

УДК 621.9.06:681.5

Віктор Ковальов, д.т.н., проф.; Галина Клименко, д.т.н., проф.; Яна Васильченко, д.т.н., проф.; Максим Шаповалов, к.т.н., доц.; Юрій Лобур
Донбаська державна машинобудівна академія, Україна

СИСТЕМА АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ТОЧНІСТЮ З ПОКРАЩЕНОЮ ДИНАМІКОЮ ДЛЯ ВАЖКИХ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ ЯК МЕХАТРОННА СИСТЕМА

Анотація. Розглянуто проблему підвищення точності обробки на важких токарних верстатах шляхом застосування адаптивної системи керування з покращеними динамічними характеристиками. Запропоновано мехатронний підхід до компенсації пружних деформацій технологічної системи на основі використання сенсорної підсистеми, цифрової обробки інформації, алгоритмів адаптивного керування та швидкодіючого комбінованого електромеханічного привода. Система забезпечує отримання поточної інформації про параметри процесу різання, формування цифрової моделі поверхні заготовки та корекцію положення інструмента в режимі реального часу. Особливу увагу приділено специфіці застосування системи у важких токарних верстатах, для яких характерні значні маси рухомих вузлів, висока інерційність приводів і підвищені вимоги до динамічної стійкості. Показано, що інтеграція механічної, електронної, сенсорної та керуючої підсистем дозволяє віднести запропоновану систему до класу мехатронних систем і забезпечити підвищення точності обробки великогабаритних деталей.

Ключові слова: мехатронна система, важкий токарний верстат, адаптивне керування, точність обробки, цифрове керування.

Viktor Kovalov, Galyna Klymenko, Yana Vasylichenko, Maksym Shapovalov, Yuriy Lobur

Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

ADAPTIVE ACCURACY CONTROL SYSTEM WITH IMPROVED DYNAMICS FOR HEAVY LATHES AS A MECHATRONIC SYSTEM

Abstract The paper considers the problem of improving machining accuracy in heavy lathes through the application of an adaptive control system with enhanced dynamic characteristics. A mechatronic approach to compensating elastic deformations of the technological system is proposed based on the use of a sensor subsystem, digital information processing, adaptive control algorithms, and a high-speed combined electromechanical drive. The system provides real-time acquisition of current information on cutting process parameters, formation of a digital model of the workpiece surface, and correction of tool position in real time. Particular attention is paid to the specific application of the system in heavy lathes, which are characterized by large masses of moving units, high drive inertia, and increased requirements for dynamic stability. It is shown that the integration of mechanical, electronic, sensor, and control subsystems makes it possible to classify the proposed system as a mechatronic system and ensures improved machining accuracy of large-sized parts.

Keywords: mechatronic system, heavy lathe, adaptive control, machining accuracy, digital control.

У сучасному важкому верстатобудуванні одним із ключових напрямів підвищення точності обробки є впровадження систем адаптивного керування, здатних у режимі реального часу компенсувати вплив пружних деформацій технологічної

системи, зовнішніх збурень та динамічних похибок. Особливо актуально це для важких токарних верстатів, які застосовуються для обробки великогабаритних тіл обертання - довгих нежорстких валів, тонкостінних деталей, дисків і порожнистих заготовок, де навіть незначні деформації призводять до суттєвого погіршення точності форми виробу. У таких умовах класичне підвищення жорсткості механічної системи не завжди забезпечує необхідний результат, що зумовлює необхідність застосування мехатронних адаптивних систем керування.

Під час обробки різанням погрішності форми заготовки спричиняють зміну припуску, що викликає коливання сили різання. У свою чергу це призводить до змінних пружних деформацій вузлів верстата, інструмента та самої заготовки. У результаті виникає ефект копіювання похибок форми заготовки на готовий виріб. Для важких токарних верстатів ця проблема має особливе значення через великі маси рухомих вузлів, значну інерційність приводів, а також складність забезпечення достатньої динамічної жорсткості технологічної системи. Додатковий вплив чинять вібрації, дисбаланс заготовки, теплові деформації та коливання сил різання, які є характерними для обробки великогабаритних деталей.

Одним із перспективних рішень є застосування системи адаптивного керування точністю, яка забезпечує автоматичне регулювання положення інструмента відносно заготовки на основі поточної інформації про параметри процесу обробки. Така система складається з вимірювальної, обчислювальної та виконавчої підсистем і функціонує за принципом замкненого зворотного зв'язку, що дозволяє віднести її до класу мехатронних систем. Її мехатронна сутність полягає в інтеграції механічної частини важкого верстата, електронних датчиків, цифрової системи обробки інформації та швидкодіючого електромеханічного привода корекції положення. Саме така інтеграція механіки, електроніки, сенсорики, обчислювальної техніки та автоматичного керування є визначальною ознакою сучасних мехатронних систем. Для реалізації адаптивного керування у важкому токарному верстаті запропоновано систему, у якій контроль точності здійснюється не за кінцевим розміром виробу, а за поточним значенням глибини різання, що дозволяє оперативно компенсувати збурення ще під час формування поверхні. У системі використовуються датчик кутового положення заготовки, датчик поздовжнього положення інструмента, датчик глибини різання та керуюча ЕОМ, яка виконує функцію пам'яті та формує керуючі сигнали для виправляючого привода. Таким чином, створюється цифрова модель поверхні заготовки, яка надалі використовується для корекції процесу обробки в реальному часі.

Модель поверхні заготовки у пам'яті ЕОМ описується у вигляді матриці радіальних координат:

$$A = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1\varphi} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2\varphi} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{s1} & r_{s2} & \dots & r_{s\varphi} \end{pmatrix} \quad (1)$$

де r – радіус-вектор (відстань від точки поверхні до осі обертання заготовки);

s – поздовжня координата;

φ – кутова координата.

Після вимірювання поверхні заготовки формується матриця значень глибини різання:

$$T=A-B \quad (2)$$

або

$$\begin{vmatrix} t'_{11} & t'_{12} & \dots & t'_{1\varphi} \\ t'_{21} & t'_{22} & \dots & t'_{2\varphi} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ t'_{s1} & t'_{s2} & \dots & t'_{s\varphi} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1\varphi} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2\varphi} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{s1} & r_{s2} & \dots & r_{s\varphi} \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} r'_{11} & r'_{12} & \dots & r'_{1\varphi} \\ r'_{21} & r'_{22} & \dots & r'_{2\varphi} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r'_{s1} & r'_{s2} & \dots & r'_{s\varphi} \end{vmatrix} \quad (3)$$

де T – матриця значень глибини різання;

A – матриця вимірних радіусів заготовки;

B – матриця радіусів готового виробу, сформована за даними креслення.

У процесі обробки система порівнює поточне значення глибини різання з розрахунковим і формує сигнал корекції, забезпечуючи стабілізацію взаємного положення інструмента і заготовки. Статична передатна функція системи має вигляд:

$$\Delta y = t_{s\varphi} - t'_{s\varphi} \quad (4)$$

або

$$y = y_{уст} + t_{s\varphi} - t'_{s\varphi} \quad (5)$$

де Δy – приріст координати виправлюючого приводу;

y – координата виправлюючого приводу;

$y_{уст}$ – сталі значення координати виправлюючого приводу, до збурювання;

$t_{s\varphi}$ – поточне обмірюване значення глибини різання;

$t'_{s\varphi}$ – розрахункові значення глибини різання, що відповідає поточному положенню заготівки.

Ефективність роботи адаптивної системи визначається швидкодією виконавчого приводу. Для важких токарних верстатів ця проблема є особливо складною через значну масу рухомих вузлів та велику інерційність приводів подач. Класичні гвинтові або гідравлічні приводи не забезпечують необхідного часу реакції, який для важких верстатів може становити одиниці або десятки мілісекунд. Тому запропоновано комбінований мехатронний привід, що поєднує основний електромеханічний привід великого ходу з короткоходовим швидкодіючим лінійним електродвигуном (рис. 1). Така структура дозволяє одночасно забезпечити значне переміщення супорта і високу швидкість компенсації похибок.

Привід містить у собі основний двигун постійного струму 1, вал якого через редуктор 2 зв'язаний з ходовим гвинтом 3. На гайці гвинтової передачі 4 встановлений статор лінійного електродвигуна постійного струму 5, а його повзун 6 зв'язаний з виконавчим органом 7. Положення виконавчого органу відстежується лінійним вимірювальним перетворювачем 8, а зсув повзуна лінійного двигуна відносно гайки гвинтової передачі – перетворювачем 9.

Привод фактично являє собою два слідкуючих приводи, включених послідовно з зовнішньою і внутрішньою петлею зворотного зв'язку. Внутрішня петля утворена перетворювачем 9, підсилювачем постійного струму 10 і основним двигуном 1. Сигналом неузгодженості для цієї петлі служить відносний зсув статора і повзуна лінійного двигуна, тобто ця частина приводу прагне утримати повзун 6 у середньому положенні відносно статора 5. Зовнішня петля зворотного зв'язку утворена вимірювальним перетворювачем 8, порівнюючим пристроєм 11, задаючим пристроєм

12, підсилювачем постійного струму 13 і лінійним двигуном, і забезпечує відповідність дійсного положення робочого органа величині, що задана пристроєм 12.

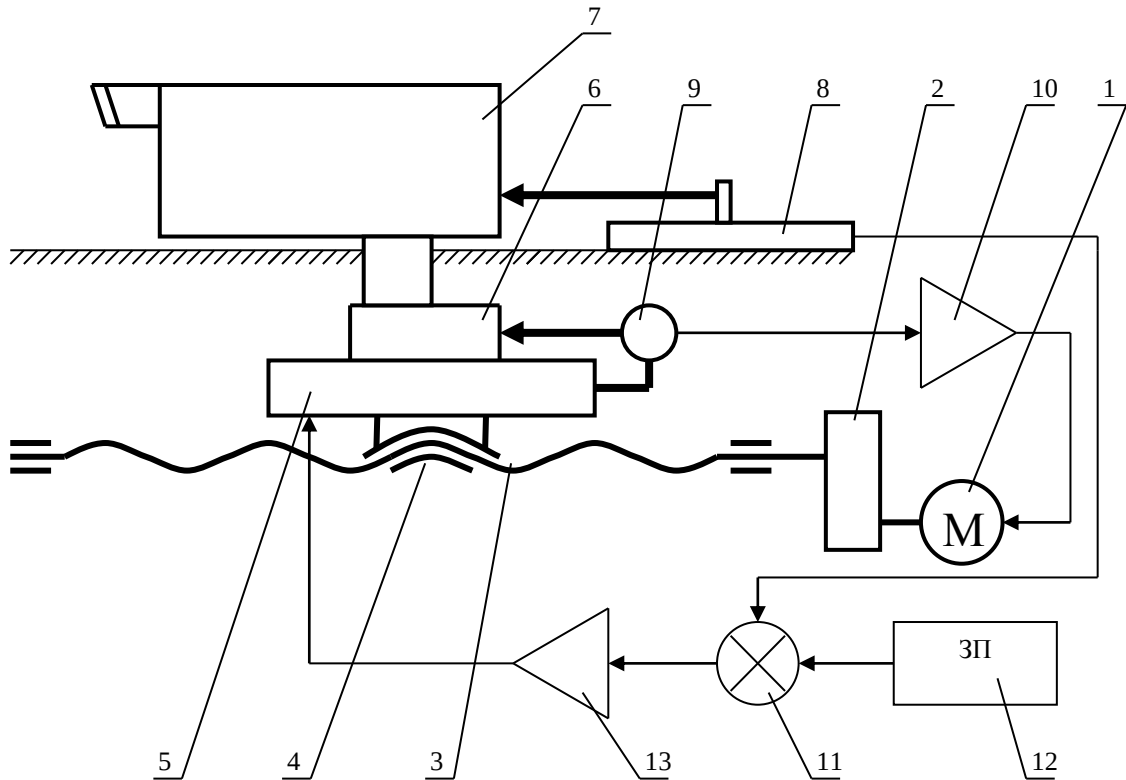


Рисунок 1 – Структурна схема комбінованого стежачого привода

Запропонована система є типовим прикладом мехатронної системи для важких токарних верстатів, у якій механічна підсистема, сенсорні пристрої, цифрова обробка сигналів, адаптивний алгоритм керування та швидкодіючий електромеханічний привід працюють як єдиний інтегрований комплекс. Її застосування дозволяє компенсувати пружні деформації, підвищити точність обробки великогабаритних деталей, знизити вплив вібрацій та зовнішніх збурень, а також суттєво покращити динамічні характеристики важких верстатів.