

УДК 004.42::621.9

С.І. Шаповалова, О.М. Бараніченко

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ САМ-СИСТЕМ ДЛЯ НЕВЕЛИКИХ ВИРОБНИЦТВ**

*Анотація: В статті визначено характеристики САМ-систем і критерії їх оптимізації для застосування на невеликих виробництвах. Представлено розроблену за цими критеріями систему PowerSAM. Наведено приклад роботи PowerSAM для порівняння з аналогічними системами.*

*Ключові слова: САМ-система, керуюча програма верстатів з ЧПК.*

### **Вступ**

На теперішній час використання верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) можливе не лише для великих підприємств, але і для невеликих виробництв. Однак використання технології ЧПК при малих обсягах виробництва має специфічні риси. Тому існує ряд проблем, які необхідно вирішувати для продуктивної і стабільної роботи обладнання з ЧПК. Це насамперед проблема створення ефективного коду керуючих програм, оскільки використання існуючих програмних засобів автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва ускладнюється або наявністю надлишкового функціоналу та високою ціною, або неоптимальністю побудови вихідного коду.

Саме тому задача створення простого в застосуванні, зручного, надійного та потужного засобу програмування верстатів з ЧПК є актуальною та має практичне застосування для невеликих виробництв.

### **Аналіз останніх досліджень**

Програмним забезпеченням (ПЗ), яке створює керуючі програми для верстатів з ЧПК, є САМ-системи (computing aided manufacturing). Сучасні дослідження в галузі розвитку САМ-систем [1-5] спрямовані на розв'язання специфічних задач генерації складних траєкторій обробки, які рідко застосовуються на невеликих виробництвах.

В роботі Л. А. Кашуби і О. В. Чекалкина [6] було сформовано базові принципи побудови ПЗ саме для невеликих виробництв. Результатом досліджень стало створення САМ-системи ADEM. В роботі Т. Merser [7] було сформовано принципи відбору ПЗ верстатів з ЧПК для невеликих

виробництв. Аналіз існуючих САМ-систем, більшість з яких використовуються досі, відбувався за такими факторами, як ефективність, функціональність, ціна, розширяємість, тощо. Однак існуючої реалізації ПЗ, яка би однозначно задовольняла вимогам невеликих виробництв знайдено не було.

В статті А. Ю. Солкіна та П.К. Кузнецова [8] було розглянуто не менш важливу проблему ЧПК – оптимізацію вихідного коду керуючої програми. Однак, з однієї сторони, розглянуті засоби оптимізації не завжди доцільно використовувати для малосерійного виробництва через надлишковий функціонал, а з іншої – для САМ-систем з обмеженим функціоналом необхідно забезпечити оптимальність вихідного коду з точки зору мінімальної кількості команд. Тому дослідження з визначення функціональних характеристик САМ-систем та критеріїв оптимізації коду керуючих програм, необхідне для розробки засобу програмування верстатів з ЧПК, пристосованого саме для невеликих виробництв.

Ціллю статті є визначення характеристик САМ-систем і критеріїв їх оптимізації та представлення розробленої за цими критеріями системи PowerCAM для невеликих виробництв.

### **Структура ПЗ для роботи на верстатах з ЧПК**

Основними задачами ПЗ верстатів з ЧПК є:

1. Створення креслення або моделі деталі, яку необхідно виготовити. Ці задачі вирішують САД системи, наприклад, AutoCAD, SolidWorks, Inventor.

2. Створення керуючої програми верстату, що дозволяє задати по кресленню обробку деталі. Ці задачі вирішують САМ системи, наприклад, ArtCAM, SolidCAM, MasterCAM, RhinoCAM.

3. Керування верстатом. Ці задачі вирішують спеціалізовані керуючі системи, які можуть бути вбудовані в комп'ютер верстата. Однак, як правило, вбудовані системи зустрічаються лише на професійному обладнанні. Для верстатів, які зазвичай використовуються на невеликих виробництвах, використовується окремий комп'ютер, на якому встановлено керуючу програму. До таких програм можна віднести Mach3, vriCNC, NC-Studio.

Таким чином, базова структура ПЗ верстатів з ЧПК складається з САД-системи, САМ-системи та керуючої системи. Але в деяких ви-

падках для керування та програмування верстатів з ЧПК використовують додаткові програмні засоби, такі як:

1. Програми ручного редагування вихідного коду, наприклад, NC corrector.
2. Програми візуалізації роботи верстату при обробці по заданому коду.
3. Програмно-апаратні системи керування верстатом, які не потребують окремого комп'ютера і містять операції для роботи і налагодження верстатів.

Використання CAD систем є недоцільним, якщо виконуються такі умови:

1. Креслення готового виробу не існує в електронному вигляді.
2. Операції обробки є простими, код яких можна створити навіть без САМ-системи.

До простих операцій можна віднести, наприклад, свердління та розточку отворів, стругання шпоночних пазів, фрезерування по прямолінійним траєкторіям, токарну обробку циліндрів та нарізання різьби, тощо. Фактично, до таких операцій можна віднести більшість операцій, які виконуються на універсальних верстатах з ручним керуванням. В цих випадках вигідніше замість повноцінної CAD-системи використовувати вбудований в САМ-систему модуль створення креслень. Детальне креслення для створення цих траєкторій обробки недоцільне тому, що воно буде надлишковим (наприклад в випадку з різьбою), або містити тільки невелику кількість параметрів, які доцільніше задавати під час створення траєкторії (наприклад, для свердління на кресленні задаються лише центр отвору та його глибина).

Від оптимальності коду керування верстатом з ЧПК залежить коректна робота обладнання і, як наслідок, його довговічність і якість вихідної продукції. Існуючі САМ-системи або вузькоспеціалізовані та містять недостатній функціонал, або складні і дорогі в використанні та мають надлишковий функціонал в контексті використання на невеликих виробництвах.

### **Характеристики САМ-систем і критерії їх оптимізації**

За результатами досліджень засобів створення керуючої програми було виокремлено характеристики САМ-систем. В таблиці 1 наведено приклади таких систем та відповідних значень характеристик. Для

представлення обрано характерні приклади складної системи MasterCAM X6, простої – ArtCAM Pro 9, а також розробленої PowerCAM.

Таблиця 1

## Характеристики САМ-систем

№	САМ-система	Зміст характеристики	MasterCAM	ArtCAM	PowerCAM
	Характеристика				
1	Можливість створення траєкторій обробки для верстатів різних типів	Підтримка фрезерних, токарних, свердильних, розточних верстатів	Так	Ні	Так
2	Наявність простих траєкторій	Фрезерування площини та торця, проточка конуса, свердління, розточка, тощо	Так	Так	Так
3	Наявність складних траєкторій	Траєкторії багато осьової обробки	Так	Ні	Ні
4	Можливість параметричного стилю написання G-коду	Використання підпрограм, циклів, параметрів	Так	Ні	Так
5	Можливість ручного редагування коду	Можливість ручного редагування коду	Так	Ні	Так
6	Швидкість введення параметрів, пар./с.	Значення середнього арифметичного введення параметрів за 1 секунду	0.05	0.2	0.3

Швидкість введення параметрів тестувалися для простих траєкторій, які подібні для всіх систем. Покращення цього показника зумовлено тим, що:

1. Відсутня необхідність введення параметрів, які не впливають на генерацію коду.

2. Використовується командний рядок для введення/виведення даних за аналогом до AutoCAD.

Таким чином, можна сформулювати вимоги до вдосконаленої САМ-системи, які втілені в PowerCAM:

1. Мінімальний набір траєкторій: фрезерування площини та торця, проточка конуса, свердління, розточка.
2. Типи верстатів, для яких можливе створення керуючих програм: фрезерні, токарні, свердлильні та розточні.
3. Можливість створення простих креслень безпосередньо в САМ-системі.
4. Швидко і зрозуміле для користувача створення керуючих програм.
5. Інтуїтивно-зрозумілий інтерфейс з подібним шаблоном для всіх операцій.
6. Відкриття креслень формату .dxf.
7. Створення керуючих програм на мові G-/M-коду.

Крім цього система PowerCAM розроблювалась з врахуванням таких критеріїв оптимальності побудови коду керуючої програми:

1. Мінімальна кількість команд для побудови траєкторії.
2. Заміщення багаторазового задання коду ідентичних операцій командою виконання циклу.

В рамках проекту автоматизовано такі процеси:

1. Створення креслень.
2. Створення траєкторій обробки.
3. Генерація коду керуючої програми.

Система PowerCAM реалізована на мові C#, платформа .Net Framework 4.6.

Основною ціллю PowerCAM є створення оптимального коду керуючих програм.

### **Структура PowerCAM**

PowerCAM містить підсистему роботи з кресленнями, підсистему створення траєкторій обробки, постпроцесор.

Підсистема роботи з кресленнями реалізує такі функції:

1. Створення плоских графічних об'єктів, таких як:
  - 1.1. Точка. Задається координатами X, Y.
  - 1.2. Відрізок. Задається початок і кінець відрізка (дві точки).
  - 1.3. Коло. Задається центр кола (точка) і радіус (число).
  - 1.4. Дуга. Задається твірним колом, початковим і кінцевим кутами (2 числа).

## 2. Відкриття існуючих креслень формату .dxf.

Підсистема створення траєкторій обробки охоплює такі траєкторії:

1. Свердління. Задаються координати свердління, глибина свердління, необхідність стружколомної зупинки та виведення свердла, швидкість свердління.

2. Розточка. Задаються ті самі параметри, що і для свердління, але обробка повинна бути циклічною та мати зупинку для вимірювання та уточнення розміру.

3. Фрезерування площини. Найбільш широко при цьому використовується метод фрезерування «Зигзаг», при якому фрезерування йде вздовж однієї з осей при подальшому зміщенні в напрямі іншої, або метод «Зміщення», при якому обробка йде вздовж периметру зі зміщенням від/до периметру. Для цього задається контур, глибина фрезерування, крок поперечного зміщення, глибина обробки, крок глибини, швидкість обробки.

4. Прямолінійне фрезерування, яке часто використовується для відрізки деталей, прорізки пазів, тощо. Задаються ті самі параметри, що і для фрезерування площини, окрім зміщення.

5. Фрезерування по контуру. При цьому задаються такі ж параметри, як і для прямолінійного фрезерування, а також контур обробки.

6. Токарна обробка циліндру. Задаються подача, швидкість різання, діаметр обробки, крок обробки.

7. Токарна обробка канавок. Задаються ті самі параметри, що і для обробки циліндру, окрім подачі.

8. Нарізання різьби. Задаються швидкість різання, діаметр обробки, крок обробки та крок різьби, напрямок різьби.

9. Проточка конусу. Задаються подача, швидкість різання, діаметри конусу та його довжина (або ж конусність), крок обробки.

Для всіх цих операцій також можуть бути включені додаткові параметри, такі як увімкнення/вимкнення подачі змазуючо-охолоджуючої рідини, налаштування обертів шпинделя.

Постпроцесор для верстата з ЧПК – це програмний модуль, який призначений для перетворення керуючої траєкторії обробки в керуючу програму. Постпроцесор системи PowerCAM генерує код керуючої програми мовами G-/M-коду. При цьому він містить вбудовані операції обробки коду керуючої програми, такі як цикл, створення змінних, додавання блоку коду, написаного вручну.



Такий набір графічних компонентів дозволяє:

1. Забезпечити максимальний розмір робочого простору.
2. Прискорити роботу розробника за рахунок ефективного доступу до функцій системи через командний рядок.
3. Співставляти код з траєкторією обробки під час його створення.

На рисунку 2 винесено фрагменти коду керуючих програм, створені системами ArtCAM (рис. 2а) та запропонованою PowerCAM (рис. 2б). Код задає обробку деталі з одним отвором глибиною 15 мм, що обробляється з виведенням свердла, і 5 отворів глибиною 10 мм, розташованих з кроком 10 мм по вісі X.

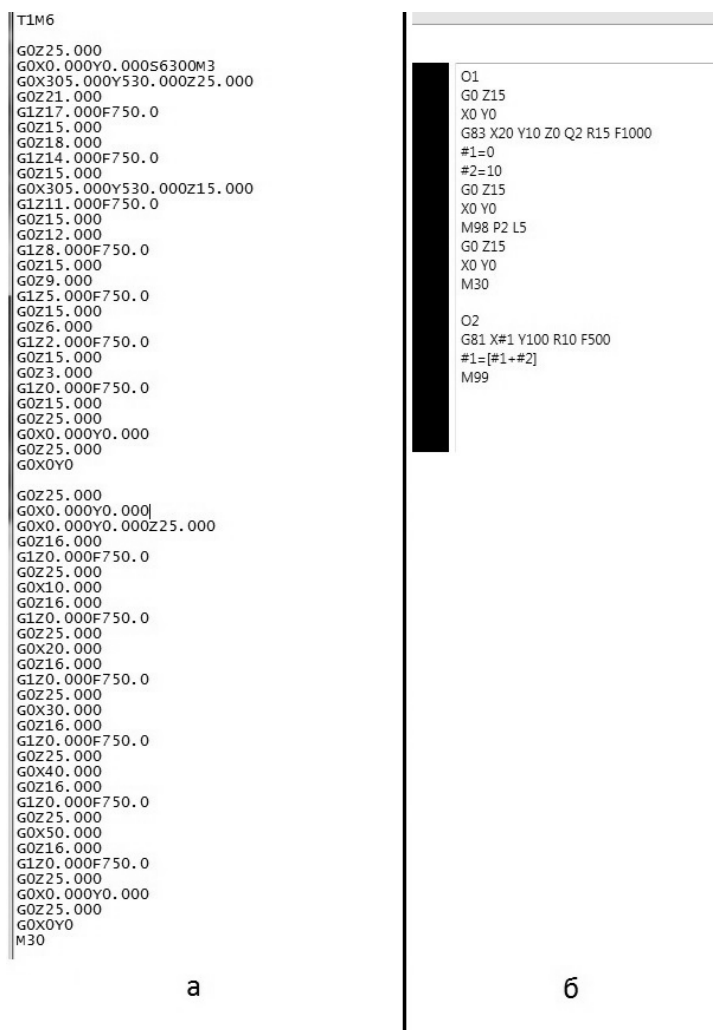


Рис. 2. Фрагменти коду керуючих програм: а) ArtCAM, б) PowerCAM

Тестування системи проводилось під керуванням операційної системи Microsoft Windows 7 Ultimate 64bit, та системою керування Mach3. Отримані результати доводять, що код створений PowerCAM коротший і простіший для використання та редагування.



## Висновки

1. Проведено дослідження існуючих засобів створення керуючих програм верстатів з ЧПК. Виокремлено основні характеристики САМ-систем і критерії їх оптимізації.
2. Запропоновано систему PowerCAM, вдосконалену набором функцій, представленням графічного інтерфейсу користувача та оптимізацією генерації керуючого коду.
3. Наведено приклад роботи PowerCAM для порівняння з аналогічними системами.

## Література

1. Пивоваров В. И. Современные цифровые технологии изготовления зубных протезов / В. И. Пивоваров, Е. С. Бондарь, И. П. Рыжова. // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2011. – №1.
2. Маданов А. В. Анализ технологической подготовки производства авиационных деталей сложной геометрии на станках с числовым программным управлением / А. В. Маданов. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – №1.
3. Разработка технологии изготовления изделий ракетно-космической техники с применением САД/САМ-систем / [П. С. Попов, А. Ю. Литвинчук, К. Г. Пасечник та ін.]. // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2010.
4. Кузнецов Є. Ю. Использование САМ-систем для составления управляющих программ многопроходного нарезания витков червяков / Є. Ю. Кузнецов, А. С. Ямников. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – №8.
5. Подготовка управляющих программ с помощью cad/cam систем / И. А. Бондарев, А. В. Никитин, С. Ю. Сыроежко, Н. А. Амельченко. // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2011. – №7.
6. Кашуба Л. А. САД/САМ Adem наилучшая отечественная система для мелкосерийного производства / Л. А. Кашуба, О. В. Чекалкин. // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 1998. – №2.
7. Merser T. CAD/CAM selection for small manufacturing companies / Tim Merser. // The Graduate College University of Wisconsin. – 2000.
8. Солкин А. Ю. Проблема оптимизации NC программ для механообработывающих станков с ЧПУ / А. Ю. Солкин, П. К. Кузнецов. // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. – 2011. – №17. – С. 90–94.