

**ДОДАТОК А**  
**Код програми**

(Exported by FreeCAD)  
(Post Processor: KineticNCBeamicon2\_post)  
(Output Time:2024-01-21 04:09:27.685148)  
(begin preamble)  
%  
G17 G21 G40 G49 G80 G90  
M08  
G21  
(begin operation: Fixture)  
(machine: not set, mm/min)  
G54  
(finish operation: Fixture)  
(begin operation: TC: Default Tool)  
(machine: not set, mm/min)  
(TC: Default Tool)  
M05  
M09M6 T1  
(finish operation: TC: Default Tool)  
(begin operation: Profile)  
(machine: not set, mm/min)  
(Profile)  
(Compensated Tool Path. Diameter: 5.0)  
G0 Z5.000  
G0 X46.837 Y38.347  
G0 Z3.000  
G1 X46.837 Y38.347 Z0.000 F30000.000

G1 X58.020 Y18.813 Z0.000 F30000.000  
G2 X58.011 Y16.313 Z0.000 I-2.170 J-1.242 F30000.000  
G1 X43.654 Y-8.347 Z0.000 F30000.000  
G2 X41.484 Y-9.589 Z0.000 I-2.161 J1.258 F30000.000  
G1 X12.949 Y-9.485 Z0.000 F30000.000  
G2 X10.789 Y-8.227 Z0.000 I0.009 J2.500 F30000.000  
G1 X-3.389 Y16.536 Z0.000 F30000.000  
G2 X-3.380 Y19.036 Z0.000 I2.170 J1.242 F30000.000  
G1 X10.977 Y43.696 Z0.000 F30000.000  
G2 X13.147 Y44.939 Z0.000 I2.161 J-1.258 F30000.000  
G1 X41.682 Y44.835 Z0.000 F30000.000  
G2 X43.842 Y43.577 Z0.000 I-0.009 J-2.500 F30000.000  
G1 X46.837 Y38.347 Z0.000 F30000.000  
G0 Z5.000  
G0 Z5.000  
(finish operation: Profile)  
(begin operation: Pocket\_Shape)  
(machine: not set, mm/min)  
(Pocket\_Shape)  
G0 Z5.000  
G0 X36.387 Y26.746  
G0 Z3.000  
G1 X36.387 Y26.746 Z-5.000 F30000.000  
G3 X25.490 Y30.373 Z-5.000 I-9.071 J-9.071 F30000.000  
G3 X29.141 Y4.976 Z-5.000 I1.826 J-12.698 F30000.000  
G3 X36.387 Y26.746 Z-5.000 I-1.826 J12.698 F30000.000  
G0 Z5.000  
G0 X32.849 Y23.209 Z5.000  
G0 X32.849 Y23.209 Z3.000

G1 X32.849 Y23.209 Z-5.000 F30000.000  
G3 X26.202 Y25.421 Z-5.000 I-5.534 J-5.534 F30000.000  
G3 X19.570 Y16.561 Z-5.000 I1.114 J-7.746 F30000.000  
G3 X28.429 Y9.929 Z-5.000 I7.746 J1.114 F30000.000  
G3 X32.849 Y23.209 Z-5.000 I-1.114 J7.746 F30000.000  
G0 Z5.000  
G0 X29.312 Y19.671 Z5.000  
G0 X29.312 Y19.671 Z3.000  
G1 X29.312 Y19.671 Z-5.000 F30000.000  
G3 X26.914 Y20.469 Z-5.000 I-1.996 J-1.996 F30000.000  
G3 X27.717 Y14.881 Z-5.000 I0.402 J-2.794 F30000.000  
G3 X29.312 Y19.671 Z-5.000 I-0.402 J2.794 F30000.000  
G0 Z5.000  
G0 X28.427 Y18.786 Z5.000  
G0 X28.427 Y18.786 Z3.000  
G1 X28.427 Y18.786 Z-5.000 F30000.000  
G3 X27.092 Y19.231 Z-5.000 I-1.111 J-1.111 F30000.000  
G3 X27.539 Y16.119 Z-5.000 I0.224 J-1.556 F30000.000  
G3 X28.427 Y18.786 Z-5.000 I-0.224 J1.556 F30000.000  
G0 Z5.000  
G0 X27.543 Y17.902 Z5.000  
G0 X27.543 Y17.902 Z3.000  
G1 X27.543 Y17.902 Z-5.000 F30000.000  
G3 X27.270 Y17.993 Z-5.000 I-0.227 J-0.227 F30000.000  
G3 X27.361 Y17.357 Z-5.000 I0.046 J-0.318 F30000.000  
G3 X27.543 Y17.902 Z-5.000 I-0.046 J0.318 F30000.000  
G1 X27.543 Y17.902 Z-9.500 F30000.000  
G3 X27.270 Y17.993 Z-9.500 I-0.227 J-0.227 F30000.000  
G3 X27.361 Y17.357 Z-9.500 I0.046 J-0.318 F30000.000

G3 X27.543 Y17.902 Z-9.500 I-0.046 J0.318 F30000.000

G0 Z5.000

G0 X28.427 Y18.786 Z5.000

G0 X28.427 Y18.786 Z3.000

G1 X28.427 Y18.786 Z-9.500 F30000.000

G3 X27.092 Y19.231 Z-9.500 I-1.111 J-1.111 F30000.000

G3 X27.539 Y16.119 Z-9.500 I0.224 J-1.556 F30000.000

G3 X28.427 Y18.786 Z-9.500 I-0.224 J1.556 F30000.000

G0 Z5.000

G0 X29.312 Y19.671 Z5.000

G0 X29.312 Y19.671 Z3.000

G1 X29.312 Y19.671 Z-9.500 F30000.000

G3 X26.914 Y20.469 Z-9.500 I-1.996 J-1.996 F30000.000

G3 X27.717 Y14.881 Z-9.500 I0.402 J-2.794 F30000.000

G3 X29.312 Y19.671 Z-9.500 I-0.402 J2.794 F30000.000

G0 Z5.000

G0 X32.849 Y23.209 Z5.000

G0 X32.849 Y23.209 Z3.000

G1 X32.849 Y23.209 Z-9.500 F30000.000

G3 X26.202 Y25.421 Z-9.500 I-5.534 J-5.534 F30000.000

G3 X19.570 Y16.561 Z-9.500 I1.114 J-7.746 F30000.000

G3 X28.429 Y9.929 Z-9.500 I7.746 J1.114 F30000.000

G3 X32.849 Y23.209 Z-9.500 I-1.114 J7.746 F30000.000

G0 Z5.000

G0 X36.387 Y26.746 Z5.000

G0 X36.387 Y26.746 Z3.000

G1 X36.387 Y26.746 Z-9.500 F30000.000

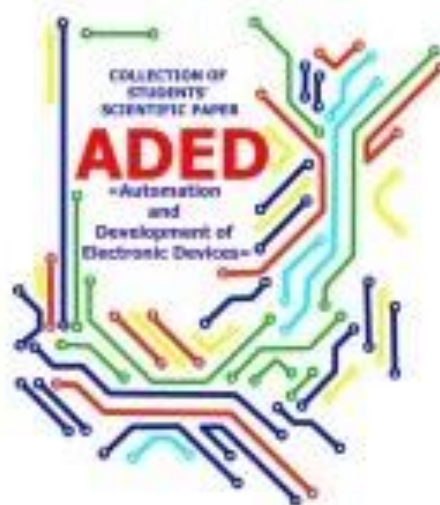
G3 X25.490 Y30.373 Z-9.500 I-9.071 J-9.071 F30000.000

G3 X29.141 Y4.976 Z-9.500 I1.826 J-12.698 F30000.000

G3 X36.387 Y26.746 Z-9.500 I-1.826 J12.698 F30000.000  
G1 X36.387 Y26.746 Z-10.000 F30000.000  
G3 X25.490 Y30.373 Z-10.000 I-9.071 J-9.071 F30000.000  
G3 X29.141 Y4.976 Z-10.000 I1.826 J-12.698 F30000.000  
G3 X36.387 Y26.746 Z-10.000 I-1.826 J12.698 F30000.000  
G0 Z5.000  
G0 X32.849 Y23.209 Z5.000  
G0 X32.849 Y23.209 Z3.000  
G1 X32.849 Y23.209 Z-10.000 F30000.000  
G3 X26.202 Y25.421 Z-10.000 I-5.534 J-5.534 F30000.000  
G3 X19.570 Y16.561 Z-10.000 I1.114 J-7.746 F30000.000  
G3 X28.429 Y9.929 Z-10.000 I7.746 J1.114 F30000.000  
G3 X32.849 Y23.209 Z-10.000 I-1.114 J7.746 F30000.000  
G0 Z5.000  
G0 X29.312 Y19.671 Z5.000  
G0 X29.312 Y19.671 Z3.000  
G1 X29.312 Y19.671 Z-10.000 F30000.000  
(finish operation: Pocket\_Shape)  
(begin postamble)  
M05 M09  
G17 G90 G80 G40  
M30

**ДОДАТОК Б**  
**Апробація наукових результатів**

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки  
(КІТАР)



**ЗБІРНИК**  
студентських наукових статей  
«Автоматизація та приладобудування»  
«Automation and Development of Electronic Devices»  
**ADED-2023**  
(Випуск 2)  
[електронне видання]

Харків 2023

## МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ КЕРУЮЧИХ ПРОГРАМ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПУ

**Дульський В.І.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: vitalii.dulskyi@nure.ua

**Анотація:** Обладнання, таке як токарні верстати, обробні центри, преси та термопластантомати є основою виробництва. Автоматизація цих машин дає виробникам явні переваги з погляду використання, вторинних процесів, трудових ресурсів та продуктивності. Одним з основних тенденцій в автоматизації промислового обладнання є використання систем управління ЧПУ з програмним забезпеченням, які дозволяють адаптувати значайні станки до автоматичної роботи, аналогічній роботі верстатів з ЧПУ. Основною перевагою використання цього методу є підвищення продуктивності та гнучкості верстатів з механічним керуванням.

**Ключові слова:** керуюча програма, ступиця диску, тіло обертання, спрощене програмування.

## OPTIMIZATION METHODS OF CONTROL PROGRAMS FOR CNC MACHINES

**Sakharov M.S.**

Kharkiv National University of radio electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, 14 Nauki Ave.

E-mail: vitalii.dulskyi@nure.ua

**Annotation:** Since ancient times, major equipment such as lathes, machining centers, presses and injection molding machines were the basis of production. Automation of these machines gives manufacturers clear advantages in terms of utilization, secondary processes, labor resources and productivity. One of the main trends in the automation of industrial equipment is the use of CNC control systems with software that allow the adaptation of conventional machines to automatic operation similar to the operation of CNC machines. The main advantage of using this method is to increase the productivity and flexibility of mechanically controlled machines.

**Key words:** control program, disc hub, body of rotation, simplified programming.

**ВСТУП.** У рамках статті розглядалися особливості обробки тіл обертання на прикладі ступиці диска. Дана задача є основою розробки роботизованого технологічного комплексу для операцій токарної обробки номенклатури деталей типу тіло обертання на базі верстата з ЧПУ FANUC. Базова деталь проекту – маточина веденого диска зчеплення.

Дослідження проводиться з метою аналізу обробки широкого спектру деталей типу тіл обертання – валів різних діаметрів та довжиною в діапазоні від 40 мм до 550 мм, втулок та дисків з базовим розміром діаметра від 20 мм до 250 мм – з мінімальною трудовістю, оптимальними витратами енергетичних ресурсів.

**Особливості параметричного програмування.** Параметричне програмування можна порівняти з будь-якою мовою програмування, як-от BASIC, Clanguage і PASCAL. Однак ця мова програмування знаходиться прямо в системі ЧПУ і може бути доступна на рівні коду G, що означає, що можна комбінувати методи ручного програмування з методами параметричного програмування.

Доступні такі пов'язані з комп'ютером функції, як зміни, арифметика, логічні оператори та цикли. Як мова комп'ютерного програмування, параметричне програмування існує у кількох версіях. Найпопулярнішим є CustomMacroB (використовується Fanuc/Fanuc-сумісними елементами управління). Інші включають UserTask (від Okuma), QRoutine (від Sodick) та Advanced Programming Language [APL] (від G&L).

Крім багатьох функцій, пов'язаних з комп'ютером, більшість версій параметричного програмування мають функції, пов'язані з ЧПУ. Користувальницький макрос, наприклад, дозволяє користувачеві ЧПУ отримати доступ до багатьох параметрів управління ЧПУ (зсув інструменту, положення осі, аварійні сигнали, генерація G-код) прямо з програми ЧПУ. Це неможливо лише за допомогою звичайних методів програмування G-коду.

Приклад програми параметричного програмування:

```
O0001(Program number)
#100=1.(Diameter of end mill)
#101=3.0(X position of hole)
#102=1.5(Y position of hole)
#103=.5(Depth of counter bored hole)
#104=400(Speed in RPM)
#105=3.5(Feed rate in IPM)
#106=3.(Tool length offset number)
#107=2.0(Diameter of counter bored hole)
G90G54S#104M03
G00X#101Y#102(Rapid to hole center)
G43H#106Z.1(Instate tool length compensation, rapid to approach Z position)
G01Z.#103F[#105/2]
Y[#102+#107/2-#100/2]F#105
G02I[#107/2-#100/2]
G01Y#102
G00Z.1
M30
```

**Спрощене програмування при обробці тіл обертання.** В останні роки пропозиції відомих виробників систем управління включають системи управління ЧПУ з програмним забезпеченням, які дозволяють адаптувати звичайні станки до автоматичної роботи, аналогічній роботі верстатів з ЧПУ. Основною перевагою використання є підвищення продуктивності та гнучкості верстатів з механічним керуванням.

Характерними рисами даних систем є:

- контроль ходу операцій на графічних моніторах;
- використання напівавтоматичних циклів обробки;
- корекція геометрії інструменту(до 15 інструментів);
- підтримка постійної швидкості на поверхні об'єкта;
- створення програм, що зберігаються в кодї DIN-ISO, та перетворення програм циклу на код ISO;
- відображення одиниць подачі в мм/хв і мм/оберт.

Крім того, можна проводити такі операції:

- додавання, зміна, редагування, видалення та створення користувацьких кодів GиM;
- зміна конфігурації екрана оператора ЧПУ;
- розширена діагностика в режимі реального часу;
- управління інструментами та інтеграція з офісом заводу;

- автоматична сигналізація обслуговування верстатів;
- редактор візуалізації логічного процесу.

Коли тривимірна комп'ютерна модель використовується для токарної обробки, свердління та фрезерування в системі ручного керування, вона може перетворитись на програму ISO з використанням G кодів. Під час редагування програми система відображає функції, що використовуються, включаючи графічну підтримку. Таке спрощене «геометричне» програмування дозволяє обчислювати координати, які не вказані в кресленні деталі. При використанні циклів чорнової обробки на токарному верстаті з ЧПУ є кілька варіантів.

Розглянемо стандартний цикл G71. Цикл чорнової обробки G71 дозволяє швидко видалити матеріал на токарному верстаті з ЧПУ, а також записувати траєкторію фрези як підпрограму, яку можна повторно використовувати під час циклу чіслової обробки (G70). Стандартний цикл G71 виконує чорнову обробку профілю з використанням лінійних переміщень осі Z. Приклад програмування циклу G71 наведено на рисунку 1.

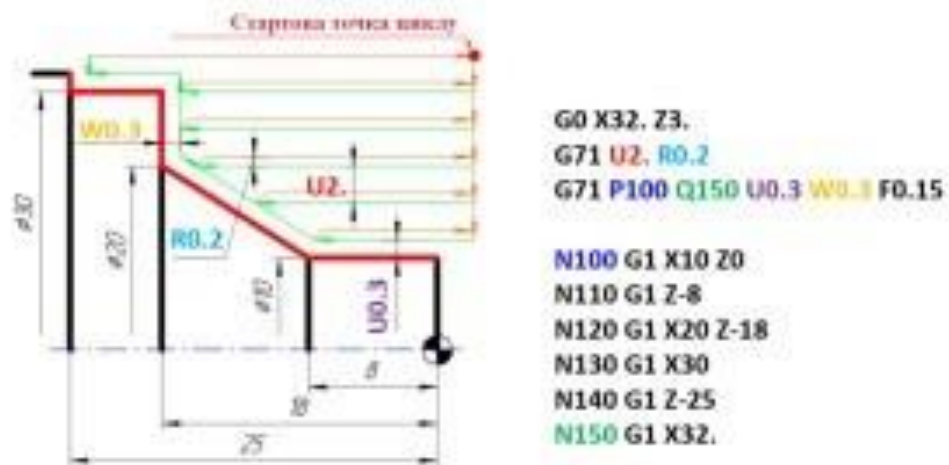


Рисунок 1 – Приклад програмування циклу коду G71

G71 – це G-код, який повідомляє органам управління, що необхідно використовувати цикл чорнової обробки і наступна подальша інформація застосовується до цього. U у першому рядку коду – це глибина різання кожного чорнового проходу. R – вказує на те, як далеко інструмент відійде від деталі X при швидкому поверненні до початку циклу. Значення «P» та «Q» визначають відповідно початкову та кінцеву точки підпрограми. Ці значення можуть бути будь-якими трицифровими числами, якщо вони збігаються з числами N підпрограми.

Розглянемо приклад коду G71:

```
G71U1.0R1.0;
G71P100Q200U0.2W.05F0.2;
N100G00X19.0;
G01G42Z0.0F0.2;
X20.0Z-0.5;
Z-20.0;
X40.0Z-30.0;
Z-65.0,R5.0;
X60.0;
N200G40X70.0 Z5.0F200;
```

Розберемо цей код.

G71U1.0R1.0;

Цей перший рядок каже, що робиться пропил 1,0 мм (U), а інструмент відводиться на 1,0 мм після кожного розрізу (R).

G71P100Q200U0.2W.05F0.2;

Вказується початок профілю підпрограми, якою чорновий інструмент повинен слідувати. P100 повідомляє органам управління шукати N100 і починати зчитування з цієї точки. Q200 повідомляє машині про припинення читання підпрограми під час читання N200.

N100G00X19.0;

N визначає перший рядок підпрограми, наступний код – це профіль деталі, яку необхідно вирізати. G00X19.0 переміщує інструмент у вихідне положення для обробки фаски під 45 градусів на передній частині деталі (припускається, що позиція Z вже вказана у програмі у попередній точці)

G01G42Z0.0:F0.2;

G01 обирає рух з лінійною швидкістю подачі, G42 включає компенсацію радіусу вершини інструменту, Z переміщує інструмент до передньої частини деталі (припускаємо, що вихідна точка або нульова точка знаходиться на передній поверхні завдання) і, нарешті, надається швидкість подачі 0,2 мм за оберт.

X20.0Z-0.5;

Z-20.0;

X40.0Z-30.0;

Z-65.0,R5.0;

X60.0;

Ці блоки G – коду повідомляють машині форму профілю, який варто вирізати.

N200G40X70.0Z5.0F200;

Закінчується блок, присвоюючи номер N, який обирається для позначення кінцевої точки підпрограми. G40 відключає компенсацію радіусу вершини інструменту, Z5.0 переміщує інструмент на 5 мм передньої поверхні деталі. Ця лінія може бути запрограмована за допомогою швидкого переміщення G00.

Можна не тільки виконати чорнову обробку осі Z, використовуючи цикл чорнкової обробки G71, але також можна виконати чорнову обробку осі X, використовуючи цикл торцювання G72.

**ВИСНОВКИ.** З цієї статті випливає, що сивним циклом чорнкової обробки, який можна використовувати на токарному верстаті з ЧПУ є G71 – лінійний цикл чорнкової обробки. Окрім цього, розглянуто особливості параметричного програмування та вказаний приклад програми параметричного програмування. За результатами можна дійти до висновку, що паралі важливо застосовувати методи оптимізації керуючих програм для верстатів з ЧПУ з метою підвищення ефективності виробництва та обробки деталей.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Plaza, M.; Zebala, W. A decision model for investment analysis in CNC centers and CAM technology. *Comput. Ind. Eng.* 2019. pp. 565-577.
2. Системи ЧПУ FANUC [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.fanuc.eu/ua/uk/%D1%87%D0%BF%D0%BA>.
3. Федік Л. Ю. Виробничі процеси і обладнання об'єктів автоматизації: навч. посіб. / Л. Ю. Федік, Л. О. Гуменюк, П. О. Гуменюк. – Луцьк: Вежа-Друк, 2020. – 286 с.
4. Пальчевський Б.О. Інформаційні технології проектування технологічного устаткування [Текст]: Монографія / Б.О. Пальчевський. – Луцьк: Луцький НТУ, 2012. – 572 с.

5. Шалугін В.С. Процеси та апарати промислових технологій: навчальний посібник / В. С. Шалугін, В. М. Шмайдій. – Київ : Центр учбової літератури, 2018. – 392 с.

6. Черенко О.І., Кіптелев Л.В., В.М. Михайлов. Автоматизація виробничих процесів. Харків, 2014. – 186 с.

7. Гончаренко Б.М., Осадчий С.І., Віхрова Л.Г., Каліч В.М., Дідик О.К. Автоматизація виробничих процесів. – Кіровоград: Видавництво – Лисенко В.Ф., 2016. – 352 с.

*Науковий керівник: Стародубцев Микола Григорович, к.т.н., доцент кафедри КТТАР Харківського національного університету радіоелектроніки.*

**ДОДАТОК Б**  
**Демонстраційний матеріал**

