

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

СУПРУН ЄВГЕН ЮРІЙОВИЧ

УДК 621.9.23

**РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК ДЛЯ ОБРОБКИ
СКЛАДНИХ ДЕТАЛЕЙ ОБЕРТАННЯ**

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Автореферат
магістерської роботи

Краматорськ– 2017

Магістерська робота виконана на кафедрі «Комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології» Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА) Міністерства освіти і науки України, м. Краматорськ.

Науковий керівник	доктор технічних наук, професор, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки Ковальов Віктор Дмитрович, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, ректор
-------------------	--

Захист відбудеться 4 січня 2018 року о 9⁰⁰ годині на засіданні ДЕК кафедри «Комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології» Донбаської державної машинобудівної академії за адресою: м. Краматорськ, ДДМА, корпус №3, ауд. №3308.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Важке машинобудування займає одне з провідних місць в промисловості та експортному потенціалі України. Підприємства важкого машинобудування відрізняються широкою номенклатурою виробів, унікальними розмірами і вагою продукції, тривалим циклом виготовлення деталей, одиничним і дрібносерійним характером виробництва, побудовою технологічного процесу за принципом концентрації операцій. Важкі верстати є основою технологічного обладнання цієї галузі. Їх сумарна вартість настільки значна, що нераціональне конструювання і використання важких верстатів веде до великих економічних втрат.

Необхідність обробки різноманітних деталей зумовлює широку універсальність обладнання. Виготовлення деталей вагою в десятки і сотні тонн вимагає застосування унікальних верстатів, що представляють характерну особливість даної галузі машинобудування. Номенклатурний і кількісний склад обладнання повинен забезпечувати можливість виконання завдань в умовах виробництва, що безперервно змінюються. При обмеженому обсязі випуску виробів, необхідно знаходити шляхи вдосконалення технологічного процесу при встановленому характері виробництва. У зв'язку з цим виникає необхідність підвищення серійності виробництва при заданому обсязі випуску.

Більшість дослідників при розробці конструкцій верстатів і регламентів їх експлуатації обмежуються розглядом лише чинників процесу різання: елементів режиму різання, властивостей оброблюваного та інструментального матеріалу і т.п. При цьому недостатньо враховуються особливості обробки деталей на важких верстатах, які пов'язані з масштабним фактором (оброблювані деталі довжиною до 24000 мм, діаметром до 5000 мм, масою до 250 тонн і більше), конструкцією інструментів, великим розсіюванням параметрів обробки, підвищеною ймовірністю руйнування інструменту (до 45%), необхідністю враховувати надійність інструменту при обробці великогабаритних і дорогих деталей.

Відсутність обґрунтованих вимог до створення важких верстатів з програмним керуванням призвело до того, що верстати, які випускаються, мають максимально можливі технологічні можливості, тобто орієнтовані на обробку найскладніших деталей. Однак, досвід експлуатації обладнання з програмним керуванням показав, що частина його функцій залишається затребуваною.

Таким чином, для підвищення ефективності важкого машинобудування необхідно вирішити актуальну науково-технічну задачу - розробка структури важких верстатів з ЧПК для обробки складних деталей обертання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у відповідності з науковою тематикою «Комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології» Донбаської державної машинобудівної академії Дк-01-2014 «Підвищення надійності та продуктивності комп'ютеризованих мехатронних верстатів інструментальних систем важкого машинобудування» (0114U002757).

Мета та задачі досліджень. Мета роботи – підвищення ефективності обробки складних деталей обертання шляхом розробки раціональної структури важких верстатів. Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі задачі:

1. Проаналізувати особливості підприємств важкого машинобудування, номенклатуру оброблюваних деталей, технологічні процеси їх виготовлення та обладнання, яке використовується.
2. Створити базу знань про прецеденти обробки деталей важкого машинобудування.
3. Розробити методологію структурно-параметричного синтезу важких верстатів на підставі створеної бази знань.

Об'єкт дослідження – технологічна система важкого металообробного верстату.

Предмет дослідження – важкий верстат з ЧПК.

Методи досліджень. Методологічною основою роботи є комплексний підхід до вивчення процесу обробки деталей на важких верстатах, їх умов і особливостей, закономірностей процесів.

Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях теорії різання матеріалів, теорії проектування металорізального обладнання, кваліметрії, теорій надійності, дослідження операцій, прийняття рішень, теорії ймовірності та математичної статистики.

Експериментальні дослідження базуються на теоріях регресійного та кореляційного аналізів, математичної статистики з використанням методик форсованих, прискорених, тривалих випробувань, моментних спостережень, інформаційного банку, евристичних методів.

Робота виконувалася за допомогою сучасних засобів обчислювальної техніки.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше розроблена інформаційна модель деталі на підставі бази знань про роботу важкого металорізального обладнання, застосування якої дозволяє визначати раціональні параметри важких токарних верстатів з використанням класифікаційних ознак деталей.

Практичне значення одержаних результатів.

— Створено програмно-математичний комплекс для проектування компонування металорізальних верстатів на підставі статистичного дослідження параметрів механічної обробки на підприємствах важкого машинобудування.

— Створена база знань з прецедентів параметрів механічної обробки на підприємствах важкого машинобудування.

— Обґрунтовано критерії та принципи створення і функціонування нових важких верстатів з ЧПК.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати роботи доповідалися та обговорювалися на міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку»- 2017р.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано тези доповідей в збірнику матеріалів конференції.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, 4 розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел – 167 найменувань. Містить 135 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито суть і стан наукової задачі, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі досліджень, викладено наукові положення, які виносяться на захист, наведено дані щодо наукової новизни, обґрунтовано достовірність і показано практичну цінність отриманих наукових результатів, наведено дані про публікації й апробацію роботи.

У першому розділі здійснено аналіз сучасного стану проблеми підвищення ефективності важкого металорізального обладнання. Проведено аналіз умов обробки великогабаритних деталей на підприємствах важкого машинобудування, методів вибору визначення раціональних конструктивних параметрів важкого металорізального обладнання та визначення раціональних параметрів процесу різання на важких верстатах.

Значний внесок у вирішення зазначеної проблеми внесли роботи Б.С.Балакшина, В.В. Бушуєва, Ю.М. Данильченка, В.В. Камінської, О.О.Клочко, В.Д. Ковальова, В.О. Кудінова, Ю.М. Кузнецова, І.В. Луціва, В.Т., А.Д. Макаров, О.Б. Приходька, О.С. Пронікова, В.Е. Пуша, Д.Н. Решетова, В.Б. Струтинського, та багатьох інших вчених.

Відзначається, що, незважаючи на накопичений досвід в теорії і практиці конструювання важких верстатів з адаптивним керуванням, є ряд невирішених питань як в області визначення їх раціональних конструктивних параметрів, так і в області теорії забезпечення оптимального протікання процесу різання.

Недостатність інформації на етапі проектування важких верстатів і науково обґрунтованих рекомендацій, спрямованих на вирішення проблеми збалансованості характеристик верстатів і потреб підприємств важкого машинобудування, приводить до неекономної витрати матеріальних та енергетичних ресурсів.

Основна ідея проектування важких верстатів з адаптивним управлінням полягає в забезпеченні раціональних конструктивних та експлуатаційних параметрів верстатів, які визначені за допомогою бази знань про роботу підприємств важкого машинобудування, та оптимальному регулюванню процесу різання з використанням системи адаптивного управління.

Аналіз цих актуальних питань визначило мету роботи і задачі дослідження.

У другому розділі наведено методи дослідження і моделювання роботи важкого металорізального обладнання. Розроблені методики дозволяють здійснювати теоретичні, статистичні та експериментальні дослідження процесу обробки деталей на важких токарних верстатах. Збір статистичної інформації про деталі, технологічні операції і режими різання здійснювався методами миттєвих спостережень, методом тривалих спостережень та за допомогою аналізу стану списаного інструменту. Методика статистичних досліджень підприємств важкого машинобудування передбачає на основі створеної бази знань з використанням методів математичної статистики здійснювати групування даних за заданою

ознакою, визначати параметри законів розподілу параметрів, здійснювати регресійний і кореляційний аналіз даних, виявляти необхідні параметри обладнання, оптимізувати режими різання.

У третьому розділі розроблено базу знань про роботу важкого металорізального обладнання.

Використано існуючий банк даних про роботу важких верстатів, який доповнено новими прецедентами. База знань забезпечує швидкий доступ до кожного елементу інформації. Для цього в ній відображені логічні зв'язки між даними, на підставі яких при вирішенні задач виконується вибір потрібних елементів без обробки решти інформації. Структура бази знань про параметри обробки деталей на підприємствах важкого машинобудування наведена на рис. 1.

Проведено аналіз умов обробки великогабаритних деталей (приклад деталі наведено на рис.5) на підприємствах важкого машинобудування з охопленням близько 100 заводів і 439 одиниць верстатів. Розподіл деталей бази знань за призначенням показано на рис. 2.

Аналіз експлуатації важких токарних верстатів з ЧПК показав, що часто їх технологічна насиченість не відповідає конструктивно-технологічним характеристикам деталей. Розміри робочого простору верстатів іноді значно перевищують габаритні розміри деталей, число формують рухів і інструментів в магазині також бувають зайвими. Це призводить до більш високої матеріало- та енергоємності верстатів, завищеної собівартості виготовлення деталей.

Вперше проведено аналіз кореляційних залежностей довжини і маси деталей, які оброблюються на важких токарних верстатах, від найбільшого діаметра деталі. Встановлено низьку імовірність повного використання довжини станини і вантажопідйомності верстату при повному використанні діаметрів точіння над супортом, що пов'язано з великою різноманітністю деталей. Статистичними дослідженнями встановлено, що деталі діаметром $0,2D_0$ складають тільки 3% загального обсягу деталей. Деталі довжиною $0,2L_0$ - 18%, деталі масою $0,2Q_0$ -43%. D_0 , L_0 , Q_0 - параметри верстату – відповідно найбільший діаметр деталі, що оброблюється; найбільша довжина і маса деталі. Слід уникати великого запасу вантажопідйомності, що підвищує масу і вартість верстату. Розподіл деталей бази знань за призначенням показано на рис. 6. Аналіз бази знань виявив, що глибина різання в середньому дорівнює 20 - 25мм, але в деяких випадках досягає 35-40 і навіть 45 мм. Середня величина глибини різання - 22 мм на верстатах $D_0 = 1250$ -3200 мм і 25 мм - на верстатах з $D_0 = 4000$ -5000 мм. На рис. 4. наведено розподіл глибин різання на верстатах з $D_0=2000$ -3200 мм.

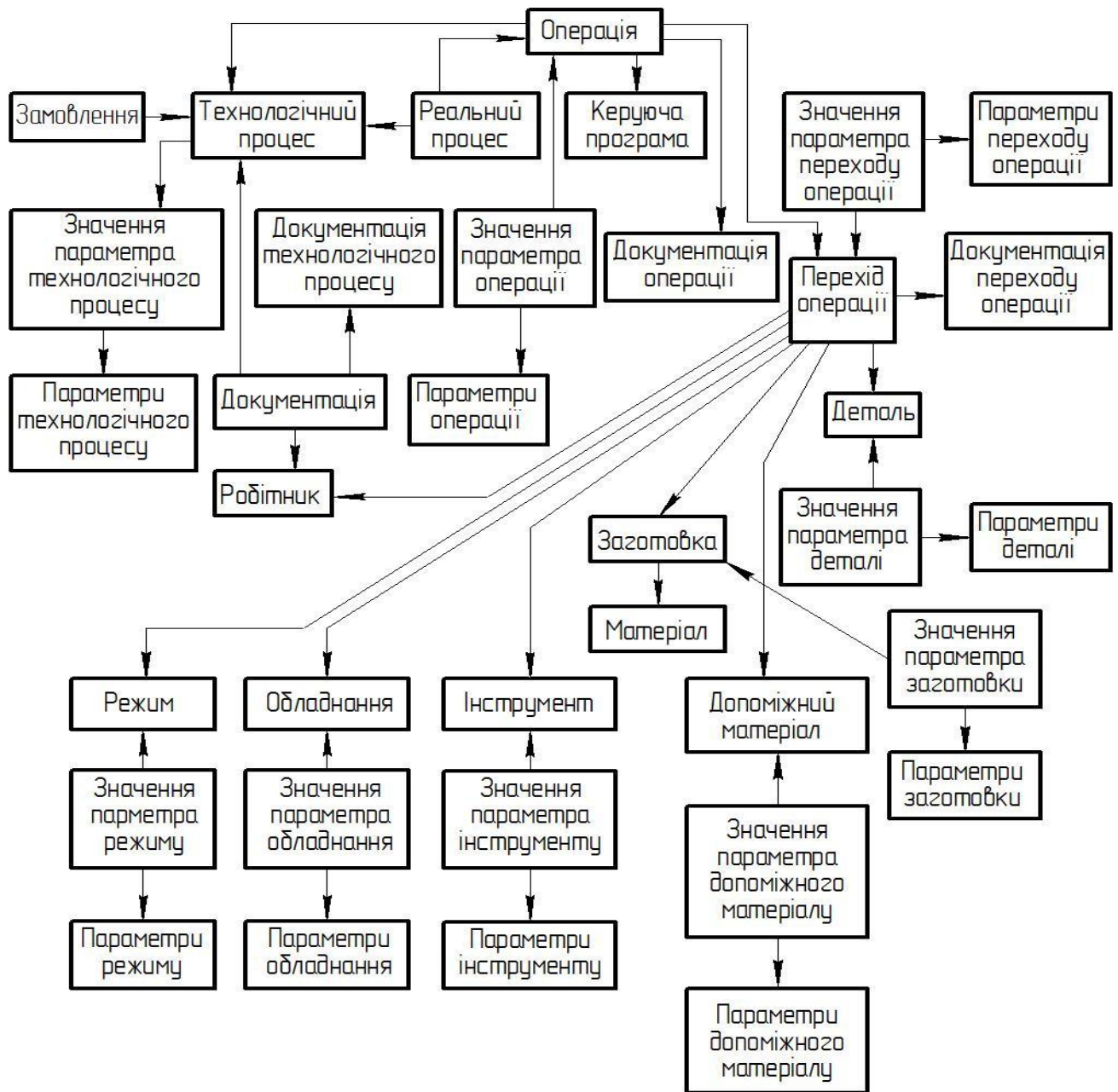


Рис. 1. Структура бази знань про параметри обробки на важких верстатах

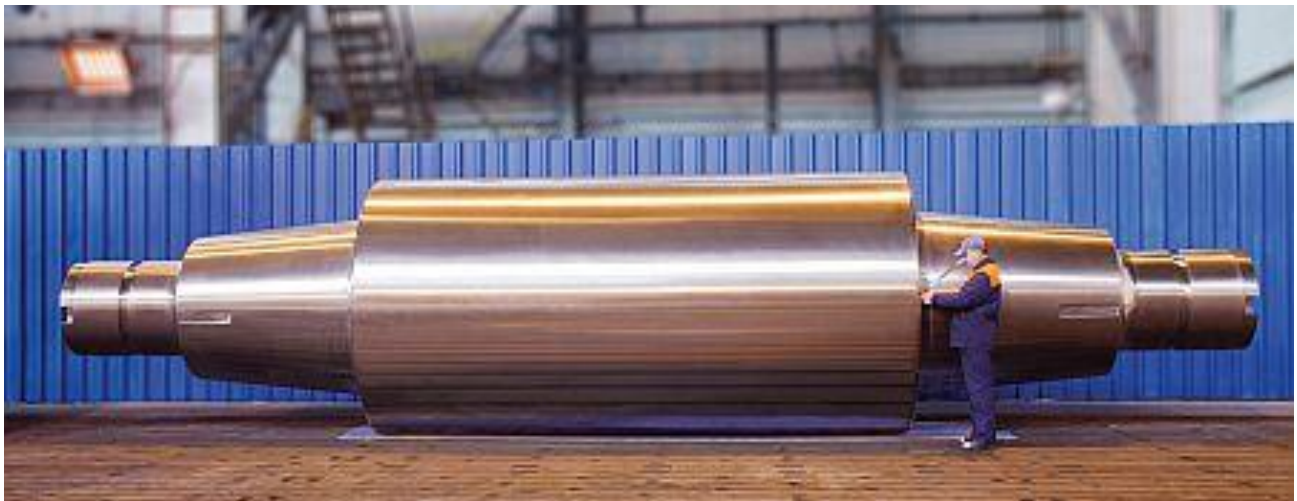


Рис. 2. Деталь-представник важкого машинобудування



Рис. 3. Розподіл деталей бази знань за призначенням

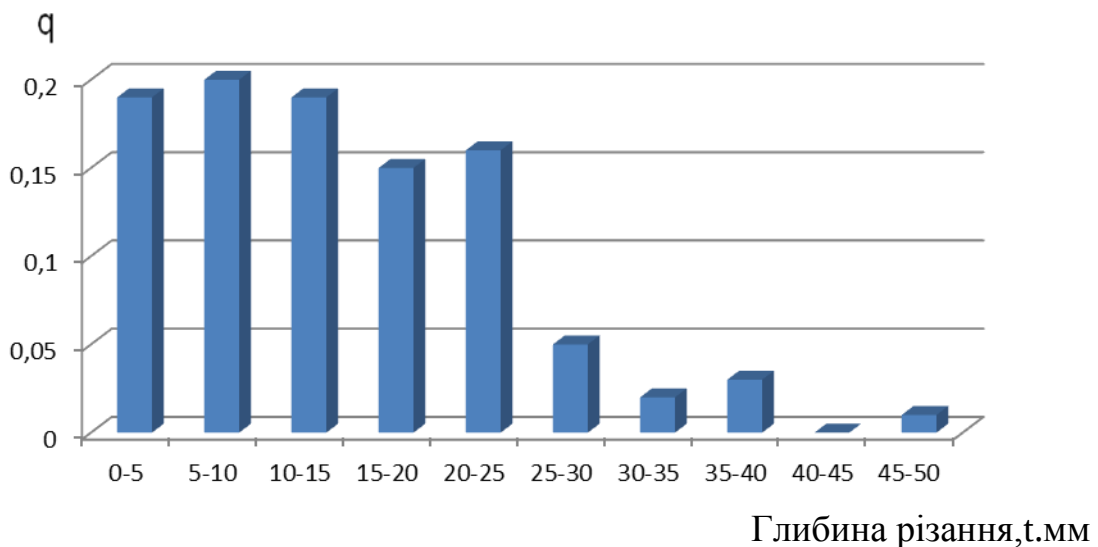


Рис. 4 Розподіл глибин різання деталей, які входять до бази знань ($D_0=3200$ мм).

В більшості випадків величина швидкості різання не перевищує 60-70 м/хв., хоча в окремих випадках досягає 100 м/хв і більше. Середня швидкість складає 54м/хв.

Встановлено, що фактичні подача і швидкість різання, які використовуються на підприємствах, іноді нижче нормативних. Період стійкості різців коливається в досить широких межах. Найбільш імовірні величини лежать в діапазоні від 50 до 70 хвилин.

Частота обертів шпинделя важких верстатів в деяких випадках перевищує діапазон, потрібний для обробки деталей, але не рідкісні випадки, коли наявний на

верстаті діапазон обертів виявляється недостатнім. У міру збільшення D_0 діапазон обертів шпинделя зміщується в бік зменшення, при чому у чистових верстатів він значно ширше, ніж у чорнових. Дуже великі значення $n_{\max}$, які є в наявності на верстатах, не використовуються. Встановлено також, що для верстатів з $D_0 = 3200$ мм і $D_0 = 4000$ мм $n_{\max}$ є завищеними. Встановлено, що на верстатах з $D_0 = 1250$ - 2500 мм необхідно значно зменшити мінімальні оберти в порівнянні з верстатами, що випускаються. На цілому ряді моделей з $D_0 = 2500$ мм і більше максимальне число обертів шпинделю може бути значно зменшено.

Аналіз фактичних сил різання та крутних моментів важких верстатів дозволив встановити, що крутний момент дуже рідко досягає максимального значення. Крутний момент зростає зі збільшенням типорозміру верстату D_0 . Причому, його величина на верстатах різних фірм різна. Величина найбільшого крутного моменту у всіх верстатів визначена за найбільшим зусиллям різання і діаметром обробки, рівним $0,75 D_0$. Встановлено зменшення фактичних крутних моментів, особливо для верстатів великих типорозмірів. Це дозволить відповідно зменшити масу верстатів, тому що розрахункова величина крутного моменту впливає на масу верстату, яка може бути додатково зменшена у результаті удосконалення його конструкції.

Встановлено, що технологічною основою проектування верстатів з ЧПК може бути угруповання деталей. Розроблено і на практиці перевірені ознаки і критерії підбору деталей в групи. На основі кластерного аналізу габаритних розмірів і кількості необхідних формотворчих рухів проаналізовані деталі, які оброблюються в умовах підприємств важкого машинобудування.

Деталь характеризується множиною ознак:

$$D = \{ P_1, \dots, P_i, \dots, P_n \}$$

де P_i – i -та ознака деталі;

n – загальна кількість ознак.

Параметри верстату з ЧПК характеризуються множиною :

$$Y = (y_1, \dots, y_i).$$

Множина класифікаційних ознак $X = (x_1, \dots, x_i)$.

Багатозначне відображення множини Y параметрів верстату з ЧПК у множині X класифікаційних ознак:

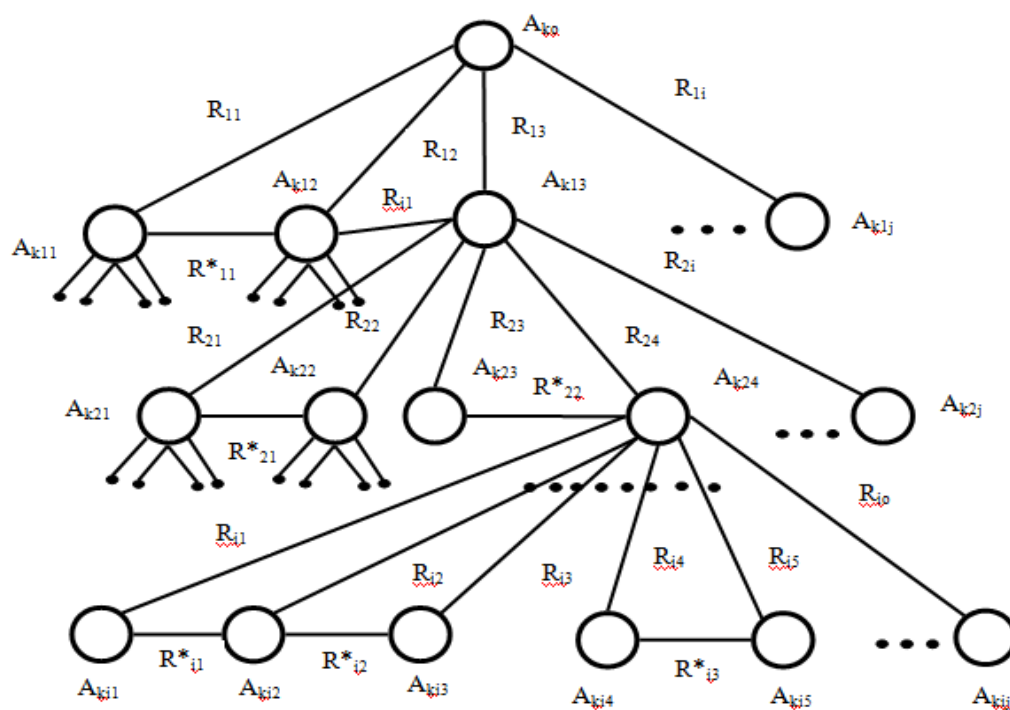
$$\begin{aligned} v: B \rightarrow A: \\ v(b_i) = \{ A_i \} \in A \\ U_{n \in N} v(b_i) = \{ a_i / \exists n (n \in N) \wedge a_i \in v(b_i) \}, \end{aligned}$$

де N – множина образів елементів $(b_1, \dots, b_i) \in B$ при відображенні v ;

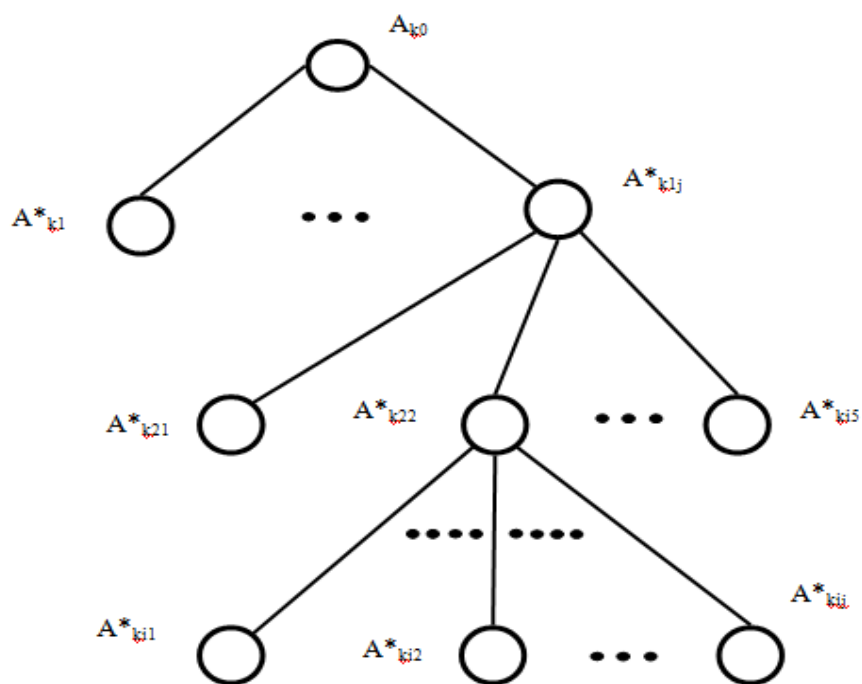
n – елементи множини N .

Загальний набір класифікаційних ознак X :

$$A = \{ (U_{n \in N} v(b_i) \in A) \} \in A_{kl}$$



a)



б)

Рис. 5. Граф-дерево ознак деталей:
а, б – відповідно до та після стягування

Область значень класифікаційних ознак:

$$\begin{aligned}
 A_{k0} &= \{ a_{k0} \}; \\
 A_{k1} &= \{ a_{k11}, a_{k12}, \dots, a_{k1j} \}; \\
 A_{ki} &= \{ a_{ki1}, a_{ki2}, \dots, a_{kij} \},
 \end{aligned}$$

де $\{a_{ko}, \dots, a_{kij}\} \in A_k$ - множина значень класифікаційних ознак, що становлять області значень найменувань конструктивних ознак $A_{ko}, \dots, A_{ki}$.

Кожній деталі бази знань відповідає тільки один класифікаційний вид, цифровий код якого виходить в результаті послідовного кодування характеристик деталей за класифікаційними угрупованнями. Розроблено алгоритм скорочення числа класифікаційних видів, що відповідає процесу групування деталей. Процес групування деталей полягає в перетворенні ієрархічної структури графа Lg , показаного на рис. 8 за допомогою операції стягування (згортки) графу.

Операція стягування вершин графу : $L_g = (A_k, R) \rightarrow L_g^*$.

Практична реалізація операції згортки графа Lg полягає в об'єднанні класифікаційних ознак A_{kij} , для обробки яких потрібно однаковий склад і число формоутворюючих координат Φ_k .

У **четвертому розділі** запропоновано методику структурно-параметричного синтезу конструкцій важких верстатів на базі статистичного дослідження параметрів обробки деталей.

Процес проектування важкого металорізального обладнання, що в найбільш повній мірі відповідає вимогам більшості замовників, полягає в розробці його технологічної структури у вигляді функціонально-структурної моделі та обґрунтуванні основних технологічних параметрів (класу точності, розмірів робочого простору, необхідних силових параметрів, режимів різання).

Розроблено функціональну модель основного процесу побудови функціонально - структурної моделі металорізального обладнання, що дозволило встановити всі процеси, що входять в основний процес, їх взаємозв'язок, вхідну і вихідну інформацію. Розроблено декомпозиції основного процесу, що формалізують послідовність розробки комплексних деталей - представників певної складності та побудови відповідних функціонально - структурних моделей верстатів. Розроблено математичні моделі, які дозволяють встановити функціональні залежності між складністю деталей, що підлягають обробці, функціями обладнання та функціональними блоками які їх реалізують.

Функції верстату:

$$r: S \times T \rightarrow F,$$

де r – відображення множини;

$S = \{Si\}$ – множина комплексної деталі – представника складністю Si ;

$T = \{Ti\}$ - множина структур технологічних операцій, що реалізуються верстатної системою;

$F = \{Fi\}$ - множина функцій верстатної системи.

$$r(Si \times Ti) = \{Fi: (U Si \times Ti) (Si \times Ti; Fi) \in r\}.$$

Визначення функціональних блоків:

$$B \in \{Bi: i \in I\},$$

де B' – верстатна система у вигляді функціональних блоків;
 x – символ декартова добутку;
 B_i – i -й функціональний блок;
 I – множина функціональних блоків.

$$B \in B_1 \times B_2 \times \dots \times B_n.$$

Відображення множини функцій верстату у множину функціональних блоків

$$d: F \rightarrow B$$

Функціональні блоки B_i , що забезпечують задану функцію:

$$d(F_i) = \{ B_i : (\exists F_i) (F_i; B_i) \in d \}.$$

Кінцева підмножина функціональних блоків $\{B_i\}$, необхідних для реалізації функціональної моделі верстату в цілому:

$$U d(F_i) = \{ B_i / \exists (m \in M) \wedge B_i \in d(F_i) \},$$

де M – множина образів функцій $(F_b \dots, F_i) \in F$ при відображенні d ;
 m – елемент множини M .

Уніфікований склад функціональних блоків для створення необхідних верстатів

$$B_i = [U(U d(F_i)) \in B \forall (F_i) \in F]$$

Головна функція F_0 "обробити групу деталей".

$$F_i \leftrightarrow \Phi_k,$$

де « $\leftrightarrow$ » – знак, що позначає еквівалентність множин;
 Φ_k – формоутворюючі координатні переміщення виконавчих органів верстату, які необхідні для обробки поверхонь груп деталей – представників:

Взаємозв'язок множин функцій різних рівнів:

$$F = \{ F_0 \} \times \{ F_{1i} \} \times \{ f_{ij} \}$$

Можливий склад блоків: $A \mid B_i \times f_{ij} \mid$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо для } f_{ij} \text{ необхідний блок } B_i \\ 0 \text{ у протилежному випадку} \end{cases}$$

де a_{ij} – елементи матриці;

$i - 1, n, j - 1, n$ – число допоміжних функцій і блоків.

Встановлено залежності для визначення уніфікованого складу функціональних блоків для побудови всієї гами нового обладнання. Загальний вигляд функціонально-структурної моделі верстату з ЧПК представлено на рис. 6.

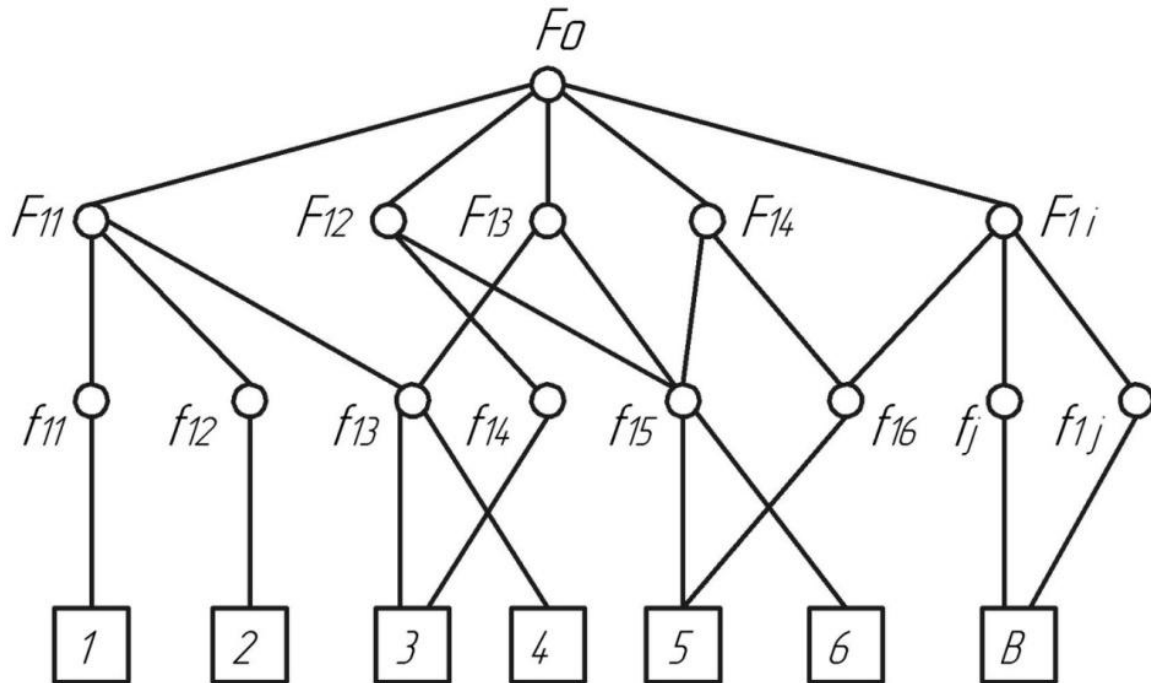


Рис. 6. Загальний вигляд функціонально-структурної моделі верстату з ЧПК:

F_o – загальносистемна функція; $F_{11}, \dots, F_{1i}$ – основні функції;

$f_{11}, \dots, f_{1j}$ – допоміжні функції; B – функціональні блоки верстату.

Із застосуванням функціонально - вартісного аналізу сформульовані головна, основні і допоміжні функції верстату і розроблена його узагальнена функціональна модель. В якості основних функцій верстату прийняті його формоутворюючі координати, від складу яких залежить ефективність обладнання. Розроблено функціонально - структурну модель верстату, що погоджує функції з функціональними блоками.

Запропоновано формули для оцінки значущості функцій нового верстату і визначення функціонально виправданих витрат на їх реалізацію.

Значимість кожної основної функції :

$$P_i = S_i / \sum_1^n S_i,$$

де S_i – число зв'язків i -ї функції з функціональними блоками;

$\sum_1^n S_i$ – загальна кількість зв'язків всіх основних функцій верстату з функціональними блоками;

n – число основних функцій верстату.

Відносні витрати Z_b по кожному функціональному блоку:

$$Z_b = (\sum^n P_i / \sum^k P_i) \times 100\%,$$

де $\sum^n P_i$ – сумарна значимість функцій для реалізації яких призначений конкретний блок;

$\sum^k P_i$ – сумарна значимість всіх функцій верстату.

Побудова функціонально-структурної моделі дозволяє встановити комплекс необхідних і достатніх (оптимальних) функцій, що реалізуються верстатом, і виконавчих механізмів, які їх забезпечують (агрегатів, вузлів і т.п.).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті проведених досліджень вирішена актуальна науково-технічна задача, що має важливе промислове значення, яка полягає в розробці технологічних основ проектування нового металорізального обладнання з програмним управлінням, спеціалізованого на виготовленні поширених у виробництві груп деталей економічно доцільною складністю і оперативного вибору раціонального обладнання з існуючого типажу верстатів для певних виробничих умов. Рішення проблеми дозволило підвищити продуктивність на 30–45%, точність в 3–4 рази і надійність виготовлення деталей важкого машинобудування на 20–25 %.

2. Аналіз експлуатації важких токарних верстатів з ЧПК на підприємствах важкого машинобудування показав, що їх технологічна насиченість не завжди відповідає конструктивно-технологічним характеристикам оброблюваних деталей. Розміри робочого простору верстатів до 3-х разів перевищують габаритні розміри деталей, кількість формоутворюючих рухів і інструментів в магазині також бувають завищеними. Це призводить до підвищення матеріало- та енергоємності верстатів, завищення собівартості виготовлення деталей до 50%.

3. Розроблено методологію оцінки і вибору технологічної насиченості важких токарних верстатів з ЧПК відповідно до виробничо-технологічних умов їх експлуатації, від яких багато в чому залежать споживчі властивості обраного технологічного обладнання. Досліджені залежності технологічної насиченості верстатів з ЧПК від геометричних (форма і поєднання поверхонь, розміри і т.д.), технологічних (точність, матеріал і т.д.) і організаційно - планових (програма випуску, трудомісткість обробки і т.д.) характеристик деталей машин і технології їх обробки покладені в основу розробленої методики проектування

4. Статистичні дослідження параметрів обробки деталей на важких верстатах здійснювались за допомогою розробленої інформаційної бази знань, що нараховує більше 5000 прецедентів. Програмне забезпечення бази знань дозволяє здійснювати групування даних за заданою ознакою, визначати параметри законів розподілу, проводити регресійний і кореляційний аналіз даних. Встановлено, що розподіл основних параметрів обробки в залежності від типорозміру верстата не суперечить логарифмічно-нормальному закону. Розроблений метод поетапного групування деталей на основі згортки класифікаційних угруповань і кластерного аналізу в залежності від складності деталей за кількістю формоутворюючих рухів дозволяє

визначити групи деталей - представників підприємств важкого машинобудування в результаті покрокового об'єднання кластерів.

5. Вперше на підставі статистичних досліджень параметрів механічної обробки запропонована концепція структурно-параметричного синтезу конструкцій важких верстатів, яка дозволяє визначити раціональні параметри важких верстатів, що враховують реальні виробничі умови. Встановлені необхідні конструктивні параметри важких токарних верстатів, які пов'язані з розмірами оброблюваних деталей і режимами різання, обґрунтовано доцільність створення верстатів за модульним принципом. Проаналізовано типові деталі, які оброблюються в умовах підприємств важкого машинобудування. Так, для ЧАТ НКМЗ сформовано три групи деталей - представників на основі кластерного аналізу габаритних розмірів і кількості необхідних формоутворюючих рухів. В результаті аналізу деталей-представників виявлені вимоги до конструкції металорізального обладнання для конкретних умов підприємства, визначені параметри найбільш раціональних конструкцій важких токарних верстатів:

- 1) $D_{\max} = 1250$ мм, $L_{\max} = 6000$ мм, вантажопідйомність 25 т,
- 2) $D_{\max} = 2000$ мм, $L_{\max} = 8000$ мм, вантажопідйомність 60 т.

АНОТАЦІЯ

Супрун Є.Ю. Розробка структури важких верстатів з ЧПК для обробки складних деталей обертання. – На правах рукопису.

У магістерській роботі визначена, науково обґрунтована і вирішена проблема підвищення ефективності обробки складних деталей обертання шляхом розробки раціональної структури важких верстатів. Створено базу знань про прецеденти обробки деталей важкого машинобудування. Розроблену концепцію структурно-параметричного синтезу важких верстатів на підставі створеної бази знань.

Ключові слова: важкий верстат, адаптивне керування, процес різання, мехатронні системи..

АННОТАЦИЯ

Супрун Є.Ю. Разработка структуры тяжелых станков с ЧПУ для обработки сложных деталей вращения. – На правах рукописи.

В магистерской работе определена, научно обоснованная и решена проблема повышения эффективности обработки сложных деталей вращения путем разработки рациональной структуры тяжелых станков. Создана база знаний о прецедентах обработки деталей тяжелого машиностроения. Разработанную концепцию структурно-параметрического синтеза тяжелых станков на основании созданной базы знаний.

Ключевые слова: тяжелый станок, адаптивное управление, процесс резания, мехатронные системы.

ABSTRACT

Suprun Y.Y. Development of the structure of heavy machine tools with CNC for processing of complex rotation details. – Exercising the rights of the manuscript.

In the master's work the problem of increasing the efficiency of processing of complex parts of rotation is determined, scientifically substantiated and solved by way of developing the rational structure of heavy machine tools. The database of knowledge about the precedent processing heavy engineering components is created. The concept of structural and parametric synthesis of heavy machine tools is developed on the basis of established knowledge base.

Keywords: heavy machines, adaptive control, the cutting process, mechatronic systems.