

А.А. Хлинін, здобувач 1-го курсу магістратури,
G9 Прикладна механіка
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

В.А. Дербаба, к.т.н., доцент
завідувач кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства,
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

РОЗРАХУНОК ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРИЧНИХ ТРАЄКТОРІЙ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ В СИСТЕМІ SINUMERIK 828D/840D ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

У сучасному машинобудуванні ефективність процесів механічної обробки визначає конкурентоспроможність підприємств. Використання верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) забезпечує високу точність і продуктивність, проте вимагає оптимізованого підходу до створення керуючих програм. Системи *Sinumerik 828D/840D* від компанії *Siemens* є одними з найсучасніших рішень для промислового виробництва. Вони підтримують багатовісну обробку, параметричне програмування, автоматичну генерацію траєкторій і симуляцію процесів.

Розробка параметричних траєкторій обробки деталей у цих системах дає змогу не лише підвищити гнучкість виробництва, але й мінімізувати людський фактор, скоротити час підготовки програм і підвищити якість готових виробів. Саме тому дослідження особливостей побудови параметричних моделей у середовищі *Sinumerik* є актуальним і практично значущим напрямом для сучасного машинобудування.

Предметом дослідження є методика створення параметричних траєкторій обробки деталей у системах *Sinumerik 828D/840D* для верстатів з ЧПК.

Метою дослідження є розробка підходу до побудови універсальних керуючих програм, які можуть автоматично формувати траєкторію інструмента залежно від змінних параметрів заготовки — таких як діаметр, довжина, форма або глибина обробки. Реалізація такого підходу дає можливість створювати гнучкі технологічні рішення, що легко адаптуються до різних типів деталей, підвищують продуктивність та забезпечують стабільну якість механічної обробки.

Системи *Sinumerik 828D* та *Sinumerik 840D* належать до високотехнологічних платформ керування верстатами з ЧПК, розроблених компанією *Siemens*. Вони поєднують потужне апаратне забезпечення з гнучким програмним середовищем, що підтримує параметричне програмування, макромови, багатовісну інтерполяцію та симуляцію обробки в реальному часі.

Параметричне програмування ґрунтується на використанні змінних і формул, за допомогою яких задаються основні технологічні параметри — координати, швидкість подачі, глибина різання, радіуси або кути. Це дозволяє створювати універсальні програми, які автоматично адаптуються під конкретні розміри чи форму деталі.

Крім того, у системах *Sinumerik* передбачено використання спеціальних циклів і макрокоманд, що забезпечують спрощене описання типових технологічних операцій — свердління, підрізки, фрезерування, нарізання різьби тощо. Завдяки цьому програміст ЧПК може побудувати траєкторію не шляхом послідовного запису *G*-кодів, а через набір параметричних модулів, які легко модифікуються.

Таким чином, параметричне програмування у середовищі *Sinumerik 828D/840D* є інструментом не лише для автоматизації створення програм, а й для оптимізації процесів обробки, скорочення часу переналадження та підвищення точності виконання складних просторових траєкторій.

Розробка параметричних траєкторій обробки деталей у системах *Sinumerik 828D/840D* передбачає послідовне виконання кількох етапів, які охоплюють як створення математичної моделі, так і практичну реалізацію програми у середовищі контролера.

На першому етапі виконується аналіз геометрії деталі — визначаються основні контури, технологічні бази, отвори, фаски, радіуси та інші параметри, які можуть бути представлені змінними. Це дає можливість сформувати параметричну модель, у якій усі ключові розміри задаються через змінні.

Другим етапом є побудова структури програми у форматі *G*-кодів або в середовищі *ShopTurn*, де створюються макрокоманди та логічні зв'язки між параметрами. Використовуються умовні оператори, цикли, та формули, що дозволяють автоматично змінювати траєкторію в залежності від введених даних.

На третьому етапі проводиться віртуальне налагодження у програмі *SinuTrain*, яка імітує роботу систем *Sinumerik 828D/840D*. У цьому середовищі виконується перевірка коректності траєкторій, контроль за відсутністю зіткнень, оптимізація подачі, швидкості обертання шпинделя, а також візуалізація траєкторії інструмента у тривимірному просторі.

Заключним етапом є впровадження програми на реальному верстаті з ЧПК. Після тестового виконання здійснюється коригування параметрів для досягнення найкращих показників точності, якості поверхні та продуктивності.

Завдяки такому підходу створюється гнучка система програмування, яка дозволяє швидко адаптувати програму до нових умов — змінюючи лише вхідні параметри, без необхідності переписування всієї програми. Це істотно скорочує час підготовки виробництва та підвищує ефективність роботи верстатів.

Використання параметричних траєкторій у системах *Sinumerik 828D/840D* має вагоме практичне значення для підвищення ефективності сучасного виробництва. Насамперед це стосується скорочення часу підготовки програм — замість створення окремого керуючого коду для кожної модифікації деталі, технолог може застосовувати єдиний параметричний шаблон, у який достатньо внести змінні значення розмірів або кількості операцій.

Параметричні програми дозволяють оптимізувати траєкторію руху інструмента, зменшити холості ходи, скоротити час різання та підвищити ефективність використання ріжучого інструменту. Крім того, система *Sinumerik* забезпечує точну симуляцію обробки, що дає можливість уникнути зіткнень, браку або пошкодження інструментів.

Завдяки інтегрованому середовищу *SinuTrain* (рис. 1), користувач може протестувати програму віртуально, відкоригувати параметри та переконатися у правильності траєкторії ще до запуску реального верстата. Це підвищує безпеку, точність і економічність виробництва, а також скорочує витрати на налагодження.



Рис. 1. Приклад параметричного контуру деталі в середовищі *SinuTrain*

Параметричне програмування в системах *Sinumerik 828D/840D* є потужним інструментом для створення інтелектуальних керуючих програм, що забезпечують високу точність, продуктивність і гнучкість процесу обробки деталей. Завдяки використанню змінних, формул, циклів і умовних операторів можна автоматизувати побудову складних траєкторій руху інструмента, адаптуючи їх до геометрії конкретної заготовки або технологічних вимог.

Розробка параметричних траєкторій дає змогу істотно зменшити час програмування, підвищити стабільність результатів і знизити ризик людських помилок, що особливо важливо для серійного та індивідуального виробництва високоточного обладнання.

Список літератури:

1. JIN, Weiwen; LEI, Tongfei. Numerical Control Simulation and Programming Based on SinuTrain Bearing Bracket (Five-axis). In: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2023. p. 012056.
2. Головка, В.М.; Пушкар, М.В. Концепція дослідження електроприводу металообробних станків за допомогою програмного забезпечення SIEMENS SINUTRAIN. *Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенергетичної та автоматичної"*, 2018, 463-465.
3. Martínez-Ruedas, Cristina; Adame-Rodríguez, Francisco José; Díaz-Cabrera, Juan Manuel. Integrating and interconnecting of older SINUMERIK CNC machines with industry 4.0 using a plug-and-play system. *Journal of Industrial Information Integration*, 2024, 38: 100583.
4. Zagórski, Ireneusz; Barszcz, Marcin. Virtual machines in education—CNC milling machine with Sinumerik 840D control system. *Advances in Science and Technology. Research Journal*, 2014, 8.24: 32-37.