

Міністерство освіти України
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ імені ІВАНА ПУЛЮЯ

На правах рукопису

ЗИНЬ МИРОСЛАВ МИХАЙЛОВИЧ

МОДЕЛЮВАННЯ І СИНТЕЗ ВИХРОВИХ ГОЛОВОК
ДЛЯ ФРЕЗЕРУВАННЯ ГВІНТОВИХ ПОВЕРХОНЬ

05.13.02 - "Математичне моделювання в наукових
дослідженнях"

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль - 1996



Дисертація в рукопис.

Робота виконана в Тернопільському приладобудівному інституті імені Івана Пулюя

Науковий керівник: Заслужений винахідник України,
академік АН вищої школи України,
доктор технічних наук, професор
Нагорняк Степан Григорович

Офіційні опоненти:

1. Заслужений винахідник України, академік АН вищої школи України, доктор технічних наук, професор
Кузнецов Юрій Миколайович;
2. Кандидат фізико-математичних наук, доцент
Михайлишин Михайло Стахович

Провідне підприємство - Тернопільський завод "Сатурн"

Захист відбудеться "26" чрудн. 1996р. о 12 годині
на засіданні спеціалізованої вченої Ради К12.02.02 по при-
судженню наукового ступеня кандидата технічних наук в Терно-
пільському приладобудівному інституті імені Івана Пулюя
(282001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56)

З дисертацією можна познайомитися в бібліотеці ТПІ
імені Івана Пулюя

Автореферат розіслано "25" листопада 1996р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої Ради:
к.т.н., доцент

 Петрик М.Р.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Відомі вихрові головки, які застосовуються в сучасному машинобудуванні для високопродуктивної обробки гвинтових поверхонь, не забезпечують надійного захисту їх різальних інструментів від перевантажень в момент врізання, що спричинює недостатню їх стійкість (і в результаті цього період служби). Оснащення вихрових головок пружно-демпфуючими елементами (ПДЕ) дає можливість практично усунути перевантаження і відповідно підвищити стійкість їх різальних інструментів. Проте процес проектування таких технічних об'єктів потребує прогресивних методів синтезу і ефективних математичних засобів - моделей, методів і алгоритмів. У зв'язку з цим моделювання, структурно-схемний синтез, оптимізація, натурні випробування і подальше впровадження в виробництво вихрових головок, оснащених ПДЕ, є актуальною задачею, успішне розв'язання якої може стати основою значної економії дорогого твердосплавного різального обладнання.

Мета роботи. Розробка математичних моделей, методів і алгоритмів моделювання і синтезу, проведення теоретичного і експериментального аналізу вихрових головок з ПДЕ з метою підвищення стійкості різальних лез.

Методика дослідження. Теоретичні дослідження проводились на основі методів математичного моделювання, системного аналізу, обчислювального експерименту, використання сучасних ЕОМ, сучасних теорій статички і динаміки, лінійної алгебри і

диференціальної геометрії. Натурні дослідження і випробування проводились з використанням тензометрії і високоточної вимірjuвальної апаратури.

Наукова новизна роботи:

-реалізовано системний підхід до дослідження технічних систем для вихрового фрезерування гвинтових поверхонь як складних систем, в результаті чого отримано структуру багатоваріантного синтезу вихрових головок, оснащених ПДЕ. Розроблено методикy проведення оптимізаційного розрахунку параметрів і варіантів виконання елементів даних головок;

-розроблено математичні моделі, розрахункові алгоритми і програмні засоби (для використання на ПЕОМ типу IBM PC AT) для:

а) дослідження динамічних процесів, які мають місце під час вихрового фрезерування гвинтових поверхонь, які дозволяють якісно і кількісно оцінити вплив ПДЕ, якими оснащено вихрові головки, на динамічні навантаження і стійкість різців даних головок;

б) визначення раціональних конструктивних параметрів конкретних елементів вихрових головок, оснащених ПДЕ;

в) встановлення уточнених залежностей, за якими змінюється товщина і площа поперечного перерізу зрізу в процесі вихрового фрезерування гвинтових поверхонь;

- шляхом натурних випробувань дослідного взірця вихрової головки, оснащеної ПДЕ, в реальних умовах її експлуатації встановлено експериментальну залежність стійкості різців від коефіцієнту жорсткості ПДЕ, встановленого в вихровій головці.

Практична цінність роботи полягає в:

- системному дослідженні технічних об'єктів для вихрового фрезерування гвинтових поверхонь, розробці програмних засобів для конструкторів-проектувальників, які дозволяють здійснити моделювання і оптимізацію вказаних об'єктів;

- отриманні важливих рекомендацій для проектування технічних систем і елементів вихрових головок, оснащених ПДЕ, на основі математичного моделювання.

- Впровадження. Розроблена на основі системного підходу методика математичного моделювання, структурно-схемного синтезу і оптимізації (з використанням сучасних ЕОМ) вихрових головок, оснащених ПДЕ, безпосередньо пов'язана з розробкою наукових тем по замовленню Міністерства освіти України, а її основні положення впроваджені в курси "Ріжучі інструменти і інструментальне забезпечення автоматизованого виробництва" і "Основи експлуатаційної надійності машин", які читаються в Тернопільському приладобудівному інституті імені Івана Пулюя.

Апробація роботи. Результати роботи доповідались і були одобрені на науково-технічних конференціях "Типовые механизмы и технологическая оснастка станков-автоматов, станков с ЧПУ и ГПС" (м. Київ, 1992р.), "Прогресивні технології і обладнання в машино- і приладобудуванні" (м. Тернопіль, 1992р.), "Автоматизация и диагностика в механообработке" (м. Луцьк, 1993р.), "Прогресивні матеріали, технології та обладнання в машино- і приладобудуванні" (м. Тернопіль, 1993р.).

В цілому робота доповідалась на наукових семінарах

Тернопільського приладобудівного інституту імені Івана Пулюя (1996р.), в яких приймали участь кафедри математичного моделювання і механіки, верстатно-інструментальних систем автоматизованого виробництва, технології машинобудування та ін..

Публікації. По темі роботи опубліковано 7 робіт.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, основних висновків, списку літератури і додатків. Об'єм тексту складає 122 машинописні сторінки. Бібліографічний список включає 141 назву. Рисуноків 37. Таблиць 7.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

В першому розділі дано короткий аналіз опублікованих за останні 50 років вітчизняних і зарубіжних науково-технічних праць (в тому числі патентів і авторських свідоцтв) по темі даної роботи. В області структурно-схемного синтезу технічних об'єктів і пошуку раціональних технічних рішень слід відмітити праці Кузнецова Ю.М., Нагорняка С.Г., Половінкіна А.І., в області математичного моделювання і оптимізації технічних і технологічних об'єктів - роботи Бояринова А.І., Каферова В.В., Петрика М.Р., в області науково-практичного дослідження процесу вихрового фрезерування гвинтових поверхо́нь - праці Віксмана Є.С., Нагорняка С.Г., Левіна Б.Г.. В результаті проведеного аналізу виявлено, що в області проектування матеріалозберігаючих і високопродуктивних вихрових головок, оснащених ПДЕ, існує ще багато білих плям, які теперішній час вимагає заповнити прогресивними методами

синтезу, моделювання і розрахунку розглядуваних об'єктів.

У відповідності із зазначеним основні завдання роботи наступні:

1. Розробити теорію багатоваріантного структурно-схемного синтезу вихрових головок, оснащених ПДЕ, з використанням сучасних методів моделювання, оптимізації, програмування і обчислювального експерименту;

2. Розробити і дослідити математичні моделі і алгоритми розрахунку:

а) динамічних процесів при вихровому фрезеруванні гвинтових поверхонь;

б) окремих елементів і вузлів вихрових головок, оснащених ПДЕ;

в) геометричних параметрів зрізу при вихровому фрезеруванні гвинтових поверхонь;

3. З метою встановлення ступеню адекватності запропонованих математичних моделей синтезованих вихрових головок і процесу вихрового фрезерування гвинтових поверхонь реальному техніко-технологічному об'єкту провести натурні дослідження і випробування дослідного взірця вихрової головки, оснащеної ПДЕ, в реальних умовах її експлуатації.

В другому розділі викладено процес математичного моделювання: а) залежностей, за якими динамічно змінюються геометричні параметри зрізу при вихровому фрезеруванні гвинтових поверхонь; б) динамічних параметрів процесу вихрового фрезерування гвинтових поверхонь - сили удару різця об заготовку і коефіцієнту динамічності. Висловлено припущення, що стійкість різальних інструментів вихрових головок знаходить-

ся в прямій залежності від даних динамічних параметрів, які в свою чергу залежать від законів зміни геометричних параметрів зрізу.

В третьому розділі приведено послідовність структурно-схемного синтезу вихрових головок, оснащених ПДЕ, представлено експертну оцінку варіантів виконання окремих елементів даних головок, зформовано базу даних, яка дозволяє їх оптимізувати по найголовніших критеріях і параметрах. Запропоновано і описано раціональні технічні моделі вихрових головок, оснащених ПДЕ, приведено математичні моделі і алгоритми розрахунку окремих елементів даних головок, які дають можливість технічно і економічно раціоналізувати розглядувані технічні об'єкти.


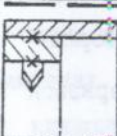

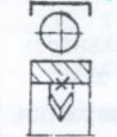

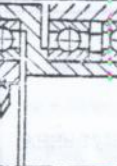

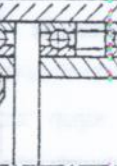
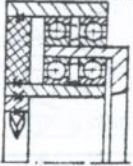

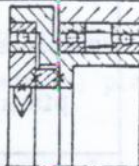
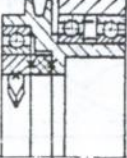
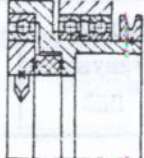
Багатоваріантний структурно-схемний синтез вихрових головок, оснащених ПДЕ, який базується на системному і диференціально-морфологічному підходах до створення нових технічних об'єктів, полягає як в поетапному розтині шпинделя вихрової головки на окремі частини і розташуванні між ними ПДЕ, так і в аналізі і синтезі можливих форм, взаємного розміщення, кількості і інших особливостей складових компонентів вихрових головок з пружноз'єднаними із шпинделем дуговими і прямими (табл. 1) і кільцевими (табл. 2) різцевими державками.

Викладено методику проведення оптимізаційного розрахунку вихрової головки, оснащеної ПДЕ. Вхідними параметрами вважаються: $c_{\varphi 3}$ - коефіцієнт кутової жорсткості ПДЕ, Н·м/рад; ψ_3 - коефіцієнт відносного демпфування ПДЕ; r_e - середній радіус розташування ПДЕ, м; r_B , r_{III} - радіуси інер-

Таблиця 1
 Морфологічна таблиця для багатоваріантного структурно-схемного синтезу вихрових головок з пружноз'єднаними із шпинделем прямими і дуговими державками

Морфологічні ознаки	Варіанти		
А Форми державок	А1 	А2 	
Б Наявність пазу в державці	Б1 	Б2 	
В Базування державок	В1 	В21 	В22 
	В221 	В222 	
Г Прикріплення різця	Г1  $\delta = 0$	Г2  $0 < \delta < \psi$	Г3  $\delta = \psi$
Д Радіус розташування ПДЕ	Д1  $r_g = r_a$		Д2  $r_g < r_a$

Таблиця 2
 Морфологічна таблиця для багатоваріантного структурно-схемного синтезу вихрових головок з пружноз'єднаними із шпинделем кільцевими державками

Морфологічні ознаки	Варіанти			
А Кількість опор державки	А1 	А2 		
Б Тип опор державки	Б1 	Б2 		
В Базування опор державки	В1 	В2 		
Г Розташування опор державки відносно опор шпинделя	Г1 	Г2 		
Д Розташування ПДЕ відносно державки	Д1 	Д2 	Д3 	
Е Розташування шківів на шпинделі	Е1 	Е2 		

ції відповідно веденої і ведучої частин шпинделя вихрової головки, м; m_1, m_3 - маси відповідно веденої і ведучої частин шпинделя вихрової головки, кг; c_1 - коефіцієнт жорсткості заготовки, Н/м; $P_{\text{ост}}$ - максимальне значення сили опору зрізуваного матеріалу в статичному режимі, Н; $P_{\text{рmax}}$ - максимальне значення рушійної сили, Н; $l_{\text{рmax}}$ - довжина зрізу, яка відповідає його максимальній площі, м; ω_0 - кутова швидкість веденої і ведучої частин шпинделя вихрової головки в момент врізання різця в заготовку, рад/с; $h_{1\text{max}}$ - максимальне значення коефіцієнту втрат енергії на різання, Н·с/м; n_4 - усереднений теоретично-експериментальний коефіцієнт пропорційності між стійкістю різців і коефіцієнтом динамічності при вихровому фрезеруванні гвинтових поверхонь, хв.

В якості основних параметрів оптимізації вихрової головки, оснащеної ПДЕ, вибрано параметри $c_{\varphi_3}, \varphi_3, r_e, r_B, r_{\text{ш}}, m_1, m_3$. Для кожного із зазначених семи параметрів визначено допустимий діапазон і крок зміни. Для вихрової головки для нарізання метричної різі М36×4 на заготовці із конструкційної сталі 45 вони можуть приймати наступні числові значення:

[вектор]	[min]	[max]	[крок]	
c_{φ_3}	35	105	5	(1)
φ_3	0.1	0.5	0.1	
r_e	0.06	0.11	0.01	
r_B	0.07	0.12	0.01	
$r_{\text{ш}}$	0.08	0.21	0.01	
m_1	0.2	1	0.1	
m_3	5	10	1	

В якості критерію оптимізації вибрано стійкість різців

T:

$$F(c_{\varphi 3}, \psi_3, r_e, r_B, r_{\text{ш}}, m_1, m_3) = T =$$

$$= \frac{n_4 P_{\text{ост}}}{\dots}$$

$$\sqrt{c_1} \sqrt{\frac{l_{\text{fmax}}}{2(1+\psi_3)} \left[P_{\text{рд}} + \sqrt{P_{\text{рд}}^2 + 8c_3(1+\psi_3)(A_3 + \Delta T_3)} \right] + 2(\Delta T_1 - Q_P)} \rightarrow \max, \quad (2)$$

$$\text{де } \begin{cases} P_{\text{рд}} = f_{11}(P_{\text{рmax}}, \omega_0); \\ c_3 = f_{12}(c_{\varphi 3}, r_e); \\ A_3 = f_{13}(P_{\text{рmax}}, \omega_0, l_{\text{fmax}}); \\ \Delta T_3 = f_{14}(m_3, r_{\text{ш}}, \omega_0); \\ \Delta T_1 = f_{15}(m_1, r_B, \omega_0); \\ Q_P = f_{16}(n_{1\text{max}}, \omega_0, l_{\text{fmax}}). \end{cases} \quad (3)$$

Шляхом заміни в формулі (2) набору оптимізаційних параметрів $(c_{\varphi 3}, \psi_3, r_e, r_B, r_{\text{ш}}, m_1, m_3)$ набором формальних параметрів $(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7)$ отримано цільову функцію оптимізації $F(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7)$, екстремум якої в точці $(P_1^*, P_2^*, P_3^*, P_4^*, P_5^*, P_6^*, P_7^*)$ знайдено за методом чисельного розрахунку системи семи диференціальних рівнянь, кожне із яких є прирівняно до нуля частинною похідною цільової функції $F(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7)$ по P_i -му $(i=1, 2, \dots, 7)$ формальному параметру.

В четвертому розділі викладено опис і результати експериментальних випробувань спроектованого і виготовленого в металі натурального взірця вихрової головки, оснащеної ПДЕ, в реальних умовах її експлуатації. Дослідним шляхом перевірено адекватність отриманих математичних моделей і правильність відповідаючих їм алгоритмів, програм і машинних розрахунків: розбіжність між отриманими математичними розв'язками і результатами технічних вимірювань досліджуваного об'єкту в межах вказаних діапазонів розглядуваних параметрів даного

об'єкту не перевищує 10%.

Основні висновки:

1. В результаті реалізації системного підходу і прогресивних сучасних методів пошуку нових технічних рішень розроблено багатоваріантний структурно-схемний синтез вихрових головок, оснащених ПДЕ, на основі якого і експертної оцінки варіантів виконання окремих елементів вихрових головок, оснащених ПДЕ, зформовано базу даних, яка дозволяє оптимізувати розглядувані технічні об'єкти.

2. Розроблено математичні моделі, розрахункові алгоритми, програмні засоби (для сучасних ЕОМ) запропонованих технічних, динамічних і геометричних моделей вихрових головок, а також аналогічних моделей системи вихрова головки - оброблювана деталь, за якими проведено обчислювальні експерименти, що в загальному дало можливість:

а) встановити залежність коефіцієнту динамічності при вихровому фрезеруванні гвинтових поверхонь від коефіцієнту жорсткості ПДЕ, встановленого в вихровій головці, і від інших конструктивних параметрів даної головки, і в результаті виявити, що завдяки оснащенню вихрової головки ПДЕ коефіцієнт динамічності може бути знижений для умов роботи реального технічного об'єкту без побічних шкідливих наслідків в декілька разів;

б) вирішити завдання розрахунку вихрових головок, оснащених ПДЕ;

в) встановити уточнені залежності, за якими змінюється товщина і площа поперечного перерізу зрізу в процесі зняття його різцем вихрової головки під час різання, які дозволили виявити випередження моменту настання амплітудного значення

товщини зрізу моментом настання амплітудного значення площі поперечного перерізу зрізу на $12+29\%$ по відношенню до його довжини.

3. Натурні випробування спроектованого по запропонованій методиці і виготовленого в металі натурального взірця вихрової головки, оснащеної ПДЕ, в реальних умовах її експлуатації підтвердили правильність розроблених математичних моделей і алгоритмів розрахунку вихрових головок. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що при використанні запропонованих вихрових головок, оснащених ПДЕ, ва рахунок зменшення динамічних навантажень на різальні кромки в $1.7+2.1$ рази стійкість різців підвищується в $1.5+2.7$ рази.

4. Викладені в дисертації дослідження безпосередньо пов'язані з розробкою наукових тем на замовлення Міністерства освіти України, а їх основні положення впроваджені в курси "Різучі інструменти і інструментальне забезпечення автоматизованого виробництва" і "Основи експлуатаційної надійності машин", які читаються в Тернопільському приладобудівному інституті імені Івана Пулюя.

5. Запропонований підхід до математичного моделювання і синтезу вихрових головок, оснащених ПДЕ, володіє достатньою ступінню загальності і може використовуватися при обробці матеріалозберігаючих технічних і технологічних систем, які акумулюють в собі внутрішні можливості для запобігання перевантаження робочих органів і внаслідок цього для підвищення їх довговічності.

ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ АВТОРА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Нагорняк С.Г., Зінь М.М.. Синтез вихрових головок

для фрезерування різей на деталях машин / Вісник ТПІ імені Івана Пулюя, №1. - Тернопіль, 1996. 7с.

2. Зінь М.М.. Определение площади поперечного сечения среза при вихревой обработке резьбы / Деп. рукопись в ГНТБ Украины 22.05.1993г. №985 - Ук 93. 11с.

3. Нагорняк С.Г., Зінь М.М.. Многовариантная структура вихревой обработки винтовых и некруговых цилиндрических поверхностей / Деп. рукопись в ГНТБ Украины 22.05.1993г. №987 - Ук93. 10с.

4. Нагорняк С.Г., Зеленский К.В., Зінь М.М.. Повышение стойкости сборных торцовых фрез и вихревых головок с упруго-демпфирующими элементами / Тезисы докл. конф. "Типовые механизмы и технологическая оснастка станков-автоматов, станков с ЧПУ и ГПС". - Киев, 1992. -С.3.

5. Зінь М.М.. Аналіз конструкцій вихрових головок для високошвидкісного нарізання різей / Тези доп. конф. "Прогресивні технології і обладнання в машино- і приладобудуванні." - Тернопіль, 1992. -С.152.

6. Нагорняк С.Г., Кривий П.Д., Зінь М.М.. Синтез вихревых головок с упруго-демпфирующими элементами / Тезисы докл. междунар. конф. "Автоматизация и диагностика в механообработке". - Луцк, 1993. -С.21.

7. Зінь М.М.. Про вплив методу вихрового фрезерування різей на площу зрізу / Тези доп. другої науково-техн. конф. Тернопільського приладобудівного інституту "Прогресивні матеріали, технології та обладнання в машино- і приладобудуванні". - Тернопіль, 1993. -С.32.

Abstract. Myroslav Zin. Modelling and synthesis of whirlwinded bodies for milling of helical surfacis. The manuscript. This is for a degree of Candidate of Scienses (Engineering) in speciality 05.13.02 - mathematicall modeling in scientific research. The Ternopil Instrument-Making Institute named after Ivan PuluJ. Ternopil, 1996.

Original mathematicall models, structural-schematic synthesis and algorithmes of calculation of whirlwinded bodies with elastic-damping elements (EDE) were developed. According to the results of experimental research as compared with the best available the elaborated whirlwinded bodies with EDE allow to increase the wear resistance of single-point cutting tools in 1.5+2.7 times in different conditions of milling of helical surfacis.

Аннотация. Зинь М.М. Моделирование и синтез вихревых головок для фрезерования винтовых поверхностей. Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.02 - математическое моделирование в научных исследованиях. Тернопольский приборостроительный институт имени Ивана Пулюя. Тернополь, 1996.

Разработаны оригинальные математические модели, структурно-схемный синтез и алгоритмы расчета вихревых головок с упруго-демпфирующими элементами (УДЭ). По данным проведенных экспериментальных исследований, в сравнении с известными, разработанные вихревые головки с УДЭ позволяют повысить стойкость режущего инструмента в 1.5+2.7 раза для различных условий фрезерования винтовых поверхностей.


Ключові слова: математичне моделювання, структурно-схемний синтез, вихрові головки, гвинтові поверхні.

011.00.21

55 years of service in the U.S. Army
and the U.S. Air Force. He was
a member of the American Legion
and the Veterans of Foreign Wars.

430119

Ав 36.140

282001, м. Тернопіль, вул. Руська 56
Віддруковано на видавничій системі  300
в Тернопільському приладобудівному
інституті ім. Ів.Пулля. Тираж 100 прим.