

УДК 621.9.06

В.М. Чуприна

Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України, Чернігів

## РОЗРОБКА ПАРАМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ АГРЕГАТНИХ КОМПЛЕКТНИХ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ НА ОПОРАХ КОЧЕННЯ В САПР

Розглянута актуальна проблема розробки параметричних 3D-моделей шпиндельних вузлів в САПР. Наведено приклади використання змінних компоновочних параметрів для модифікації конструкцій шпиндельних вузлів з метою оптимізації.

**Ключові слова:** верстат, головний привод, комплектний шпиндельний вузол, параметрична 3D-модель, модифікація, оптимізація.

### Вступ

При проектуванні нових конструкцій машин, зокрема металорізальних верстатів, широко використовуються засоби інженерної комп'ютерної графіки і САПР [3]. При цьому створюються віртуальні моделі окремих деталей і складальних одиниць, які застосовуються для отримання необхідної технічної документації для їх виготовлення.

Сучасним напрямком розвитку верстатобудування є принцип агрегування, при якому конструкції верстатів збираються із готових агрегатів – вузлів і модулів, вироблених централізовано.

До таких вузлів належать комплектні шпиндельні вузли (КШВ). Шпиндельні вузли є одними з найбільш відповідальних вузлів металорізальних верстатів, які у великій ступені визначають їх якість, особливо динамічну [2]. Дослідженнями шпиндельних вузлів присвячено багато робіт вітчизняних і закордонних дослідників [1, 4, 5].

КШВ є кінцевою складовою частиною приводу головного руху металорізального верстату (рис. 1). Тому його проектування необхідно здійснювати з

урахуванням характеристик всього приводу (структура, потужність, діапазон частот обертання і інші).

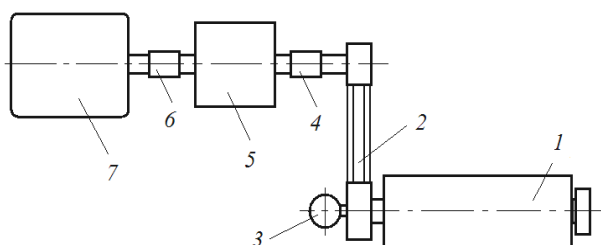


Рис. 1. Схема агрегування приводу головного руху верстата: 1 – комплектний шпиндельний вузол, 2 – передача, 3 – датчик, 4 – муфта, 5 – автоматична коробка швидкостей, 6 – муфта, 7 – двигун

Проектування КШВ доцільно здійснювати в спеціалізованій САПР, типова структура якої показана на рис. 2 [8].

Розроблені віртуальні моделі використовуються при перевірочних розрахунках для отримання вихідних показників реальної конструкції з метою оцінки. Однак, тут не вирішується задача модифікації і оптимізації конструкції КШВ.

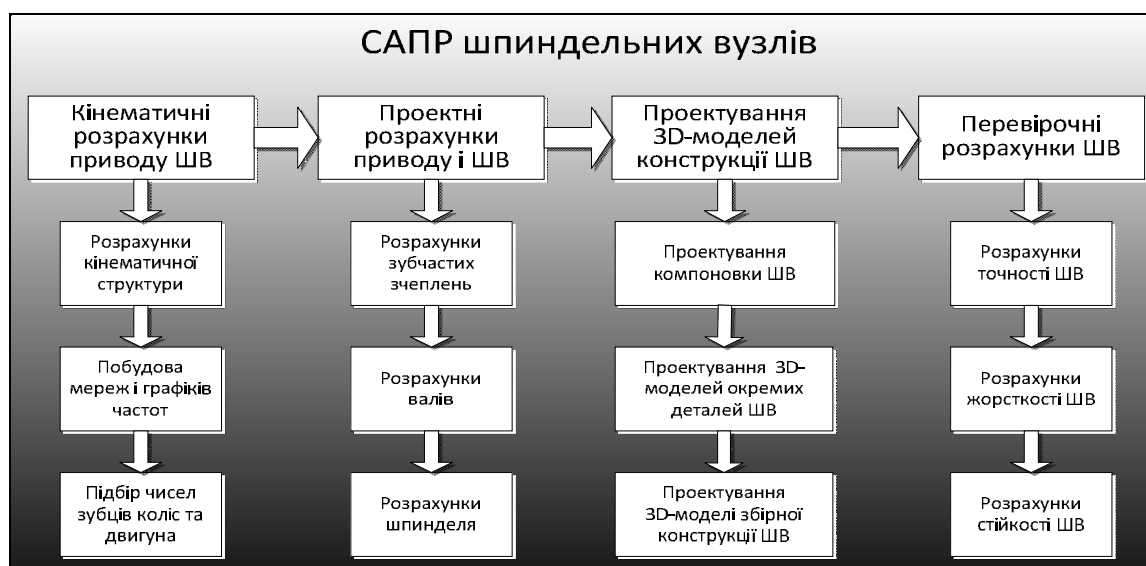


Рис. 2. Типова структура САПР КШВ

З метою оптимізації КШВ доцільно переходити до параметричного моделювання з використанням змінних параметрів конструкції. Параметризація дозволяє вносити необхідні зміни до конструкції і моделювати різні конструктивні варіанти об'єкту в оперативному режимі. В результаті проведення параметричної оптимізації об'єкту можна отримати конструкцію з раціональними параметрами.

Це дозволяє створити САПР більш високого рівня з застосуванням глобальної параметризації об'єктів проектування – від окремих елементів і деталей до збірних параметричних 3D-моделей.

Передумови створення спеціалізованої САПР КШВ закладені в обмеженій номенклатурі і широкій уніфікації цих вузлів. Для цього необхідно визначити номенклатуру КШВ, розробити типові компоновки вузлів, побудувати розмірні ряди базових параметрів і виконати повну параметризацію 3D-моделей КШВ.

**Метою статті** є обґрунтування методики розробки параметричних 3D-моделей шпиндельних вузлів для модифікації, моделювання і оптимізації конструкції в САПР.

### Основна частина

В якості об'єктів для параметризації обрані комплектні шпиндельні вузли конструкції «ЭНИМС», для яких розроблені типові розмірні ряди і які призначені для використання в якості покупних агрегатних одиниць у верстатах різних технологічних груп, що охоплюють більшу частину існуючого верстатного парку.

На рис. 3, а показана узагальнена структурна схема типового КШВ. Він складається із таких основних елементів (деталей і вузлів): 1-шпиндель, 2 – корпус, 3 – передній радіальний підшипник, 4 - задній радіальний підшипник, 5 – упорно-радіальний (або упорний) підшипник.

В розроблених параметричних 3D-моделях КШВ основними варіативними параметрами є базові компоновочні розміри шпиндельного вузла (рис. 3, а):  $a$  – виліт консолі шпинделя,  $l$  – відстань між радіальними опорами (серединами опор),  $d$  – діаметр шпинделя в передній опорі,  $b$  – довжина хвостовика шпинделя. При використанні для моделювання інструментальної оправки (рис. 3, б) додатково враховуються її розміри (довжина  $l_0$  та діаметр  $d_0$ ).

Розміри інших деталей пов'язані з цими параметрами математичними співвідношеннями. При зміні будь-якого з компоновочних параметрів 3D-модель автоматично перебудовується. Це дозволяє досить легко варіювати компоновкою і розмірами шпиндельного вузла при розрахункових дослідженнях і моделюванні.

В повній параметричній 3D-моделі (рис. 4) окрім базових елементів, присутні також різні допо-

міжні деталі (фланці, дистанційні кільця, гайки, ущільнювачі, метизні вироби), що суттєво ускладнює створення повної параметричної моделі вузла.

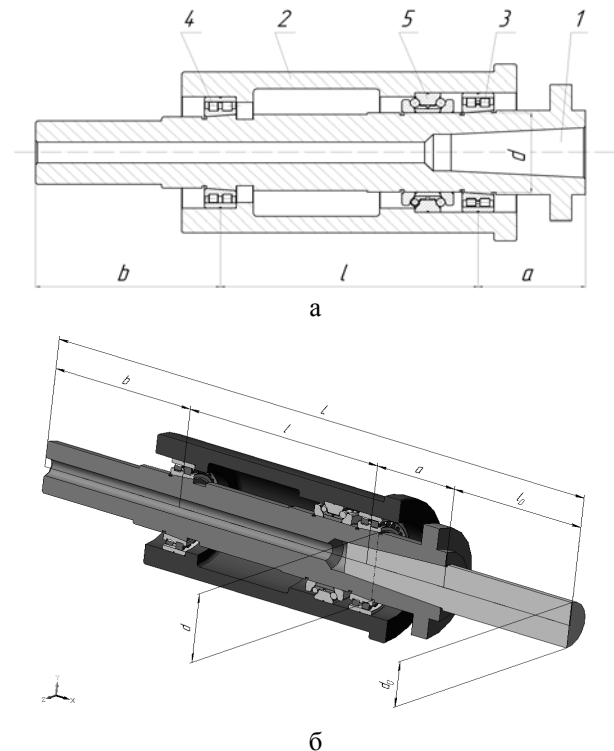


Рис. 3. Комплектний шпиндельний вузол (КШВ)

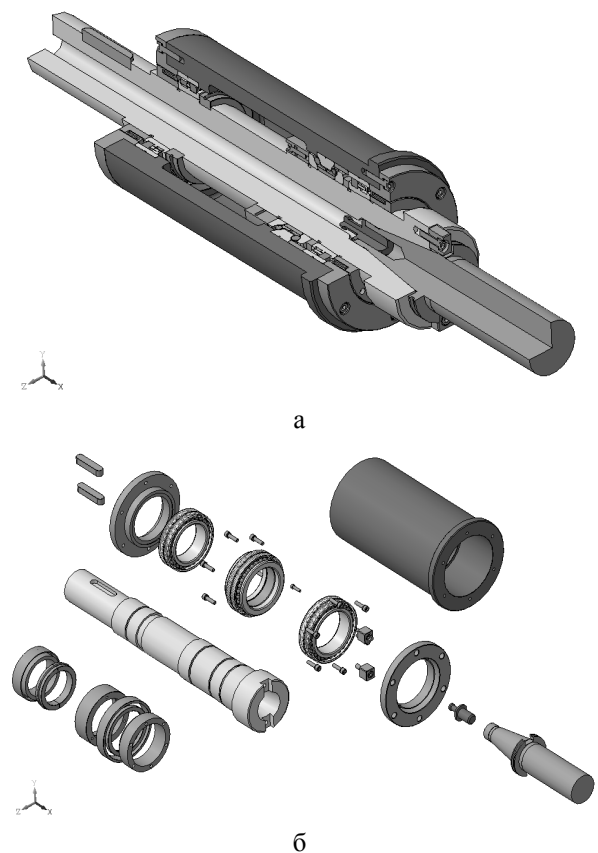


Рис. 4. Повна параметрична 3D-модель КШВ: а – в зборі з інструментальною оправкою; б – рознесена в просторі

Тому в розроблених 3D-моделях конструкцій КШВ використовувалась як аналітичний (континуальний), так і табличний (дискретний) види параметризації.

На рис. 5 показана схема формування параметричної 3D-моделі КШВ.

Спочатку для даного типу вузла розробляється компоновочна схема, з аналізу якої визначаються усі керуючі параметри КШВ. Це – головні розміри, які керують усіма іншими розмірами 3D-моделі КШВ. В даному випадку базовими параметрами визначені такі:  $a$ ,  $l$ ,  $d$ ,  $b$ . Цим розмірам призначаються відповідні змінні, які розглядаються як базові варіативні параметри 3D-моделі КШВ.

Наступним кроком є побудова параметричних 3D-моделей комплектуючих деталей (шпинделя, корпусу і інших), які заносяться в базу даних моделі КШВ. Параметризації окремих деталей полягає в тому, що при створенні плоских ескізів тривимірних деталей накладаються параметричні обмеження (вертикальність, горизонтальність, паралельність і інші), а розмірним характеристикам призначаються відповідні змінні. Ці змінні входять в різні математичні залежності таким чином, щоб при зміні керуючих параметрів автоматично змінювались керовані розміри.

В результаті отримаємо повну параметричну 3D-модель деталі.

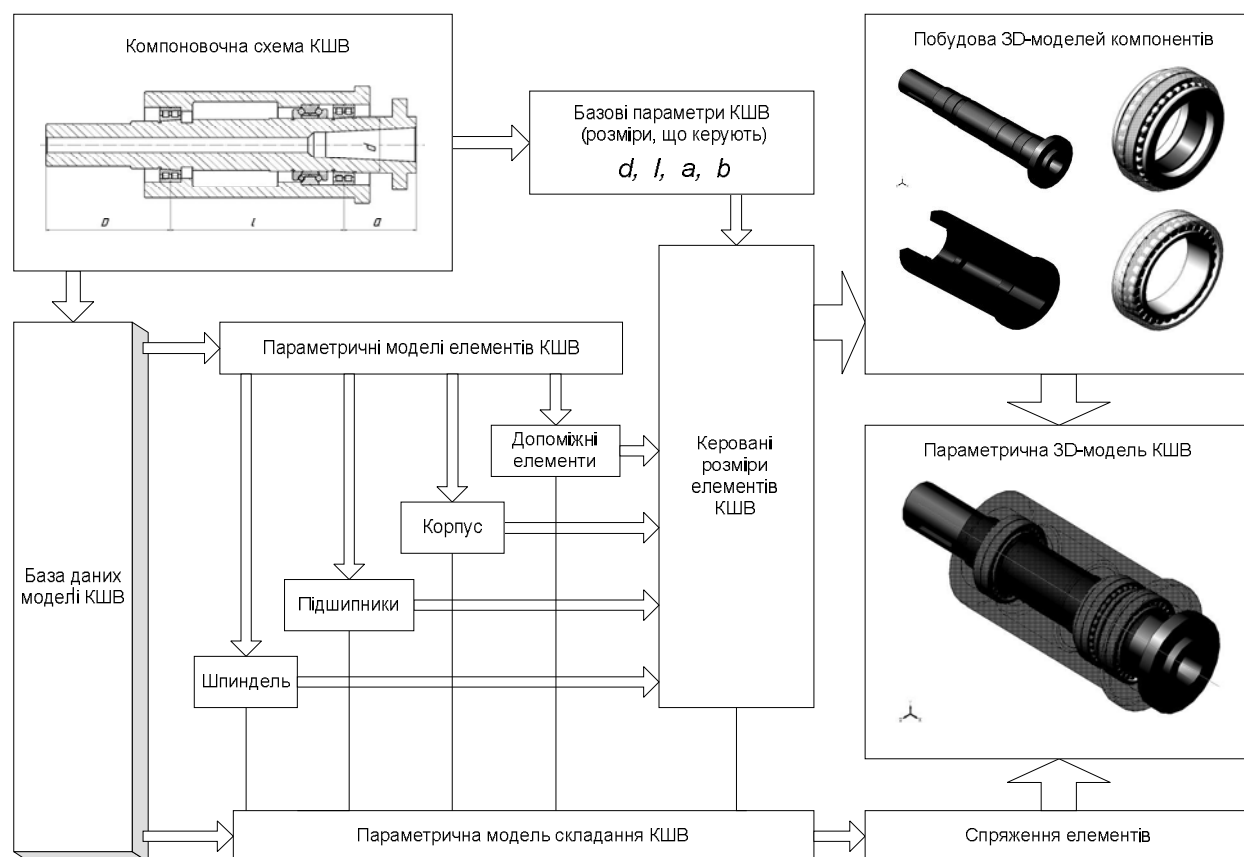


Рис. 5. Формування параметричної моделі КШВ

Після розробки усіх моделей деталей створюється параметрична модель складання КШВ. При складанні вузла на його елементи накладаються відповідні обмеження по взаємному розташуванню поверхонь або граней об'єктів у вигляді спряжень (концентричність, паралельність та інші). Варіювання базових параметрів змінює розміри елементів, але не впливає на зміну спряжень між елементами. Тобто, при параметричній модифікації базових розмірів повністю зберігаються структура об'єкта і усі види спряжень.

В зв'язку з тим, що ШВ є достатньо складною конструкцією, яка серед комплектуючих елементів містить підвузли (наприклад, підшипники) в даній

роботі застосована дворівнева (повузлова) параметризація КШВ.

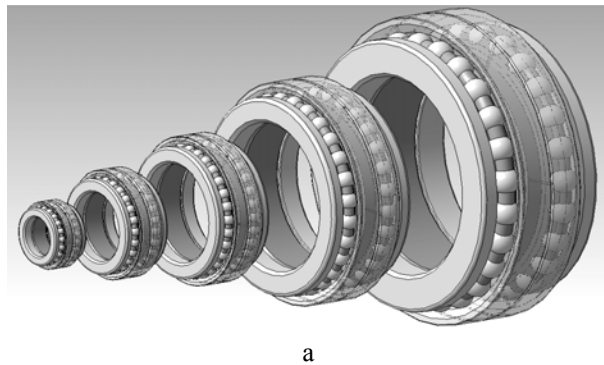
На першому рівні створюються параметричні моделі складання комплектуючих підшипників кочення (різних типів), а на другому рівні – параметрична модель складання КШВ.

В шпindelних вузлах металорізальних верстатів застосовується достатньо обмежена номенклатура підшипників кочення, що спрощує задачу параметризації КШВ. Їх часто називають терміном «шпindelні підшипники».

Підшипники – це комплектні стандартні вироби, тому всі їх розміри підпорядковані стандартам на конкретні типи підшипників.

Основним розміром будь-якого підшипника є діаметр внутрішнього кільця  $d$ , який визначає номер підшипника в серії (діленням на 5). Усі інші розміри залежать від конструкції (серії) і від діаметра  $d$  підшипника. Проте, вони не пов'язані з діаметром  $d$  точними математичними залежностями. Тому в програмах САПР при параметризації підшипників усі їх розміри задаються таблицями типу MsExcel.

Приклад параметризації підшипників показаний на рис. 6.



а

d,mm	D,mm	H,mm	C,mm	C1,mm	d1,mm	r,mm	r1	Ds,mm	z
40	68	36	18	9	58,5	1,5	0,3	6,5	21
45	75	38	19	9,5	65	1,5	0,3	7	21
50	80	38	19	9,5	70	1,5	0,3	7	22
55	90	44	22	11	83	2	0,5	8	22
60	95	44	22	11	83	2	0,5	8	24
65	100	44	22	11	88	2	0,5	8	25
70	110	48	24	12	97	2	0,5	9	25
75	115	48	24	12	102	2	0,5	9	26
80	125	54	27	13,5	110	2	0,5	10	26
85	130	54	27	13,5	115	2	0,5	10	27
90	140	60	30	15	123	2,5	0,5	11	27
95	145	60	30	15	128	2,5	0,5	11	28
100	150	60	30	15	133	2,5	0,5	11	30
105	160	66	33	16,5	142	3	0,8	13	26
110	170	72	36	18	150	3	0,8	14	26
120	180	72	36	18	160	3	0,8	15	25
130	200	84	42	21	177	3	0,8	16	26
140	210	84	42	21	187	3	0,8	16	28
150	225	90	45	22,5	200	3,5	1	17	28
160	240	96	48	24	212	3,5	1	18	26
170	260	108	54	27	230	3,5	1	20	27
180	280	120	60	30	248	3,5	1	23	26
190	290	120	60	30	258	3,5	1	23	27
200	310	132	66	33	274	3,5	1	26	25

б

Рис. 6 Приклад параметризації підшипника 178000: а – ряд типорозмірів; б – таблиця розмірів

На рис. 7 показані варіанти можливих компоновок спрощеної моделі КШВ.

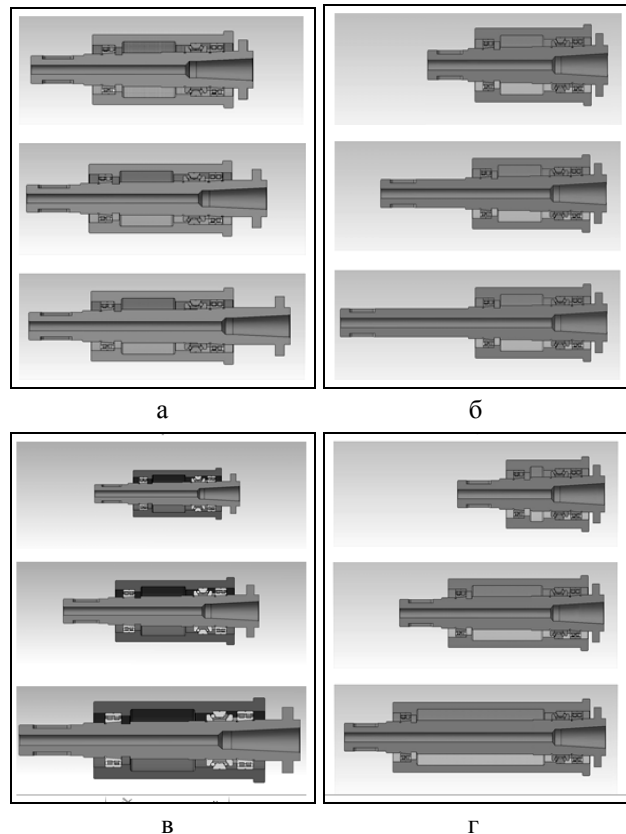


Рис. 7. Варіанти компоновок КШВ при зміні параметру: а – а; б – б; в – д; г – і

На рис. 8, 9 зображені варіанти повних параметричних 3D-моделей КШВ для різних типів верстатів. Параметризація усіх нормалізованих елементів вузлів (підшипники, кінці шпинделів, шліци, шпонки, різі, метизи) виконувалась з урахуванням відповідних стандартів.

При зміні будь-якого з компоновочних параметрів 3D-модель КШВ автоматично перебудовується. Це дозволяє достатньо легко варіювати компоновкою при моделюванні і оптимізації КШВ.

В якості прикладу використання параметричних 3D-моделей можна навести оптимізацію КШВ по динамічних показниках, описану в роботах [6, 7].

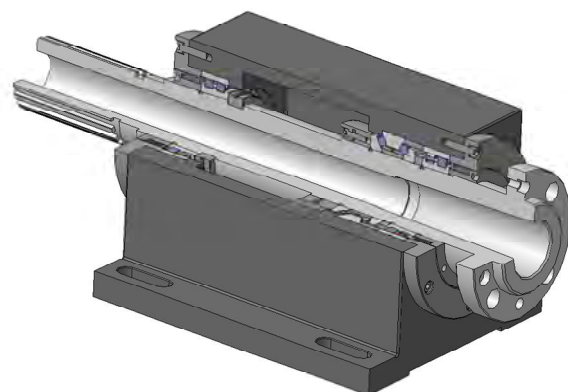
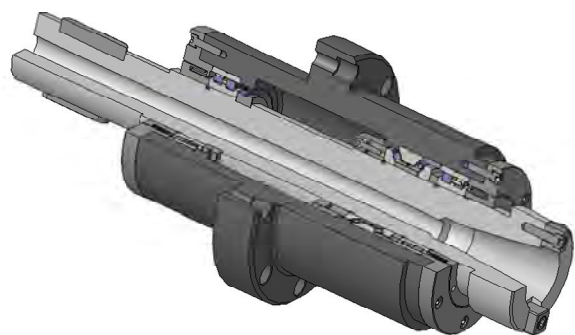
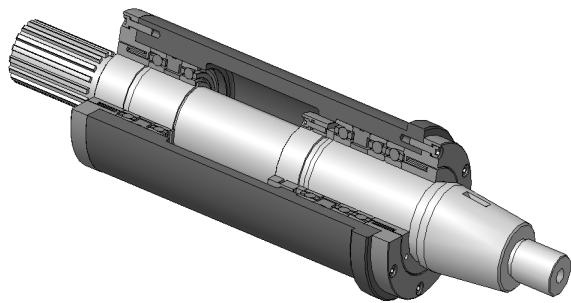


Рис. 8. Варіанти компоновок параметричних 3D-моделей КШВ токарних верстатів



а



б

Рис. 8. Варіанти компоновок параметричних 3D-моделей КШВ верстатів: а – фрезерних; б – шліфувальних

### Висновки

Проектування шпиндельних вузлів в САПР доцільно виконувати на основі параметричних 3D-моделей, що відкриває більш широкі можливості для вдосконалення вузла шляхом моделювання та дозволяє легко змінювати варіативні параметри.

Параметричні моделі основних стандартизованих елементів шпиндельні вузли та оригінальних деталей, оформлених у прикладні бібліотеки, значно прискорюють процес проектування і підвищують якість конструкції.

Розроблені параметричні моделі нормалізованих рядів КШВ можуть бути використані для запровадження їх в спеціалізованих САПР шпиндельних вузлів та у відповідних агрегатних виробництвах.

### Список літератури

1. Данильченко Ю.М. Прецизійні шпиндельні вузли на опорах качення / Ю.М. Данильченко, Ю.М. Кузнєцов. – Тернопіль : Економічна думка, 2003 – 342 с.
2. Кудинов В.А. Динамика станков / В.А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967 – 360 с.
3. Норенков И.П. Основы теории и проектирования САПР: Учебник для вузов / И.П. Норенков, В.Б. Маничев. – М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 430 с.
4. Пуш А.В. Шпиндельные узлы: качество и надежность / А.В. Пуш. – М.: Машиностроение 1992 – 288 с.
5. Чернянский П.М. Оптимальное проектирование шпиндельных узлов с увеличением числа подшипников в опорах / П.М. Чернянский, В.В. Шабанов // Технология металлов. – М.: ООО "Наука и технологии", 2007. – № 5. – С. 38-42.
6. Чуприна В.М. Оптимізація динамічних показників комплектних шпиндельних вузлів в САД-САЕ системі SolidWorks/CosmosWorks / В.М. Чуприна // Вісник ЧДТУ. – Чернігів: ЧДТУ, 2012. – № 1(55). – С. 88-95.
7. Чуприна В.М. Дослідження впливу базових компоновочних параметрів шпиндельних вузлів на динамічні характеристики під час проектування в САПР / В.М. Чуприна, О.М. Говоруха // Вісник ЧДТУ. – Чернігів: ЧДТУ, 2012. – № 4(53). – С. 67-78.
8. Чуприна В.М. Розробка спеціалізованої САПР привода головного руху металорізальних верстатів / В.М. Чуприна, С.В. Мельник // Вісник ЧДТУ. Серія "Технічні науки". – Чернігів, 2010. – № 12. – С. 12-19.

Надійшла до редколегії 21.06.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.Ю. Федориненко, Чернігівський національний технологічний університет, Чернігів.

### РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ АГРЕГАТНЫХ КОМПЛЕКТНЫХ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ НА ОПОРАХ КАЧЕНИЯ В САПР

В.М. Чуприна

Рассмотрена актуальная проблема разработки параметрических 3D-моделей шпиндельных узлов металлорежущих станков на опорах качения в САПР. Приведены примеры использования переменных компоновочных параметров для модификации конструкций шпиндельных узлов с целью оптимизации.

**Ключевые слова:** станок, главный привод, комплектный шпиндельный узел, параметрическая 3D-модель, модификация, оптимизация.

### DEVELOPMENT OF PARAMETRIC MODELS OF COMPLETE MODULAR SPINDLE UNITS ON ROLLING BEARINGS IN CAD

V.M. Chupryna

Actual problems of parametric design of 3D-models of spindles of machine tools in the rolling bearings in CAD was been considered. Examples of the use of layout variables was proposed.

**Keywords:** tool machine, main drive, complete spindle unit, parametric 3D-model, modification, optimization.