпусь, А. В. Котляр // Високі технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2008. – Вип. 2 (17). – С. 159–166.

Здобувач виявив залежність імовірності виконання завдання від параметрів обробки та резерву часу.

11. Котляр А. В. Сравнение интенсивности формообразования отверстий та токарных и сверлильных станках / А. В. Котляр // Труды Одесского политехнического университета : научный и произв.-практ. сб. – Одесса : ОНПУ, 2008. – Вип. 2 (30). – С. 87–91.

12. Котляр А. В. Технологическая оснастка для токарных станков с ЧПУ / В. Е. Карпусь, В. А. Иванов, А. В. Котляр // Вісник Сумського державного університету. Технічні науки. – Суми : СумДУ. – 2008. – № 3. – С. 25–28.

Здобувачем досліджено вплив запропонованого комбінованого різця на продуктивність токарних верстатів.

13. Котляр О. В. Вибір найвигідніших варіантів технологічних систем обробки деталей типу фланцю / В. Є. Карпусь, О. В. Котляр, Ф. Г. Богаєнко // Резание и инструмент в технологических системах : междунар. научно-техн. сб. – Харьков : НТУ “ХПИ”, 2009. – Вип. 77. – С. 77–86.

Здобувачем обґрунтовано вибір найбільш ефективного методу багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів.

14. Котляр О. В. Багаторіцева обробка на токарних верстатах з ЧПК / В. Є. Карпусь, О. В. Котляр // Наукові нотатки : міжвузівський зб. (за напрямом “Інженерна механіка”). – Луцьк : ЛНТУ, 2009. – Вип. 24. – С. 239–246.

Здобувачем досліджено закономірності формування похибок обробки.

15. Котляр О. В. Експериментальні дослідження ефективності технологічного оснащення для верстатів з ЧПК / В. Є. Карпусь, В. О. Иванов, О. В. Котляр, М. С. Иванова // Наукові нотатки : міжвузівський зб. (за напрямом “Інженерна механіка”). – Луцьк : ЛНТУ, 2009. – Вип. 25, Ч. 1. – С. 161–166.

Здобувачем експериментально досліджено точність багаторіцевої обробки на токарних верстатах з ЧПК з використанням запропонованого комбінованого різця.

16. Котляр О. В. Дослідження напружено-деформованого стану елементів технологічної оснастки / В. Є. Карпусь, В. О. Иванов, О. В. Котляр // Прогресивні технології і системи машинобудування: міжнар. зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – Вип. 38. – С. 99–105.

Здобувачем досліджено напружено-деформований стан елементів технологічної системи багаторіцевої обробки на токарних верстатах з ЧПК.

17. Котляр О. В. Швидкопереналагоджувана технологічна оснастка / В. Є. Карпусь, В. О. Іванов, О. В. Котляр // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – № 10 (67). – С. 78–81.

Здобувачем запропоновано швидкозмінний різцевий блок для обробки деталей на токарних верстатах.

18. Пат. на корисну модель №24137 Україна, МПК(2006) В23В 27/16. Комбінований різець / Карпусь В.Є., Котляр О.В.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т “ХПІ”. – № u 2006 13462; заявл. 19.12.06; опуб. 25.06.07, Бюл. №9.

Здобувач розробив затискний кронштейн комбінованого різця.

19. Пат. на корисну модель № 24139 Україна, МПК(2006), В23В 29/24. Багаторізцевий тримач / Карпусь В.Є., Котляр О.В.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т “ХПІ”. – № u 2006 13481; заявл. 19.12.06; опуб. 25.06.07, Бюл. №9.

Здобувач розробив конструкцію базового тримача.

20. Пат. на корисну модель № 31382 Україна, МПК(2006), В23В 27/00. Швидкозмінний різцевий блок / Карпусь В.Є., Котляр О.В.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т “ХПІ”. – № u 2007 11972; заявл. 29.10.07; опуб. 10.04.08, Бюл. №7.

Здобувач розробив конструкцію різцевого блока.

## АНОТАЦІЇ

**Котляр О.В. Багатокритеріальний вибір найвигіднішого варіанту технологічного процесу обробки деталей типу тіл обертання. – Рукопис.**

Дисертації у вигляді рукопису на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. - Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2010 р.

Дисертація присвячена питанню підвищення ефективності виготовлення деталей типу тіл обертання шляхом вибору найвигіднішого варіанту технологічного процесу з урахуванням конструктивно-технологічних характеристик деталей, величини виробничої партії, а також розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності верстатів. Розроблено систему критеріїв вибору найвигіднішого варіанту технологічного процесу з урахуванням критеріїв інтенсивності формоутворення, інтенсивності маржинального прибутку, постійних витрат, що припадають на виробничу партію деталей, електричності прибутку та імовірності виконання завдання. Виконано обґрунтування вибору найбільш раціонального методу багатокритеріальної оптимізації технологічного процесу з урахуванням виробничих умов. Запропоновано спосіб автоматизованого визначення трудомісткості обробки деталей для конкуруючих варіантів технологічного процесу. Розроблені конструкторсько-технологічні методи інтенсифікації обробки, які дозволяють розширити технологічні можливості та підвищити продуктивність металорізальних верстатів. Проведені аналітичні та експериментальні дослідження точності багаторізцевої обробки на токарних верстатах з ЧПК з використанням запропонованого комбінованого різця та багаторізцевого тримача.

**Ключові слова:** технологічний процес, деталі типу тіл обертання, точність, інтенсивність формоутворення, інтенсивність маржинального прибутку, електричності

кість прибутку, імовірність виконання завдання, багатокритеріальний вибір, багаторіцева обробка.

**Котляр А.В. Многокритериальный выбор наивыгоднейшего варианта технологического процесса обработки деталей типа тел вращения. - Рукопись.**

Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 - технология машиностроения. - Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, 2010 г.

Диссертация посвящена вопросу повышения эффективности изготовления деталей типа тел вращения путем выбора наивыгоднейшего варианта технологического процесса с учетом конструктивно-технологических характеристик деталей, величины производственной партии, а также расширения технологических возможностей и повышения производительности станков. Разработана система критериев выбора наивыгоднейшего варианта технологического процесса с учетом критериев интенсивности формообразования, интенсивности маржинальной прибыли, постоянных затрат, которые приходятся на производственную партию деталей, электроемкости прибыли и вероятности выполнения задания, которая позволяет объективно уточнить и расширить область эффективного использования технологического процесса. Выполнено обоснование выбора наиболее эффективного метода многокритериальной оптимизации технологического процесса с учетом условно детерминированного и стохастического характера исходных данных, а также количества конкурирующих вариантов технологического процесса. Предложен способ автоматизированного определения трудоемкости обработки деталей для конкурирующих вариантов технологического процесса с учетом статистических значений показателя интенсивности формообразования металлорежущих станков. Разработаны конструкторско-технологические методы интенсификации обработки, которые позволяют расширить технологические возможности и повысить производительность металлорежущих станков. Проведены аналитические и экспериментальные исследования точности многолезвовой обработки на токарных станках с ЧПУ с использованием предложенного комбинированного резца и многолезвовой державки, которые позволили обосновать возможность их использования для черновой и получистовой токарной обработки.

**Ключевые слова:** технологический процесс, детали типа тел вращения, точность, интенсивность формообразования, интенсивность маржинальной прибыли, электроемкость прибыли, вероятность выполнения задания, многокритериальный выбор, многолезвовая обработка.

**Kotlyar A.V. Multicriterion choice of the optimal variant technological process processing of the details type bodies rotation. - Manuscript.**

The dissertation as the manuscript for technical scientific candidate's degree on a speciality 05.02.08 - technology of mechanical engineering. - National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2010.

The dissertation is devoted to a question of increase of efficiency of the details type

bodies rotation manufacturing by a choice of the optimal variant technological process in view of the constructive-technical characteristics details, size industrial party and also expansion technological opportunities and increase metal-cutting machine tools productivity. The system criteria choice of the optimal variant technological process in view criteria intensity shaping, intensity marginal profit, constant expenses which fall to an details industrial party, electrocapacities profit and probability performance of the task is developed. The substantiation of a choice of the most rational method multicriterion optimization of technological process in view of industrial conditions is executed. The technique of the automated definition of labour input of processing of details for competing variants of technological process is offered. The construction-technological methods of an intensification processing which allow to expand technological opportunities and to raise productivity of the metal-cutting machine tools are developed. Are carried out researches of accuracy multiple tooling on lathes with CNC with use of the offered combined cutter and gang-tool.

**Keywords:** technological process, details type figure of revolutions, accuracy, intensity shaping, intensity marginal profit, electrocapacity profit, probability performance of the task, multicriterion choice, auxiliary tool, gang-tool, imitating modelling.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'A. Kovalev', located in the lower right quadrant of the page.

Підписано до друку 13.12.2010 р. Формат 60×90 1/16.  
Папір офсетний. Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman.  
Умовн. друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Зам. № 028413

Надруковано у СПДФО Ізрайлев Є.М.  
Свідоцтво № 24800170000040432 від 21.03.2001 р.  
61002, м. Харків, вул. Фрунзе. 16