

## ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ПОБУДОВИ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ТОРКАННЯ ІНСТРУМЕНТУ ТА ДЕТАЛІ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З CNC

*В.І. Скицюк, к.т.н.; О.О. Плотников, асп.  
(Національний технічний університет України "КПІ")*

### ВСТУП

Сучасний напрямок виготовлення виробів прецизійного приладобудування має тенденцію до надмалих форм. В умовах розвитку автоматизованих виробництв, гнучкого виробництва та автоматичних ліній із застосуванням верстатів з СМС особливої ваги набуває проміжний контроль стану деталі, виробничого інструменту та обладнання [1,2]. Для підтримки належної якості технологічного процесу необхідне постійне спостереження за станом інструменту, деталі, верстатів та іншого технологічного обладнання. Основними параметрами, котрі підлягають постійному плинному контролю, є розмір виробу та розмір зносу інструмента, а також значні відхилення цих параметрів від монотонних змін на загальному тлі. Межовий контроль виконує функції своєчасної реєстрації доаварійних та аварійних ситуацій. Узагальнена кількість таких ситуацій пов'язана з такими чинниками:

- помилки в програмуванні;
- неякісне кріплення інструменту та деталі;
- критичний знос інструменту;
- защемлення інструменту у тілі деталі та його руйнація.

У зв'язку з цим було розроблено цілу низку приладів, які більш-менш якісно виконують ці функції контролю. При створенні приладів контролю стану різального інструменту та деталі виникають такі проблеми:

- необхідність високої чутливості до змін параметрів процесів металообробки;
- необхідність високої швидкодії;
- невеликі розміри, які не заважають роботі інструменту;
- максимальна надійність;
- стійкість до забрудненого середовища у зоні металообробки.

У запропонованій роботі автори розглядають два питання стосовно цих приладів - це шлях визначення фізичного принципу роботи приладу за технологічними задачами та шляхи отримання мінімальних енергетичних втрат.

### ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ

Оскільки у низці робіт [3,4,5] є абсолютно доведеним той факт, що основною проблемою є контроль моменту входження інструменту в тіло деталі, тобто торкання, то надалі у запропонованій роботі розглядається робота саме таких систем.

Основні засади, яких бажано дотримуватися при побудові систем контролю, на думку авторів, можна сформулювати у вигляді кількох принципів:

- фізики процесу торкання (контроль фізичних ефектів, зв'язаних з процесом торкання, визначених технологічними задачами);
- точності (можливість забезпечити вимірювання об'єкта з точністю на порядок вище точності позиціонування обладнання);
- оптимального зв'язку (лінії зв'язку вимірювальної системи та системи ЧПК);



- незалежності точності від зовнішніх умов (на роботу вимірювальної системи не повинно діяти її розміщення у просторі, вібрація та інші незадовільні умови);
- автономності (фізичний принцип, покладений в основу роботи вимірювальної системи, повинен мати незначну енергоємність, тому що від цього залежать розміри конструкції, фактично це означає, що необхідно побудувати оптимальну за енергоспоживанням систему);
- надійності (кількість інформації, що отримується з факту торкання, повинна бути максимальною).

Абсолютно ясно, що побудувати систему, яка б повною мірою задовольняла усім цим принципам, дуже важко, оскільки це був би ідеальний прилад. Тому буде доцільним лише наближатися до виконання цих принципів, тією чи іншою мірою максимально дотримуючись їх.

Після того як розглянуті проблеми, пов'язані з розробленням вимірювальних систем, доцільно звернутись до питання, яким шляхом повинен йти проектувальник, що має побудувати вимірювальну систему торкання. Для цього пропонується алгоритм (рис. 1). Алгоритм має п'ять рівнів: вид контакту між ОВ<sup>1</sup> та ЧЕ<sup>2</sup>; фізичний принцип, закладений в роботу всієї системи; фундаментальний закон фізики, покладений в основу роботи вимірювальної системи; спосіб наближення між ОВ та ЧЕ; жорсткість підвіски ЧЕ (інструменту).

Слід розглянути більш достеменно, чому саме така ідеологія покладена в основу створення систем торкання. По-перше, розробник повинен з'ясувати, яку точність координати торкання бажано отримати. Тому необхідно визначити, який вид контакту можна застосувати. Для того щоб не було будь-якої невизначеності в цьому питанні, пропонується використовувати таку термінологію.

Під прямим фізичним контактом розуміється контакт ОВ та ЧЕ, коли перший отримує гарантований тиск з боку останнього, тобто зміни тиску не реєструються ні в який спосіб.

Псевдоконтакт — це вид контакту, який характеризується двома станами у ланцюгу ОВ-ЧЕ, тобто торкання переривчасте, але незважаючи на це до системи CNC надходить стабільний сигнал. Псевдоконтактний вид має два варіанти виконання. У першому варіанті це може бути стан, коли ЧЕ дискретно входить у фізичний з'ОВ у відхилі та виходить за межу дії фізичного закону в другому. Це є характерним для всієї ситуації, тобто ОВ отримує періодичний тиск з боку ЧЕ. Прикладом можуть правити різні вимірювальні головки [1], в основу роботи яких покладено вібраційний принцип. У другому варіанті псевдоконтакт є умовою, коли фізичний принцип, закладений в роботу вимірювальної системи, має кінцеву чутливість. При цьому неможливо точно вказати на розміри щілини між ОВ та ЧЕ.

Безконтактний вид контакту існує тільки в тому випадку, якщо фізичний принцип, закладений в роботу системи, має властивості дальності. Фізичні основи роботи відчутників ЧЕ, побудованих на цьому принципі, дозволяють формувати сигнал "Присутності". Характерною рисою цього виду контакту є те, що він може бути сформований командною системою вимірювальної системи для різних розмірів щілини між ОВ та ЧЕ. В загальному випадку ефективно повинні працювати системи торкання, які поєднують властивості прямого фізичного контакту з безконтактним.

<sup>1</sup> ОВ — об'єкт вимірювання.

<sup>2</sup> ЧЕ — чутливий елемент.



За фізичним принципом дії чутники<sup>3</sup> торкання поділяються на механічні, електродинамічні та оптичні. На рис. 1, стрілками показано зв'язок між видами контакту та фізичними принципами, якими відтворюються ці види контакту. Так, наприклад, прямий фізичний контакт можливо відтворити силами механіки та електродинаміки.

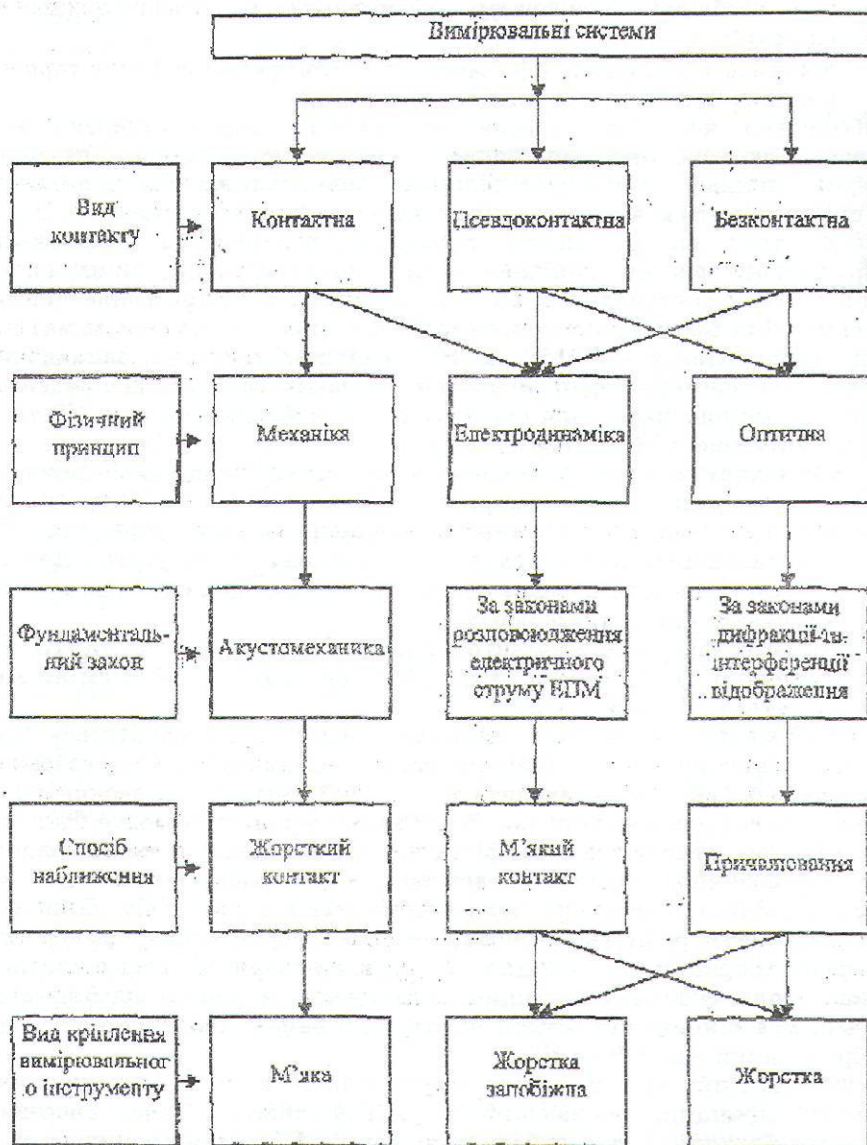


Рисунок 1 - Послідовність вибору принципів вимірювальної системи торкання при її проектуванні

Якщо визначено, на якому фізичному принципі базуватиметься робота вимірювальної системи, переходять до визначення фундаментальних законів фізики, що можуть використовуватися для розв'язання поставленої задачі. Так, для вимірювальних систем, в основу

<sup>3</sup> Чутник – те ж саме, що і датчик, але у більш широкому розумінні (нова українська абревіатура).



яких покладені закони механіки, найбільшого поширення дістали закони акустомеханічного характеру, пов'язані з різними вібраційними явищами, та ультразвук. З вібраційних явищ найбільш популярними є явища резонансу простих за геометрією фізичних тіл. Для ультразвуку переважають закони його поширення у твердих тілах, тобто отримання відлуння - сигналу при контакті ОВ та ЧЕ. Наступним блоком фундаментальних законів є закони електродинаміки. Таких законів велика кількість, бо всім матеріальним фізичним тілам притаманні електричні та магнітні властивості. Оскільки кожному з фізичних матеріалів (металам, діелектрикам, напівпровідникам, газам та ін.) притаманні свої властивості, то їх взаємодія поміж собою породжує вторинні закони, які з успіхом використовуються. У результаті проведення експрес-аналізу великої кількості цих законів зроблено висновок про те, що важко знайти закон, який не міг би бути використаний при розробленні вимірювальної системи.

Для розроблення вимірювальних систем застосовуються також закони фізичної оптики. Найбільш ефективними визначаються системи, пов'язані з дифракцією, інтерференцією та триангуляцією. Взагалі застосування оптичних систем дуже ускладнене внаслідок великої забрудненості зони обробки та поверхні ОВ (негативно відбивається на роботі оптичних систем); низького коефіцієнта корисної дії (ККД) оптичного відчувача<sup>4</sup> та випромінювачів, як правило, декількох відсотків); низької якості поверхні (шорсткості); типу матеріалу ОВ, який може змінювати свої оптичні властивості від деталі до деталі. Незважаючи на ці недоліки, оптичні системи перебувають в стадії розвитку, їх можна використовувати при контролі деталей високих точності та чистоти поверхні.

Обираючи спосіб наближення інструменту до поверхні, необхідно мати на увазі, що можливі три варіанти такого входження у торкання.

Згідно з жорстким торканням ЧЕ при торканні здійснює або удар по поверхні ОВ, або удар з частковою її руйнацією. Удари по поверхні, як правило, роблять вимірювальні головки при великій швидкості входження у торкання. Удар з частковою руйнацією поверхні здійснює різальний інструмент, обладнаний чутником торкання.

М'яке торкання відтворюють лише вимірювальні головки на малій швидкості. Це є притаманна їм властивість.

Причалювальний контакт (торкання) є характерною рисою систем торкання високого класу. На відміну від двох попередніх способів, котрі тримають постійну швидкість руху впродовж всього шляху руху, аж до входження у торкання з поверхнею. Спосіб причалювання реалізує процес гальмування таким чином, щоб увійти в торкання на мінімальній швидкості і зупинитись.

Вид кріплення вимірювального інструменту може бути виконаний у трьох варіантах. Згідно з першим варіантом, що використовується для вимірювальних головок, щуп-штанга прилаштовується на плоску платформу, що базується на трьох кулястих опорах та притиснута до них пружиною. Перевага такого варіанта кріплення в тому, що вони відтворюють невеликий тиск на поверхню деталі та мають хід вимірювальної кінцівки ( $\pm 15$  мм) [6]. Ще існує варіант, коли вимірювальна частина виконується у вигляді платформи, що підтримує своє розміщення у просторі за допомогою стислого повітря [6]. Такі варіанти застосовуються виключно для нульових баз, оскільки вимагають постійних втрат стислого повітря та мають ваду невеликих відхилень ( $-1$  мм).

Жорстке запобіжне кріплення відрізняється від попередніх тим, що

<sup>4</sup> Відчувач – те ж саме, що і первинний перетворювач (авторська абревіатура).



має N-подібну характеристику тиску на ОВ. Така характеристика надає можливість з досить високою жорсткістю утримувати щуп-штангу до визначеного тиску, після чого стрибкоподібно зменшує тиск на ОВ [3]. Це дає змогу зберегти щуп-штангу у разі надзвичайної ситуації.

Жорсткий вид кріплення застосовується лише для систем високого класу, які мають можливість формувати сигнал "Присутність" на відстані від поверхні. Це є характерним у першу чергу для різального інструменту та деяких різновидів вимірювальних головок [2,3,6,7,8,9].

### ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ТОРКАННЯ

Як було розглянуто у авторській роботі [10], наявність гальванічного або оптичного каналу зв'язку між системою торкання та СМС є не досить зручною. Гальванічний зв'язок, хоч і є самим надійним з усіх, має незручність з погляду наявності зв'язувального дроту як способу передачі інформації. Одночасно з цим він у деяких випадках вимагає оперативних рознімачів, що є вкрай небажаними в умовах сильного забруднення робочої зони. Канали оптичного зв'язку вимагають занадто великих енергетичних витрат. У підсумку все вищеобумовлене вимагає побудови систем контролю з автономними джерелами живлення та високими ККД.

При розгляді систем торкання, які працюють в автономному режимі, важливим є питання їх енергетичних потреб як функції енергоспоживання та зручності користування.

Тому питання про розподіл енергії джерела живлення у вимірювальній головці слід розглянути більш докладно. Тільки для роботи вимірювальної головки від джерела живлення приладу споживається енергія  $W_T$ ,  $W_{np}$ ,  $W_n$ ,  $W_{ве}$  — відповідно для нормальної роботи пристрою, відтворюючого принцип фіксації торкання (ККД роботи вузла  $\eta_T$ ); для підсилення та перетворення сигналу датчика (ККД роботи вузла  $\eta_{пв}$ ); для підсилювача потужності на лінію зв'язку (ККД роботи вузла  $\eta_n$ ); для випромінюючого елемента (ККД роботи вузла  $\eta_{ве}$ ). За принципом збереження енергії  $W_{дж} = W_T + W_{np} + W_n + W_{ве}$ . Для ККД відповідно

$$\eta_{дж} = \eta_T \times \eta_{пв} \times \eta_n \times \eta_{ве}.$$

Якщо проаналізувати витрати енергії у різних вузлах вимірювальної головки, то виявляється, що 10-20% енергії джерела живлення використовується на роботу відчутника торкання, 10-20% — на роботу з підсилення та перетворення сигналу торкання, 20-30% — на роботу підсилювача потужності разом з модулятором, 40-60% — на роботу випромінюючого елемента, що забезпечує зв'язок з системою ЧПК.

В типових радіоелектронних пристроях ККД не може перевищувати значення 0,95, практично ж цей показник зрідка перевищує 0,8. Для чутника торкання та випромінюючого елемента він не перевищує 0,05.

Як правило, ККД цих пристроїв (наприклад, інфрачервоних світлодіодів) не перевищує кількох відсотків. Природно, що такий розподіл енергії не може бути визнаний задовільним і його необхідно ретельно проаналізувати на пошук некорисних витрат. Структурна схема розподілу енергії по вузлах вимірювальної головки наведена на рис. 2,а. Це типова розімкнута схема приладу, в якому напрямок руху інформації збігається з напрямком розподілу енергії від блока до блока. Вторинний обмін енергією відтворюється тільки на ділянці ОВ — ЧЕ. Існує декілька способів підвищення ККД використання джерела живлення.

Перший спосіб базується на переході в імпульсний режим роботи пристрою. При цьому ККД підвищується, але це може призвести до втрати точності роботи пристрою. Цей спосіб може застосовуватися практично у всіх схемах розподілу енергії (рис. 2,а, б, в).

Другий спосіб полягає в ліквідації деяких блоків або об'єднанні їх функціональних можливостей. В деяких випадках це можливо, оскільки

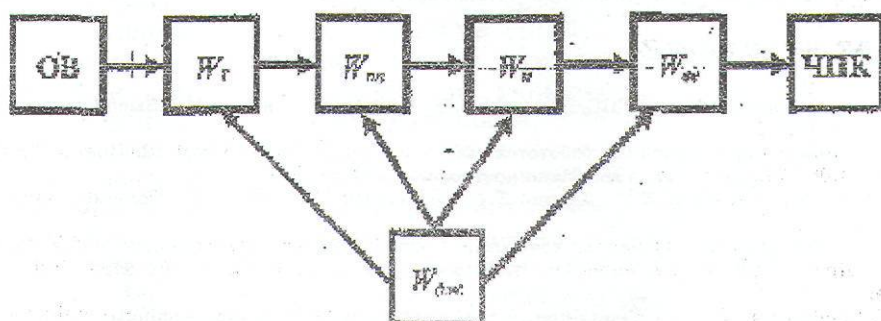


все визначає фізичний принцип роботи відчутника торкання.

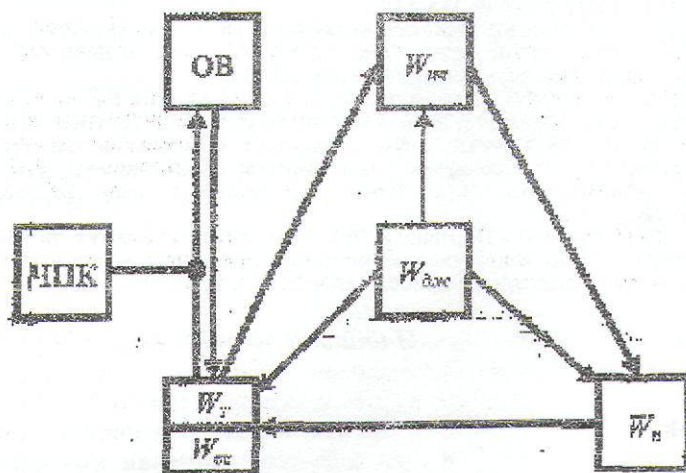
За третім способом слід скоротити найбільш енергоємні зв'язки, або сумістити їх за функціональними можливостями. Так, наприклад, схема побудови вимірювальної головки дає можливість сумістити в одному вузлі функціональні можливості відчутника торкання та випромінювального елемента. Об'єднання двох пристроїв з малим ККД дозволяє відтворити пристрій, який може мати ККД, набагато вищий, ніж його попередники. Звідси висновок про необхідність використовувати один фізичний закон в роботі чутника торкання та лінії зв'язку.

Для другого та третього способів розподілу енергії найбільш характерним є розподіл енергетики за рис. 2.б.

Четвертий спосіб базується на необхідності використання такого фізичного принципу, який дозволить чутнику торкання через ОВ або навколишній простір сповістити ЧПК верстата про факт торкання (рис 2,в). У цьому випадку відбувається досить повний перехід енергії джерела живлення чутника, з'єднаного з ЧПК, що різко підвищує всі якісні показники системи.



а)



б)



в)

Рисунок 2 - Схема розподілу енергії у системах торкання: а) паралельного; б) комбінованого; в) послідовного

## ВИСНОВКИ

Проведення ряду практичних дослідів у напрямках, запропонованих в цій роботі, дозволили отримати задовільні результати щодо роботи пристроїв, дія яких ґрунтується на єдиному фізичному принципі відчутника торкання та лінії зв'язку. Так, якби розроблені авторами вимірювальні головки використовували джерела живлення, які застосовуються у вимірювальній головці "Renishaw" (ресурс безперервної роботи 80 годин), то ресурс їх безперервної роботи становив би 750–1000 годин в залежності від якості джерела живлення. В лабораторних умовах отримано ресурс безперервної роботи порядку 1500–2000 годин, що підтверджує перспективність робіт в цьому напрямку.

## SUMMARY

*In the offered operation the writers consider two questions concerning off-line systems of monitoring of a contingence of the instrument and detail for machine tools with CNC is a procedure of determination of a physical principle of operation of a gear according to technological tasks land ways of deriving of minimum power losses.*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Контроль и диагностика в ГПС/Под ред. Б.И. Черпакова. Кн.7. - М.: Высшая школа, 1989. - С. 80-80.
2. Справочник по промышленной робототехнике: в 2-х кн. Кн.1 /Под ред. Ш. Нофа; Пер. с англ. Д.Ф. Миронова и др. - М.: Машиностроение, 1989.- 480 с.
3. Скицюк В.І., Махмудов К.Г., Ключко Т.Р. Технологія ТОНТОР. - К.: Техніка, 1993.- 80с.
4. Кужидем 36. Методы управления точностью токарной обработки на станках с ЧПУ типа CNC. Диссертация на соискание уч. степ. канд. техн. наук:05.08.01. -К.: КИИ, 1987. - 24с.
5. V.F. Ostajiev and Patri K. Venuvinod. A new electromagnetic contact sensing technique for enhancing machine accuract //Manufacturing Science and Engineering. -1997.-Med.- Vol.6-1. Volume 1.-ASME 1997.-P.113-119.
6. DAISHOWA SEIKI CO., LTD. FA Dept. CATALOG №51, 52, 53, 63, 68. -1998.
7. Пат. 4,786,220 USA. МКИ В23С 7/00. CUTTING TOOL WEAR MONITORING. John M. Fildes. - №53, 643. Заяв. 26.05.87;Опубл. 22.10.88.
8. Пат. 3,694,637 США, МКИ G 01 N 19/02. Method and apparatus for detecting tool wear / A.I. Edwin, T.I. Vlach. - №83,173; Заяв. 22.10.70; Опубл. 26.09.72; НКИ 235-151.3.
9. А.с. 1543978 СССР, МКИ G01N 3/53. Стенд для определения обрабатываемости материалов резанием/ В.А.Остафьев, А.А.Мирзаев, В.И.Скицюк, В.И.Науменко, А.Г.Харкевич, В.В.Шевченко, Н.С. Ивченко. - №432770; Заяв. 13.11.87; Опубл. 15.10.89, Бюл. №6.- 6с.
10. Скицюк В.І., Махмудов К.Г., Плотников О.О. Перспективи розвитку та застосування електромагнітних засобів контролю технологічних процесів у металообробці//Вісник Сумського державного університету. -2002. -№9(42). - С.131-139.

*Надійшла до редколегії 16 грудня 2002р.*

УДК 621.951.1

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ САМООРГАНИЗАЦИИ

*П.В. Скрынник, асп.; В.В. Вовк, асп.*

*(Национальный технический университет Украины "КПИ")*

Процесс фрезерования как сложная система определяется множеством факторов и имеет сложную структуру. Этот процесс, как любой другой процесс резания, сопровождается различными физическими явлениями, такими, как пластические деформации, трение, вибрации, тепловые и химические явления. Взаимосвязь всего множества факторов,