

---

# АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

---

УДК 681.5:004.415.25

Л.И. Мартинова, С.Ю. Цай  
L.I. Martinova, S.Yu. Tsay

## РАЗРАБОТКА ПОСТОЯННЫХ ЦИКЛОВ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

## THE DEVELOPMENT OF CANNED TURNING CYCLES

*Обосновывается необходимость и изложена методика создания постоянных циклов для систем ЧПУ. Представлена разработка цикла токарной обработки поверхностей типа выточек; определены ключевые моменты, приведены примеры реализации цикла в системе ЧПУ «АксиОМА Контрол».*

*The necessity is justified and the method of creating canned cycles for CNC systems is described. The development of the canned cycle of turning surfaces of the type of the groove is presented; the key points are identified, examples of the implementation of the canned cycle in the CNC system «AxiOMA Control» are given.*

**Ключевые слова:** система ЧПУ, постоянные циклы, параметрические программы, циклы точения.

**Keywords:** CNC system, canned cycles, parametric programs, turning cycles.

### Введение

Одной из ключевых тенденций развития современных систем ЧПУ, является расширение функциональных возможностей, упрощающих процесс программирования [1]. Растущий промышленный спрос на детали сложной формы стимулирует разработчиков и производителей выпускать системы ЧПУ со встроенными наборами циклов, реализующих технологические переходы.

В разных системах ЧПУ наборы постоянных циклов различаются, но наиболее широко распространены циклы обработки отверстий, нарезания резьбы, циклов контурного точения и фрезерования, а также циклы обработки элементарных поверхностей типа фасок, канавок и др. [2].

Использование циклов дает ряд преимуществ при программировании систем ЧПУ [3, 4], которые связаны с такими факторами, как

- уменьшение размера управляющей программы, поскольку часть кода содержится в структуре цикла, а в главной программе записывается только код вызова цикла с указанием геометрических параметров обрабатываемого элемента детали;
- простота программирования обработки — программисту не нужно продумывать логику и вы-

полнять расчеты для реализации технологического перехода, поскольку это заложено в цикле.

На современном рынке систем ЧПУ лидирующие места среди производителей высокотехнологических систем управления занимают фирмы Siemens, Fagor, Fanuc [5]. Их системы ЧПУ располагают наборами постоянных циклов, но пользователи системы ЧПУ часто сталкиваются с тем, что этих наборов недостаточно для программирования обработки сложных деталей [6], либо предлагаемые циклы не обеспечивают технические требования, заданные чертежом конкретной детали, что отражено знаками «-» в таблице 1. Поэтому пользователю необходимо либо запрограммировать обработку «вручную» (если данный вид конструктивного элемента встречается не часто среди деталей номенклатуры), либо заказывать у производителей систем ЧПУ разработку необходимых циклов, что связано с дополнительными финансовыми затратами.

Так, в системах ЧПУ FAGOR и FANUC (табл. 1) пользователь ограничен в возможностях использования цикла ввиду отсутствия определенных параметров. Данные циклы позволяют получать только канавки, которые являются частным случаем выточек. В то время как в системе ЧПУ SINUMERIK можно

Таблица 1. Анализ циклов систем ЧПУ разных производителей

Система ЧПУ	Параметры выточки					
	Глубина	Ширина	Внутренние радиусы	Внешние радиусы	Углы наклона боковых сторон	Плоскость интерполяции
SINUMERIK	+	+	+	+	+	XZ
FAGOR	+	+	-	-	-	XZ
FANUC	+	+	-	-	-	XZ

выточку различной конфигурации и исполнения, в том числе и канавку.

Таким образом, даже популярные системы ЧПУ далеко не всегда обладают необходимым пользователю набором постоянных циклов [7, 8], и далеко не всегда они предоставляют пользователю создавать свои постоянные циклы. Система ЧПУ «АксиОМА Контроль», являясь открытой масштабируемой системой, позволяет создавать собственные постоянные циклы в виде параметрических программ, которые могут пополнять библиотеку циклов.

#### Анализ токарных циклов точения выточек и канавок

«Выточки» или «канавки» — это сочетание поверхностей конструктивного или технологического назначения. Они имеют ограниченный набор геометрических параметров, основные из которых, в частности, приведены в таблице 2, и их обработка реализуется несколькими стратегиями (табл. 3). При этом имеет смысл использовать постоянные параметризованные циклы для программирования такого вида обработки.

Таблица 2. Конструктивный анализ элементов типа «выточка»

Изображение	Параметры
	<p><math>R, R_1</math> — радиус/фаска  <math>f</math> — ширина выточки  <math>d</math> — диаметр тела вращения  <math>d_f</math> — наружная резьба</p>
	<p><math>R, R_1</math> — радиус/фаска  <math>f</math> — ширина  <math>d</math> — диаметр тела вращения  <math>d_f</math> — внутренняя резьба</p>
	<p><math>R, R_1</math> — радиус/фаска  <math>f</math> — ширина  <math>d_f</math> — наружная резьба</p>

Таблица 3. Анализ стратегий обработки выточек

Стратегия обработки	Применение	Изображение
Многokrатное врезание	Для глубоких и широких выточек (глубина больше ширины)	
Плунжерное точение	Для широких и неглубоких выточек (ширина больше глубины)	
Врезание под углом вразгонку	Для широких выточек	

**Разработка цикла точения наружной выточки**

Цикл может быть написан либо в строке управляющей программы, либо через диалоговое окно системы ЧПУ. Параметры цикла записываются в строго определенной последовательности [3].

В общем случае создание токарного цикла включает несколько этапов:

- определение геометрических параметров цикла;
- разработка алгоритма работы цикла;
- программная реализация цикла и тестирование.

В качестве примера, рассмотрим процесс создания токарного цикла точения выточки.

Выточка, представленная выше, будет характеризоваться следующими геометрическими параметрами:

width — ширина выточки, которая позволит задать ее форму; depth — глубина выточки, которая позволит задать ее форму; ang1, ang2 — углы наклона боковых сторон выточки, позволяющие описать несимметричность выточки; rad1, rad2 — радиусы выточки, позволяющие изменять форму выточки; or\_start, ab\_start — координаты начальной точки, из которой начинается работа цикла.

Блок-схема алгоритма работы цикла представлена на рис. 2.

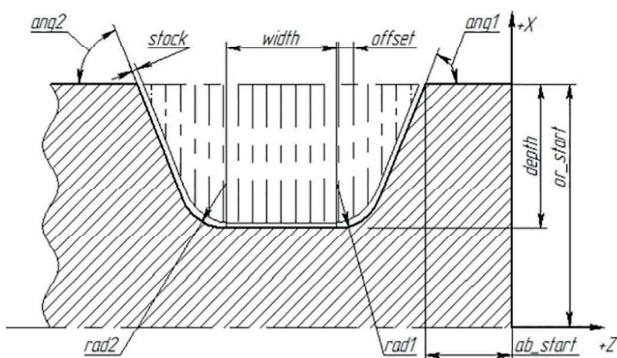


Рис. 1 — Пользовательские параметры разрабатываемого цикла

При использовании цикла пользователю требуется ввести основные геометрические параметры выточки и технологические параметры процесса обработки для правильного функционирования цикла. После ввода всех требующихся параметров система производит расчет внутренних переменных, из которых и образуются траектории движения, позволяющие правильно работать циклу. После проведения расчетов в шпиндель станка устанавливается выбранный пользователем инструмент, и начинается черновая обработка.

Стратегия обработки включает в себя следующие действия: инструмент перемещается на определенный

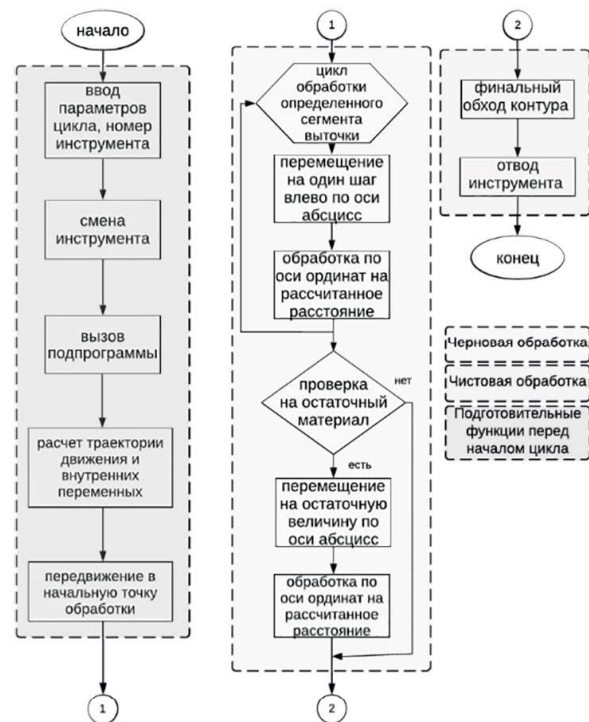


Рис. 2 — Алгоритм работы цикла точения наружной выточки

шаг, равный его ширине; после перемещения влево, резец опускается; осуществляя снятие материала на глубину, рассчитанную в соответствии с введенными оператором данными, что определяется кодом:

```
for (ii=1; ii<=steps_for_fall; ii++)
{
G00 AXSTR(sGAx) = - offset          (1)
G01 AXSTR(sFAx) = - (offset*ii*tan(ang1) - stock)
G01 AXSTR(sFAx) = (offset*ii*tan(ang1) - stock)
}
```

где  $offset$  — сдвиг по оси  $z$ ,  $ang1$  — угол наклона боковой стороны,  $stock$  — припуск на чистовую обработку.

После прохождения всей ширины выточки завершается черновая обработка. Инструмент возвращается в точку начала цикла с учетом безопасного расстояния для осуществления чистового прохода:

```
G01 AXSTR(sFAx)=-(depth-or_r1) AXSTR(sGAx)=
-((depth-or_r1)/tan(ang1))
G02 AXSTR(sFAx)=or_r1 AXSTR(sGAx)=
-(hypo1+ab_r1) R=rad1
G01 AXSTR(sGAx)=-(width)          (2)
G02 AXSTR(sFAx)=or_r2 AXSTR(sGAx)=
-(hypo2+ab_r2)
R=rad2
G01 AXSTR(sFAx)=(depth-or_r2) AXSTR(sGAx)=
-((depth-or_r2)/tan(ang2))
```

где  $depth$  — глубина,  $ang1$  и  $ang2$  — углы наклона боковой стенки,  $rad1$  и  $rad2$  — радиус скруглений.

Цикл завершается отводом инструмента и сбросом всех модальных функций [6]. На рисунке 3 представлена эмуляция выполнения цикла.

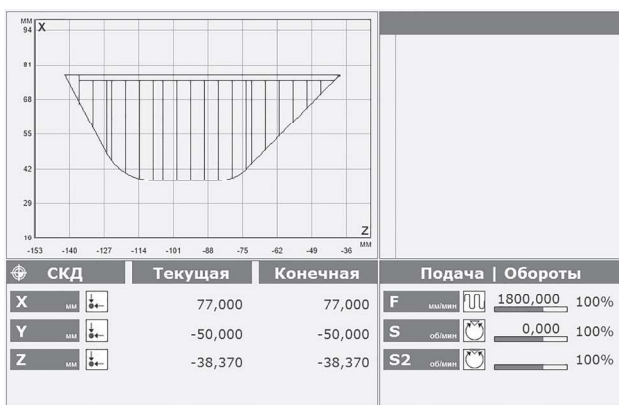


Рис. 3 — Результат работы цикла

### Заключение

Постоянные циклы являются важным атрибутом современных систем ЧПУ, позволяющим с высокой

эффективностью использовать ресурсы систем ЧПУ, сокращая время технологической подготовки и разработки управляющих программ. На примере поверхностей типа выточек продемонстрировано, как на основе конструктивно-технологического анализа выявляются параметры и формируется стратегия реализации постоянного цикла. Использование постоянных циклов при разработке управляющих программ значительно упрощает и сокращает длительность процесса программирования.

### Библиографический список

1. **Мартинов Г.М., Пушков Р.Л.** Построение инструментария отладки управляющих программ систем ЧПУ на языках высокого уровня // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. № 11. С. 19–24.
2. **Martinov, G., Kozak, N. and Nezhmetdinov, R.** (2018). Approach in Implementing of Logical Task for Numerical Control on Basis of Concept “Industry 4.0”. 2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). <https://doi.org/10.1109/ICIEAM.2018.8728584>
3. **Roman Pushkov, Evgeniy Salamatin, Svetlana Evstafieva** (2018). Method of developing parametric machine cycles for modern CNC systems using high-level language. In: MATEC Web Conf. Volume 224, 2018. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018). Sevastopol, Russia, September 10–14, 2018. pp.1–7 <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822401116>
4. **Мартинова Л.И., Мартинов Г.М.** Мировые тренды, возможности и перспективы развития систем ЧПУ станочного оборудования // СТИН, № 7. 2019. с. 28–31.
5. **Мартинова Л.И., Фокин Н.Н.** Подход к созданию унифицированной системы программирования токарно-фрезерных станков с ЧПУ в диалоговом режиме // Автоматизация в промышленности, № 5. 2019. с. 14–17.
6. **Цай, С.Ю.** Разработка параметрического цикла обработки поверхностей типа «выточка» для системы ЧПУ «АксиОМА Контрол» / Цай С.Ю., Мартинова Л.И. // Материалы студенческой научно-практической конференции «Автоматизация и информационные технологии (АИТ–2020)». Том 4: Сборник докладов института автоматизации и робототехники. — М.: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2020. — 281 с.
7. **Мартинова Л.И., Фокин Н.Н.** Подход к созданию унифицированной системы программирования токарно-фрезерных станков с ЧПУ в диалоговом режиме // Автоматизация в промышленности, № 5. 2019. с. 14–17
8. **Пушков Р.Л., Саламатин Е.В., Евстафиева С.В.** Практические аспекты применения языка высокого уровня в системе ЧПУ для реализации групповой обработки // Автоматизация в промышленности, № 5. 2018. с. 31–34.

**Мартинова Лилия Ивановна** – канд. техн. наук, доц. кафедры компьютерных систем управления  
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»  
*edu.l.martinova@gmail.com*

**Цай Светлана Юрьевна** – магистрант кафедры компьютерных систем управления  
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»  
*svetlanatsay@mail.ru*

**Martinova Lilia Ivanovna** – Candidate of Technical Sciences Associate Professor of the Department of Computer Control Systems of MSUT «STANKIN»  
*edu.l.martinova@gmail.com*

**Tsay Svetlana Yurievna** – Master’s student of the Department of Computer Control Systems of MSUT «STANKIN»  
*svetlanatsay@mail.ru*

---

---