

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

МАКАРОВ РОМАН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.9.23

**РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ КОМПОНОВОК
МЕТАЛОРИЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ ДЛЯ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК**

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, доцент,
Васильченко Яна Василівна,
Донбаська державна машинобудівна академія,
м. Краматорськ
,
зав.каф. «Комп'ютеризовані мехатронні системи,
інструмент і технології»

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. За даними економічних досліджень знос основних фондів досяг великого відсотка, що є критичним і загрозливим явищем для промисловості. Для забезпечення підйому економіки необхідно оновлення верстатного парку. У зв'язку зі складним економічним становищем, браком фінансування та рядом інших причин, неможливо розвивати всі напрямки в області виробництва всіх типів металорізальних верстатів. Необхідно визначитися з ключовими напрямками розвитку верстатобудування. Вирішення цього питання можливе здійснити за рахунок автоматизації проектування металорізальних верстатів з самих ранніх стадій, проведення пошуку ліцензій і патентів на верстати, вже випускаються і відповідають всім показникам якості серії міжнародних стандартів ISO 9000.

Отже, все більшого значення на ранніх стадіях проектування повинні отримувати автоматизовані системи синтезу та оцінки компоновки металорізальних верстатів (МВ), оскільки це дозволяє вирішити питання зниження трудомісткості і часу виконання дослідно-конструкторських робіт, а також забезпечити конструктора можливістю створення і перегляду значної частини альтернативних проектних рішень компоновок в найкоротший час.

Вибір компоновки полягає в її оптимізації, тобто у встановленні варіанта компоновки, при якому верстат виконує заданий технологічний процес з кращими техніко-економічними характеристиками. Оскільки якість майбутнього верстата закладається саме на етапі створення його компоновки, то необхідно встановити взаємозв'язок між показниками точності і компоновкою верстата і дати конструктору відповідні рекомендації для забезпечення заданої точності майбутнього верстата.

Необхідність прогнозування похибок обробки вже на стадії проектування верстатів зумовило розробку методу структурного синтезу формотворчих систем. Внаслідок нестачі інформації про проєктований верстат обґрунтування вибору раціонального компоновки слід проводити за критеріями, пов'язаним з основними техніко-економічними показниками якості металорізальних верстатів.

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 оцінки компоновок металорізальних верстатів на основі структурного синтезу за допомогою розробки автоматизованої підсистеми, що забезпечує на ранніх стадіях проектування можливість отримання проектних рішень компоновок.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі задачі:

- створити програмно-алгоритмічне забезпечення структурного синтезу металорізальних систем для автоматизації стадії концептуального проектування;
- розробити структуру підсистеми оцінки компоновань за певними критеріями і параметрами;
- автоматизувати формування математичної моделі компоновання і визначення основних показників її якості;
- формалізувати можливість проведення метрологічної оцінки синтезованих компоновок;

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.

- встановлення зв'язків між компоновальними параметрами металорізальних верстатів, які проектуються і їх точносних характеристиками;
- метрологічної оцінки безлічі альтернативних проектних рішень компоновок для створення нормативних документів (стандартів) по забезпеченню точності.

Практична цінність роботи полягає в:

- розробці математичного та програмно-методичного забезпечення автоматизованої системи синтезу та оцінки компоновань металорізальних верстатів на ранній стадії проектування;
- рекомендаціях щодо підвищення якості компоновальних рішень;
- можливості отримання метрологічних показників для розробки нормативних документів нових видів і типів компоновок на ранніх стадіях проектування.

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, 3 розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел – 159 найменувань. Містить 95 сторінок.

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 дано аналіз сучасного стан проблем забезпечення розмірної точності обробки і працездатності різального інструменту в сучасному механообробні виробництві при виробленні експлуатаційного ресурсу і знос верстатів з ЧПУ, проблем оптимізації процесу різання, критерії оптимальності, системи і параметри регулювання, управління обробкою на токарних верстатах з ЧПУ.

На підставі систематизації змісту досліджень було встановлено, що - для порівняльної оцінки якості верстатів використовують такі показники: ефективність; продуктивність; надійність; гнучкість; точність. Точність обробки є головним показником якості металорізальних системи.

Стадія концептуального проектування МВ, є найменш формалізованою і найбільш важливою, оскільки на ній формуються основні витрати на проектування, виготовлення та експлуатацію, а також визначаються основні технічні показники (точність обробки, продуктивність і т.п.). Важливою проблемою є підвищення якості та продуктивності проєктованих металорізальних систем на основі максимально можливої формалізації задач структурного і параметричного аналізу і синтезу, застосування методів багатокритеріальної і багатопараметричної оптимізації;

Сучасні вимоги виробництва вимагають створення високоефективного технологічного обладнання при мінімальних термінах його проектування, що неможливо без автоматизації процесу проектування. Автоматизація проектування вимагає істотно більш суворої формалізації, ніж при застосуванні традиційних методів проектування, а також, наявності розвинутого методичного, математичного, програмного та інших видів забезпечення;

Найбільш важкоформалізованими вважаються процедури структурного синтезу та аналізу. Більш дослідженими в даних процедурах є питання компоновочного проектування верстатів та верстатних систем. Аналіз робіт в області автоматизації проектування МВ показав, що задача синтезу структури традиційно вважається важко формалізується, тому автоматизація концептуального проектування заснована, як правило, на застосуванні автоматизованих баз даних і знань, експертних систем, а також застосуванні методів пошукового конструювання. Це істотно обмежує можливості проєктувальника в створенні нових конструкцій на основі багатоваріантного синтезу і вибору обмеженого числа варіантів структур металорізальних систем, що мають високі техніко-економічні показники для подальшого опрацювання.

Методологічною основою концептуального проектування МВ є теорія формоутворення. Компоновка верстата визначається як сукупність вузлів несучої

системи, вузлів зміни інструменту і заготовки, що характеризується їх типом, взаємним розташуванням, сполученням і переміщенням в певній системі координат. Вона забезпечує виконання заданого технологічного процесу і має суттєвий вплив на його техніко-економічні показники. Спосіб опису (кодування) компоновання тісно пов'язаний з методологією її проектування, яку багато в чому визначає. Ефективним методом опису компоновань, тісно пов'язаним з функцією формоутворення, що відбиває основне службове призначення верстата, є опис на основі матричного методу розрахунку верстатів. Функція формоутворення являє собою аналітичну залежність, що зв'язує переміщення ланок формотворною системи з траєкторією руху точок ріжучої кромки інструменту щодо оброблюваної деталі. Склад і ряд важливих властивостей ФС в компактному вигляді представляються за допомогою характеристичних кодів. Основне значення має координатний код ФС, якому однозначно відповідає функція формоутворення верстата.

Найважливішою частиною автоматизації проектування є знаходження раціонального (оптимального) варіанту проектного об'єкта. Структуру об'єкта синтезують в основному за допомогою евристичних методів, причому автоматизація даного процесу найбільш ефективна при застосуванні структурної оптимізації. На основі застосування параметричної оптимізації роблять оцінку різних структур об'єкта, порівнюючи між собою їх оптимальні варіанти;

Виявлено критерії характеризують структуру МВ на стадії концептуального проектування, і пов'язані з їх найважливішими техніко економічними показниками (ефективністю, точністю, надійністю, продуктивністю і ін.). Дані критерії дозволяють проводити обґрунтований вибір раціональних варіантів для подальшої конструкторської опрацювання при наявності неповної інформації про проектовану МС.

Доцільне використання процедур багатокритеріальної оптимізації при структурному і параметричному синтезі МВ. Найбільш підходящим є модифікований метод ЛП-пошуку, враховує параметричних, а структурних змінних компоновальні кодів, в зв'язку з чим, функціонали якості матимуть багатоекстремального характер;

Відсутність автоматизованої системи, що дозволяє проводити синтез і оцінку компоновок верстатів на ранній стадії проектування з урахуванням геометричних похибок і пружних деформацій, а також проводити їх метрологічну оцінку.

У другому розділі представлена модель, структура, програмно-апаратне забезпечення інтегрованої системи діагностики і управління процесами обробки на токарних верстатах з ЧПУ.

Після аналізу структурного складу формоутворюючої системи, отримана повна математична модель функції формоутворення, що враховує вплив складу та зв'язків елементів структури на процес формоутворення.

Розроблено математичне забезпечення для представлення рівнянь оброблюваних поверхонь у вигляді певного набору рухів формоутворення, що забезпечують їх обробку. Воно засноване на виділенні елементарних рухів формоутворення та правилах перетворення структури МВ, таких як введення нового вузла або групи вузлів з перевизначенням зв'язків між елементами, модифікації

координатного коду структури МВ та поділом функції формоутворення між елементами.

Таблиця 1

Матриці узагальнених переміщень

Вид руху	Матриці узагальнених переміщень відносно осі		
	X	Y	Z
Поступальний вздовж осі	$A^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$A^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$A^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
Обертальний навколо осі	$A^4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c\varphi & -s\varphi & 0 \\ 0 & s\varphi & c\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$A^5 = \begin{bmatrix} c\psi & 0 & s\psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -s\psi & 0 & c\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$A^6 = \begin{bmatrix} c\theta & -s\theta & 0 & 0 \\ s\theta & c\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
<p>Прийняті позначення.</p> <p>Узагальнені координати: x, y, z – лінійні зміщення вздовж осей;</p> <p>φ, ψ, θ – кути зсуву відносно осей; $c = \cos$; $s = \sin$; верхній індекс у позначенні матриці A – номер узагальненої координати.</p>			

Таблиця 2

Формальні операції в кодї компонування [114]

Номер перетворення системи	Допустимі перетворення компонок	
	Символьне позначення	Опис
1	12=21; 13=31; 23=32	Вузли, що рухаються поступально можна переставляти
2	14=41; 25=52; 36=63	Вузли циліндричної пари можна переставляти
3	11=1; 22=2; 33=3; 44=4; 55=5; 66=6	Вузли, що однаково рухаються можна об'єднати
4	1=11; 2=22; 3=33; 4=44; 5=55; 6=66	Вузол можна розбити на два, що однаково рухаються

Сформульовано положення структурного синтезу МВ для автоматизованої системи синтезу та оцінки компоновань, засновані на розкладанні рівнянь поверхонь оброблюваних деталей у вигляді упорядкованого поєднання рухів формоутворення, використанні ряду відомих перетворень даної функції, а також на введенні вагових коефіцієнтів для забезпечення точності вузлів, що входять до цієї функції. Дані положення дозволяють на ранніх стадіях проектування генерувати велику кількість варіантів структури МВ, що забезпечують формоутворення заданих поверхонь, і відрізняються кінематичними схемами формоутворення, порядком і кількістю рухів.

У балансі точності МВ виділені змінні і постійні (які не залежать від параметрів u та v функції формоутворення) складові. Постійні складові можуть бути геометричними похибками, похибками позиціонування і деформаціями вузлів, які належать до групи компенсуючих похибок, вплив яких на точність обробки може бути скомпенсовано налаштуванням і піднастройками на розмірні параметри. Це дозволяє виключати їх з балансу точності при проектуванні та дає можливість не завищувати вимоги до точності вузлів МВ. Вплив деформацій вузлів МВ можливо знизити шляхом раціонального вибору орієнтації силових потоків, правильного оформлення конструктивного виконання елементів МВ, забезпечення повної або часткової інваріантності величини похибки обробки від деформацій.

Показано застосування методики багатокритеріальної оптимізації при виборі раціональних варіантів структур МВ для фрезерної обробки евольвентної гвинтової поверхні косоzubого зубчастого колеса. З групи варіантів, що реалізують фрезерну обробку, обрано варіант з непокращувальними показниками якості. Для нього розроблено компоновання верстата та визначені уточнені за допомогою вагових коефіцієнтів вимоги до геометричної точності його вузлів.

У третьому розділі представлена система різання і оперативна діагностика навантаження ріжучого інструменту в процесі обробки на токарних верстатах з ЧПУ, визначені складові сили різання по неузгодженості положення в слідкуючому приводі верстата, описані пристрої для оперативної діагностики режимів силового і температурного навантаження ріжучого інструменту.

Для реалізації положень структурного синтезу і багатокритеріальної оптимізації розроблена система синтезу та оцінки металорізальних верстатів. Для гнучкості формулювання вимог до компоновання і для подальшої її конструкторського опрацювання в системі присутній евристичний фактор не тільки при синтезі, а й при оцінці структур верстатів. В кінцевому підсумку це дозволяє значно підвищити процес проектування, а також підвищити його якість на ранній стадії.

Розроблено програмно-алгоритмічне забезпечення для автоматизованої системи синтезу та оцінки компоновань металорізальних верстатів. При розробці комплексу була прийнята суворієрархія в передачі даних. Програма складається з семи розрахункових модулів, кожен з яких має свій алгоритм. Дані для розрахунку в кожен модуль передаються з попередніх модулів автоматично.

При розробці автоматизованої системи були виявлені і формалізовані зв'язки між компоновальними параметрами проектного верстата і його точними характеристиками, тобто від рівняння необхідної оброблюваної поверхні в

параметричному вигляді до визначення елементарних похибок вузлів отриманої компоновки верстата.

Для скорочення часу проектування в розробленій програмі є можливість окремого введення нуль-базового варіанту для синтезу базових структур, якщо цей варіант раніше був відомий, а також введення одиничного вектора нормалі до оброблюваної поверхні, якщо він також був раніше визначений.

Для полегшення роботи конструктора в створеній системі формалізована можливість проведення корекції вводяться раніше даних, з подальшою їх передачею в наступні розрахункові модулі.

Кожен розрахунковий модуль програми має окреме вікно з простим і легким для розуміння інтерфейсом, що дозволяє навіть недосвідченому користувачу розібратися в програмі і отримати необхідний результат. Однак, єдине що пред'являється вимога для користувача даною програмою полягає в тому, щоб він був грамотним фахівцем і був знайомий з положеннями структурного синтезу і методикою багатокритеріальної оптимізації. Це дозволяє домогтися істотного зниження трудомісткості і зменшення часу дослідно-конструкторських робіт.



Рис.3.1 – Загальна схема алгоритму роботи системи синтезу та оцінки компонувань металорізальних верстатів

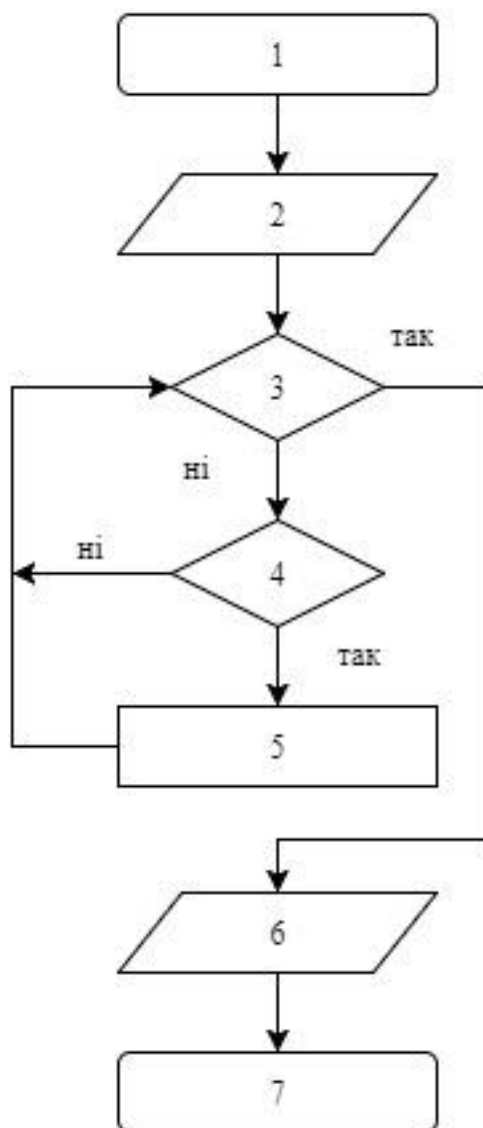


Рис. 3.2 – Алгоритм вибору, раціональних структур компоновань металорізальних верстатів

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Структурний синтез металорізальних верстатів, заснований на визначенні функції формоутворення з рівнянь поверхонь оброблюваних деталей і використанні ряду перетворень даної функції, дозволив скоротити виконання ранніх стадій проектних робіт за рахунок автоматизованого визначення багатоваріантного складу елементарних рухів для обробки заданих поверхонь.

2. Створене програмно-алгоритмічне забезпечення структурного синтезу металорізальних верстатів дозволило знизити трудомісткість виконання робіт на ранніх стадіях проектування.

3. Критерії вибору раціональних проектних рішень компонок металорізальних верстатів для їх подальшого опрацювання: загальна кількість вузлів, що входять в баланс точності; кількість геометричних похибок в балансі точності; кількість некомпенсованих геометричних похибок; кількість складових

деформацій вузлів в балансі точності; кількість некомпенсованих складових деформацій вузлів в балансі точності; кількість складових перехресних деформацій в балансі точності, дозволили обґрунтовано вибирати раціональні варіанти компоновок і акцентувати увагу конструктора на тих показниках, які необхідно забезпечити на наступних стадіях проектування.

4. Методика введення вагових коефіцієнтів, що враховує особливість автоматизації синтезу структур на ранній стадії проектування, дозволила домогтися отримання оптимальної компоновки верстата для обробки заданої поверхні (або ряду поверхонь) з урахуванням технологічних можливостей конкретного виробництва, а також забезпечити конструктора можливістю управління при розподілі похибок вузлів, щоб найкращим чином їх компенсувати.

5. Достовірність і обґрунтованість наукових положень роботи підтверджуються застосуванням результатів теоретичних досліджень і програмно-математичного забезпечення на підприємствах при розробці концепції токарних верстатів, а також ряду вертикально-свердлильних верстатів (були обрані раціональні варіанти структури МВ і визначені вимоги до точності, які необхідно забезпечити на наступних стадіях проектування); в ДДМА при розробці ряду навчальних дисциплін, в курсовому і дипломному проектуванні.

АНОТАЦІЯ

Макаров Р.О. Розробка методики визначення раціональних компоновок металорізальних верстатів для важких верстатів з ЧПК. – На правах рукопису.

У магістерській роботі визначена, науково обґрунтована і вирішена проблема підвищення оцінки компонувань металорізальних верстатів на основі структурного синтезу за допомогою розробки автоматизованої підсистеми, що забезпечує на ранніх стадіях проектування можливість отримання проектних рішень компоновок..

Ключові слова: НАДІЙНІСТЬ, ВАЖКИЙ ВЕРСТАТ, ПАРАМЕТРИ РІЗАННЯ, ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ, ОПТИМІЗАЦІЯ, СИЛИ РІЗАННЯ, ЗНОС, ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ.

АННОТАЦИЯ

Макаров Р.О. Разработка методики определения рациональных компоновок металлорежущих станков для тяжелых станков с ЧПУ. - На правах рукописи.

В магистерской работе определена, научно обоснованная и решена проблема повышения оценки компоновок металлорежущих станков на основе структурного синтеза с помощью разработки автоматизированной подсистемы, обеспечивающей на ранних стадиях проектирования возможность получения проектных решений компоновок.

Ключевые слова: НАДЕЖНОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ СТАНКОВ, ПАРАМЕТРЫ РЕЗАНИЯ, РАБОТОСПОСОБНОСТЬ, ОПТИМИЗАЦИЯ, ДИАГНОСТИКА, СИЛЫ РЕЗАНИЯ, ИЗНОС, ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ.

ABSTRACT

Makarov R.O. Development of a method for determining the rational layout of metal-cutting machine tools for heavy duty CNC machines. - On the rights of the manuscript.

In the master's thesis a scientific, substantiated and solved the problem of increasing the evaluation of the alignment of metal-cutting machine tools based on structural synthesis with the help of the development of an automated subsystem, which provides in the early stages of designing the possibility of obtaining design solutions of layouts.

Keywords: RELIABILITY, HARD VERSTAT, CUTTING PARAMETERS, PROCESSING, OPTIMIZATION, SOFTWARE, ACCESSORIES, DIAGNOSTICS, CUTTING RELATIONS, WARNING, ACCURACY OF PROCESSING.