

Системы автоматизированного контроля деталей и диагностики состояния режущих инструментов для станков с ЧПУ. Программное обеспечение циклов измерения и технологического управления

Сурков И.В.
Суркова А.И.
Буртовой В.М.

Одним из основных требований к деталям машиностроения является необходимость высокой точности их геометрических размеров, обеспечивающей надежность и долговечность работы механизмов и машин. Высокая точность геометрических размеров деталей определяет возможность их взаимозаменяемости, позволяющей существенно снизить затраты при сборке, ремонте и эксплуатации механизмов и машин. Один из способов решения этой задачи – контроль обрабатываемой детали и режущего инструмента непосредственно в процессе обработки или сразу после него и управление станком по результатам этого контроля («активный контроль»). Но технологическая подготовка производства и организация надежной работы станков с ЧПУ – трудоемкая задача, которая зависит от опыта и квалификации оператора, который следит за работой станка и процессом резания по заданной программе. Кроме того, известно, что на долю режущих инструментов приходится более половины общего количества отказов работы, следовательно, необходимо проводить контроль состояния инструмента.

Актуальной является проблема облегчения работы оператора и сокращения времени проведения контроля детали и режущего инструмента на станках с ЧПУ токарной и СФР группы.

Самым распространенным способом решения проблемы контроля на станках токарной и СФР группы является использование средств для ручной настройки станков с ЧПУ. Но этот метод имеет ряд серьезных недостатков: возникает необходимость использования ручных средств наладки; кроме того, оказывает влияние «человеческий» фактор, требуется высокая квалификация оператора станка.



Рис. 1 - Использование мерной плитки при настройке вылета инструмента



Рис. 2 - Использование обкатчика для поиска центра отверстия

Но т.к. совершенствование металлорежущих станков направлено на рационализацию производства, а современные станки должны удовлетворять качественно новым потребностям промышленности, то возникает потребность в системах автоматизированного контроля.

Измерения в рабочей зоне позволяют уточнять наиболее важные размеры детали, выполнять в случае необходимости коррекцию управляющей программы, выявлять бракованные детали с целью исключения их из дальнейшей обработки, регулировать или заменять изношенный режущий инструмент.

Контактные измерения позволяют отказаться от использования дорогостоящих зажимных приспособлений и длительной процедуры выставления заготовки относительно осей станка вручную с помощью циферблатных индикаторов. Использование измерительных датчиков, установленных в револьверную головку токарного станка или на СФР, дает следующие преимущества:

- уменьшение времени простоя станка
- автоматизацию крепления заготовки, ее выравнивания по отношению к осям станка (коррекция «нуля детали»)
- отсутствие ошибок, связанных с неточными действиями оператора
- снижение доли брака
- повышение производительности и универсальность по отношению к объему серии обрабатываемых деталей.



Рис. 3 - Контроль детали на станке

Области применения: наладка и диагностика состояния инструмента, коррекция погрешности установки заготовки и измерение детали.

Обычно датчик для наладки инструмента не может постоянно находиться внутри рабочего объема станка, поскольку, как правило, это мешает нормальному выполнению рабочих операций. Специалисты Renishaw разработали серию рук (кронштейнов) для наладки инструмента, которые подводят датчик вплотную к обрабатываемому инструменту для выполнения измерений. Renishaw выпускает как ручные, так и полностью автоматические системы для наладки инструмента.

Управление вводом датчика в рабочую зону с помощью автоматической руки осуществляется программными средствами, в то время как перемещение датчика в рабочую зону станка и обратно с помощью неавтоматической руки выполняется вручную.

Все руки для наладки инструмента, как автоматические, так и неавтоматические, обеспечивают привод датчика в заданную точку с высокой повторяемой точностью.

В СССР аналогичные Renishaw датчики выпускались Ленинградским Инструментальным Заводом, ныне Измероном, до 1990г. В малых количествах опытные экземпляры делали в ЮУрГУ на кафедре «Технология Машиностроения». Достоинством этих датчиков были отработанная технология и полная техническая документация; к недостаткам следует отнести большие габариты, устаревшую электронную базу, невысокую надежность срабатывания из-за износа механических частей внутри головки. Таким образом, возникли следующие задачи:

1. Разработать конструкцию, изготовить опытный образец малогабаритной измерительной головки, оснастки и приспособления для установки измерительной головки на различных моделях российских станков с ЧПУ токарной и СФР группы.
2. Провести компьютерное моделирование, разработать математическое, метрологическое и алгоритмическое обеспечение измерительных циклов для российских СЧПУ.
3. Разработать программное обеспечение.
4. Экспериментальное исследование точности измерительной системы и проверка эффективности разрабатываемой системы программного обеспечения при опытной эксплуатации.

1.1. Датчик контакта для токарного станка.

Разработана новая конструкция малогабаритной измерительной головки, установленная на токарно-револьверный станок с ЧПУ 1В340Ф3, а так же специальная оснастка для установки датчика на токарно-револьверный станок с ЧПУ 1В340Ф3.

Измерительная головка является трёхкоординатным устройством с электроконтактным преобразователем. Головка снабжена измерительным стержнем, на конце которого укреплен контактный наконечник. Контактный наконечник, используемый для контроля размеров деталей, имеет форму шарика, изготовленного из твёрдого сплава. Приёмо-передающие

устройства служат для электрической связи головки касания с блоком управления.

Измерительная головка функционирует следующим образом: при касании наконечником головки ошупываемой поверхности происходит разрыв электронной цепи электроконтактного датчика головки, механически связанного с наконечником. При отрыве наконечника от ошупываемой поверхности происходит замыкание электрической цепи электроконтактного датчика головки. Электроконтактный датчик выполнен таким образом, что отклонение наконечника по любой из трёх координат вызывает размыкание его электрической цепи, а возвращение в исходное положение – ее замыкание.

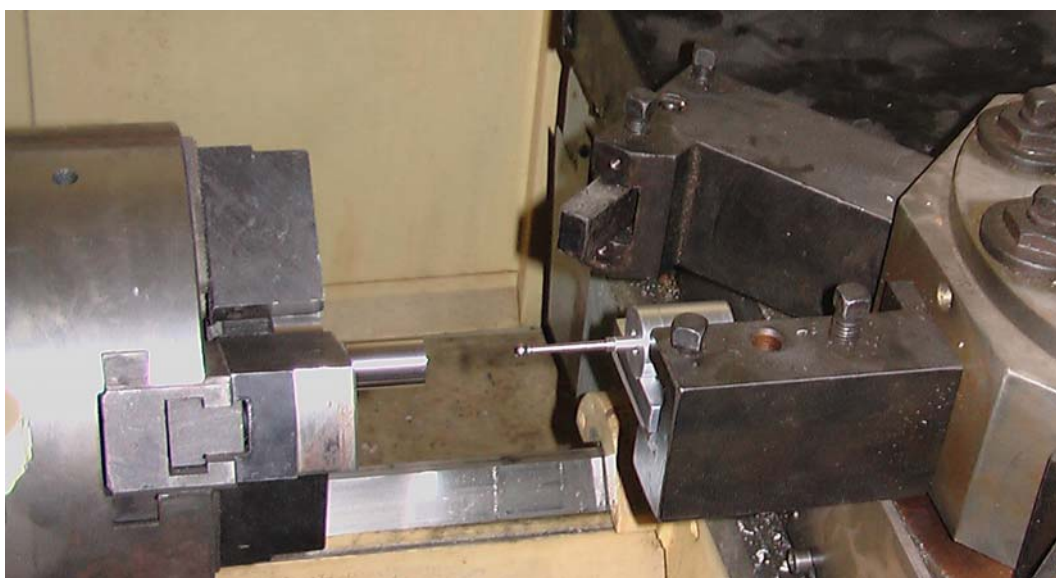


Рис. 4 – Датчик контакта, установленный в револьверную головку на токарном станке 1В340

Основная особенность заключается в необходимости применения платы преобразования состояния контакта головки измерительной в электрические сигналы. Эти сигналы передаются в систему ЧПУ через специальное устройство, выполненное либо в виде отдельного блока, либо в виде интерфейсной платы непосредственно в схеме ЧПУ.

Используются три способа связи: с помощью кабеля (рис. 3.1.), инфракрасного оптического бесконтактного устройства (рис.3.2.) и радиочастотного устройства (рис. 3.3.). Кабелем соединяют головки, которые установлены неподвижно на станине станка или на специальном подводящем или быстроразъемном устройстве.

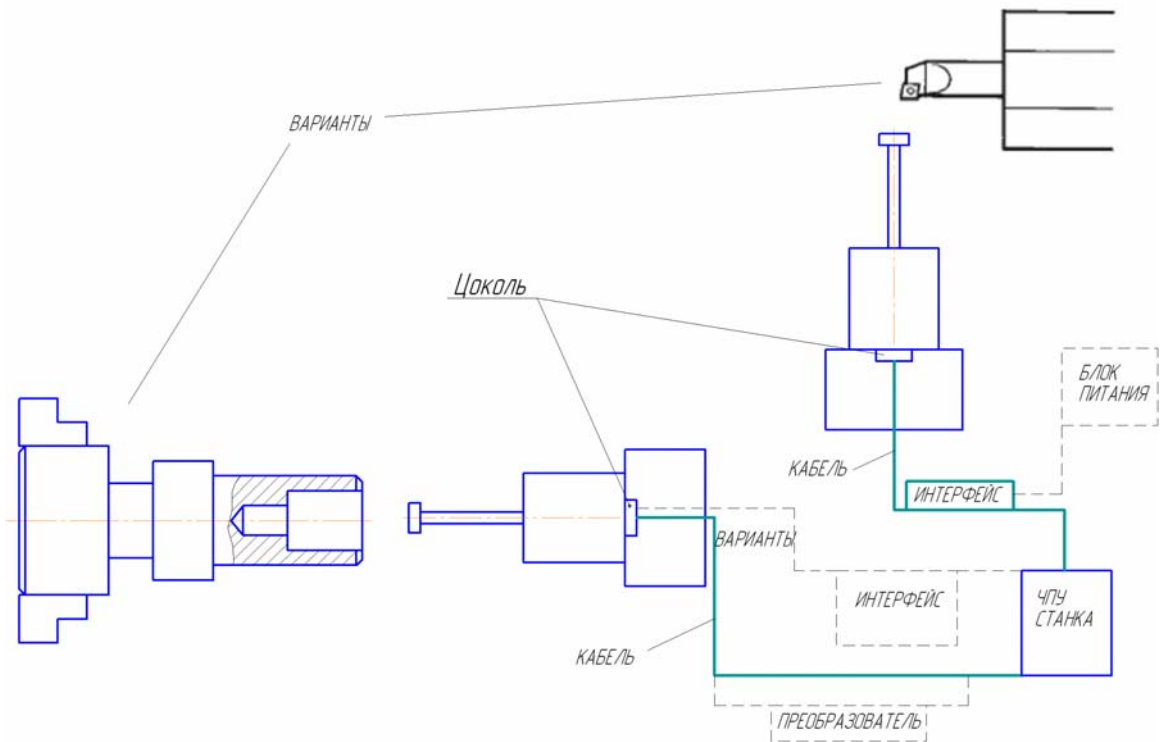


Рис. 5 – Кабельная передача сигнала

Оптическая связь (рис. 3.2.) осуществляется с помощью инфракрасных свето- и фотодиодов. На измерительной головке установлены один фотодиод для приёма сигнала включения и несколько светодиодов для передачи управляющих сигналов. Измерительная головка имеет встроенный источник автономного питания. Преимущество оптической связи – в большом расстоянии между головкой и приёмником. Блок управления осуществляет питание электроконтактного преобразователя, приёмно-передающего устройства, приём, индикацию и передачу в систему ЧПУ сигналов измерительной головки.

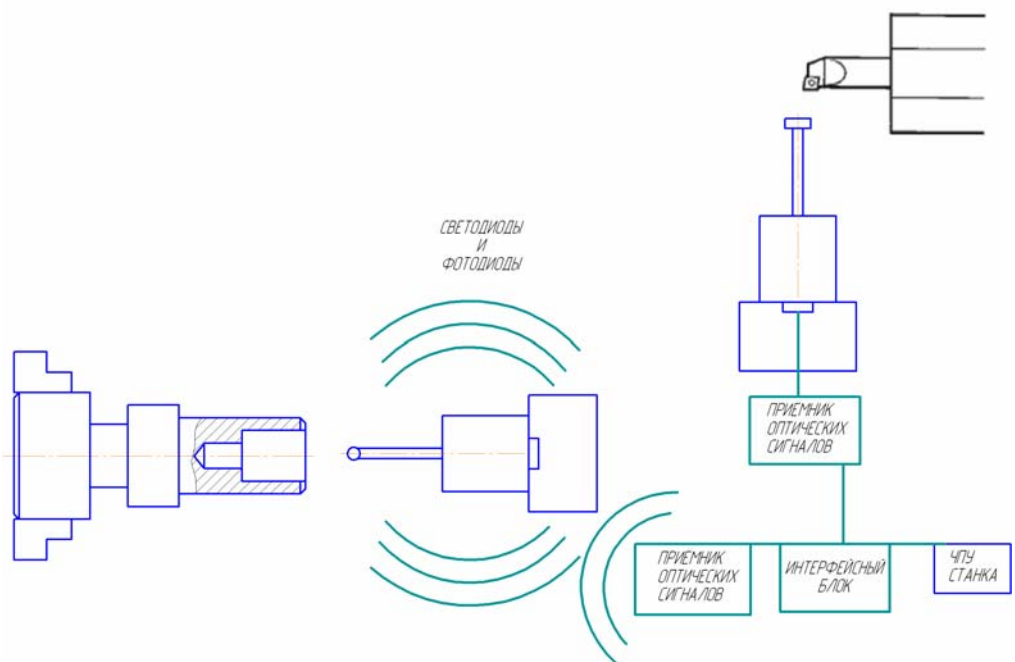


Рис. 6 – Оптическая система передачи сигналов

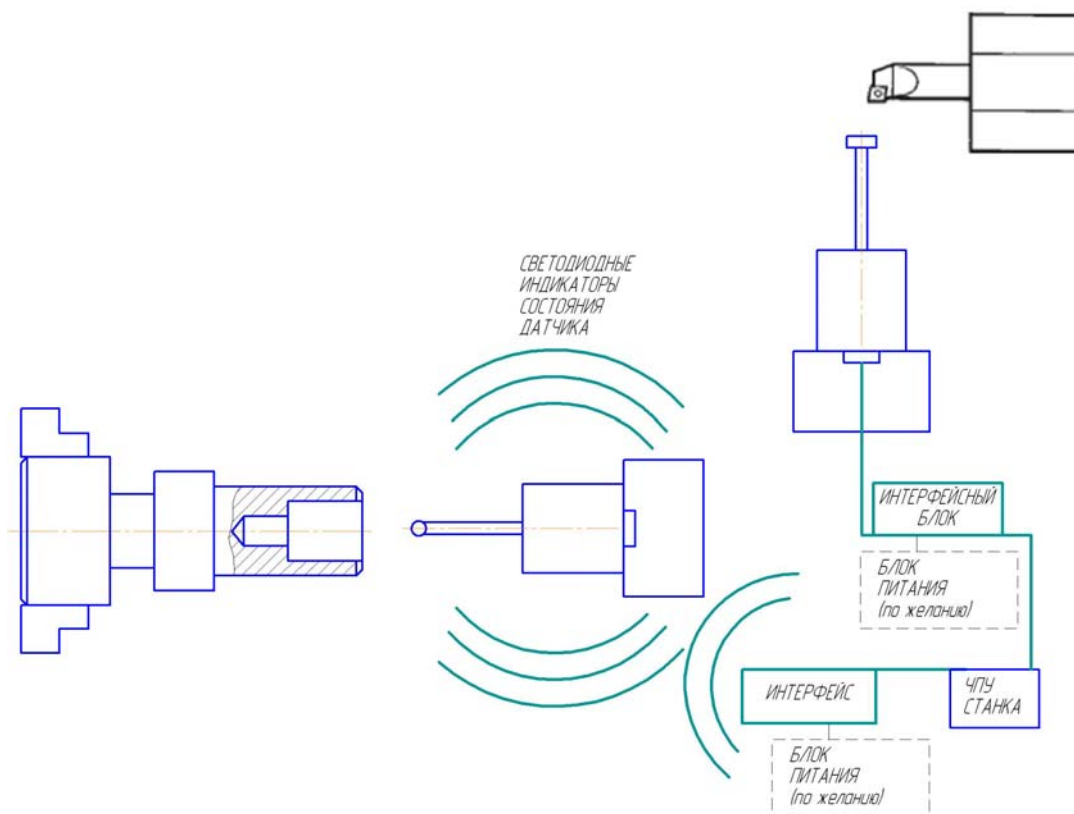


Рис. 7 – Радиочастотная система передачи сигнала

Сконструированную измерительную головку можно установить в измерительную руку и использовать для контроля инструмента или установить в револьверную головку наравне с обрабатывающим инструментом и использовать для контроля размеров обрабатываемых деталей.

Надёжное и точное срабатывание измерительной головки обеспечивается при скорости её перемещения 10-500 мм/мин.

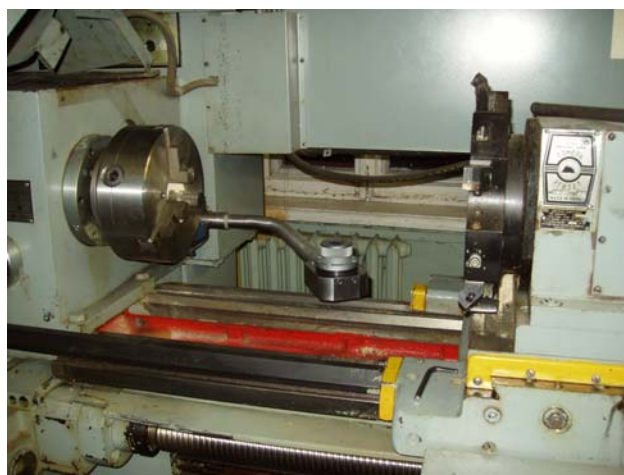


Рис. 8 – Откидная немоторизованная измерительная рука («ЧелябНИИконтроль»)

1.2. Датчик контакта для станка СФР группы

Разработана новая конструкция малогабаритной измерительной головки, установленная на станок с ЧПУ СФР группы ГФ2171С5, а так же специальная оснастка для установки датчика в шпиндель станка с ЧПУ ГФ2171С5.

Принцип работы системы заключается в том, что из управляющей программы происходит вызов нужного цикла измерения (подпрограммы), который, управляя станком, получает через передающее устройство сигнал о срабатывании датчика, после чего производится запись текущего положения шпинделя в память СЧПУ станка. По завершению цикла измерения осуществляется математическая обработка данных, с выдачей результатов измерения.

Аналогично токарному станку используются следующие способы связи: с помощью кабеля, инфракрасного оптического бесконтактного и радиочастотного устройства, индуктивная система передачи сигнала.

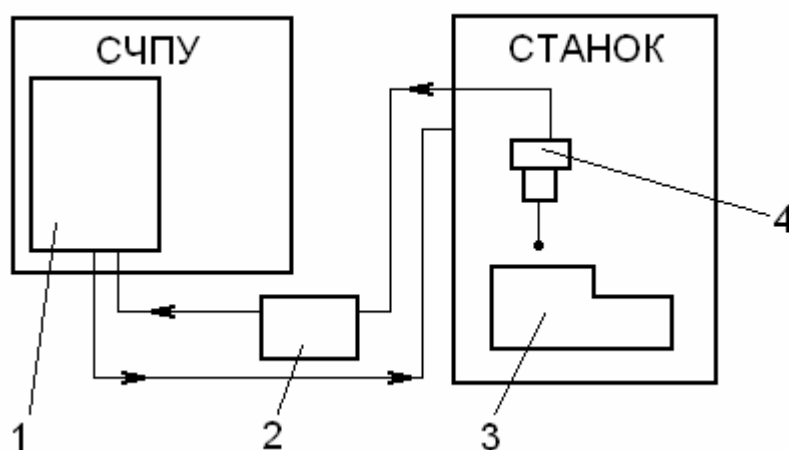


Рис. 9 - Структурная схема
1 - система ЧПУ станка; 2 - передающее устройство; 3 - измеряемая деталь;
4 — контактный датчик

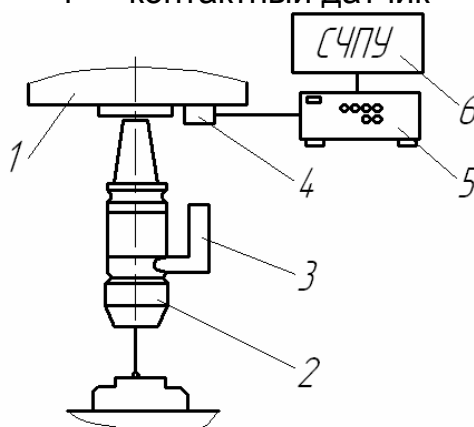
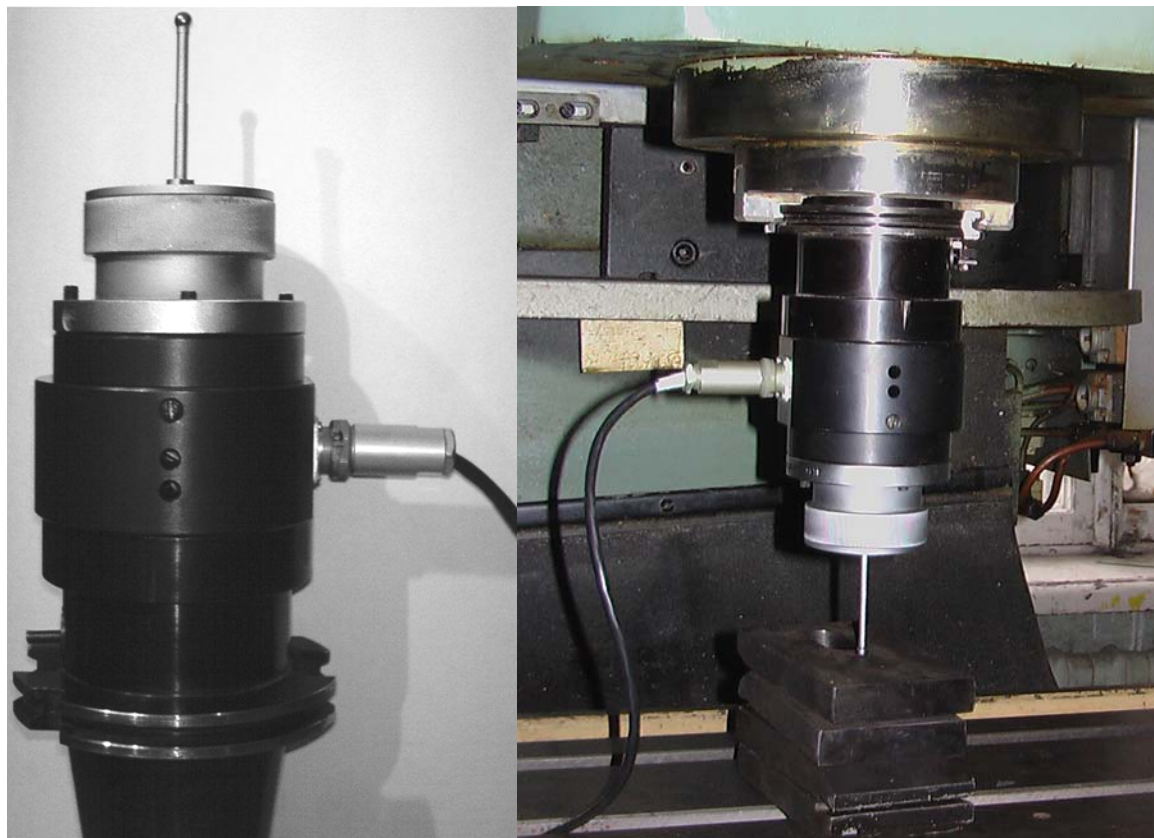


Рис. 10 – Индуктивная система передачи сигнала

При проведении исследований эффективности разработанных циклов измерения для передачи сигнала от датчика было разработано проводное устройство, состоящее из электронной платы, устанавливаемой в корпус датчика, и проводника, подключаемого к стойке станка. Выбор проводной

системы обусловлен их наибольшей надежностью, легкостью монтажа и настройки.

Для установки датчика был сконструирован переходник, а так же передающее устройство. Для контроля инструмента используется стационарный датчик, установленный на столе фрезерного станка.



а)

б)

Рис. 11 – а) инструментальная оправка с датчиком для станка ГФ2171;
б) датчик контакта, установленный в шпиндель станка ГФ2171

Все современные СЧПУ имеют архитектуру ПК и снабжены развитыми языками программирования для решения расчетных задач и задач управления, но в российских системах практически отсутствуют библиотеки измерительных циклов и подпрограммы, реализующие эти возможности.

Наиболее распространенными зарубежными системами ЧПУ являются: Siemens, Fanuc, HAAS, Heidenhein, Mazatrol, Okuma.

Зарубежные производители по-разному решают проблему разработки программного обеспечения: Renishaw разрабатывает набор измерительных циклов (подпрограмм) для различных зарубежных СЧПУ. Но отсутствуют циклы для российских систем, их разработки по индивидуальному заказу стоят очень дорого. Heidenhein разрабатывает и производит и датчики, и собственные системы ЧПУ, работающие совместно. Для измерений используют коды G400 и выше.

В СЧПУ фирмы Siemens измерительные циклы загружены в каталог стандартных циклов системы управления. Для станков токарной и СФР

группы представлены следующие измерительные циклы: калибровка измерительного щупа для инструмента, измерение геометрических элементов детали и инструмента.

Renishaw, Siemens и Heidenhein разрабатывают элементарные циклы для контроля геометрии детали или режущего инструмента, но отсутствует программное обеспечение для решения задач технологического управления (например, коррекция режимов резания в зависимости от величины износа режущего инструмента, коррекция числа рабочих ходов в зависимости от распределения припуска и погрешностей установки).

Для обеспечения процессов измерения и технологического управления на станках с российскими системами ЧПУ (Маяк, Балтсистем, FMS) были разработаны необходимые подпрограммы для токарных и СФР станков с ЧПУ.

2.1. Измерительные циклы для токарного станка

Разработаны элементарные циклы для контроля детали/заготовки на станке:

-Подпрограммы для привязки системы координат заготовки к системе координат станка

-Циклы измерений геометрических элементов заготовки/детали: радиальные измерения, измерение по диаметру, замер ребер/канавок, измерение длины, вывод на экран.

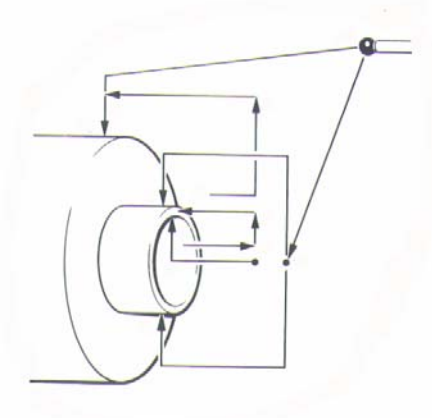


Рис. 12 – Циклы измерения детали на токарном станке с ЧПУ

Проводятся теоретические исследования для разработки циклов технологического управления для станков токарной и СФР группы: коррекция режимов резания в зависимости от износа РИ, коррекция числа рабочих ходов в зависимости от распределения припуска и погрешностей установки.

Разрабатываются циклы определения геометрических параметров РИ: настройка инструмента по длине (с автоматическим вводом коррекции), задание коррекции на диаметр, длину и смещение оси для вращающегося и невращающегося инструмента, фиксация поломки.

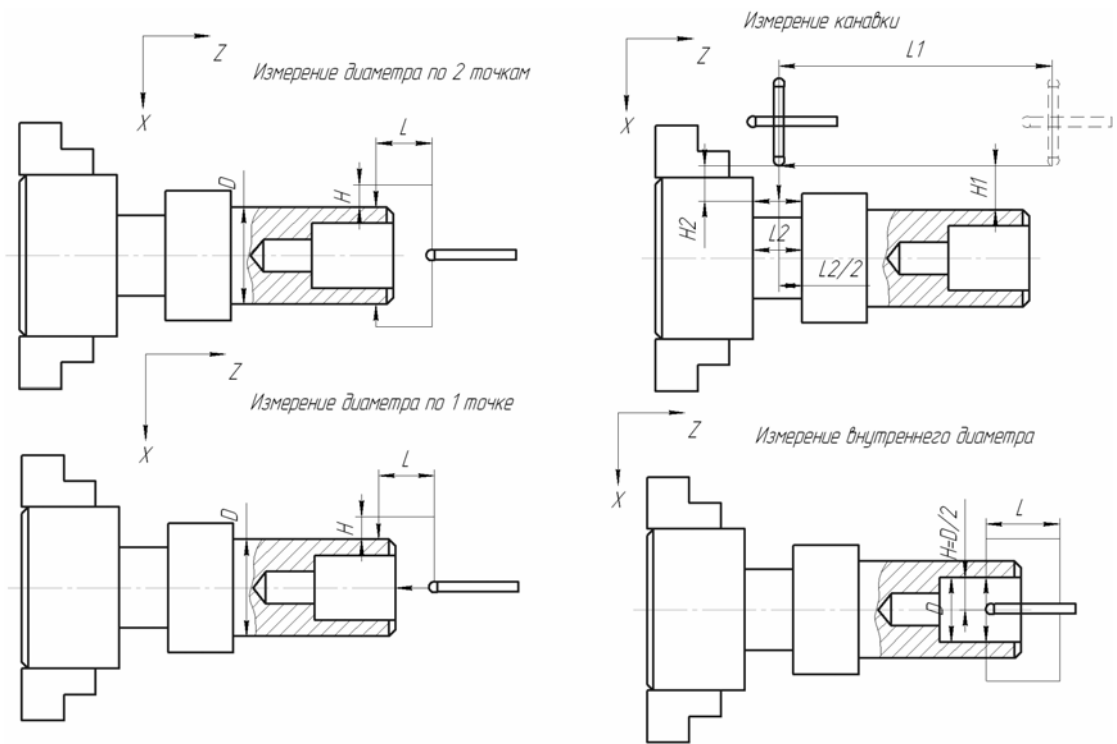


Рис. 13 – Циклы измерения вала на токарном станке с ЧПУ 1В340Ф30

Пример рассматриваемой подпрограммы – цикл калибровки положения датчика по отношению к оси шпинделя.

Подпрограмма KALIBR

{№1, №2, №3 - параметры, передаваемые в подпрограмму}

N1 E31=5.000
 N2 E32=20.67
 N3 E33=-10
 N10 E31=ABS(E31) – абсолютное значение
 N20 E32=ABS(E32)
 N30 (BEQ,E31,0,FIN) - оператор сравнения, когда первое и второе значение равны
 N40 (BEQ,E32,0,FIN)
 N50 E35=(E32+E31+8)/2
 N60 G91 G01 XE35 F1000 – программирование по приращениям; GO1– линейная интерполяция
 N70 ZE33
 N80 (DPT,0,20,100) – подготовительная функция перед началом измерения
 N90 G72 X-1 E36 – измерение точки
 N100 X1
 N110 E33=NEG(E33) – инвертирование знака
 N120 ZE33
 N130 E35=NEG(E35)
 N140 E35=E35*2
 N150 XE35

N160 E33=NEG(E33)
 N170 ZE33
 N180 G72 X1 E37
 N190 X-1
 N200 E33=NEG(E33)
 N210 ZE33
 N220 E35=NEG(E35/2)
 N230 XE35
 N230 E38=ABS((E36/ABS(E36))+(E37/ABS(E37)))
 N240 (BGT,E38,0,ODN) – оператор сравнения, когда первое значение больше второго
 N250 (BNC,DV) – безусловный переход "ODN"
 N260 E35=ABS(ABS(E37)-ABS(E36))-E31
 N270 E34=((E37-E36)/2)+E36
 N280 E39=SQR(ABS((E32/2)*(E32/2)-(E35/2)*(E35/2))) – извлечение корня
 N290 (BNC,FIN)
 "DV"
 N300 E35=ABS(E37)+ABS(E36)-E31
 N310 E34=E37-E36
 N320 E39=SQR(ABS((E32/2)*(E32/2)-(E35/2)*(E35/2)))
 "FIN"
 N330 M30
 N340 M02

2.2. Измерительные циклы для станка СФР группы

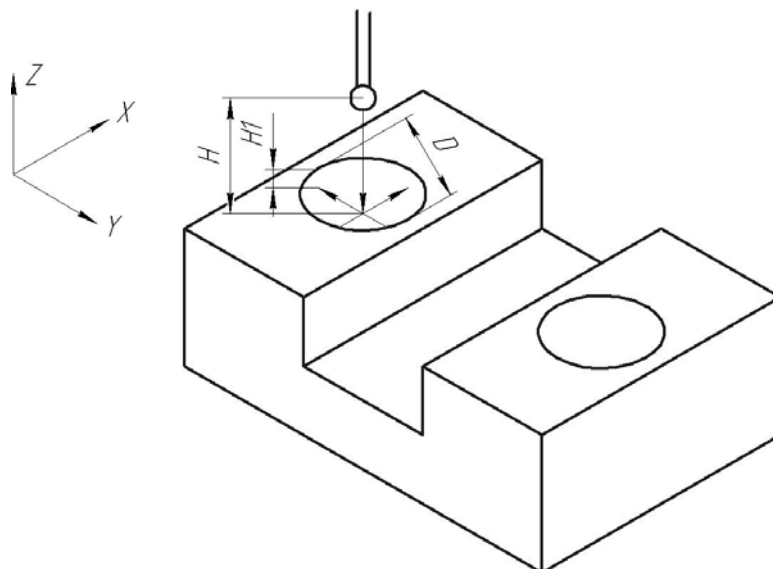


Рис. 14 – Циклы измерения детали на станке с ЧПУ СФР группы

Разработаны элементарные циклы для контроля детали/заготовки на станке:

- Подпрограммы для привязки заготовки к системе координат станка

-Циклы измерений геометрических элементов заготовки/детали: измерение координаты по X, Y, Z, замер перемычек/канавок, отверстий, углов, вывод на экран.

Пример рассматриваемой подпрограммы – цикл измерения точки по одной координате.

Структура КАДРА измерения плоскости по одной точке:

N10 P001 {X,Y,Z} L H* G54*

{X,Y,Z} - одна из осей интерполяции;

L - величина быстрого подхода, с учетом направления осей;

H - величина перебега, по умолчанию 10;

G54-G59 - одна из систем координат детали, в случае указания в неё записывается соответствующая координата.

ПРИМЕЧАНИЕ: Параметры, помеченные знаком * необязательны для указания.

:001

{ПРОВЕРКА НАЛИЧИЯ ОСЕЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ В КАДРЕ}

```
if paramactive(88) or paramactive(89) or paramactive(90) then goto 10
window( 20, 20, 200, 200)
print "Не заданы оси интерполяции {X,Y,Z}"
end
```

{ПРОВЕРКА НАЛИЧИЯ ВЕЛИЧИНЫ БЫСТРОГО ПОДХОДА}

```
N10 if paramactive(76) then goto 20
window( 20, 20, 200, 200)
print "Не задана величина быстрого подхода {L}"
end
```

{ПРОВЕРКА ОШИБКИ ВВОДА ОСЕЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ}

```
N20 if (paramactive(88) and paramactive(89))
    or (paramactive(88) and paramactive(90))
    or (paramactive(89) and paramactive(90)) then goto 30
```

{ПРОВЕРКА ПАРАМЕТРА H}

```
if not paramactive (72) then goto 40
h=getparameter (72)
goto 50
N40 h=10
```

N50 l=getparameter (76)

h=ABS(h)

if l<0 then h=-1*h

if not paramactive (88) then goto 60

```
n=getdatacadr(137)
```

```
G91 G01 XI F150  
      Xh G32 F50
```

```
f=getdatacadr(137)
```

```
G90 G01 Xn F300
```

```
print "Измеренная координата по оси X=",f
```

```
if not paramactive(71) then end
```

```
g=getparameter(71)
```

```
if g=54 then setsystemdata(50)
```

```
if g=55 then setsystemdata(53)
```

```
if g=55 then setsystemdata(56)
```

```
if g=56 then setsystemdata(59)
```

```
if g=57 then setsystemdata(62)
```

```
if g=58 then setsystemdata(65)
```

```
if g=59 then setsystemdata(68)
```

```
end
```

```
N60 if not paramactive (89) then goto 70
```

```
n=getdatacadr(138)
```

```
G91 G01 YI F150
```

```
      Yh G32 F50
```

```
f=getdatacadr(138)
```

```
G90 G01 Yn F300
```

```
print "Измеренная координата по оси Y=",f
```

```
if not paramactive(71) then end
```

```
g=getparameter(71)
```

```
if g=54 then setsystemdata(51)
```

```
if g=55 then setsystemdata(54)
```

```
if g=55 then setsystemdata(57)
```

```
if g=56 then setsystemdata(60)
```

```
if g=57 then setsystemdata(63)
```

```
if g=58 then setsystemdata(66)
```

```
if g=59 then setsystemdata(69)
```

```
end
```

```
N70 n=getdatacadr(139)
```

```
G91 G01 ZI F150
```

```
G91 G01 Zh G32 F50
```

```
f=getdatacadr(139)
```

```
G90 G01 Zn F300
```

```
print "Измеренная координата по оси Z=",f
```

```
if not paramactive(71) then end
```

```
g=getparameter(71)
```

```
if g=54 then setsystemdata(52)
if g=55 then setsystemdata(55)
if g=55 then setsystemdata(58)
if g=56 then setsystemdata(61)
if g=57 then setsystemdata(64)
if g=58 then setsystemdata(67)
if g=59 then setsystemdata(70)
end
```

```
N30 end
return
M99
```