

УДК 621.9.06-233.1:683

**Полінкевич Р.М., Зубовецька Н.Т., Четвержук Т.І.  
СУЧАСНИЙ РІВЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ТА  
КРИТЕРІЇ РОЗРАХУНКУ ШПИНДЕЛІВ МЕТАЛОРИЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ**

*У роботі коротко проаналізовано сучасний стан автоматизації проектування шпинделів металорізальних верстатів та визначені критерії розрахунку. Наведені схеми зв'язку відповідно критеріїв якості обробки і продуктивності різання на верстаті з вихідними параметрами шпиндельного вузла і його підшипників.*

*Ключові слова: шпиндельний вузол, пакет прикладних програм, технологічна система, математична модель, точність, якість.*

**Полинкевич Р.Н., Зубовецкая Н.Т., Четвержук Т.И.  
СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И  
КРИТЕРИИ РАСЧЕТА ШПИНДЕЛЕЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ**

*В работе коротко проанализировано современное состояние автоматизации проектирования шпинделей металлорежущих станков и определенные критерии расчета. Приведенные схемы связи соответственно критериев качества обработки и производительности резания на станке с исходными параметрами шпиндельного узла и его подшипников.*

*Ключевые слова: шпиндельный узел, пакет прикладных программ, технологическая система, математическая модель, точность, качество.*

**R. Polinkevich, N. Zubovetska, T. Chetverzhuk  
MODERN LEVEL OF COMPUTER-AIDED DESIGN AND  
CRITERIA OF CALCULATION OF SPINDLE OF METAL-CUTTING MACHINE TOOLS**

*The modern state of computer-aided of spindle of metal-cutting machine tools design and certain criteria of calculation are shortly analysed in-process. The brought charts over of connection accordingly criteria of quality of treatment and cutting productivity on a machine-tool with the initial parameters of spindle knot and his bearing.*

*Keywords: spindle knot, application package, technological system, mathematical model, exactness, quality.*

Поява нових інструментальних матеріалів відкрила широкі можливості для підвищення швидкостей різання на металорізальних верстатах, що в свою чергу дало необхідність різкого підвищення частот обертання шпинделів.

Крім вимог забезпечення заданої потужності у поєднанні з високою швидкохідністю, до сучасних шпинделів верстатів (ШВ) є вимоги підвищеної жорсткості, високої точності обертання, малого нагріву, малих втрат на тертя, забезпечення заданого ресурсу роботи.

Шпиндельний вузол є одним з найвідповідальніших вузлів верстата, найбільшою мірою визначає точність і продуктивність механічної обробки. Це пояснює значні зусилля, які спрямовані на підвищення якості їх проектування.

В даний час перед верстатобудуванням поставлене завдання створення галузевої САПР. Як зазначалось на міжнародній нараді по використанню обчислювальної техніки в проектуванні та виготовленні виробів машинобудування, у верстатобудуванні в комплексі можуть бути розв'язані питання проектування, які будуть загальними для всіх інших галузей машинобудування.

Основні принципи побудови і функціонування компонентів САПР визначені «Загальногалузевими керуючими матеріалами по створенню САПР». Найбільш важливими частинами підсистем проектування технічних об'єктів є методичне забезпечення, на основі якого розробляється програмне забезпечення, а також інформаційне забезпечення. Із програмного забезпечення принциповий інтерес являє прикладне програмне (математичне) забезпечення (ПМЗ). Технічний рівень проектних рішень в кінцевому рахунку визначається якістю ІЗ та ПМЗ. Основні положення і принципи розробки ІЗ та ПМЗ для проектувально-конструкторських робіт викладені в роботах

Дуже поширеним, доступним та найменш ефективним засобом автоматизації проектування ШВ в даний час є використання пакету прикладних програм (ППП) з автономними програмами. Їх особливістю є: закріплення окремих задач, що розв'язуються пакетом, за автономними програмами, звернення до яких оформляється у вигляді окремих кроків завдання; відсутність інформаційного спряження модулів програмними засобами; орієнтація на користувачів-програмістів високої кваліфікації. Такі пакети є практично у всіх організаціях, що займаються проектуванням ШВ. Програми, які входять до них, як правило, розроблені різними організаціями і авторами. Тому інформаційне спряження автономних програм навіть на рівні зовнішньої пам'яті

шляхом розробки стандартів на проміжні масиви інформації пов'язане з великими труднощами. Так чи інакше програми дозволяють розв'язувати широке коло задач: динамічні розрахунки ШВ різних типів верстатів, розрахунки статичних та динамічних характеристик ШВ, теплові розрахунки, розрахунки характеристик шпindelних підшипників та інші. Варто також відзначити велику різноманітність реалізованих програмами методик розрахунків. Розглянута структура програмного забезпечення проектування ШВ обумовлена необхідним періодом накопичення досвіду використання обчислювальної техніки в проектуванні. Найбільш цінний результат, отриманий на даному етапі – розробка, програмна реалізація та відбір найбільш вдалих математичних моделей.

Вимоги до підвищення якості проектних рішень, скороченню термінів проектування, а також розвитку технічних засобів обчислювальної техніки привели до розробки ППП більш високого якісного рівня. Їх відмінна особливість – реалізація задач аналізу і синтезу технічних рішень з використанням програмних засобів. Крім розробки відповідного загальносистемного програмного забезпечення, це потребувало і створення гнучкого та розгалуженого ІО та ПМО.

Першим кроком на цьому шляху є створення таких підсистем або пакетів програм, в яких у діалоговому режимі проводиться обрахунок заданих конструктивних варіантів вузлів з наступною параметричною оптимізацією по жорсткому алгоритму. При цьому неоднаковою мірою використовується елементна база даних: довідник підшипників, довідник характеристик змазок та ін. В даній групі підсистем організувалась лише структура ІО, альтернативні елементи ПМО не визначаються.

Підсистеми проектування ШВ більш високого рівня мають альтернативну структуру не тільки ІО, але і ПМО. Це значить, що алгоритм проектування можна вибирати довільно, і обчислювальний процес стає керуючим. Така структура дозволяє розширити клас задач, які розв'язують шляхом:

а) вибору моделей у відповідності з етапами проекту – грубих на стадії варіантного опрацювання конструкції, оптимізаційних при технічному проектуванні та уточнених на етапі робочого проекту;

б) вибору моделей у відповідності з прийнятою розрахунковою схемою при орієнтації на ШВ різних типів верстатів та умов праці;

в) вибору моделі в співвідношенні з логікою проектування чи з характером представлення результатів проекту;

г) вибору моделей у відповідності з обчислювальними критеріями;

д) вибору моделей на множині конструктивних рішень.

Реалізація вказаних можливостей дозволяє відповідно:

а) оптимізувати процес проектування за часом і підвищити ефективність аналізу варіантів;

б) забезпечити принцип інваріантності підсистеми по відношенню до ШВ різних типів верстатів та, деякою мірою, евристичності проекту;

в) підвищити наочність та пізнавальність об'єкту проектування;

г) забезпечити принцип розвитку підсистеми по відношенню нових наукових методів дослідження верстатів;

д) забезпечити принцип розвитку по відношенню нових конструктивних рішень та підвищити ефективність рішень задач синтезу.

Критерії розрахунку та оптимізації ШВ визначаються з критеріїв ефективності роботи верстата. Основне технологічне призначення верстата – забезпечення точності взаємного розташування інструменту та заготовок при заданих умовах обробки. Розмірна точність і точність форм деталей, що обробляються, визначаються всіма основними видами похибки верстата у взаємодії їх в часі та просторі. В цьому розумінні проблема оптимізації ШВ повинна розв'язуватися на основі системного підходу, передумовами до якого є праці по динаміці верстатів. Реалізація системного підходу, означає, по суті, проектування ШВ по прямих показниках якості верстата, вимагає вирішення суперечностей: складність і вирішення моделі – ефективність її використання. На сучасному етапі вказана суперечність розв'язується в основному шляхом спрощення моделі, визначення її із загальної системи ВПД.

Довільний елемент технологічної системи (ТС) верстату можна розглядати осібно лише в тому випадку, якщо при його виділенні зберегти всі зв'язки з системою. По аналогії з термінами механіки ці зв'язки можна назвати узагальненими реакціями системи. В загальному вигляді це функціонали часу, сил, переміщень, температури та інших параметрів. Звідси випливає, що ММ ШВ являє собою просторово-часову модель рівноваги узагальнених реакцій системи і впливу з

боку загальної системи ВПД. Оскільки основна характеристика верстата – точність, то ММ ШВ можна уявити однозначно:

$$\Phi_1 = (\bar{R}, \bar{Y}, \bar{X}, \Delta), \quad (1)$$

або в явному вигляді стосовно точності:

$$\Delta = \Phi_2(\bar{R}, \bar{Y}, \bar{X}), \quad (2)$$

де  $\bar{R}(R_1, R_2, \dots, R_n)$  – узагальнені впливи з боку загальної частини системи ВПД (від приводу, різання, кінематичні, температурні та інші).

$\bar{Y}(Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$  – узагальнені реакції зв'язку ШВ (статичні і динамічні деформації, похибка обертання, тепловиділення у верстат);

$\bar{X}(X_1, X_2, \dots, X)$  – параметри ШВ, враховуючи похибки.

Інша, не менш важлива характеристика верстата – продуктивність – для ШВ має аналог частоти обертання шпинделя і входить в модель параметром  $X$ .

Критеріальні ММ ШВ тією чи іншою мірою відображають форми запису (1), (2) і відрізняються лише повнотою їх відтворення і мірою деталізації внутрішньої структури і реакції зв'язків. Відсутність більш достовірних даних про точну форму (1) приводить до спрощення моделі поділом її на складові:

$$\Delta = \Delta[\bar{Y}]; \quad y_i = y_i(\bar{X}, \bar{r}); \quad i=1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

При цьому перша група  $Y$  - функцій представляє собою моделі реакцій ШВ, а по суті це моделі критеріїв працездатності ШУ. Остання функція є в загальному вигляді цільовою, яка звичайно розділяється на дві складові: власне цільова функція

$$\Delta_i = \Delta_i(\bar{Y}) \Rightarrow \min \quad (4)$$

і обмеження

$$y_i(\bar{X}) \leq [y_i]. \quad (5)$$

У формулах (3) вектор  $\bar{r}$  є вектором моделюючих впливів (гармонічний або імпульсний силовий, температурний та інший) на відміну від функціонального впливу  $\bar{R}$ .

Природно, що порушення зв'язків у вигляді (3) призводить до невизначеності формулювання (4) і (5), отже спрощення моделі в тому вигляді, як викладений, породжує задачі іншого порядку, а саме:

- формулювання комплексу власних критеріїв виду  $\bar{Y}$  замість одного  $\Delta$ ;
- виявлення зв'язку цих критеріїв, тобто виду функції  $\Delta(\bar{Y})$ ;
- виявлення обмежень (5).

В світлі викладеного в проектуванні ШВ верстатів можна виділити 3 основних напрямки, які відрізняються мірою наближення моделей до форми запису (2).

Параметри шпиндельних підшипників повинні обиратися з врахуванням їх впливу на основні характеристики шпиндельного вузла, як елемента несучої системи верстата. На рисунках 1 і 2 наведені схеми зв'язку відповідно критеріїв якості обробки і продуктивності різання на верстаті з вихідними параметрами шпиндельного вузла і його підшипників. Зі схем бачимо, що основними критеріями якості ШВ є: навантажувальна здатність, статична жорсткість, демпфіруюча здатність, втрати потужності. Ці ж критерії можуть бути враховані і як обмеження з доданням до них умов охолодження й можливих похибок виготовлення.

Таким чином задача параметричної оптимізації ШВ є багатокритеріальною, умовною і багатопараметричною.

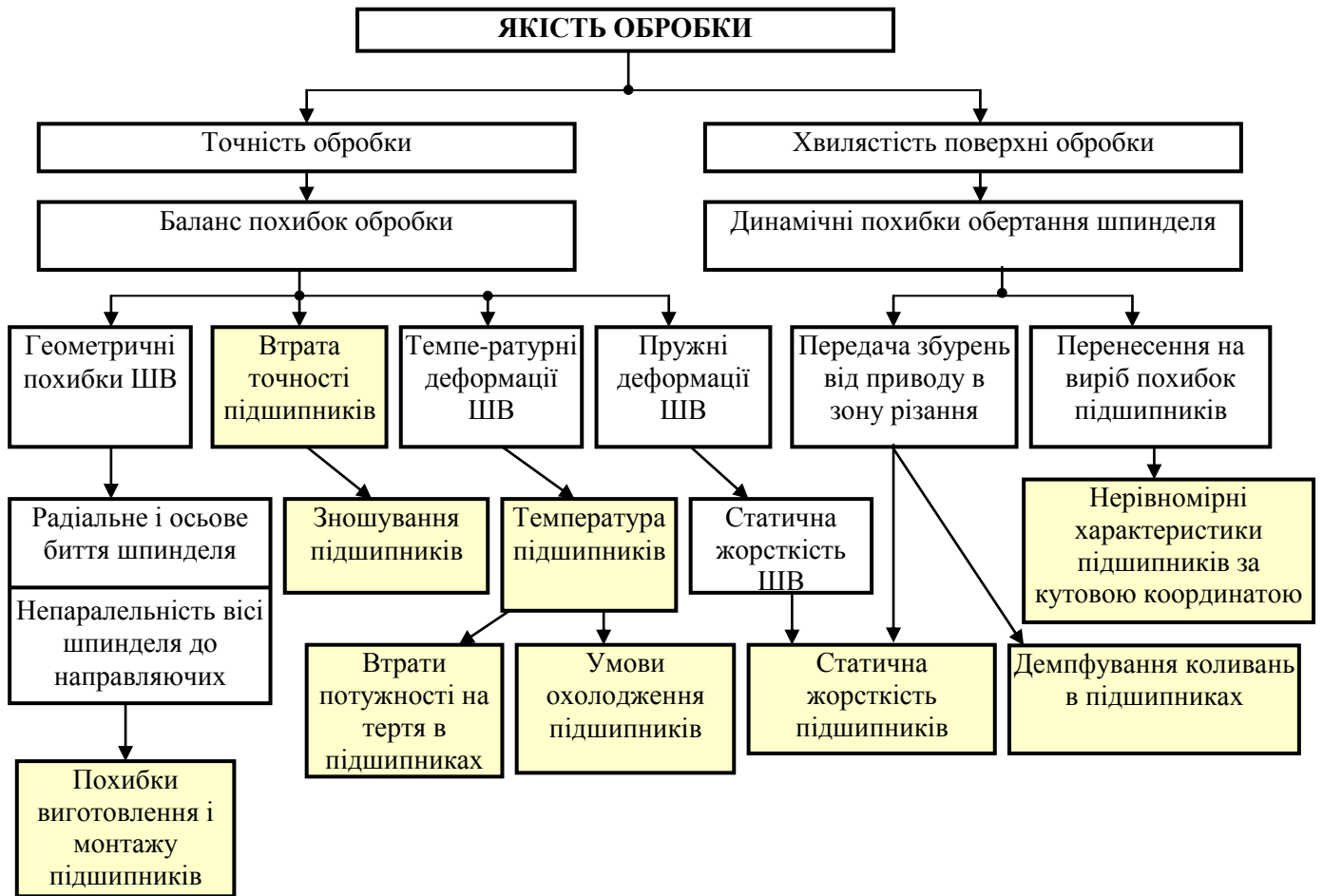


Рис. 1. Схема зв'язку критеріїв якості обробки на верстаті з вихідними параметрами шпиндельного вузла і його підшипників

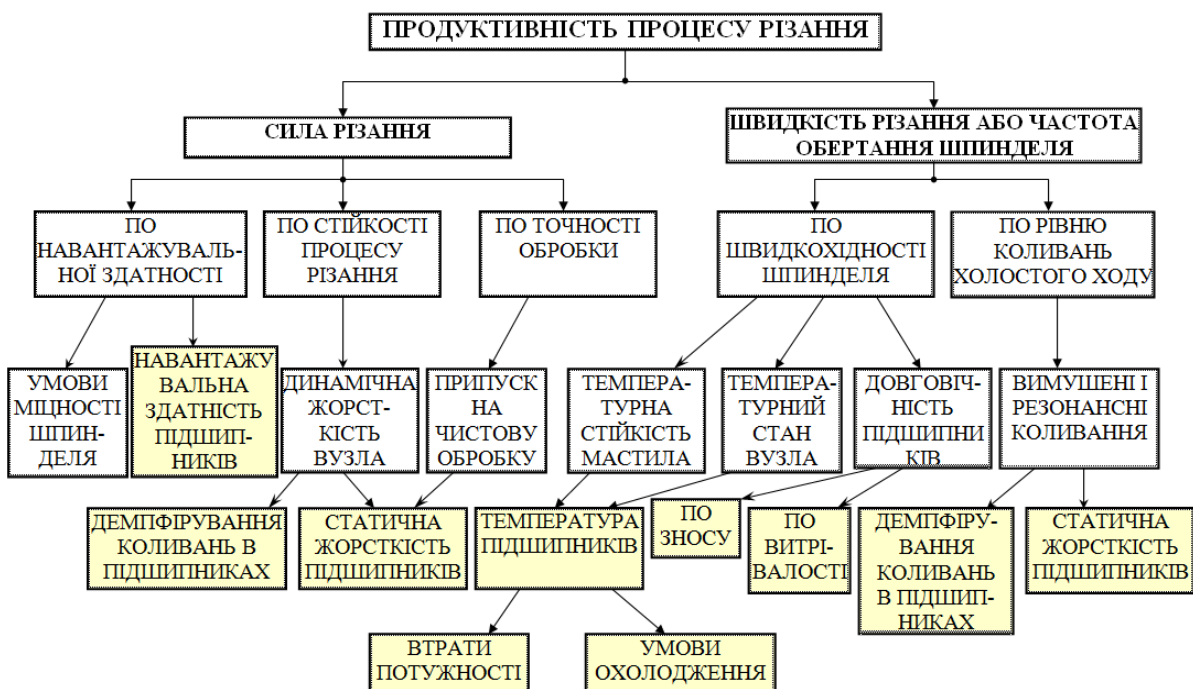


Рис. 2. Зв'язок продуктивності різання на верстаті з вихідними параметрами ШВ і його підшипників

Враховуючи вище сказане можна зазначити наступне:

- переважна більшість проектних розрахунків ШВ в даний час проводиться на базі ППП з автономними програмами;
- розроблені підсистеми орієнтовані на розв'язання вузького класу задач, мають обмежені можливості розвитку і в цілому не відповідають сучасному рівню САПР;
- розробляється підсистема з розвинутою структурою ІО та ПМО для проектування ШВ з підшипниками кочення;
- подібного аналогу для графічного ескізного проектування ШВ з опорами кочення не визначено.

1. Автоматизированная подсистема расчетно-конструкторских работ «Шпиндельный узел»: Тематическая подборка // Станки и инструмент.-1984.-№2,-с.6-17.

2. Гордеев О.Ф., Полінкевич Р.М. Структура математичного забезпечення автоматизованого проектування гідростатичних підшипників шпинделів верстатів // Наукові нотатки ЛДТУ. – Вип. 17. – Луцьк: 2005. – С. 81-86.

3. Гордеев О.Ф., Захаров П.О., Зубовецька Н.Т. Сучасний стан і проблеми високошвидкісної і високопродуктивної обробки на верстатах// "Вісти АІНУ. Машинобудування." - Київ: Академія інженерних наук України - 2004 - №3(23) – С. 9 – 12.

4. Лизогуб В.А., Силаев С.И. Автоматизация выбора основных конструктивных параметров шпиндельных узлов. – Станки и инструмент, 1982, №1, с. 18-20.

5. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-Учебник в 3-х томах /Под ред. А.С. Проникова. – М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1995.

Стаття надійшла до редакції 18.09.2015.