

## А к т у а л ь н о с т ь

Разработка библиотек циклов обработки предназначенных для систем CNC позволяет реализовать метод макропрограммирования операции. В результате облегчается процесс подготовки управляющих программ, вплоть до возможности цехового программирования непосредственно у станка, повышается надежность управляющих программ, а также сокращается их объем.

## Н о в и з н а

В настоящее время системы CNC оснащены библиотеками циклов обработки. По сравнению с ними разработанный пакет токарных циклов характеризуется следующими особенностями:

1. Полнота набора циклов, в результате максимально используются все преимущества метода макропрограммирования;
2. Предоставляется возможность оперативной коррекции управляющих программ по измененным производственным условиям;
3. Сокращается простой станка связанный с отладкой управляющих программ на этапах "пробного запуска".
4. Альтернативность т.е. наличие нескольких вариантов типовых решений для одного и того же цикла позволяет избежать снижение эффективности при использовании циклов в различных условиях;
6. Относительно небольшим количеством циклов можно синтезировать обработку для достаточно большого количества частных случаев;
7. Впервые входные параметры цикла разделены на основные, задание которых обязательно и дополнительные - значения которых могут отсутствовать в макрокоманде. В результате обеспечивается максимальная простота и гибкость при использовании цикла.

В общем случае циклы обработки содержат унифицированные конструкторско-технологические решения (КТР) предоставляющие совокупность конструкторского описания элемента и технологии его получения.

Так как на практике может существовать довольно широкое многообразие унифицированных КТР, то целесообразно весь пакет циклов обработки CNC систем условно разделить на базовый - содержащий наиболее часто используемые КТР по черновой обработке основных форм поверхности и постоянно модифицируемый - содержащий оригинальные КТР для обработки дополнительных форм поверхности таких как обработка фасонных поверхностей фасонными инструментами и т.д.

В настоящем документе рассмотрена методика по разработке базового пакета токарных циклов обработки для систем CNC.

В этой связи необходимо решение следующих задач:

1. Формирование унифицированных КТР для базового пакета циклов
  - 1.1 Проведение конструкторского анализа и выделение конструкторских элементов (Кэ) для описания основных форм поверхности.
  - 1.2 Проведение технологического анализа и выделение типовых технологических процессов для обработки Кэ
2. Программная реализация КТР
  - 2.1 Разработка алгоритмов
  - 2.2 Разработка языковых подпрограмм для CNC систем.

## 1. Конструкторский анализ

Как известно любой контур детали типа тел-вращения может быть описан элементарными поверхностями геометрической основой которых являются цилиндр, конус, сфера или тор. Из указанных элементарных поверхностей могут быть сформированы конструкторские элементы пригодные для задания контура детали.

В общем случае все многообразие основных форм поверхности детали можно представить как совокупность Кэ следующих типов:

- 1) Открытые Кэ - ограничивающие подвод режущего инструмента и его перемещения обеспечивающие образование поверхностей, с одной стороны.
- 2) Полуоткрытые Кэ - ограничивающие подвод режущего инструмента и его перемещения обеспечивающие образование поверхностей, с двух сторон.
- 3) Закрытые Кэ - ограничивающие подвод режущего инструмента и его перемещения обеспечивающие образование поверхностей, с трех сторон.

В зависимости от ориентации в стандартной системе координат токарного станка открытые, полуоткрытые, и закрытые Кэ можно разделить на

1. Наружные открытые Кэ (со стороны  $-Z, X, Z$ )
2. Торцовые открытые Кэ (со стороны  $-X, Z, -X$ )
3. Внутренние открытые Кэ (со стороны  $Z, -X, -Z$ )
4. Наружные полуоткрытые Кэ (со стороны  $X, Z$ )
5. Внутренние полуоткрытые Кэ (со стороны  $Z, -X$ )
6. Наружные закрытые Кэ (со стороны  $X$ )
7. Торцовые закрытые Кэ (со стороны  $Z$ )
8. Внутренние закрытые Кэ (со стороны  $-X$ )

Если произвести нумерацию точек пересечения элементарных поверхностей в следующем порядке: со стороны X от начала координат по направлению Z; со стороны -X от Z по направлению начала координат, то в общем случае можно записать характеризующие уравнения для открытых, полуоткрытых и закрытых Кэ:

Открытые Кэ:

$$\begin{aligned} X_1=X_2 & \text{ по } -Z, X, Z \\ Z_1 < Z_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_1 > X_2 & \text{ по } X, Z, -X \\ Z_1 = Z_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_1=X_2 & \text{ по } Z, -X, -Z \\ Z_1 > Z_2 \end{aligned}$$

Полуоткрытые Кэ

$$\begin{aligned} X_1 > X_2 > \dots > X_i = X_1 & \text{ по } X, Z \\ Z_1 < Z_2 < \dots < Z_i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_1 > X_2 > \dots > X_i = X_1 & \text{ по } Z, -X \\ Z_1 > Z_2 > \dots > Z_i \end{aligned}$$

2.1

Закрытые Кэ

$$\begin{aligned} X_1 > X_2 > \dots > X_i < X_{i+1} < X_{i+2} < \dots < X_k = X_1 & \text{ по } X \\ Z_1 < Z_2 < \dots < Z_k \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_1 > X_2 > \dots > X_k & \\ Z_1 > Z_2 > \dots > Z_i < Z_{i+1} < Z_{i+2} < \dots < Z_k = Z_1 & \text{ по } Z \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_1 < X_2 < \dots < X_i > X_{i+1} > X_{i+2} > \dots > X_k = X_1 & \text{ по } -X \\ Z_1 > Z_2 > \dots > Z_k \end{aligned}$$

3.1

Открытые Кэ удовлетворяющие уравнению (1.1) являются элементарными и для их обработки возможно формирование типизированных технологических решений.

Для полуоткрытых и закрытых Кэ удовлетворяющих уравнениям (1.2) и (1.3) практически невозможно формализация технологии обработки так как на основе (1.2) и (1.3) могут быть получены самые разнообразные формы закрытых и полуоткрытых Кэ.

В этой связи из полуоткрытых и закрытых Кэ выделяются полуоткрытые и закрытые ступени.

Полуоткрытая ступень - представляет собой Кэ полученный пересечением конусной поверхности с двумя цилиндрическими поверхностями, имеющая в точках пересечения окружности и удовлетворяющая уравнению (1.2).

Закрытая ступень – представляет собой Кэ полученный пересечением двух конусных поверхностей с двумя цилиндрическими/торцовыми поверхностями, имеющая в точках пересечения окружности и удовлетворяющая уравнению (1.3).

Таким образом для описания основных форм поверхностей были выделены следующие конструкторские элементы: полуоткрытая ступень – наружная, внутренняя; закрытая ступень – наружная, торцовая, внутренняя.

Следующим шагом конструкторского анализа является составление схемы параметризации сформированных Кэ. Параметры задаются в стандартной системе координат токарного станка в плоскости X,Z. Их наличие должно обеспечить возможность определения всех точек сопряжения Кэ, например цилиндра с дугой окружности, дуги окружности с конусом и т.д. Следовательно для полуоткрытой ступени получим следующую схему параметризации:

A – является точкой начала цикла и не зависит от конкретного Кэ.

Очевидно что в зависимости от задания параметров, Кэ могут иметь несколько модификации

Аналогичным образом можно рассмотреть варианты модификации и для закрытых ступеней.

Таким образом параметры условно можно разделить на основные и дополнительные.

Основным является тот минимальный набор параметров задание которых необходимо и достточно для описания Кэ по уравнению (1.2) или (1.3).

Дополнительные параметры же определяют дополнительные точки сопряжения в Кэ и тем самым являются необязательными.

Следовательно для полуоткрытых и закрытых ступеней будем иметь:

полуоткрытая ступень

п а р а м е т р ы	
основные	дополнительные
D5	R1
D6	Z1
Z5	D1
Z3	R2
	Z2
	D2
	D3

закрытая ступень

параметры	
основные	дополнительные
D5	R1
D6	Z1
Z5	D1
1	R2
	Z2
	D2
	R3
	Z3
	D3
	R4
	Z4
	D4

## 2. Технологический анализ

Целью технологического анализа является формирование типовых технологических решений для библиотеки Кэ.

В этой связи в простейшем случае типизацию решения необходимо проводить на уровне одного инструментального перехода, а в более сложном - на уровне части операции - содержащей несколько инструментальных переходов с последовательностью их выполнения.

При определении номенклатуры обрабатываемых инструментов следует выбрать наиболее часто применяемые проходные и прорезные резцы, не увеличивая тем самым количество инструментов в наладке. При этом как отмечается в работе [3] использование черновых проходных резцов с  $\alpha < 90$  усложняет подготовку программ и требует дополнительной обработки по торцам резцами с углом в плане больше  $90^\circ$ .

Поэтому для обработки полуоткрытых и закрытых ступеней были приняты следующие инструменты:

1. проходные с  $\alpha = 95^\circ$   $\beta = 5^\circ$   $\gamma = 28..30^\circ$  в правом и левом исполнении;
2. подрезные и расточные с  $\alpha = 95^\circ$  и  $\beta = 5^\circ$  /  $\gamma = 28..30^\circ$ ;
3. прорезные (канавочные).

В работе [4] приводятся возможные направления перемещения проходных, подрезных, расточных и прорезных резцов (таблица 1).

Как отмечается в работе [1] в общем случае схемы обработки открытых, полуоткрытых и закрытых зон выборки сводятся к трем схемам:

Таблица 1

Наименование	Форма рабочей части	Направления рабочих перемещений	углы в плане	
Резец проходной левый			95	5
Резец контурный левый			95	30
Резец контурный правый			95	30
Резец подрезной правый			95	5
Резец проходной расточной			95	5
Резец расточной контурный			95	30
Резец прорезной				
Резец прорезной торцовой				

Таким образом с учетом вышесказанного, а также на основе зряда методических рекомендации [4], [5], [6] и анализа производственного опыта ряда предприятия были синтезированы типовые схемы обработки для полуоткрытых и закрытых ступеней.

Рузультаты анализа с указанием используемого источника приведены в таблице 2.

Схема "зигзаг не рассматривается так как для ее реализации

необходим инструмент с  $\alpha > 90$ .

Следующим шагом технологического анализа является сравнительный анализ типовых решений с целью установления областей их наилучшего использования.

В этой связи для каждого типизированного технологического решения были определены условия применения – содержащие правила соответствия значению геометрических параметров  $K\alpha$  и инструмента, обеспечивающие работоспособность выбранной схемы.

Наименование	номер схемы по тбл.2
Полуоткрытая ступень наружная	1, 2, 3, 4, 5
Полуоткрытая ступень внутренняя	6, 7, 8, 9, 10
Закрытая ступень торцовая	14, 15
Закрытая ступень торцовая	16, 21, 23
Закрытая ступень внутренняя	26

### 3. Разработка алгоритмов

Разработка блок-схем алгоритмов для сформированных КТР-х была произведена в соответствии со следующими пунктами:

1. Оформление эскиза траектории перемещения режущего инструмента, в системе координат соответствующего конструкторского элемента.
2. Выделение опорных точек траектории и нумерация их в направлении обработки.
3. Составление таблицы координат опорных точек траектории в абсолютных координатах и в приращениях.
4. Выделение блока начала.
5. Выделение блока определения констант.
6. Выделение блока вычисления значения общих параметров.
7. Выделение блока описания перемещении инструмента по опорным точкам траекторию, приведенных в таблице. При этом, необходимо соблюдать правило: если для опорной точки  $n-1$ , значение координаты по сравнению с точкой  $n-2$  не изменилось, то ее, при описании перемещения инструмента из точки  $n-2$  в точку  $n-1$ , можно опустить.
8. Организация цикла для повторяющихся участков траектории.
  - 8.1. Выделение блока описания перемещении по повторяющемуся участку.
  - 8.2. Выделение условного блока проверки признака окончания повторяющейся части траектории.
  - 8.3. Выделение блока приращения контролируемого в условном блоке, параметра.
  - 8.4. Выделение блока вычисления шага смещения в соответствии с выбранным законом.
9. Выделение блока описания перемещения инструмента в точку на-

чала обработки.

10. Выделение блока конца.

В результате были разработаны алгоритмы на уровне блок-схем и составлены программы на языке описания блок-схем.

С Л О В А Р Ь   Т Е Х Н О Л О Г И Ч Е С К И Х   К О М А Н Д			
Лексика		С и н т а к с и с	С е м а н т и к а
идти к	1	ИМЯ (X, Z)	Движение к заданной точке с координатами (X, Z)
если	2	ИМЯ (ВЫРАЖЕНИЕ) ОПЕРАТОР	Выполнение оператора если выражение истинно
переход	3	ИМЯ (НОМЕР_МЕТКИ)	переход к оператору с меткой НОМЕР_МЕТКИ
под1	4	ИМЯ (Значение_подачи)	Включение подачи, Значение_подачи в мм/мин
под2	5	ИМЯ (Значение_подачи)	Включение подачи, Значение_подачи в мм/об
данные	6	ИМЯ (I2, I3, I4, A1, A2, A3, A4)	Запись I2, I3, I4, A1, A2, A3, A4 в формате CLDATA
быстро	7	ИМЯ	Быстрое перемещение
начало	8	ИМЯ (X, Y, Z)	Задание начальной точки движения
инструм	9	ИМЯ (NP, NK, WX, WZ)	Определение применяемого инструмента
установ	10	ИМЯ (NP)	Установка инструмента
макро	11	ИМЯ (ИМЯ_МОДУЛЯ)	Переход к модулю ИМЯ_МОДУЛЯ
махраб	12	ИМЯ	Включение максимальной рабочей подачи
пауза	13	ИМЯ (ВРЕМЯ_ВЫДЕРЖКИ)	Определение паузы в сек.
окр	14	ИМЯ (K, XC, ZC, XN, ZN, XK, ZK)	Движение по окружности, где K=1 по часовой стрелке K=-1 против часовой стрелки XC, ZC - коорд. центра окруж XN, ZN - коорд. начальн. точ XK, ZK - коорд. конечной точ
экран	15	ИМЯ (ИМЯ_ПЕРЕМЕННОЙ)	Вывод значения переменной
G91	16	ИМЯ	Относительные координаты
G90	17	ИМЯ	Абсолютные координаты

```

*****
** Многопроходная выборка полуоткрытой ступени **
**                               M O D T 5 0                               **
*****
    если (D3=0) D3=D5
    число_прох=((D3-D6)/2)/t; I=1
1:если (число_прох < I) переход (2)
    I=I+1; переход (1)
2:число_прох=I-1; если (I=1) число_прох=1

```

```

глуб=( (D3-D6)/2)/число_прох;          экран(глуб)
быстро; G90; идти к ((D3/2),Z3); BETA=90-ALFA
если (D1=0) D1=D5-2*R1
если (D2=0) D2=D6+2*R2
P1=D3/2; P10=0; P7=D5/2; P6=Z5; P8=D6/2
если (R1=0) переход (9)
P7=(D1/2)+((R1*SIN(ALFA))/TAN(ALFA)); экран(P7)
если (Z1=0) Z1=Z5
P6=Z1+R1*COS(BETA);          экран(P6)
9:если (R2 <> 0) P8=(D2/2)-((R2*SIN(ALFA))/TAN(ALFA))
экран(P8)
если (Z2=0) Z2=Z5+COS(BETA)*(R1+R2)+(P7-P8)/TAN(ALFA)
I=1; P15=Z5
5:если (I>число_прох) переход (7)
быстро; G91; идти к (-глуб-P10,0); P1=P1-глуб
если (P1< D5/2) переход (6)
8:под1(S); G90; идти к (P1,P15)
быстро; G91; идти к (1,1)
G90; идти к ((P1+1),Z3); P10=1; I=I+1
переход (5)
6:если (P1<P7) переход (3)
P4=P1-(D1/2); P3=SQRT((R1*R1)-(P4*P4)); P15=Z1+P3
переход (8)
3:если (P1<P8) переход (4)
P4=P7-P1; P3=P4/TAN(ALFA); P15=P6+P3; переход (8)
4:P2=(D2/2)-P1; P3=SQRT((R2*R2)-(P2*P2)); P15=Z2-P3
переход (8)
7:быстро ; G91; идти к (-1,0)
под1(S); G90; идти к (P1,P15)
если (R2=0) переход (11)
P5=Z2-R2*COS(BETA);          экран(P5)
окр (1,D2/2,Z2,P1,P15,P8,P5)
11:идти к (P7,P6)
если (R1=0) переход (12)
окр (-1,D1/2,Z1,P7,P6,D5/2,Z5)

```

```

*****
** Многопроходная выборка полуоткрытой ступени **
** с подчисткой **
**          М О Д Т 5 1          **
*****
число_прох=((D3-D6)/2)/t; I=1; экран(t)
1:если (число_прох < I) переход (2)
  I=I+1; переход (1)
2:число_прох=I-1; если (I=1) число_прох=1
  глуб=( (D3-D6)/2)/число_прох; экран(глуб)
  быстро; G90; идти к ((D3/2),Z3)
  P1=D3/2; P10=0; P20=D5/2
  P7=(D1/2)+((R1*SIN(ALFA))/TAN(ALFA)); экран(P7)
  P8=(D2/2)-((R2*SIN(ALFA))/TAN(ALFA)); экран(P8)
  P9=(1/SIN(ALFA))- (COS(ALFA)/TAN(ALFA)); экран(P9)
  P6=Z1+R1*P9; экран(P6)
  P5=Z2-R2*P9; экран(P5)
  I=1; P15=Z5
5:если (I>число_прох) переход (7)
  быстро; G91; идти к (-глуб-P10,0); P1=P1-глуб
  если (P1<P20) переход (6)
  под1(S); G90; идти к (P1,P15)
    идти к (глуб+P1,P15)
  быстро ; идти к ((P1+глуб),Z3); P10=глуб
  I=I+1; переход (5)
6:если (P1<P7) переход (3)
  P4=P1-(D1/2)
  P3=SQRT((R1*R1)-(P4*P4)); P15=Z1+P3
  под1(S); G90; идти к (P1,P15)
  если ((P1+глуб)>P20) переход (9)
  окр (-1,D1/2,Z1,P1,P15,P1+глуб,P15-P3); переход (10)
9:окр (-1,D1/2,Z1,P1,P15,D5/2,Z5); идти к (P1+глуб,Z5)
10:быстро ; идти к (P1+глуб,Z3); P10=глуб
  I=I+1; переход (5)
P 3:если (P1<P8) переход (7)
  P4=P7-P1; P3=P4/TAN(ALFA); P15=P6+P3
  под1(S); G90; идти к (P1,P15)
  если ((P1+глуб)>P20) переход (11)
  P3=глуб/TAN(ALFA); идти к (P1+глуб,P15-P3)
  переход (12)
11:идти к (P7,P6); P4=(P1+глуб)-D1/2;
  P4=SQRT((R1*R1)-(P4*P4)); P15=Z1+P3
  окр (1,D1/2,Z1,P7,P6,P1+глуб,P15)
12:быстро ; идти к (P1+глуб,Z3); P10=глуб
  I=I+1; переход (5)
7:счет=1

```

```

*****
*          Многопроходная выборка полуоткрытой ступени          *
*                               M O D T 5 5                               *
*****
число_прох=(Z3-Z5-NED)/t ; I=1 ;
* экран(t)
1: если (число_прох < I ) переход (2)
   I=I+1 ; переход (1)
2: число_прох=I-1 ; если (I=1) число_прох=1
   глуб=(Z3-Z5-NED)/число_прох ;
* экран(глуб)
   быстро ; G90 ; идти к ((D3/2)+NED,Z3)
   S1=(D2-D6)/2 ; ZPR1=Z2-SQRT((R2*R2)-(S1*S1))
   БЕТА=90-АЛФА
   P5=Z2-R2*COS(БЕТА) ;
* экран(P5)
   P6=Z1+R1*COS(БЕТА) ;
* экран(P6)
   S2=P5-Z2 ;
   P8=D2/2-SQRT((R2*R2)-(S2*S2)) ;
   P15=Z3 ; отскок=0 ;
* Движение влево
10: P15=P15-глуб ;
   если (P15 <= Z5) переход(11)
   идти к (D3/2+NED,P15) ; отскок=1
   если (P15 > ZPR1) переход(9)
   если (P15 > P5) переход(3)
   если (P15 > P6) переход(4)
   если (P15 > Z5) переход(5)
* Движение вниз
9: P1=D6/2+NED ; переход (8)
3: S2=Z2-P15 ; P1=D2/2-SQRT((R2*R2)-(S2*S2))+NED
   ; переход (8)
4: P1=P8+(P5-P15)*TAN(АЛФА)+NED ;
   переход (8)
5: S2=Z1-P15 ; P1=D1/2+SQRT((R1*R1)-(S2*S2))+NED
8: под1(S) ; G90 ; идти к (P1,P15) ;
   быстро ; G91 ; идти к (отскок,отскок)
   G90 ; идти к (D3/2+NED,P15+отскок)
   переход(10)
11: под1(S) ; идти к (D5/2,Z5)
   P7=D1/2+SQRT((R1*R1)-((P6-Z1)*(P6-Z1)))
* экран(P7)
   если (R1 > 0 ) окр(1,D1/2,Z1,D5/2,Z5,P7,P6)
   идти к (P8,P5)
   если (R2 > 0 ) окр(-1,D2/2,Z2,P8,P5,D6/2,ZPR1)
   идти к (D6/2,Z3)

```

```

*****
*          Многопроходная выборка полуоткрытой ступени          *
*                               М О Д Т 5 6                               *
*****
S2=SQRT((D1/2-D2/2)*(D1/2-D2/2)+(Z1-Z2)*(Z1-Z2))
экрaн(S2)
если (S2 <> R1+R2)   S1=ATAN((R1+R2)/SQRT(S2*S2-(R1+R2)*(R1+R2)))
если (S2 = R1+R2)   S1=90
экрaн(S1)
A=ATAN((D1/2-D2/2)/(Z2-Z1)) ; экрaн(A)
BETA=90-(S1+A)
если (BETA >= 90)   переход(12)
число_прох=(Z3-Z5-NED)/t ; I=1 ;
экрaн(BETA)
1:  если (число_прох < I ) переход (2)
    I=I+1 ; переход (1)
2:  число_прох=I-1 ; если (I=1) число_прох=1
    глуб=(Z3-Z5-NED)/число_прох ;
    быстро ; G90 ; идти к ((D3/2)+NED,Z3)
    S1=(D2-D6)/2 ; ZPR1=Z2-SQRT((R2*R2)-(S1*S1))
    P5=Z2-R2*COS(BETA) ;
    P6=Z1+R1*COS(BETA) ;
    S1=(D5-D1)/2 ; ZPR2=Z1+SQRT(R1*R1-S1*S1)
    P8=D2/2-SQRT((R2*R2)-(P5-Z2)*(P5-Z2))
    P15=Z3 ;экрaн(P8)
*      Движение влево
10: P15=P15-глуб ;
    если (P15 < Z5) переход(11)
    идти к (D3/2+NED,P15)
    если (P15 > ZPR1) переход(9)
    если (P15 > P5)   переход(3)
    если (P15 > P6)   переход(4)
    если (P15 > ZPR2) переход(5)
                        переход(6)
*      Движение вниз
9:  P1=D6/2+NED ; переход (8)
3:  P1=D2/2-SQRT((R2*R2)-(Z2-P15)*(Z2-P15))+NED ; переход (8)
4:  P1=P8+(P5-P15)*TAN(90-BETA)+NED ; переход (8)
5:  P1=D1/2+SQRT((R1*R1)-(Z1-P15)*(Z1-P15))+NED ; переход (8)
6:  P1=D5/2+NED
8:  под1(S) ; G90 ; идти к (P1,P15) ;
*      Подчистка контура
*      P155 : текущая коорд. движения резца к Z
*      P55 : коорд. по Z положения резца
P55=P15
если (P55 > ZPR2) переход (14)
P155=P15+глуб
если (P155 > ZPR2) P155=ZPR2
идти к (D5/2,P155) ; P55=P155
14: если (P55 > P6) переход (15)
    если (P15+глуб <=ZPR2) переход(15)
        P155=P15+глуб
        если (P155 > P6) P155=P6
        P7=D1/2+SQRT(R1*R1-(Z1-P55)*(Z1-P55))
        P1=D1/2+SQRT(R1*R1-(Z1-P155)*(Z1-P155))
        окр(1,D1/2,Z1,P7,P55,P1,P155) ; P55=P155

```

```

15: если (P55 > P5)          переход (16)
    если (P15+глуб <=P6) переход (16)
        P155=P15+глуб
        если (P155 > P5) P155=P5
        P1=P8+(P5-P155)*TAN(90-БЕТА)
        идти к (P1,P155) ; P55=P155
16: если (P55 > ZPR1) переход (17)
    если (P15+глуб <= P5) переход(17)
        P155=P15+глуб
        если (P155 > ZPR1) P155=ZPR1
        P7=D2/2-SQRT(R2*R2-(Z2-P55)*(Z2-P55))
        P1=D2/2-SQRT(R2*R2-(Z2-P155)*(Z2-P155))
        окр(-1,D2/2,Z2,P7,P55,P1,P155) ; P55=P155
17: если (P15+глуб < ZPR1) переход (18)
    идти к (D6/2,P15+глуб)
18: быстро ; идти к (D3/2+NED,P15+глуб)
    переход(10)
11: под1(S) ; идти к (D5/2,Z5) ; идти к (D5/2,ZPR2)
    P7=D1/2+SQRT((R1*R1)-((P6-Z1)*(P6-Z1)))
*   экран(P7)
    если (R1 > 0 ) окр(1,D1/2,Z1,D5/2,ZPR2,P7,P6)
    идти к (P8,P5)
    если (R2 > 0 ) окр(-1,D2/2,Z2,P8,P5,D6/2,ZPR1)
    идти к (D6/2,Z3)
12: s=1

```

```

*****
*      МНОГОПРОХОДНАЯ ВЫБОРКА ЗАКРЫТОЙ СТУПЕНИ
*      (ТОРЦЕВОЙ)
*      MODT80
*****
G90; быстро;
X=D3/2+B;
идти к (X,Z5); под1(S);
1: идти к (X,Z6); быстро;
идти к (X,Z5); идти к (X+B,Z5); под1(S);
экран(цикл1)
X=X+B; P1=D3/2+L;
если (X<P1) переход (1);
идти к (D2/2,Z5);
идти к (D2/2,Z6); быстро;
идти к (D2/2,Z5); под1(S);
XK1=D2/2; ZK1=Z6; X=D2/2+B;
2: n=1; A=R2*(1-cos(arcsin((n*B)/R2)));
идти к (X,Z6+A);
окр(-1,D2/2,Z2,X,Z6+A,XK1,ZK1);
n=n+1; XK1=X; ZK1=Z6+A;
X=X+B; быстро;
идти к (X-B,Z5); под1(S); P2=D2/2+R2*sin(alfa)
экран(цикл2)
если (X-B<P2) переход (2);
Zнед=B/sin(90-alfa);
Z=Z6+A+Zнед; быстро;
3: идти к (X+B,Z5); под1(S);
идти к (X+B,Z6+Z);
идти к (X,Z6+Z+Zнед); быстро;
идти к (X+B,Z5); под1(S);
Z=Z+Zнед; X=X+B; P3=D-R1*sin(90-alfa)
экран(цикл3)
если (X<P3) переход (3)
конец=1

```

#### 4. Разработка подпрограмм для системы CNC MC 2106

Для получения языковой программы, предназначенной для ввода и хранения в устройствах ЧПУ класса CNC, необходимо произвести поблочную трансляцию составленной блок-схемы с учетом принятых синтаксических и семантических правил языка.

В начале устанавливается соответствие между параметрами используемыми в блок-схеме и формальными переменными CNC системы. Переменная в языке PLC задается: # { номер переменной }; где # - признак номера переменной.

Приняты следующие типы переменных:

- локальные #1 - #16 - для передачи значений буквенных адресов из управляющей программы в подпрограммы. При этом:

\Ш1.

A - # 1	J - # 9
B - # 2	K - # 10
C - # 3	Q - # 11
D - # 4	R - # 12
E - # 5	S - # 13
F - # 6	T - # 14
H - # 7	U - # 15
I - # 8	V - # 16

- глобальные #101 - #161 - для общего пользования и др.

Составляется таблица соответствия между параметрами Кэ и локальными параметрами а также между вычисляемыми параметрами и глобальными параметрами.

Производится записать операции описанных в блоке определения констант на языке PLC с учетом следующего:

Програм. операция	Выполнение	Результат
# 100 = 10.78	# 100 + 10.78	#100 = 10.78
# 85 = 5.	# 85 + 5.	# 85 = 5.

Оформляются операции описанные в блоках вычисления параметров на языке PLC. При этом имеются следующие возможности:

Программируемая операция	Выполнение
#100 = #101 + #102	#100 = #100 + #102
#100 = #105 - #104	#100 = #105 - #104
#100 = #102 * #103	#100 = #102 x #103
#110 = #120 / #105	#110 = #102 : #105
#110 = ABS [#115]	#110 =  #115
#100 = SQRTA [#102]	#100 = #102
#100 = SQRTS [#101,#102]	#100 = (#101) + (#102)
#100 = OTN [#110,#111,#112]	#100 = $\frac{\#110 \times \#111}{\#112}$
#102=#100+#105-#101/#110*#115	#102 = #100 + #105 #102 = #102 - #101 #102 = #102 : #110 #102 = #102 x #115

Существующие ограничения:

- 1) С целью сохранения значения дробной части, все результаты арифметического выражения перед присвоением умножить на 10 ;
  - 2) в тригонометрических функциях углы задавать как 10 ;
- Записываются операции описанные в блоках перемещения инструмента на языке PLC.

G00 - перемещение на быстром ходу

G90 - абсолютные размеры

G91 - размеры в приращениях

\Ш1.0

Програм. операция	Результат
X #102	X = #102
Z #120	Z = #120

\Ш2.0

Для повторяющихся участков траектории записывается содержимое условных блоков при помощи операторов перехода. Для языка PLC:

GO TO {номер кадра} - безусловный переход

IF [логическое выражение] GO TO {номер кадра} - переход при выполнении условия.

где в логическом выражении могут быть следующие условия:

EQ - равно

NE - не равно

GT - больше

GE - больше или равно  
LE - меньше или равно  
LT - меньше

Кроме того имеется возможность организации цикла при помо-

щи оператора цикла:

```
WHILE [{логическое выражение}] DO
  {группа операторов}
END
```

Записывается признак конца подпрограммы. Для языка PLC : G70.

```
#121=[#10-#14]/2
#121=[#121/#16]*1000
#112=1000
N01 IF [#121 LT #112] GOTO 2
#112=#112+1000
GOTO 1
N02 #121=#112-1000
IF [#112 NE 1000] GOTO 13
#121=1000
N13 #121=#121/1000
#111=[[#10-#14]/2]/#121
#101=#10/2
G00 G90 X#101 Z#11
#109=90000-#15
IF [#1 NE 0] GOTO 17
#1=#12-2*#8
N17 #110=0
#107=#12/2
#106=#13
#108=#14/2
IF [#6 EQ 0] GOTO 15
#6=COS[#109]*[#8+#9]+#13
IF [#15 EQ 90000] GOTO 15
#6=#6+[#107-#108]/TAN[#15]
#131=#6
N15 IF [#8 EQ 0] GOTO 9
#107=#1/2+#8*COS[#15]
IF [#3 NE 0] GOTO 14
#3=#13
N14 #106=#3+#8*COS[#109]
N09 IF [#9 EQ 0] GOTO 10
#108=#5/2-#9*COS[#15]
N10 #112=1
#115=#13
N05 IF [#112 GT #121] GOTO 7
G00 G91 X[-#111-#110]
#101=#101-#111
IF [#101 LT [#12/2]] GOTO 6
N08 G01 G90 Z#115
G00 G91 X1000 Z1000
G90 Z#11
#110=1000
#112=#112+1
```

```

GOTO 5
N06 IF [#101 LT #107] GOTO 3
#104=#101-#1/2
#103=SQRT[[#8*#8]-[#104*#104]]
#115=#3+#103
GOTO 8
N03 IF [#101 LT #108] GOTO 4
#104=#107-#101
#103=0
IF [#15 EQ 90000] GOTO 16
#103=#104/TAN[#15]
N16 #115=#106+#103
GOTO 8
N04 #102=#5/2-#101
#103=SQRT[[#9*#9]-[#102*#102]]
#115=#6-#103
GOTO 8
N07 G00 G91 X-1000
G01 G90 Z#115
IF [#9 EQ 0] GOTO 11
#105=#6-#9*COS[#109]
G18 G02 X#108 Z#105 R#9
N11 X#107 Z#106
IF [#8 EQ 0] GOTO 12
G18 G03 X[#12/2] Z#13 R#8
N12 G70

```

#### Замечания к языку PLC - MC 2106

1. Отсутствие встроенных функции таких как

	аналоги в Sinumerik 3tt
Вычисление точки сопряжения	@22 / @21
Загрузка/чтение системного ЗУ	@29
Загрузка адресных параметров	@20

а также адресных параметров @90,@91,@92,@93

- обуславливает невозможность составления циклов многопроходных выборок произвольно заданных контуров таких как циклы L95 и L950 в системе Sinumerik 3tt/8t

2. Отсутствует функция возведения в произвольной степени

3. Недостаточно количество локальных параметров

4. Отсутствие возможности реализовывать функцию присвоения действительных чисел создают существенные неудобства при составлении подпрограмм, увеличивает объем п/п и пр.

Таблица 1

К Э	Цикл	Инструмент	С Х Е М А	Параметры			
				чертеж	мк.выз.	П/П	
	G64 многопроход- ный черновой цикл обрабо- тки полуо- ткрытой сту- пени в про- дольном на- правлений			D1	A	# 1	
				Z1	C	# 3	
				D2	E	# 5	
				Z2	F	# 6	
				R1	I	# 8	
				R2	J	# 9	
	G65 многопроход- ный черновой цикл обрабо- тки полуо- ткрытой сту- пени в попе- речном на- правлений				D3	K	#10
					Z3	Q	#11
					D5	R	#12
					Z5	S	#13
					D6	T	#14
						U	#15
					t	V	#16
					[P ]	B	# 2
					Sp	D	# 4
					HB	G	# 7

\* параметры D1, Z1, D2, Z2 -задают координаты центра окружности

## Л и т е р а т у р а

- 1.Дерябин А.Л. Программирование технологических процессов для станков с ЧПУ/М.: 1984 с.222
- 2.Руководство по программированию системы Sinumerik 3Т.
- 3.Эстерзон М.А., Дерябин А.Л. Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ и в ГПС/М.: 1989 с.288
- 4.Косилова А.Г.,Мещерякова Р.К. Справочник технолога машиностроителя/М.: 1985 т.1 с.655
- 5.Операционная технология обработки деталей общемашиностроительного применения на токарных станках с ЧПУ /Рекомендации ЭНИМС/Москва 1974 с.74
- 6.Эстерзон М.А. Технология обработки на станках с программным управлением/М.: НИИМАШ 1974 с.152