

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

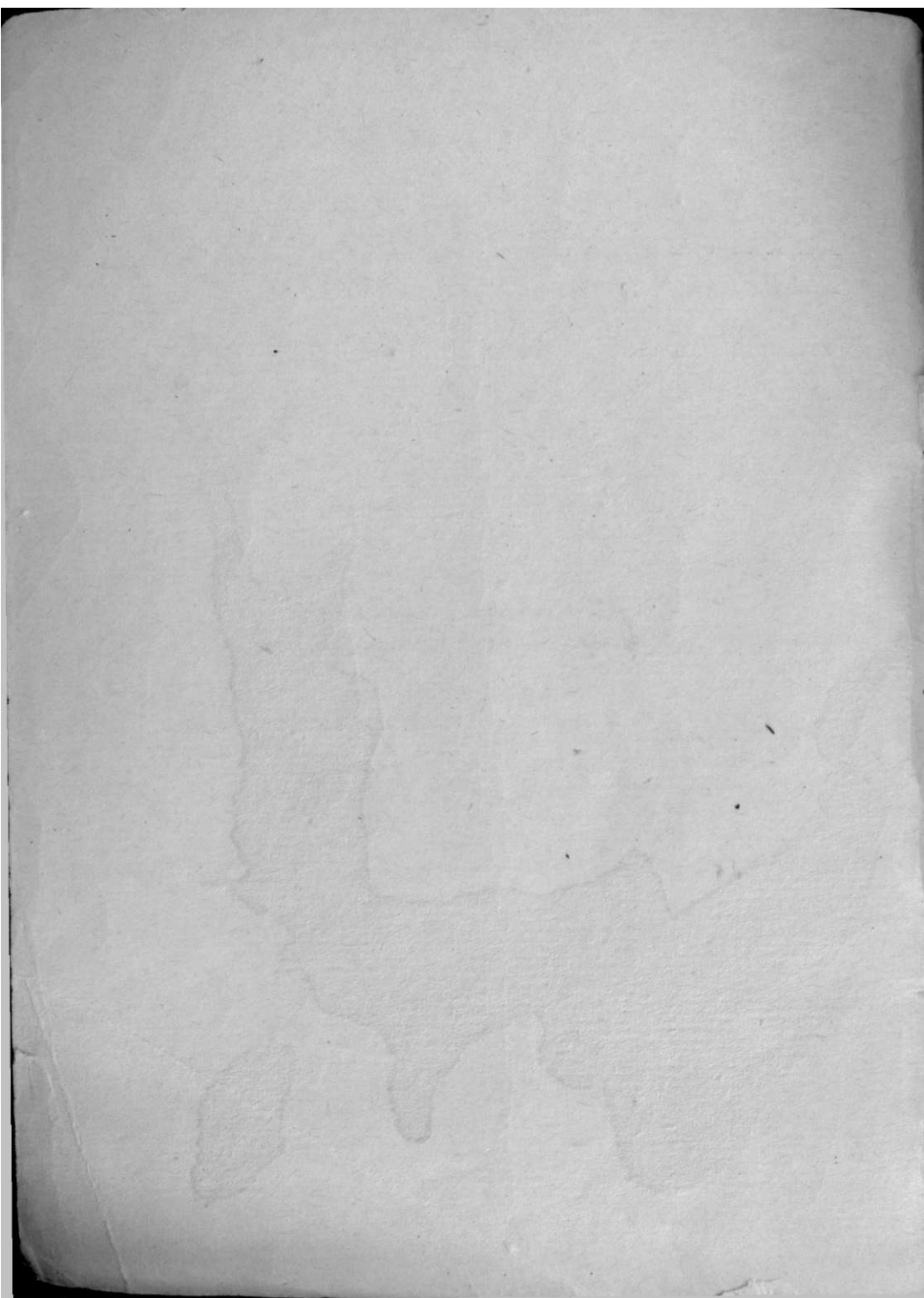
А. Н. Малов, Ю. В. Иванов

**ПРОГРАММИРОВАНИЕ ДЛЯ СТАНКОВ
С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

**Методические указания
к выполнению заданий и лабораторных работ
по курсу**

**„ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ“ и
„АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ“**

Бесплатно.



Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

А.Н.Малов, Ю.В.Иванов

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ДЛЯ СТАНКОВ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Методические указания
к выполнению заданий и лабораторных работ
по курсу
"Технология приборостроения"
и "Автоматизация технологических процессов"

Москва

1974

Данные методические указания "Программирование для станков с программным управлением" издаются в соответствии с учебным планом.

Рассмотрены и одобрены кафедрой П-8 17/ХП-1973 г., Методической комиссией факультета П и Учебно-методическим управлением.

Предисловие

Настоящие методические указания посвящены основам расчета программ для станков с позиционными и функциональными системами программного управления.

Они разработаны применительно к дисциплинам "Технология приборостроения" и "Автоматизация технологических процессов", читаемых студентам IУ и У курсов факультета.П.

При написании данной работы учитывалось, что студенты имеют знания по основам вычислительной техники, курс которой предшествовал данным дисциплинам.

В работе рассматриваются вопросы, связанные с технологической, математической подготовкой информации для программ, ее кодированием и записью на программноноситель, а также вопросы контроля и отладки программ. Все необходимые расчеты при программировании ориентированы на использование клавишных счетных машин типа "Бильянос", "Вега", "Искра-122" и других, а также специализированных ЭВМ (интерполаторов).

§ I. Общие сведения

Основным источником информации, необходимой для автоматической работы станков с числовым программным управлением (ЧПУ), является программа. Сведения, заложенные в ней, сообщаются системе заранее и составляют з а д а ю щ у ю информацию.

Задающая информация, зафиксированная определенным способом, называется программой, а материальный носитель, на котором она зафиксирована - программоносителем.

В программе содержатся сведения о характере движения рабочих органов станка (направлении, величине и скорости), о резущем инструменте, коррекции его размеров, времени отработки отдельных участков траектории, режимах обработки, необходимости повторения кадра и другие технологические команды.

Сущность разработки программы заключается в преобразовании требований и условий технологического процесса, содержащихся в соответствующих документах (чертежах, технологических картах, таблицах, нормалях, справочниках и других материалах), в форму, воспринимаемую системой ЧПУ. Особенность разработки программы для конкретного оборудования, оснащенного системами программного управления (СПУ), во многом определяется особенностями этих систем.

Классификация систем ЧПУ. В настоящее время разработано большое количество систем ЧПУ, применяемых в технологическом оборудовании. Они отличаются типом решаемых задач, принципом работы и конструкцией устройств, входящих в их состав.

Классифицировать эти системы можно условно по нескольким признакам: технологическому назначению (типу решаемых задач), способу суммирования элементарных перемещений, виду информации обратной связи, количеству управляемых координат, типу привода, типу программносителя, наличию (или отсутствию) обратной связи и др. Рассмотрим лишь основные из них: технологическое назначение, вид информации обратной связи и способ суммирования элементарных перемещений.

По технологическому назначению (виду решаемых задач автоматизации) все системы ЧПУ (рис.1) можно условно разделить на

координатные, функциональные и комбинированные.

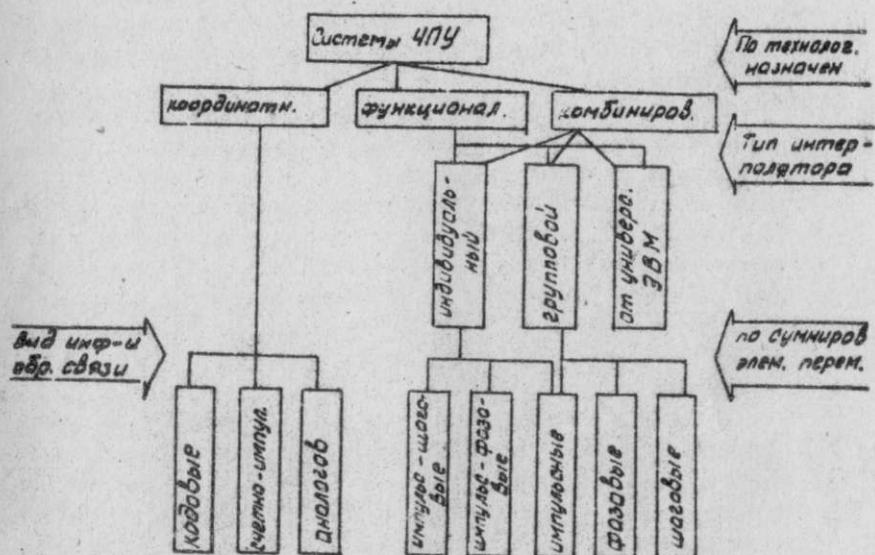


Рис. 1

Координатные (или позиционные) автоматизируют холостые движения рабочего органа станка (РО) – перемещения его из одной координаты в другую – с высокой точностью и на высокой скорости. Функция координатных СПУ сводится к своевременному включению, выключению или реверсированию приводов, а также обеспечению автоматического снижения скорости движения РО до "ползучей" (1-10 мм/мин)

Координатные СПУ, обеспечивая прямолинейное движение рабочего органа по одной или нескольким координатам одновременно, осуществляют так называемое однокоординатное управление, т.е. не выполняют постоянного согласования (функциональной связи) движений по управляемым координатам. Координатные системы в основном автоматизируют холостые движения в таких операциях как координатно-расточные и сверлильные, а также некоторые токарные и фрезерные. Точность позиционирования здесь достаточно высокая, поэтому некоторые датчики выполняют

многоступенчатыми (датчики грубого и точного отсчета). Наиболее распространенными из отечественных координатных систем ЧПУ являются: "координата С-68" (ППС-2), "координата Р-69", СЦ-7, "размер-2" и ПРС-3к.

По виду информации, получаемой из обратной связи, координатные СПУ в свою очередь делятся на кодовые, счетно-импульсные и аналоговые.

К о д о в ы е СПУ оснащены кодовыми датчиками обратной связи, которые, измеряя фактическое положение рабочего органа, преобразуют его в соответствующий код числа и посылают его в схему совпадения. В схему совпадения также в виде кода числа поступает задающая информация (информация о перемещении в заданную координату). Как только коды сравниваемых чисел совпадут, двигатель отключается от источника напряжения и рабочий орган останавливается. Для снижения скорости при подходе к заданной координате кодовые СПУ имеют специальное устройство (устройство упреждения).

С ч е т н о - и м п у л ь с н ы е СПУ работают по принципу сравнения импульсного задающего сигнала с импульсным сигналом обратной связи. Это сравнение выполняется в счетчике импульсов, число регистров которого равно разрядности максимально записываемого числа. Двигатель будет перемещать РО до тех пор, пока в счетчике имеется разность импульсов задающего сигнала и сигнала обратной связи. Для снижения скорости РО при подходе к заданной координате в этих СПУ специального устройства нет. Его функцию выполняет последний регистр счетчика. К этим системам относятся системы типа СЦ-7, "координата С-68", СЦ-7м.

В а н а л о г о в ы х СПУ задающая информация, выраженная числом, преобразуется цифро-аналоговым устройством в аналог напряжения (тока и др.) и в таком виде сопоставляется в сравнивающем устройстве с сигналом обратной связи тоже аналогового вида (например, с датчика потенциометрического типа). Двигатель перемещает РО до тех пор, пока на выходе сравнивающего устройства имеет место сигнал рассогласования.

Кодовыми системами ЧПУ оснащены сверлильные станки модели 2Н135Пр. Счетно-импульсными системами СЦ-7 оснащены координатно-сверлильные станки КСП-1; системой СЦ-7м - координатно-свер-

лильные станки КСН-1м, КСН-3; системой "координата С-6Е" - вертикально-сверлильные станки моделей 2Н118Ф2, 2Н125Ф2, 2Р118Ф2, 2Н135Ф2, 2Р135Ф2, 2Н55Ф2 и др.

Функциональные СПУ позволяют осуществить движение рабочего органа по сложной плоской или объемной криволинейной траектории, заменяя его согласованными простыми движениями РО по нескольким координатам одновременно. Для этого в функциональных (контурных) СПУ осуществляется постоянная (функциональная) взаимосвязь управляемых координат по скорости и перемещению. Здесь датчики обратной связи (в отличие от датчиков позиционных СПУ) измеряют фактическое перемещение и скорость рабочего органа станка. В зависимости от вида задаваемой информации (в закодированном виде на перфоленте или в декодированном - на магнитной ленте) функциональные системы СПУ имеют встроенный (индивидуальный) интерполятор или используют групповой интерполятор для перезаписи закодированной программы с перфоленты в декодированную на магнитную ленту.

По типу суммирования элементарных перемещений все функциональные СПУ можно разделить на импульсно-шаговые, шаговые, импульсно-фазовые, фазовые и импульсные.

В шаговых и импульсно-шаговых СПУ интегрирование элементарных перемещений (импульсов) осуществляет шаговый двигатель, работой которого в соответствии с программой управляет электронный коммутатор, распределяя импульсы в обмотки соответствующих фаз двигателя. Для шаговых СПУ типа ПРС-3к, ПРС-2-60 и "контур 3П-68", не имеющих встроенного интерполятора, программа записывается на магнитной ленте в виде комбинации постоянных сигналов, модулированных частотой с использованием одного из групповых интерполяторов.

Система ПРС-3к применяется для управления фрезерными станками 6Н13ГЭ-2, 6Н13ПР, токарным станком 1К62ПР; система ПРС-2-60 - фрезерными станками ФП-4, ФП-5; "контур 3П-68" (или "контур 4М1-68") - фрезерным станком АФ66-Ф3 и др.

Импульсно-шаговые СПУ имеют оной встроенный интерполятор (например, ПРС-4А или "контур 2П-67" электрореэрезонансных станков модели 4А531П, 4531П и др.), поэтому для них программа записывается на перфоленте в закодированном виде. Для шаговых и импульсно-шаговых СПУ характерно отсутствие обратной

связи как по перемещению, так и по скорости.

В фазовых и импульсно-фазовых СПУ интегрирование элементарных перемещений осуществляется в фазовом преобразователе. Эти системы работают по замкнутой схеме, используя информацию обратной связи. Информация поступает от фазовых датчиков обратной связи (сельсинов, вращающихся трансформаторов, индуктосинов) в зависимости от требуемой точности. В качестве силовых механизмов здесь применяется регулируемый привод: двигатель постоянного тока, управляемый электромашинным усилителем или тиристорным преобразователем, а также гидравлический привод.

В фазовых СПУ (без встроенного интерполятора) информация для каждой координаты записывается на кино- или магнитной ленте в виде синусоидальных сигналов постоянной несущей частоты, смещаемых по фазе относительно опорной частоты (ФСЛУ-2, ПФС-12-60).

Запись программы здесь осуществляется с использованием интерполятора в сочетании с фазовым преобразователем, который выходные импульсы интерполятора преобразует в фазомодулированный сигнал со сдвигом фазы, пропорциональной количеству пришедших на его вход импульсов. Этими системами оснащены фрезерные станки ФП-7, ФП-9, ПФП-1, ПФП-5 и др.

В импульсно-фазовых системах информация для каждой координаты записывается тоже в виде сдвига фаз, но не синусоидальных, а импульсных сигналов с дополнительными шаркерными импульсами (система ФС-2). Эта система, в отличие от предыдущих, позволяет вводить коррекцию на размер инструмента. Для этого на магнитной ленте дополнительно записываются приращения синуса и косинуса углов наклона элементов траекторич. Этой системой оснащены фрезерные станки моделей 9ФСП, МА655, УФ-70 и др.

К импульсно-фазовым системам, имеющим встроенный интерполятор и фазовый преобразователь, относится, например, система СЩ (с линейным интерполятором), для которой программа в двоично-десятичном коде (8-4-2-1) записывается на телеграфную перфоленду. Система СЩ управляет работой фрезерных станков модели СФП-1, СФП-2 и др.

И м п у л ь с и н е СПУ осуществляют интегрирование

элементарных перемещений с помощью реверсивного счетчика в сочетании с дешифратором. Задающая информация для этих систем по каждой координате записывается в виде последовательных импульсов; используются две дорожки: одна - для положительного, другая - для отрицательного направления. Информация обратной связи представлена также в импульсной форме импульсными датчиками, например дифракционными решетками, и поступает в реверсивный счетчик только через блок синхронизации, который разделяет по времени импульсы датчика от задающих импульсов. Функцию силовых механизмов здесь выполняет также регулируемый привод в виде двигателя постоянного тока с ЭМУ или тиристорным преобразователем, а также гидропривод.

Импульсной системой "контур-ЧМИ-68" оснащены фрезерные станки моделей 6М1Ф3, ЛФ-6, 6Н1ПУФ3. В станке 6441ПР применена импульсная система СЦ-1.

Этапы программирования. Разработка программы осуществляется в несколько этапов: 1) технологическая подготовка, заключающаяся в контроле чертежа детали на пригодность обработки на станках с ЧПУ, в разработке технологического процесса применительно к конкретному станку с ЧПУ (выбор заготовки, определение последовательности операций, разработка данной операции, назначение инструмента, режимов обработки, схемы базирования и закрепления и т.п.), а также в вычерчивании траектории движения инструмента в расчетных координатах. (здесь и в дальнейшем относительное движение детали и инструмента будем называть движением инструмента); 2) математическая подготовка - расчет траектории движения инструмента; 3) кодирование и запись полученной информации в расчетные карты и на программноноситель; 4) проверка изготовленной программы и ее отладка в лабораторных и цеховых условиях.

Далее следует обработка детали по отлаженной программе на станке с ЧПУ. В процессе обработки опытной детали наиболее трудными являются первый и второй этапы, особенно при расчете программ для деталей, имеющих сложные криволинейные поверхности в плоскости и объемных (пресс-формы, штампы и др.).

Исходные данные для программирования. Для разработки технологического процесса и составления программы на станок с

ЧПУ необходимо иметь следующие данные:

- 1) чертёж обрабатываемой детали;
- 2) сведения о материале детали (химический состав, физические свойства, обрабатываемость);
- 3) сведения об инструменте (форма, материал режущей части, углы заточки);
- 4) типовые технологические процессы на аналогичные детали;
- 5) типовые схемы установки и закрепления деталей, сведения о приспособлениях;
- 6) технические характеристики станков с ЧПУ;
- 7) данные об системах ЧПУ (наличие интерполятора, виды движений, количество управляемых координат, величина минимальных перемещений, тип программноносителя, его ёмкость и др.);
- 8) инструкцию по программированию, где указывается, в какой форме задающая информация должна вводиться в систему ЧПУ станка.

Уровни автоматизации программирования. Под автоматизацией программирования оборудования с ЧПУ следует понимать применённые вычислительных машин, которые, получив необходимые исходные данные, выполняют все операции по расчёту траектории движения инструмента и проектированию технологического процесса с учётом особенностей данного процесса. Исходной информацией для вычислительных машин здесь служат координаты опорных точек детали, аналитически заданные элементы её контура и др.

Уровень автоматизации программирования определяется характером технологического процесса, его сложностью и объёмом информации, с которым приходится оперировать при разработке программы. Различают следующие уровни автоматизации программирования: 1) ручное программирование, 2) программирование с частичной автоматизацией (машинный метод), 3) автоматическое программирование и 4) комплексно-автоматическое программирование.

Ручное программирование. Все необходимые расчёты выполняются с применением простейших счетных средств (счетных линеек, арифмометров, настольных клавишных машин). Ручное программирование применяется при расчёте программы для цикловых и некоторых позиционных СПУ, для которых объём информации невелик. Для некоторых из них программа набирается непосред-

венно на самом пульте управления при помощи штеккеров, переключателей и т.п.

Программирование с частичной автоматизацией. При расчете программ наряду с использованием простейших счетных средств применяются электронные вычислительные машины для трудоемких расчетов. Эти методы применяются при программировании некоторых позиционных задач (сверление большого количества отверстий в печатных платах, перемещение подложки в фотостампах при производстве дискретных элементов полупроводниковой техники и др.) (позиционные СПУ), а также функциональных задач (программирование криволинейного движения в плоскости — обработка плоских деталей, имеющих криволинейный контур) (функциональные двухмерные СПУ). При этом на ЭВМ возлагаются следующие задачи: определение коэффициентов интерполирующего полинома, проходящего через контур, определение точек эквидистанты, определение промежуточных точек участка эквидистанты и т.п. Применение ЭВМ позволяет сократить время при разработке программ.

Автоматическое программирование. Все расчеты, связанные с заданием траектории движения инструмента, выполняют ЭВМ. Одним из методов автоматического программирования является метод, основанный на использовании стандартных подпрограмм. С помощью алгоритма (интерпретирующей программы) ЭВМ выбирает из имеющегося в ее памяти набора стандартных подпрограмм те, которые необходимы для последовательного вычисления координат опорных точек требуемой траектории. Подпрограммы для всех часто встречающихся геометрических случаев (типовых участков траектории: прямых, параллельных и наклонных к выбранным осям координат, дуг окружностей, различных сопряжений и т.д.) вводят в память машины заранее. Причем оператор здесь освобождается не только от составления алгоритма и расчета эквидистанты, но и от подготовки цифровых исходных данных на счетно-клавишных машинах.

Исходные данные об образе детали и технологических условиях на ее обработку вводятся в ЭВМ специальным mnemonicским языком — языком программирования, который по форме напоминает разговорный.

Язык программирования использует специальные слова и

термины (сокращенные понятия и слова русского языка), а также математические символы и общепринятые знаки. Например, XN^a означает координату X с порядковым номером N^a или RN^a - радиус окружности с порядковым номером N .

Соединенные по определенным правилам слова языка образуют предложения и математические выражения, совокупность которых составляет так называемую языковую программу. Использование таких САП (первого поколения) значительно снижает трудоемкость изготовления программы, однако не исключает проектирования технологического процесса.

Комплексно-автоматизированное программирование предусматривает автоматизацию всех операций при разработке программы, включая получение необходимой технологической и геометрической информации, а также ее кодирование и запись. В вычислительную машину должна быть введена информация, определяющая геометрический образ детали, материал, из которого она должна быть изготовлена, требования к точности и чистоте обрабатываемых поверхностей. В памяти машины хранятся данные о различных материалах, рациональные режимы их обработки, данные о станках и системах ЧПУ, об унифицированных элементах приспособлений, типовых схемах установки и закрепления детали в зависимости от требуемой точности обработки, сведения о стандартном инструменте, другие технологические данные, характерные для данного вида обработки, а также схемы размерной увязки различных габаритных групп деталей с системой координат станка (абсолютной системой координат) и расположением начальной точки.

ЭВМ осуществляет проектирование технологического процесса, расчет траектории движения и выдает следующую документацию:

1) последовательность обработки детали с расчетом межоперационных размеров, припусков и допусков на обработку, траекторию движения инструмента, оптимальные режимы резания; 2) условия поставки заготовки; 3) способ установки заготовки и схему ее закрепления; 4) шифр инструмента и др.

В настоящее время разработаны САП второго поколения, в которых ЭВМ поручаются не только вычислительные работы, но и отдельные этапы технологической подготовки (выбор заготовки, режущего инструмента, определение траектории обработки

и др.). Однако в полной мере задача по автоматизации программирования здесь не решается. К таким САП, разработанным в СССР, относятся САП-2, СПС-Ф, САПП, САПС-М22 — для фрезерной обработки плоских деталей, СОАП (САП-3) — для фрезерной обработки объемных деталей, СПС-Т — для токарной обработки.

САП третьего поколения (будущие) обеспечат полноту, оптимизацию и контроль решения задачи программирования. В ЭВМ достаточно будет ввести лишь размеры, требования по точности и данные о материале будущей детали. Все параметры и программа оптимального процесса обработки будут получены в результате расчета на ЭВМ.

§ 2. Технологическая подготовка программ

Технологическая подготовка обработки деталей на станках с ЧПУ отличается от подготовки обработки на обычном универсальном оборудовании тем, что наряду со снижением требований к квалификации рабочего — станочника, управляющего станком с ЧПУ, значительно усложнилось проектирование технологии. Форма детали и точность ее поверхностей здесь в основном обеспечиваются при программировании, а не в процессе обработки. В станках с ЧПУ имеется возможность реализовать высокие расчетные режимы применительно к каждому характерному участку поверхности и тем самым обеспечить высокую производительность.

Все это предъявляет высокие требования к качеству технологической подготовки, к тому же поиск ошибок и внесение исправлений значительно увеличивает (в 1,5-2 раза) трудоемкость изготовления программы. Не все детали могут быть рекомендованы для обработки на станках с программным управлением; наиболее пригодны детали, требующие значительной доли вспомогательного времени, детали с большим количеством технологических операций, многие из которых можно выполнить с одного устройства, т.е. детали со сложными внутренними и наружными поверхностями: корпуса, кулачки, многоступенчатые валы и втулки, а также детали с большим количеством разнообразных отверстий (печатные платы, фланцы и др.). Обработка этих деталей на обычных универсальных станках затруднительна (требует сложных дорогостоящих приспособ-

соблений, выполняется в несколько переходов с последующей слесарной доработкой). Эффективность обработки этих деталей тем выше, чем сложнее их форма и выше точность обработки.

Обработка простых по форме деталей с малым количеством технологических операций и малой долей вспомогательного времени на станках с ЧПУ не выгодна. Исключение составляют сопрягаемые детали при сборке с рекомендованными выше. Даже если они просты по форме, обработка их на станках с ЧПУ повысит взаимозаменяемость и значительно снизит объем подгоночных операций при сборке узлов.

Прежде чем принять окончательное решение о переводе той или иной детали на станок с программным управлением, необходимо хотя бы приблизительно оценить окупаемость затрат на технологическую проработку, расчет и запись программы.

Срок окупаемости этих затрат можно подсчитать по формуле

$$n_{nn} = \frac{T_{np} \cdot K_{вн}}{i \cdot N \cdot T_{дет} (1 - K)} < |n_{nn}|,$$

где $|n_{nn}|$ - равно 1 году - нормативный срок окупаемости затрат на подготовку программы;

n_{nn} - действительный срок окупаемости в годах;

T_{np} - трудоемкость изготовления программы (в норма-часах);

$K_{вн}$ - коэффициент, учитывающий затраты времени на корректировку по результатам внедрения;

N - годовая программа;

n - количество деталей, идущих на 1 машину, шт.;

K - коэффициент снижения трудоемкости при переводе детали на станок с ПУ с учетом сокращения слесарных и разметочных работ;

$T_{дет}$ - трудоемкость изготовления детали.

Если ожидаемый годовый экономический эффект от внедрения данной детали позволит окупить затраты в течение года или менее, а стабильность изделия составляет не менее 2-3-летнего срока окупаемости затрат, то такую деталь экономически целесообразно обрабатывать на станке с ЧПУ.

Трудоемкость изготовления программы можно подсчитать по следующей простой формуле:

$$T_{np} = (T_{техн} + T_{расч} + T_{зап} + T_{ам}),$$

где $T_{техн}$, $T_{расч}$, $T_{зон}$, $T_{опт}$ - соответственно трудоемкости разработки техпроцесса, расчета программы, записи программы на программноносителе, отладки программы на станке.

Трудоемкость разработки технологии и расчета программ зависит от степени сложности детали, причем критерии степени сложности для разработки техпроцесса и для расчета программ различны.

На трудоемкость разработки техпроцесса влияют различные факторы: габариты детали, типы и количество обрабатываемых элементов, их сочетание между собой, жесткость детали, количество установок детали при обработке, классы чистоты и точности детали, материал и вид заготовки, количество типов инструмента, применяемых для обработки детали, число степеней свободы станка, необходимых для обработки детали, и другие.

На трудоемкость расчета программ влияют такие факторы, как габариты детали, количество прямых и криволинейных участков, число степеней свободы станка, участвовавших в обработке детали, одновременно используемое число степеней свободы станка, методы задания размеров в чертеже детали и другие.

При технологической подготовке информации для программирования решаются следующие задачи:

1) обработка технологичности деталей, изготавливаемых на станках с ЧПУ;

2) разработка технологического процесса, предусматривающего:

а) разработку маршрутной технологии с выбором поверхностей для обработки на станке с ЧПУ, расчетом и назначением заготовки,

б) проектирование операционного технологического процесса с назначением режущего инструмента, режимов резания, схемы базирования и составлением задания на проектирование приспособления,

в) составление чертежа траектории движения инструмента с выбором системы координат и начальной точки движения инструмента.

Построение технологического процесса обработки деталей на станках с ЧПУ выполняется по общеизвестной методике (ана-

логично обработке на обычном универсальном оборудовании) и рассматривается в курсе "Технология приборостроения". Специфичным здесь является построение траектории движения инструмента, поэтому в настоящей работе из вопросов построения технологического процесса рассмотрим лишь составление чертежа траектории движения инструмента.

Отработка деталей на технологичность. Повышение технологичности детали означает сокращение применения типоразмеров режущего инструмента, использование стандартного инструмента взамен специального, повышение точности базирования, возможности применения нормализованных приспособлений, использования методов групповой технологии, уменьшения объема последующей слесарной доработки и сокращения затрат на расчет и подготовку программы. Большинство из этих требований являются общими как для обработки на обычных универсальных станках, так и на станках с ЧПУ и изложены в соответствующих руководящих технических материалах.

Применительно к станкам с ЧПУ повышение технологичности деталей увеличивает эффективность использования этих станков в целом и, в частности, позволяет снизить трудоемкость технологической подготовки программы. Укажем ряд специфических требований, связанных с конструктивными особенностями станков с ЧПУ:

- 1) конструкция детали должна позволять обработку с наименьшим количеством повторных установок ее на станке;
- 2) при конструировании детали следует стремиться к упрощению геометрических образов и типизации основных повторяющихся геометрических элементов, участков прямых, окружностей, диаметров отверстий и их расположения и т.п.;
- 3) необходимо предусмотреть элементы, обеспечивающие жесткое базирование детали, а при отсутствии элементов последних, надлежит предусмотреть технологические базовые отверстия диаметром 4-8 мм, если же отверстия недопустимы, то в заготовке следует ввести дополнительные технологические напуски, удаляемые после обработки;
- 4) симметричные части детали желательно выполнять одина-

ковыми по форме и размерам. Это позволит выполнить их обработку по одной программе с изменением лишь знака;

5) сопряжения наружных и внутренних стенок обрабатываемых деталей должны быть выполнены одинаковым (для данного контура) радиусом. Для обеспечения жесткости инструмента при обработке его минимальная величина $R_{min} \geq 0,2H_{max}$, где H_{max} — высота стенок обрабатываемого контура;

6) сопряжение стенки с полкой также должно производиться одинаковым для данного контура радиусом, причем следует избегать равенства радиуса контура R с радиусом сопряжения Σ , требующего применения шаровых фрез (нужно $R > \Sigma$).

Требования к чертежам. Чертеж детали дает пространственное представление о ее конфигурации, геометрическую характеристику отдельных поверхностей и их проекции, а также информацию о качестве обработки этих поверхностей и точности их изготовления. При подготовке чертежа к программированию все геометрические размеры проставляются в том виде, как они отсчитываются или измерятся автоматическими устройствами (датчиками обратной связи) СПУ. Положение поверхностей и характерных точек детали должно быть задано относительно выбранного начала в прямоугольной или полярной системе координат.

Так в чертежах деталей, подлежащих обработке на станках с позиционными (кодовыми или аналоговыми) СПУ, все линейные размеры должны быть проставлены от одной базы, неподвижной относительно станка. Все абсциссы и ординаты фиксированного положения инструмента отсчитываются от нулевой точки (начала координат), так как кодовые и аналоговые датчики не фиксируют положения, в котором рабочий орган устанавливается на нуль (в заданной координате). Здесь все размеры не связаны между собой, поэтому проставляются от одной базы. Если обработку предполагается вести на станках с импульсными системами отсчета и функциональными СПУ, то все размеры должны быть проставлены цепочкой один за другим, в порядке обхода обрабатываемых элементов, так как показания импульсного счетчика после отработки (отсчета) заданного пути, пройденного инструментом, сбрасываются на нуль и при подаче следующей команды открывается новый счет.

В некоторых случаях (при использовании для расчета траектории движения инструмента электронных вычислительных машин) удобно участки контура и поверхности задавать уравнениями аналитической геометрии.

Наиболее рационально все эти требования учитывать на стадии проектирования рабочих чертежей деталей. Это позволит значительно сократить последующие изменения в чертежах по технологическим требованиям и ускорить разработку программы.

Траектория движения инструмента. Выбор системы координат и начальной точки. Траектория движения инструмента представляет собой в общем случае кривую линию, описываемую вершиной резца (точение или растачивание), центром фрезы (фрезерование) или центром сверла (сверление) при движении инструмента относительно заготовки.

Применительно к фрезерной обработке траектория движения инструмента получается как кривая, описываемая одним концом отрезка прямой (равной радиусу фрезы), если при этом другой ее конец скользит по профилю обрабатываемой поверхности детали, причем направление отрезка в каждый момент времени поддерживается перпендикулярным профилю детали в точке касания. Такую кривую, представляющую собой геометрическое место точек (центров фрезы), зафиксированных через бесконечно малые интервалы времени и расположенных на одинаковых расстояниях по нормали от соответствующих точек профиля детали, называют **э к в и д и с т а н т о й**.

Таким образом, для участков контура детали, представленных отрезками прямых и дуг окружности, эквидистанта тоже имеет вид прямой или окружности.

Чертеж траектории движения инструмента разрабатывается с целью:

- 1) облегчения расчета опорных точек (точек, где изменяется геометрический образ детали);
- 2) для справок при кодировании информации программы;
- 3) для контроля траектории при записи - воспроизведении программы;
- 4) для визуального контроля движения инструмента при обработке на станке.

Чертеж траектории должен содержать следующую информацию:

- 1) однозначно определять все характерные участки;
- 2) определять направление движения инструмента;
- 3) иметь начальную и конечную точки обработки и их координаты;
- 4) расположение нулевой точки;
- 5) направление осей координат.

Разработка траектории движения инструмента начинается с того, что на основе чертежа конструкции детали составляется чертеж обработки, который содержит лишь контуры детали (без размеров) в положении обработки. Обрабатываемые поверхности отмечаются штриховкой (при фрезеровании) или жирными линиями (при обточке, сверлении). По чертежу обработки строят траекторию движения инструмента и выбирают систему координат. После обозначения на чертеже координатных осей проставляют размеры контура детали (или размеры, определяющие положение отверстий) в форме, которая удобна для данного ЧПУ станка (цепочкой для импульсных и функциональных СПУ или в виде независимых размеров от одной точки для кодовых и аналоговых СПУ).

На чертеже отмечают точки начала и конца обработки, а также положение нулевой точки. Выделяются дополнительными линиями траектории подвода режущего инструмента к обрабатываемому контуру и отвода от него. При проектировании траектории движения инструмента необходимо учитывать особенности его подхода к обрабатываемой поверхности. Обычно подход инструмента к обрабатываемой поверхности осуществляется на ускоренной подаче. Когда от режущей кромки до заготовки остается расстояние, несколько большее 5 мм, быстрое перемещение сменяется рабочей подачей, обеспечивающей плавное врезание. Для этой же цели желательно, чтобы врезание инструмента происходило по касательной к обрабатываемому контуру, причем обработку начинать лучше с прямолинейных участков контура. При отводе инструмента на расстоянии не менее 5 мм от обрабатываемого контура до режущей кромки его рабочая подача сменяется на ускоренную.

С целью получения высокой производительности станков с ЧПУ при проектировании траектории движения инструмента следует

стремиться к максимальному сокращению холостых перемещений – перемещений от одной обрабатываемой поверхности к другой.

Выбор системы координат (декартова – прямолинейные движения по трем координатам X, Y, Z ; полярная – линейное и вращательное движения; цилиндрическая – два линейных и одно угловое движение – и комбинированная) зависит от того, какими движениями проще осуществить обработку заданной детали. Решение этой задачи тесно связано с выбором модели станка для данной операции, ибо в каждом станке уже заложена определенная система координат.

Опыт показывает, что большинство токарных, сверлильных и координатно-расточных работ выполняются с использованием декартовой системы координат, а при фрезеровании деталей типа дисковых кулачков удобнее пользоваться полярной системой. Фрезерование плоских деталей чаще выполняют с использованием декартовой системы, а объемных – с комбинированной системой.

На чертеже траектории инструмента обозначаются оси расчетной системы координат, которые должны быть параллельны координатным осям станка. Их расположение определяется конфигурацией детали и положением баз.

В симметричных деталях за направление одной из осей расчетной системы координат удобно принять ее ось симметрии. В круглых деталях начало координат целесообразно совмещать с центром детали. "Нулевая точка" (начало движения инструмента) должна быть вблизи контура детали, но ее расположение не должно затруднять установку и настройку инструмента, установку, закрепление и снятие детали, смену прижимов и упоров, удаление стружки.

Роль "нулевой точки" заключается также в том, что возвращение инструмента после обработки детали в эту точку позволяет проверить правильность расчета программы, а при обработке проверить отсутствие сбоя в системе ЧПУ. Для точного определения положения "нулевой точки" ее координаты на чертеже траектории задаются с соответствующим допуском, который рекомендуется назначать в следующих пределах: $\pm 0,02$ – $\pm 0,05$ мм – при базировании детали на окончательно обработанные поверхности и $\pm 0,1$ – $\pm 0,5$ мм – при базировании на черные базы или на не окончательно обработанные поверхности.

На чертеже траектории путем выполнения вспомогательных

построений задаются положения опорных точек.

Иногда в процессе обработки появляется необходимость смены инструмента, перестановки прижимов, проверки размеров детали и т.п. Положения точек останова должны задаваться из учета следующих требований:

1. Они должны располагаться вблизи контура, но так, чтобы режущие кромки инструмента не касались обрабатываемой поверхности.

2. Врезание и выход инструмента должны быть плавными. Всем этим точкам присваиваются порядковые номера, расположенные в направлении обработки детали.

Расчет узловых опорных точек. Узловой опорной точкой называется точка пересечения, касания или сопряжения двух соседних геометрических элементов на траектории движения инструмента.

Расчет узловых опорных точек заключается в нахождении их координат относительно центра расчетной системы координат. Здесь определяются координаты начала и конца прямолинейных участков, координаты центра дуг окружностей, значения начального и центрального углов этих дуг, их радиусы. Результаты расчетов заносятся в таблицу, причем для каждого участка в ней указывается технологическая скорость подачи вдоль контура. Эти расчеты выполняются после составления чертежа траектории, заносятся в специальный бланк (табл. I) и являются исходными для выполнения аппроксимации и задания на интерполяцию участков траектории.

Таблица I

Координаты узловых точек траектории										Деталь	
№ по пор	Индекс участка	Тип участка	Координаты конца участка						Подача S мм/мин	Число оборотов шпинделя n об/мин	
			X		Y		Z				
			мм	ΔX	мм	ΔY	мм	ΔZ			
				мм	мм	мм	мм	мм			

§ 3. Математическая подготовка программ

Этап математической подготовки предусматривает получение полной информации, связанной с расчетом траектории движения инструмента, выполняется математиком - программистом на основе результатов этапа технологической подготовки.

Исходными данными для математической подготовки программ являются: чертеж детали; операционная карта обработки; чертеж (эскиз) обработки с указанными на нем обрабатываемыми поверхностями, траекторией движения инструмента с нулевой, начальной, конечной и опорными (узловыми) точками; таблица характерных участков контура и движения инструмента на них, а также допуск на аппроксимацию криволинейных участков (если это необходимо).

Программист в зависимости от сложности траектории движения, способа задания ее, численных данных чертежа и предыдущих расчетов выбирает метод расчета с целью определения приращений по координатам, выражения их числом импульсов для каждого характерного перемещения, а также для установления частоты следования этих импульсов (частоты тактирующего генератора) в зависимости от требуемой скорости движения инструмента вдоль контура.

Применительно к математическому этапу расчет программы **м а ш и н н ы м** методом, наиболее распространенным при подготовке программ для станков с функциональными СПУ, предусматривает математическое выражение участков контура, их аппроксимацию, определение приращений по координатам при перемещении инструмента от одной опорной точки к другой и определение времени отработки этих участков (частоты генератора тактов).

Расчет промежуточных точек между опорными (исключая точки, связанные с ограниченной емкостью интерполятора) с точностью до одного импульса, а также скоростей подач для каждого элементарного перемещения (перемещения на один импульс) инструмента по координатам (в отличие от ручного расчета) здесь не требуется, так как эти операции автоматически выполняются ЭВМ.

Математическое описание траектории движения инструмента.

Для математического описания траектории движения инструмента последняя должна быть разбита (при технологической подготовке) на характерные участки (участки прямых, параллельных и наклонных выбранными координатам, дуги окружностей, участки парабол, гипербол и других кривых). Как показывает статистика, более 85% деталей, обрабатываемых на станках ЧПУ, имеют контуры, состоящие из участков прямых и дуг окружностей.

В связи с этим подробно остановимся лишь на этих часто встречающихся элементах.

Участок прямой линии. Прямая линия в декартовых координатах может быть задана: точкой и касательной к окружности; касательной к двум окружностям; координатами начала и конца; длиной отрезка и углом наклона его к одной из осей координат; общим уравнением; уравнением прямой, проходящей через две заданные точки; уравнением прямой в отрезках; уравнением в канонической форме и др.

При расчете на ЭВМ часто прямолинейный участок записывают уравнением прямой, проходящей через две заданные точки (точки начала и конца),

$$\frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{x-x_1}{x_2-x_1},$$

где x_1 и y_1 — координаты начала участка, x_2 и y_2 — координаты конца участка, или уравнением в канонической форме

$$y = kx + m,$$

где x, y — координаты любой точки, взятой на данной прямой;

$k = \operatorname{tg} \alpha$ — угловой коэффициент, равный тангенсу угла наклона прямой к оси X ; m — величина отрезка, отсекаемого прямой на оси Y .

При ручном расчете удобнее участок прямой задавать координатами начала и конца (рис.2). Тогда для перемещения инструмента из точки x_1, y_1 в точку x_2, y_2 последнему необходимо пройти расстояние, равное ΔX , по координате X и ΔY — по координате Y (рис.2) (ΔX и ΔY в дальнейшем будем называть приращениями по координатам),

$$\Delta X = x_2 - x_1, \quad \Delta Y = y_2 - y_1.$$

Общая длина пути

$$L = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

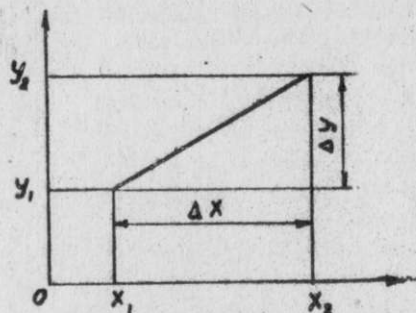


Рис. 2

Представление окружности уравнением удобно выполнить при машинном методе расчета, а при ручном расчете дугу окружности задают радиусом R (рис.3), координатами центра (x_0, y_0) , углом начала α_0 и конца α_K дуги.

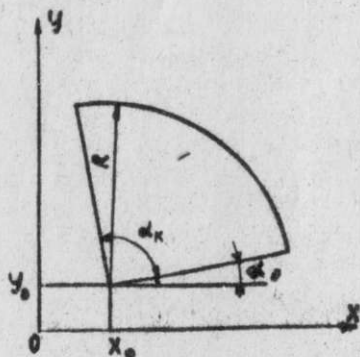


Рис. 3

Для построения этих кривых необходимые непосредственно из чертежа или косвенным образом определить для эллипса и гиперболы значение большой a и малой b осей, а для параболы только параметр p .

Окружность может быть задана в декартовых координатах: двумя касательными прямыми и радиусом; двумя точками на окружности и радиусом, уравнением окружности вида $(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 = R^2$, если центр не совпадает с началом координат (x_0, y_0) — координаты центра, R — радиус) и др.

Другие кривые в канонической форме записываются так:

$$\text{эллипс } \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1.$$

$$\text{гипербола } \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1.$$

$$\text{парабола } x^2 = 2py \quad \text{или } y^2 = 2px$$

Аналитический метод является наиболее универсальным и потому распространенным методом математической обработки чертежа траектории движения инструмента.

Имея математическое описание контура детали, который лишь при токарной обработке совпадает с траекторией движения инструмента, можно перейти к эквидистанте – траектории движения фрезы. Каждая точка эквидистанты может быть определена через координаты соответствующих точек контура (рис.4) по формулам

$$X_{2i} = X_i \pm R_{\infty} \frac{dy_i/dx_i}{\sqrt{1 + (dy_i/dx_i)^2}}; \quad Y_{2i} = Y_i \pm R_{\infty} \frac{1}{\sqrt{1 + (dy_i/dx_i)^2}}$$

В программе фрезерной обработки должна описываться именно эта эквидистанта.

Аппроксимация траектории движения инструмента есть приближенная замена ее криволинейных участков произвольного вида последовательностью типовых криволинейных или прямолинейных участков (дугами окружности, участками парабол, гипербол или участками прямых, составляющих ломаную линию) в пределах заданной точности.

Аппроксимация позволяет значительно снизить трудоемкость расчетов, так как вместо определения координат бесконечно большого числа точек кривой находят координаты лишь вспомогательных опорных точек, а промежуточные точки с дискретностью, равной одному элементарному перемещению (импульсу), для большинства контурных систем получаются автоматически с помощью интерполяторов.

Под вспомогательными опорными точками здесь понимаются точки, определяющие начало и конец новых кривых (прямых), ко-

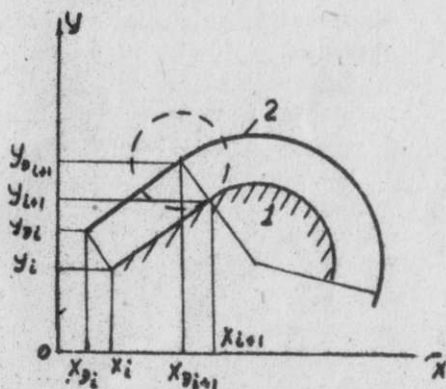


Рис. 4

торые заменяют кривую траектории движения.

Интерполятор представляет собой дорогостоящее специальное вычислительное устройство, выдающее по определенной функции (кривой или прямой) сигналы на перемещение инструмента по координатам между опорными точками с точностью в один импульс.

Для снижения трудоемкости подготовки программ желательно использовать интерполяторы, обеспечивающие движение по кривой высокого порядка (параболы, гиперболы и др.), наиболее близко расположенной к заданной. Тогда расстояние между опорными точками можно значительно увеличить (при той же точности), а число точек сократить. Однако такие интерполяторы сложны, дороги и малонадежны. Поэтому чаще применяют более простые и надежные линейные (или круговые) интерполяторы, обеспечивающие движение по прямой (по окружности) линии между опорными точками.

Таким образом, если система ЧПУ станка имеет встроенный интерполятор, то выбор типа аппроксимации определен однозначно - видом функции, реализуемой интерполятором.

В зависимости от характера аппроксимирующей кривой и заданной точности количество участков (интервалов) между смежными опорными точками будет различным. При этом необходимо определить величину и количество прямых, заменяющих кривую участков, т.е. количество вспомогательных опорных точек между заданными по чертежу и расстояний между ними.

Следовательно, процесс аппроксимации участков траектории предусматривает расчет шага аппроксимации, удовлетворяющего требованиям точности, и вычисление величин приращений для участков, определяемых шагом аппроксимации. Аппроксимация траектории при подготовке информации для интерполятора может выполняться на ЭВМ и вручную.

В практике ручного программирования для линейного интерполятора дуги и окружности аппроксимируются хордами, секущими и касательными (рис. 5 а, б, в). Величину шага аппроксимации (шаговый угол) определяют по следующим формулам:

при аппроксимации хордами

$$\Delta\varphi = 2 \arccos \left(1 - \frac{\delta a}{R} \right),$$

где R - радиус дуги окружности траектории (эквидистанты),
 δ_a - допуск на аппроксимацию (стрелка сегмента) - выбирают так, чтобы общая погрешность аппроксимации не превышала 15-25% допуска на обрабатываемый контур детали (часто δ_a принимают 0,01 мм);

при аппроксимации секущими

$$\Delta\varphi = 2 \arccos \left(\frac{R - \delta_a}{R + \delta_a} \right),$$

касательными

$$\Delta\varphi = 2 \arccos \frac{R}{R + \delta_a}.$$

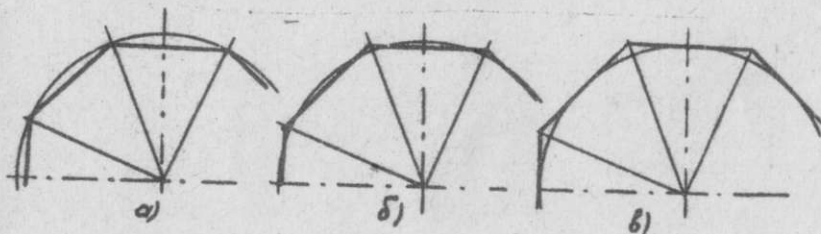
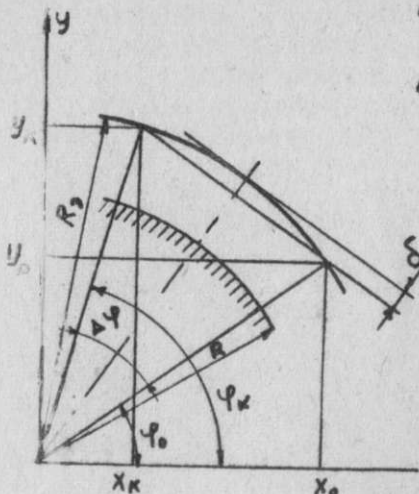


Рис. 5

Величину шага аппроксимации $\Delta\varphi$ округляют в сторону уменьшения с точностью до 30 мин. Выбор угла аппроксимации значительно облегчается использованием для этих целей таблиц.

Наиболее часто в практике программирования производят аппроксимацию дуги окружности хордами (рис.6). При этом необходимо найти углы, образованные радиус-векторами начальной и конечной точек дуги (начальный угол φ_0 и конечный угол φ_n), предварительно вычислив значения



$$\cos \varphi_0 = \frac{X_0}{R}; \quad \sin \varphi_0 = \frac{Y_0}{R};$$

$$\cos \varphi_n = \frac{X_n}{R}; \quad \sin \varphi_n = \frac{Y_n}{R},$$

где X_0 , Y_0 , X_n и Y_n - соответственно координаты начальной и конечной точек дуги в местной системе координат, началом которой является центр окружности, а оси параллельны расчетной системе координат. Далее расчет координат граничных точек участков аппроксимации на траектории ведется по следующим формулам:

$$X_1 = R \cos(\varphi_0 + \Delta\varphi), \quad Y_1 = R \sin(\varphi_0 + \Delta\varphi),$$

$$X_2 = R \cos(\varphi_0 + 2\Delta\varphi), \quad Y_2 = R \sin(\varphi_0 + 2\Delta\varphi),$$

$$X_n = R \cos(\varphi_0 + n\Delta\varphi), \quad Y_n = R \sin(\varphi_0 + n\Delta\varphi).$$

Рис. 6

Большинство отечественных интерполяторов требуют задания перемещений в относительных координатах величинами приращений ΔX , ΔY , ΔZ . Исключение составляют линейно-круговые интерполяторы, где дуги окружностей задаются величиной радиуса и значениями начального и центрального углов, соответствующих программируемой дуге.

Величины ΔX , ΔY , ΔZ определяются как разность абсциссы, ординаты и аппликаты начала и конца элемента. Поэтому конечной целью линейной аппроксимации окружности является определение приращений ΔX и ΔY всех звеньев ломаной линии, выражение их в импульсах, расчет длины участка аппроксимации по ΔX и ΔY , который необходим для задания частоты генератора.

Расчеты ведутся по следующим простейшим формулам:

$$\Delta \cos \varphi_i = \cos \varphi_i - \cos \varphi_{i-1},$$

$$\Delta \sin \varphi_i = \sin \varphi_i - \sin \varphi_{i-1},$$

$$\Delta X_i = X_i - X_{i-1} = R \cos \varphi_i - R \cos \varphi_{i-1} = R \Delta \cos \varphi_i,$$

$$\Delta Y_i = Y_i - Y_{i-1} = R \sin \varphi_i - R \sin \varphi_{i-1} = R \Delta \sin \varphi_i.$$

Полученные числа импульсов округляются до целых, причем на каждом последующем участке аппроксимации прибавляют погрешности округления предыдущего.

По окончании расчета составляется таблица аппроксимации (см. табл. 2) и проверяется правильность полученных данных. При правильно выполненном расчете суммы координатных приращений всех звеньев аппроксимирующей ломаной должны равняться координатным приращениям между начальной и конечной точками аппроксимируемой дуги.

Таблица 2

Аппроксимация окружности					Деталь		
$R, \text{мм} ;$		$\sin \varphi_0 ;$			лист	всего листов	
$R, \text{мм} ;$		$\cos \varphi_0 ;$				тов	
$\varphi_0 ;$		$\Delta \varphi ;$			$\varphi_k ;$	$\cos \varphi_k$	
№ по пор.	$\varphi \text{град}$	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\Delta \cos \varphi$	$\Delta \sin \varphi$	ΔX	ΔY

При аппроксимации дуги окружности более 45° рассчитать изменение угла можно в пределах от 0 до 45° , а затем воспользоваться свойствами симметрии. Другие кривые аппроксимируются по более сложным алгоритмам.

Продолжением аппроксимации является интерполирование. Под интерполированием понимается представление аппроксимиру-

щих прямых (хорд, касательных, секущих или кривых) последовательностью импульсов по управляемым координатам, причем частота следования импульсов и их количество зависят от скорости движения инструмента на данном участке и длины его проекции на оси координат. Аппроксимация в линейном интерполяторе осуществляется ступенчатой линией, представляющей собой проекции управляемых импульсов на оси координат (рис. 7), с величиной ступеньки в один импульс.

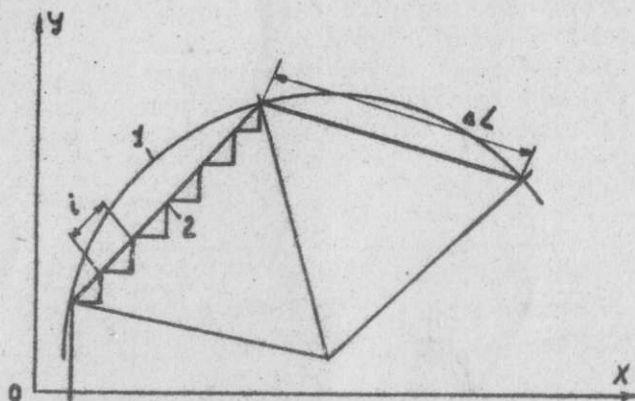


Рис. 7

Для станков, системы которых не имеют встроенного интерполятора, необходимо определять интервал интерполирования.

Интервал интерполирования (рис. 7) влияет как на точность обработки, так и на качество обрабатываемой поверхности. В общем виде допускаемая погрешность интервала интерполирования определяется

$$\epsilon < \delta_u - \omega,$$

где ϵ - допустимое значение погрешностей интерполирования, возникающих при замене криволинейного контура аппроксимирующим его полиномом; δ_u - допуск на изготовление детали; ω - суммарная погрешность данного метода аппроксимации (без учета теоретической погрешности интерполирования).

Расчет интерполирования можно вести по постоянному шагу

аппроксимации одной из осей либо по постоянной стрелке прогиба. Выбор методики расчета интервала интерполирования в каждом случае зависит от конкретных данных: вида участка траектории, вида интерполирующей функции, необходимой точности обработки. Подробнее об этих методах можно узнать из литературы [3] .

Задание коррекции радиуса фрезы. Интерполяторы УМС-2, ИЛ-2К, ИЛ-5 и другие имеют устройства, позволяющие с пульта корректировать траекторию движения в связи с его износом, переточкой, а также с целью выполнения нескольких проходов (черновых и чистовых) по одной расчетной траектории, записанной в программе.

Расчет величины коррекции радиуса фрезы заключается в определении поправок ΔX_k и ΔY_k по соответствующим координатам:

$$\begin{aligned} \Delta X_k &= \Delta R \cos \varphi, \\ \Delta Y_k &= \Delta R \sin \varphi, \end{aligned}$$

где φ - угол наклона нормали элемента контура к оси X (рис.8)

Ввод коррекции для заданного участка осуществляется специальными кадрами коррекции (где отсутствует информация о рабочих перемещениях) до начала обработки этого участка. Выражения значений коррекции $\sin \varphi$ и $\cos \varphi$ через приращения по координатам вычисляются по формулам

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \frac{|\Delta y|}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}, \\ \sin \varphi &= \frac{|\Delta x|}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}. \end{aligned}$$

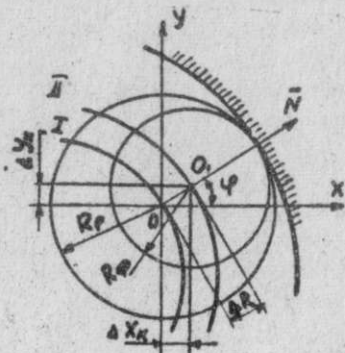


Рис. 8

Смену коррекции записывают в рабочих кадрах программы, введя приращения коррекции $\Delta \sin \varphi$ и $\Delta \cos \varphi$

$$\begin{aligned}\Delta \cos \varphi &= \cos \varphi_i - \cos \varphi_{i-1}, \\ \Delta \sin \varphi &= \sin \varphi_i - \sin \varphi_{i-1}.\end{aligned}$$

При программировании дуг окружностей смена коррекции вводится дополнительными данными в кадры аппроксимации.

При программировании внутренней обработки углов для плавной смены коррекции траектория должна иметь дугу не менее 0,6 мм. Сброс коррекции записывается аналогично вводу, но с противоположным знаком.

Время или частота отработки кадра. Время или частота отработки кадра характеризуют скорость движения инструмента по траектории. В интерполяторе УЛИ-1 она задается временем отработки кадра, которое определяется по формуле

$$t = \frac{L}{V},$$

$$\text{где } L = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$$

- длина рассматриваемого участка траектории, имп;

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ - соответственно координатные перемещения, имп;

$$V = \frac{S}{\Delta \delta 0}$$

- скорость движения инструмента, имп/с;

Δ

- пена одного импульса, мм;

S

- подача, мм/мин.

В интерполяторах ИЛ-2 и ИЛ-5 скорость движения характеризуется частотой отработки кадра $f_{\text{отр}}$, т.е. величиной, обратной времени отработки,

$$f_{\text{отр}} = \frac{1}{t} = \frac{1}{t} \text{ } 1/c$$

Торможение (разгон). Ввиду ограниченных возможностей по быстродействию силовых приводов ЧПУ станков, чтобы исключить появление дополнительных погрешностей на сопряжениях участков траектории, где резко изменяется направление движения (скачок скорости превышает 60 мм/мин для системы ФС-1 или 120 мм/мин -

для ФС-2), вводится программируемое снижение скорости - торможение. По команде "торможение" происходит плавное уменьшение технологической подачи.

Зная расчетное время отработки кадра t и вычтя из него время торможения t_r , получим время разгона t_p , которое потом округляется до ближайшего табличного значения

$$t_p = t - t_r \text{ с}$$

Причем введению команды "торможение" обязательно должны предшествовать команды "разгон", с продолжительностью не менее времени торможения.

В интерполяторе ИЛ-2 по команде "торможение" происходит плавное снижение подачи примерно в 20 раз. Здесь время торможения может задаваться равным 0,5; 1; 2с, но одинаковым для одной программы.

В интерполяторе ИЛ-5К при торможении подача уменьшается плавно до значения примерно в 32 раза меньшего в сравнении с программным. Время торможения здесь можно назначать равным 0,125, 0,25, 0,5, 1, 2с.

Результаты расчетов математической подготовки заносятся в программный бланк (см. табл.3), который полностью заполняется после кодирования информации.

Таблица 3

Программа			Деталь							
Δx ИМП	Δy ИМП	Δz ИМП	Коррекция		Время			Всего листов		
			$\Delta \sin \varphi$	$\Delta \cos \varphi$	знач.	мно- жит.	разгон тормо- жен.	знак двигат.	команды	примечан.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

§ 4. Кодирование и запись информации

Под термином "кодирование" следует понимать определенный способ записи задающей (технологической, геометрической и вспомогательной) информации в виде символов, букв и чисел, сочетание которых образует так называемый программный язык.

Система кодирования должна позволять использование надежных серийно выпускаемых устройств для записи, считывания, преобразования и контроля записанной в программе информации.

Системы счисления. Известно много различных систем счисления: единичная, двоичная, троичная, восьмиричная, десятичная, двоично-десятичная и другие, однако в практике программного управления станками наибольшее применение нашли только единичная, двоичная и двоично-десятичная системы. Это позволит рассматривать только их.

Единичная система счисления (или унитарный код) позволяет любое число выразить последовательностью единиц, количество которых равно содержанию данного числа. Например, число 8 в единичной системе запишется так:

$$8 = \text{I I I I I I I I}.$$

Числа, записанные в этой системе, громоздки, малоудобны в обращении, требуют большой длины программносителя; это в некоторой степени компенсируется простотой технических средств для их запоминания и передачи. Единичная система счисления нашла применение при записи программ на магнитные носители (магнитную ленту).

В двоичной системе число A представляется суммой степенных функций с основанием 2, помноженных на коэффициенты 1 или 0:

$$A = \sum_{i=0}^{i=n} K_i \cdot 2^i,$$

где K_i - коэффициент, принимающий значение 1 или 0. Так число 9 в этой системе запишется как

$$9 = 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0.$$

Для краткости записываются только коэффициенты, т.е.

$$9 = \text{I00I}.$$

Над этими числами удобно производить различные логические действия. Использование в этой системе всего лишь двух базовых чисел 1 и 0 значительно упрощает конструкции различных логических устройств, так как дискретные элементы, из которых они состоят, также имеют два устойчивых состояния. "Да - нет", "включено - выключено", "высокое - низкое" напряжение, "намагничен - размагничен" и т.д.

Некоторое неудобство двоичной системы заключается в громоздкости записи чисел (количество цифр двоичного изображения числа примерно в 13,3 раза больше цифр в десятичном изображении того же числа).

Этот код приобретает, видимо, еще большую популярность в связи с развитием автоматического программирования на УЦВМ и непосредственного управления работой станков ЧПУ от УЦВМ.

Двоично-десятичный код. В этой системе счисления число разбивается на разряды как в десятичной системе, а цифры каждого разряда представляются двоичным кодом. Любую цифру десятичного разряда можно изобразить четырьмя двоичными разрядами. Так, например, число 158 в двоично-десятичной системе (БЦК-5) с ценой двоичных разрядовых 8-4-2-1 будет выглядеть так:

000101011000,

где первые четыре цифры 0001 соответствуют одной сотне, вторые 0101 - соответствуют 5 десяткам, а цифры 1000 - 8 единицам.

Двоично-десятичный код сочетает в себе экономичность десятичной системы исчисления и преимущества двоичного кода, позволяющего использовать двустабильную электронную аппаратуру. Двоично-десятичный код в настоящее время в системах ЧПУ станков является самым распространенным.

Распределение информации на программноносителе. Под способом распределения информации на программноносителе подразумевается метод построения программы. Программка строится по принципу отдельных блоков, н.з.ываемых кадрами или фразами. В кадре программы содержится в закодированном виде вся необходимая информация для работы механизмов станка, участвующих в обработке одного элементарного участка профиля детали или в обработке одного отверстия, одного прохода и т.д.

Кадр, в свою очередь, состоит из отдельных команд, а фраза - из слов

Каждое слово или команда определяют действия механизмов: механизмов подачи по координатам, привода главного движения, механизмов смены инструмента и др. Команда и слово образуются из соответствующих символов (кодовых обозначений), содержащих количественные и качественные сведения: буквы дают качественную характеристику – адрес команды, а цифры – содержание команды (количественную характеристику).

Каждая система ЧПУ однозначно определяет способ записи программы.

Различают три способа записи: кадрами постоянной длины, кадрами переменной длины (фразами) и адресным способом.

Распределение информации кадрами постоянной длины (рис. 9а) означает строгую последовательность записи команд и определенную длину кадра независимо от количества программируемой информации.

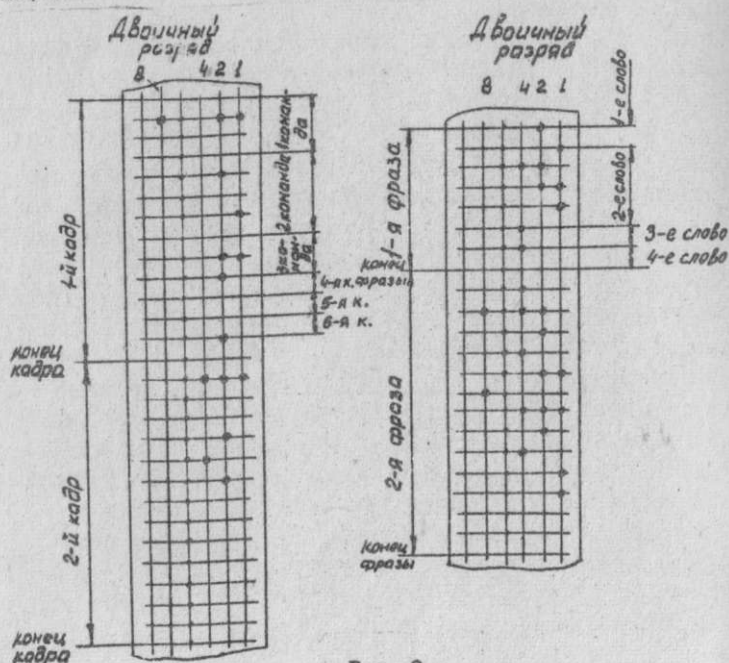


Рис. 9

Обычно команды в кадре размещены следующим образом (сверху - вниз или слева - направо): информация о перемещении инструмента (стола) по координатам X , Y , Z , затем информация о коррекции размера инструмента по осям X и Y . Далее дается информация о направлении (знаке) движения по координатам. Следующими идут команды о множителях частоты, условном останове, величине частоты отработки кадра, торможении и разгоне, повторении и контроле.

Таким образом, постоянное место расположения команд является для них адресом, т.е. первая команда поступает только в механизм перемещения по оси X , вторая - только в механизм перемещения по оси Y и т.п.

Такой способ построения программы несколько упрощает конструкцию системы управления (исключаются некоторые запоминающие устройства), но зато увеличивается длина программноносителя, так как размер кадра выбирается из расчета записи максимально возможного объема информации.

Более экономичным с точки зрения длины программноносителя является построение программы кадрами переменной длины (фразами) (рис. 9б). Здесь команды (слова) размещены также в определенной последовательности, но занимают они столько строк, сколько минимально необходимо их для записи заданного числа; после каждого слова ставится условный разделительный знак. И если информация для каких-либо механизмов совсем отсутствует, то в программе разделительный знак ставится дважды.

При адресном способе записи информации перед каждым словом указывается условным знаком его адрес. Считанная с этой части фразы информация направляется к соответствующему исполнительному механизму.

Таким образом, при адресной записи программы строгое чередование слов во фразе не обязательно, поэтому при отсутствии информации в каких-либо словах отпадает необходимость даже символами это записывать; здесь слово просто отсутствует.

Адресный способ позволяет достичь наибольшей экономии площади программноносителя, но при этом усложняется структура системы ЧПУ. В практике программного управления станками наиболее применим первый способ представления информации, хотя

Каждое слово или команда определяют действия механизмов: механизмов подачи по координатам, привода главного движения, механизмов смены инструмента и др. Команда и слово образуются из соответствующих символов (кодовых обозначений), содержащих количественные и качественные сведения: Буквы дают качественную характеристику – адрес команды, а цифры – содержание команды (количественную характеристику).

Каждая система ЧПУ однозначно определяет способ записи программы.

Различают три способа записи: кадрами постоянной длины, кадрами переменной длины (фразами) и адресным способом.

Распределение информации кадрами постоянной длины (рис. 9а) означает строгую последовательность записи команд и определенную длину кадра независимо от количества программируемой информации.

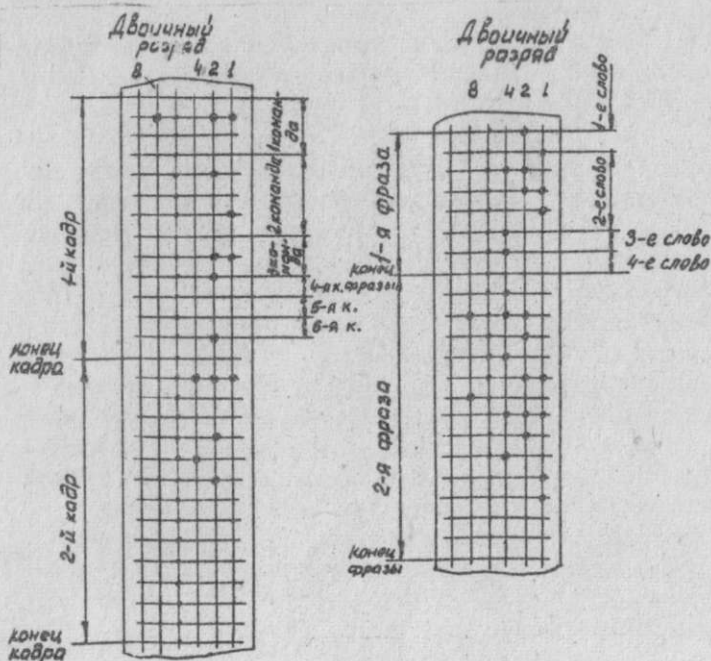


Рис. 9

Обычно команды в кадре размещены следующим образом (сверху - вниз или слева - направо): информация о перемещении инструмента (стола) по координатам X , Y , Z , затем информация о коррекции размера инструмента по осям X и Y . Далее дается информация о направлении (знаке) движения по координатам. Следующими идут команды о множителях частоты, условном останове, величине частоты обработки кадра, торможении и разгоне, повторении и контроле.

Таким образом, постоянное место расположения команд является для них адресом, т.е. первая команда поступает только в механизм перемещения по оси X , вторая - только в механизм перемещения по оси Y и т.п.

Такой способ построения программы несколько упрощает конструкцию системы управления (исключаются некоторые запоминающие устройства), но зато увеличивается длина программносителя, так как размер кадра выбирается из расчета записи максимально возможного объема информации.

Более экономичным с точки зрения длины программносителя является построение программы кадрами переменной длины (фразами) (рис. 9б). Здесь команды (слова) размещены также в определенной последовательности, но занимают они столько строк, сколько минимально необходимо их для записи заданного числа; после каждого слова ставится условный разделительный знак. И если информация для каких-либо механизмов совсем отсутствует, то в программе разделительный знак ставится дважды.

При адресном способе записи информации перед каждым словом указывается условным знаком его адрес. Считанная с этой части фразы информация направляется к соответствующему исполнительному механизму.

Таким образом, при адресной записи программы строгое чередование слов во фразе не обязательно, поэтому при отсутствии информации в каких-либо словах отпадает необходимость даже символами это записывать; здесь слово просто отсутствует.

Адресный способ позволяет достичь наибольшей экономии площади программносителя, но при этом усложняется структура системы ЧПУ. В практике программного управления станками наиболее применим первый способ представления информации, хотя

Каждое слово или команда определяют действия механизмов: механизмов подачи по координатам, привода главного движения, механизмов смены инструмента и др. Команда и слово образуются из соответствующих символов (кодовых обозначений), содержащих количественные и качественные сведения: буквы дают качественную характеристику – адрес команды, а цифры – содержание команды (количественную характеристику).

Каждая система ЧПУ однозначно определяет способ записи программы.

Различают три способа записи: кадрами постоянной длины, кадрами переменной длины (фразами) и адресным способом.

Распределение информации кадрами постоянной длины (рис. 9а) означает строгую последовательность записи команд и определенную длину кадра независимо от количества программируемой информации.

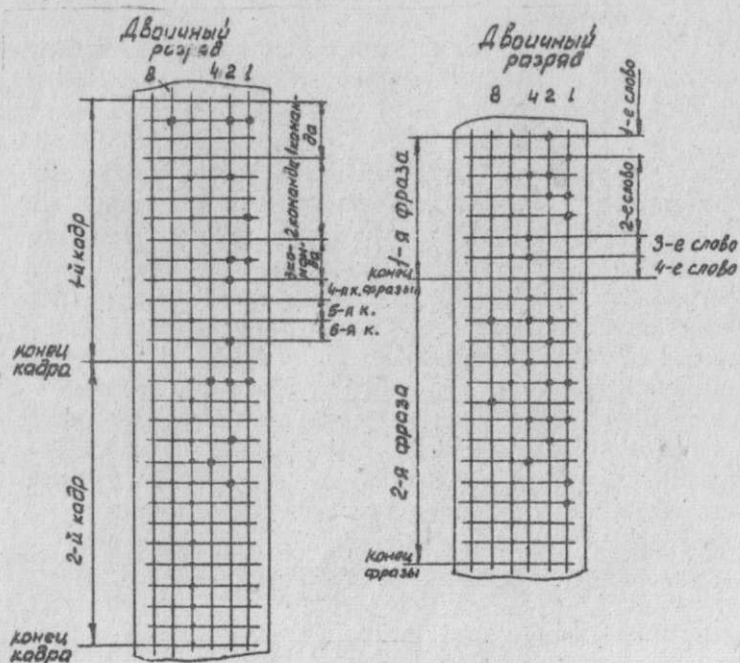


Рис. 9

Обычно команды в кадре размещены следующим образом (сверху - вниз или слева - направо): информация о перемещении инструмента (стола) по координатам X , Y , Z , затем информация о коррекции размера инструмента по осям X и Y . Далее дается информация о направлении (знаке) движения по координатам. Следующими идут команды о множителях частоты, условном останове, величине частоты отработки кадра, торможении и разгоне, повторении и контроле.

Таким образом, постоянное место расположения команд является для них адресом, т.е. первая команда поступает только в механизм перемещения по оси X , вторая - только в механизм перемещения по оси Y и т.п.

Такой способ построения программы несколько упрощает конструкцию системы управления (исключаются некоторые запоминающие устройства), но зато увеличивается длина программоносителя, так как размер кадра выбирается из расчета записи максимально возможного объема информации.

Более экономичным с точки зрения длины программоносителя является построение программы кадрами переменной длины (фразами) (рис. 96). Здесь команды (слова) размещены также в определенной последовательности, но занимают они столько строк, сколько минимально необходимо их для записи заданного числа; после каждого слова ставится условный разделительный знак. И если информация для каких-либо механизмов совсем отсутствует, то в программе разделительный знак ставится дважды.

При адресном способе записи информации перед каждым словом указывается условным знаком его адрес. Считанная с этой части фразы информация направляется к соответствующему исполнительному механизму.

Таким образом, при адресной записи программы строгое чередование слов во фразе не обязательно, поэтому при отсутствии информации в каких-либо словах отпадает необходимость даже символами это записывать; здесь слово просто отсутствует.

Адресный способ позволяет достичь наибольшей экономии площади программоносителя, но при этом усложняется структура системы ЧПУ. В практике программного управления станками наиболее применим первый способ представления информации, хотя

имеет место и запись кадрами переменной длины.

Как указывалось выше, на способ кодирования информации оказывает существенное влияние тип интерполятора, которым оснащен станок с функциональной системой ЧПУ (или с помощью которого готовится программа), и тип системы для станков с позиционными системами ЧПУ.

Рассмотрим способы кодирования информации для наиболее распространенных интерполяторов типа УЛИ, ИЛ-2 и ИЛ-5К, а среди позиционных систем ЧПУ для систем станков 2Н135Ф2, 2Н118Ф2 и КСП.

Кодирование для интерполятора УЛИ-1. Линейный интерполятор УЛИ-1 (модернизированный) предназначен для преобразования информации о трехкоординатной обработке деталей как с коррекцией размера инструмента, так и без нее. На рис. 10 показан фрагмент программы (один кадр) для этого интерполятора.

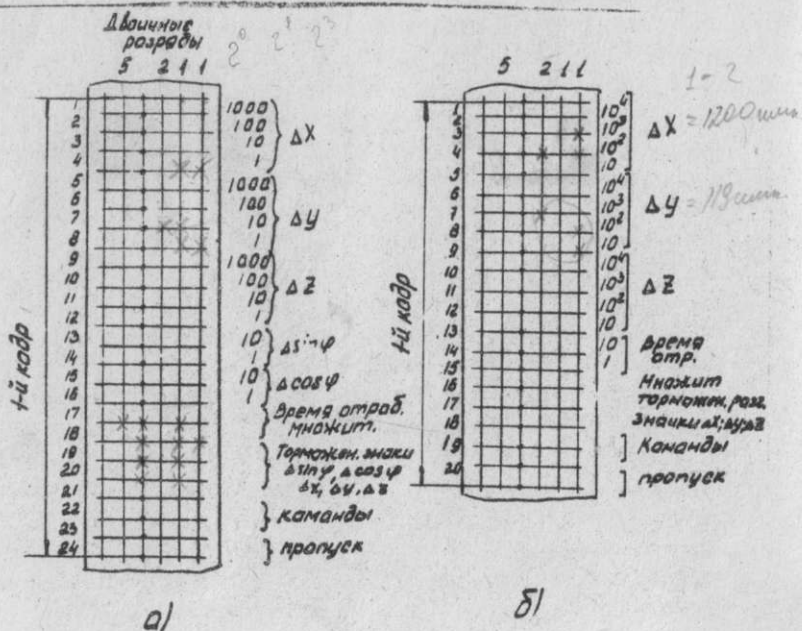


Рис. 10

Вся информация кадра записывается на 22 строках (или 18 строках, когда коррекция на размер инструмента отсутствует) в двоично-десятичном коде с ценой двоичных разрядов 5-2-1-1.

Информация о величине перемещения в импульсах по координатам X, Y, Z здесь записана на строках с 1-й по 12-ю (4 строки отводится на каждую координату, что позволяет записать максимальные переменные в 9999 импульсов).

Величина коррекции по координатам ΔX_{imp} и ΔC_{imp} записывается на четырех строчках (по две на каждую) с 13-й по 16-ю. В 17-й и 18-й строках записывается код времени отработки кадра интерполятором, который находится из табл.4 по значению времени отработки. Для этого время отработки здесь должно быть представлено в виде произведения некоторого числа, меньшего 0,5 с, на степень числа 10 (множитель). Например, $t_p = 26$ с запишется как $0,25 \cdot 10^2$ с. В 17-й строке будет записан символ A , а в 18-й - символ B (см. табл.4)

Таблица 4

Значен. времени	Символ	Код на перфоленте					
		С	5		2	1	1
0,05	I	0				0	
0,06	2	0			0		
0,07	3	0			0		0
0,08	4	0			0	0	0
0,10	5	0	0				
0,12	6	0	0			0	
0,15	7	0	0			0	0
0,18	8	0	0		0		0
0,22	9	0	0		0	0	0
0,26	A	0					0
0,31	B	0				0	0
0,37	C	0			0	0	
0,43	D	0	0				0

Таблица 5

Множит. времени	Символ	Код на перфоленте					
		С	5		2	I	I
I	0	0					
IO	A	0					0
IOO	B	0				0	0
IOOO	4	0			0	0	0

Таблица 6

Знаки			Символы	Код на перфоленте					
X	y	Z		С	5		2	I	I
+	+	+	0	0					
-	+	+	2	0			0		
-	-	+	С	0			0	0	
-	-	-	4	0			0	0	0
+	-	-	B	0				0	0
+	+	-	A	0					0
+	-	+	I	0				0	
-	+	-	3	0			0		0

Таблица 7

Реагон Тормож.	Символ	Код на перфоленте					
		С	5		2	I	I
T	A	0					0
P	0	0					
"5"	5	0	0				

Если значение времени при расчете не совпадает с табличным (табл. 4), то следует принять ближайшее (кроме значений 0,06 и 0,05, которые интерполятор не всегда обрабатывает).

В 19-й строке кадра указывается код команд "разгон" или "торможение". При торможении этот интерполятор программирует снижение скорости до 40 раз. Время торможения в этом интерполяторе можно задавать равным 0,26, 0,5 и 1 с, но в одной программе оно должно быть одним и тем же.

Код торможения T или разгона P выбирается по табл. 7. Время отработки кадра с учетом торможения t_{ρ} определяется, как указывалось выше, вычитанием времени торможения из расчетного времени отработки (без учета торможения).

Например, для $\Delta X = 1500$ имп., $\Delta Y = 200$ имп., $t_T = 1$ с, $V_T = 100$ имп/с и времени отработки $t = 7,58$ с (без торможения) $t_{\rho} = 7,58 - 1 = 6,58$ с. Ближайшее табличное время интерполятора (табл. 4) равно 7 с, а его код 3B. Разделив величины координатных перемещений на две части в пропорции 7:1, будем иметь: в первом кадре $\Delta X = 1313$ имп., $\Delta Y = 175$ имп., $N_{\rho} = 88$ имп., $t_{\rho} = 7$ с; во втором $-\Delta X = 187$ имп., $\Delta Y = 25$ имп., $N_T = 12$ имп., $t_T = 1$ с.

В программах, не содержащих информации о коррекции размера инструмента, разгон кодируется цифрой 0, а торможение - буквой A (табл. 7).

Интерполятор УЛИ-1 может также программировать неполный разгон, обозначенный в таблице 7 цифрой 5. Такой неполный разгон применяется на прямолинейных участках. Участок в этом случае разбивается на две части, а задают его одним кадром (деление координатных перемещений и времени отработки кадра пополам осуществляется автоматически в интерполяторе). Первая половина кадра обрабатывается с разгоном, а вторая с торможением.

Если в конце криволинейного участка необходимо ввести торможение и общее время отработки всех звеньев аппроксимирующей ломаной не менее удвоенного времени торможения, то возможны три случая.

1. Время отработки одного звена t_2 равно времени t_T . В этом случае торможение программируется в последнем кадре, а во всех предыдущих - разгон.

Таблица 8

Разгон Тормоз.	Знаки		Символ	Код на перфоленте					
	всп	дсп		С	5	2	I	I	
"S"	+	+	5	0	0				
"T"	+	+	A	0					0
"P"	+	+	Q	0	0		0	0	
"S"	-	-	K	с	0		0	0	0
"T"	-	-	4	0			0	0	0
"P"	-	-	C	0			0	0	
"S"	+	-	B	0	0			0	
"T"	+	-	B	0				0	0
"P"	+	-	I	0				0	
"S"	-	+	F	0	0		0		
"T"	-	+	3	0			0		0
"P"	-	+	2	0			0		

2. Если $t_3 > t_7$, то последнее звено делят на две части. Первая часть и все предыдущие звенья программируются с разгоном, а вторая - с торможением.

3. При $t_3 < t_7$ торможение программируют в нескольких последних кадрах (предшествующих этому участку), общее время обработки которых равно принятому времени торможения.

В программах с учетом коррекции на размер инструмента код разгона и торможения с учетом величин коррекции по координатам принимается по табл. 4.

В 20-й строке кадра указывается код знаков движения фрезы по координатам, который выбирается по табл. 5.

Строки 21 и 22 предназначены для команд останова лентопротяжного механизма и обратной перемотки магнитной ленты.

Команда останова программируется пятью кадрами, содержание которых приведено в таблице 9, а команда обратной перемотки - двумя кадрами (в конце программы), содержание которых дано в табл. 10.

Таблица 9

ΔX	ΔY	ΔZ	Коррекция		Время		Разгон-тор-може-ние	Знак дви-же-ния	Коман-ды	При-ме-чание
			$\Delta \sin \varphi$	$\Delta \cos \varphi$	зна-чен.	мно-жит.				
0000	0000	0000	00	00	0	0	0	0	50	
0000	0000	0000	00	00	0	0	0	0	55	
0000	0000	0000	00	00	0	0	0	0	05	
0000	0000	0000	00	00	0	0	0	0	00	
0000	0000	0000	00	00	0	0	A	0	00	

Таблица 10

ΔX	ΔY	ΔZ	Коррекция		Время		Разгон-тор-може-ние	Знак дви-же-ния	Коман-ды	При-ме-чание
			$\Delta \sin \varphi$	$\Delta \cos \varphi$	зна-чен.	мно-жит.				
0000	0000	0000	00	00	0	0	0	0	00	
0000	0000	0000	00	00	0	0	0	0	05	

В конце каждого кадра (на перфоленте должно быть не менее двух пустых строк) (строки 23 и 24) - разделительный знак. Заканчивается программа командой "стоп", пробиваемой одним отверстием на второй дорожке слева (со значимостью двоичного разряда 5).

Кодирование для интерполятора ИЛ-2. Линейный интерполятор ИЛ-2 предназначен для преобразования информации для трехкоординатных функциональных СПУ с введением коррекции на размер инструмента или без нее.

Информация, поступающая в интерполятор, кодируется в двоично-десятичном коде с ценой двоичных разрядов 8-4-2-1 и записывается кадрами постоянной длины. Один кадр программы показан на рис. 11.

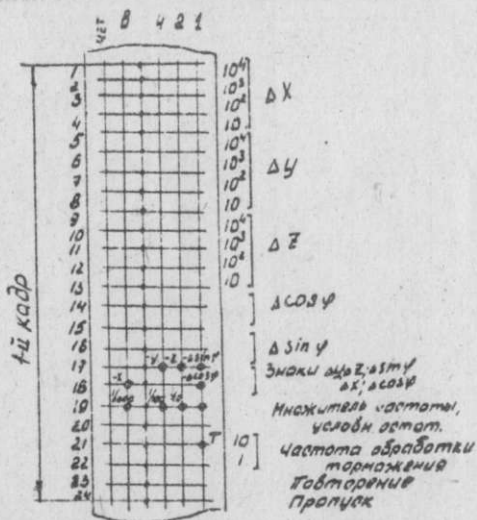


Рис. II.

Первая дорожка слева ("чет.") предназначена для контроля информации. По ней на каждой строке с нечетным количеством отверстий пробивается еще отверстие, дополняющее их до четного количества.

Информация о перемещениях (в импульсах) по координатам X , Y , Z занимает 12 верхних строк (по 4 на каждую координату), кодируется так же, как и для УЛН-1.

В импульсах указывается абсолютная величина коррекции $\Delta \cos \varphi$ (строки 13, 14) и $\Delta \sin \varphi$ (строки 15 и 16). В 17-й строке записывается код знаков перемещений по координатам Y , Z и код знака коррекции $\Delta \sin \varphi$, а в 19-й код знаков перемещения по X и коррекции $\Delta \cos \varphi$. Назначаются эти коды по табл. II и I2.

Частота f_{amp} задается в программе целым четным числом, которое получается при умножении расчетного значения на один из множителей (10, 100, 1000) и округлении до ближайшего четного значения. Полученный при этих расчетах множитель частоты (кроме 1) записывается в 19-й строке, а в 20-й и 21-й — значение частоты f_{amp} .

Таблица II

y	z	$\sin y$	Код
+	+	-	1
+	-	+	2
+	-	-	3
-	+	+	4
-	+	-	5
-	-	+	6
-	-	-	7

Значение частоты, равное единице, не записывается, ее минимальное значение равно двум.

Пример. $L = 200$ имп.; $S = 358$ имп/с, тогда $f_{amp} = \frac{S}{L} = 1,79$ 1/с.

Округляем полученное значение до ближайшего числа 1,8 (таблица I3) и записываем его в виде $1,8 = 18.1/10$, т.е. в 19-й строке запишется число 2, в 20-й - число 1, в 21-й - 8. Код числа $18.1/10$ равен 218.

В 19-й строке на первой дорожке справа записывается при необходимости команда условного останова ("УО"). По этой команде интерполятор после отработки данного кадра останавливается. После этого пуск интерполятора производится вручную от кнопки "пуск" на пульте управления его.

В 21-й строке на первой дорожке справа указывается код команды "торможение" T . При наличии в кадре команды "торможение" код частоты нужно увеличить на единицу. Команда "разгон" имеет код 0. По команде "торможение" подача плавно уменьшается примерно в 20 раз, причем время торможения в ИЛ-2 можно задать одним из значений: 0,5; 1 или 2 с. В системах ФС-1 и ФС-2 время торможения принято равным 1с. Здесь, так же как и в интерполаторе УЛИ-1, кадр, в котором предусматривается торможение, делится на две части пропорционально времени торможения t_r и разности $t - t_r$.

Таблица I2

x	$\cos y$	Код
+	+	0
+	-	1
-	+	8
-	-	9

Таблица 13

Значение времени	Код частоты	Значение времени	Код частоты	Значение времени	Код частоты	Значение времени	Код частоты
0,5	0,2	0,26	238	1,79	456	13,51	874
0,056	0,18	0,28	236	1,65	454	13,69	872
0,063	0,16	0,29	234	1,92	452	14,29	870
0,071	0,14	0,31	232	2	450	14,71	868
0,083	0,12	0,33	230	2,08	448	15,15	866
0,1	0,10	0,36	228	2,17	446	15,63	864
0,102	298	0,38	226	2,27	444	16,13	862
0,104	296	0,42	224	2,38	442	16,67	860
0,106	294	0,45	222	2,5	440	17,24	858
0,109	292	0,5	220	2,63	438	17,86	856
0,111	290	0,56	218	2,78	436	18,52	854
0,114	288	0,63	216	2,94	434	19,23	852
0,116	286	0,71	214	3,13	432	20	850
0,119	284	0,83	212	3,33	430	20,83	848
0,122	282	1	210	3,57	428	21,74	846
0,125	280	1,02	498	3,85	426	22,73	844
0,128	278	1,04	496	4,17	424	23,81	842
0,132	276	1,06	494	4,55	422	25	840
0,135	274	1,09	492	5	420	26,32	838
0,139	272	1,11	490	5,56	418	27,78	836
0,143	270	1,14	488	6,25	416	29,41	834
0,147	268	1,16	486	7,14	414	31,25	832
0,152	266	1,19	484	8,33	412	33,33	830
0,156	264	1,22	482	10	410	35,71	828
0,161	262	1,25	480	10,20	898	38,46	826
0,167	260	1,28	478	10,42	896	41,67	824
0,172	258	1,32	476	10,64	894	45,45	822
0,179	256	1,35	474	10,87	892	50	820
0,185	254	1,39	472	11,11	890	55,56	818
0,192	252	1,43	470	11,36	888	62,5	816
0,2	250	1,47	468	11,63	886	71,43	814
0,21	248	1,52	466	11,90	884	83,33	812
0,22	246	1,56	464	12,20	882	100	810
0,23	244	1,61	462	12,5	880	125	808
0,24	242	1,67	460	12,82	878	166,67	806
0,25	240	1,72	458	13,16	876	250	804
						300	802

Например, для $\Delta X = 822$ имп., $\Delta Y = 200$ имп., $\Delta Z = 100$ имп., $V = 200$ имп/с, $t_r = 1$ с получим $t = 4,26$ с, $t_p - t - t_r = 3,26$ с. По табл.13 выбираем ближайшее значение, равное 3,33 с (код частоты - 430). Разделим величины координатных перемещений на две части в отношении 3,33:1, тогда в первом кадре $\Delta X = 632$ имп., $\Delta Y = 154$ имп., $\Delta Z = 77$ имп.; во втором - $\Delta X = 190$ имп., $\Delta Y = 46$ имп., $\Delta Z = 23$ имп. Все остальные положения по программированию команды "торможение" аналогичны УЛИ-1.

В 22-й строке задается число повторений кадра, если величину линейного участка не удастся задать одним кадром. Для Π повторений кадр обрабатывается $\Pi + 1$ раз. Разделом между кадрами служат пустые строки 23 и 24.

Конец программы никаким кодом не указывается.

Кодирование программы для станков с позиционными ЧПУ. На основании технологической и математической подготовки, которая для сверлильных и координатно-расточных операций при ручном программировании отличается большим объемом геометрической информации, определены путь инструмента (траектория) от отверстия к отверстию, циклы обработки и порядок чередования инструментов. Это является исходной информацией для кодирования. При этом в расчетном бланке в зависимости от последовательности обработки записаны координаты отверстий, режимы обработки и перечень необходимого инструмента, порядок их смены в цикле, если система оснащена устройством для автоматической смены. Содержание кадра зависит от конкретного станка и позиционной системы, которой он оснащен.

Наиболее распространенными позиционными системами в станках являются: "координата 68" (ППС-2) и СЦ-7. Первая система применена в координатно-сверлильных станках 2Н135Ф2, 2Р135Ф2, 2Н118Ф2, 2Р118Ф; а вторая - в КСП. Программа для них записывается на 5-дорожечной стандартной бумажной перфолене.

Рассмотрим особенности кодирования информации для этих двух систем. Кодирование программы для системы "координата-68" выполняется в коде БЦК-5 (8-4-2-1). Вся информация заносится в специальный бланк (см. табл.14) в виде кодов. Каждый кадр имеет свой номер и начинается с символа H , перед которым указывается его порядковый номер двумя цифрами.

Таблица 14

Программа					Деталь					
					Лист			Всего листов		
Номер кадра	Перемещение по оси X	Направление перемещения	Контрольное число	Перемещение по оси Y	Направление перемещения	Контрольное число	Номер операции	Номер цикла	Остановка	Примечание
Н	Е 000,00	0	0	Д 000,00	0	0	К00	С0	Б	

Информация о перемещении выражена в ~~двоичных~~ и представляется пятью десятичными разрядами. Запись числа в каждом десятичном разряде записывается двоичными числами. Причем информации перемещения по X предшествует адрес E, а перемещению по Y - адрес D.

Далее указывается код направления перемещения по каждой координате. Код 1 соответствует движению в положительном направлении, т.е. в сторону увеличения координаты, а 0 - при обратном направлении. С целью контроля записанной информации перемещения для каждой команды записывается цифра, дополняющая сумму цифр до числа, кратного 9 (контроль по модулю 9). Например, для перемещения по оси X, равного E 12000, записывается число 6, для перемещения по оси Y числом D 16000 - контрольное число 2.

В каждом кадре указывается порядковый номер операции после его адреса K двумя цифрами (K 03, ..., K 15 ...).

Характер обработки (глубина сверления, расточки) в программе определяется номером цикла. Информация о цикле записывается одной цифрой после адреса C (например, C2, C4).

Цикл определяет последовательность работы инструментов при обработке отверстия, причем порядок чередования работы инструментов задается на пульте управления (на стеккерной панели), а

в карту записывается перечислением номеров в направлении увеличения их.

При кодировании для системы СЦ-7 цифровая информация о перемещении, представленная в импульсной форме, записывается в программу в видоизмененном двоично-десятичном коде БЦК-5 с ценой двоичных разрядов 5-2-2-1 и вводится в систему при помощи стандартного транслятора Т-50. Каждый кадр программы содержит признак координаты (одной из четырех возможных, так как система обеспечивает только последовательное передвижение стола по координатам), знак перемещения, последовательность обработки каждого отверстия (сверление, развертывание, зенкование и другие операции), режимы (подача шпиндельной головки с инструментом и число оборотов инструмента).

При кодировании информация заносится в специальный бланк (табл. I5), содержание которого отличается от рассмотренного выше (табл. I7). В левой его части записывается признак координаты и величина перемещения по ней.

Таблица I5

Программа					Деталь						
					лист	всего		лист		При- ме- ча- ние	
№ кад- ра	Признак коорди- наты	Величина перемеще- ния, имп	Знак пере- меще- ния и услов. остан.	Число пово- ротов револьв. головки	Режимы для инструмента				Пов- то- ре- ния		Конт- роль
					1	2	3	4			
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Код перемещения по координате X-I, по координате Y - 2. Затем указывается знак перемещения. Положительное направление движения (в сторону увеличения координаты) записывается кодом I, а движение в обратную сторону - кодом 0.

В пятую колонку бланка заносят информацию о порядке смены инструмента при обработке отверстия (о повороте револьверной головки). 6, 7, 8, 9-я колонки отводятся под коды режимов (поряд-

ковые номера) работы каждого инструмента (быстрый подвод, рабочая подача, число оборотов шпинделя и отвод). Эти режимы заранее устанавливаются на пульте управления. Включение соответствующего режима осуществляется автоматически по команде с программы.

В Ю-й колонке записывается команда на повторное выполнение цикла (обработка одинаковых и равнорасположенных отверстий). Допускается повторение цикла до 9 раз. Код команды на повторение цикла - I.

В графе II записывается контрольное число. В примечании кратко записывается содержание цикла. Например, "подвод по оси Y " или "подвод к отверстию 2 и его обработка" и т.д.

Программа для всех рассмотренных интерполяторов и позиционных систем набивается на бумажной стандартной пятидорожечной перфоленте. Распределение информации по программе выполняется кадрами постоянной длины. Запись программы на перфоленте определяется стандартными перфораторами модели СТА-35.

§ 5. Контроль и отладка программ

Процесс выявления и исправления ошибок, допущенных при разработке программы, является одним из самых трудоемких и длительных. При программировании ввиду сложности процесса ошибки могут возникнуть на всех этапах, поэтому контроль необходим также на всех этапах. Ошибки технологического этапа во многом зависят от индивидуальных качеств технолога, его профессиональной зрелости и в основном сводятся к неточному заданию режимов резания. Полностью выявить эти ошибки чаще всего удается лишь на стадии отладки программ.

Контроль расчетов координат опорных точек может осуществляться повторными аналитическими расчетами или графическим построением в масштабе чертежа детали и чертежа траектории (эквилистанты) путем нанесения вычисленных координат опорных точек.

В особо ответственных случаях расчеты могут выполняться двумя операторами раздельно с последующим сопоставлением их результатов.

Контроль результатов аппроксимации проводится проверкой

разности координат начала и конца дуг по сумме приращений на участках аппроксимации.

Ошибки в задании коррекции на размер инструмента и ошибки кодирования обнаруживаются при вычерчивании траектории на координатографе.

Ошибки перфорирования обнаруживают путем сопоставления двух программ, изготовленных разными операторами на специальном устройстве КСУ. Это устройство обнаруживает несовпадение пробивок в соответствующих строках, продвижение ленты при этом останавливается и оператор получает возможность выявить ошибку и внести исправление. Иногда визуально сравнивают набитую программу с данными бланка программы.

Наиболее удобным и совершенным методом контроля является проверка программы вычерчиванием траектории на координатографе или на специальном электронно-лучевом индикаторе с последующим фотографированием. На координатографе можно проверять как программу для интерполятора на перфоленте, так и программу, полученную с него на магнитной ленте. Причем проверка последней позволяет обнаружить ошибки не только расчета и перфорации, но и ошибки, вносимые самим интерполятором.

Корректировку окончательной программы (программы на магнитной ленте для станков с функциональными СПУ, не имеющих интерполятора, программы на перфоленте для станков с функциональными СПУ, имеющими встроенный интерполятор, а также программы на перфоленте для станков с позиционными системами) можно выполнять при воспроизведении ее вхолостую на станке, наблюдая значения координат опорных точек на световом табло и сравнивая их со значениями аналогичных точек по бланку расчетной таблицы. Опыт показывает, что кроме этих проверок отладку программы необходимо выполнять непосредственно при обработке макета детали (из дерева или гипса) и по пробной детали.

Программа, прошедшая все этапы контроля, считается отлаженной и пригодной для реализации ее на станке.

Литература

1. И.А.Вульфсон, В.Г.Зусман, А.Г. Розинов. Кодирование информации управляющих программ, М., "Энергия", 1968.
2. В.Д. Никитенко. Подготовка программ для станков с программным управлением. М., "Машиностроение", 1973.
3. В.В. Червинская. Подготовка цифровых программ для фрезерных станков с ЧУ, Киев, "Техника", 1967.
4. А.Н. Малов, Ю.В. Иванов. Основы автоматики и автоматизация технологических процессов в приборостроении, М., "Машиностроение", 1974.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение П-1 Пример технологической подготовки и программирования детали (рис. П1-1), обрабатываемой на токарном станке с ЧПУ. Обработку наружной поверхности (включая $R = 54\text{мм}$ и конус с углом 60°) и внутренней поверхности ($\varnothing 118, \varnothing 84$, конуса с углом 45° и торцевой канавки с $R = 2,5\text{мм}$) будем вести на станке модели 1А62П. Крепление - в сырых кулачках 3-кулачкового патрона.

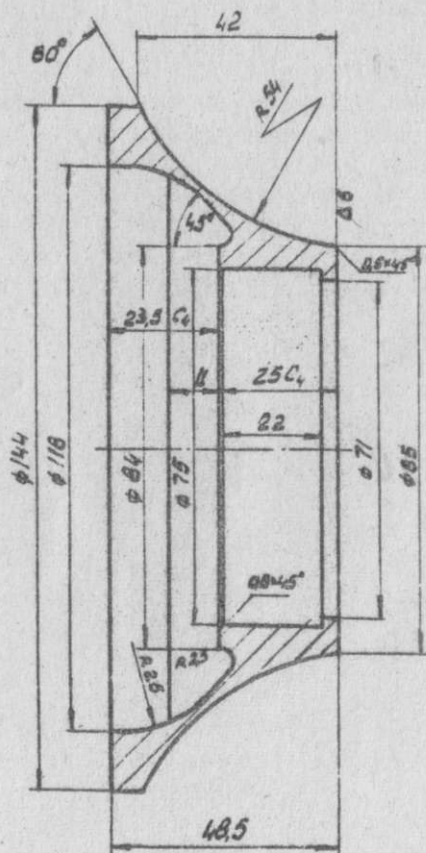


Рис. П1-1

При обработке внутренней поверхности в два прохода за базу принимаем $\varnothing 144$, а при наружном обтачивании - диаметр 75 А.

Рассмотрим подробно только наружное обтачивание радиуса $R = 54$ и конуса с углом в 60° . Для обработки используем гостовский инструмент (резец из стали $P 18$), так как закрытые элементы отсутствуют и требования по чистоте обработки невелики.

За направление осей расчетных координат (рис. ПИ-2) принимаем направление левого торца (ось Y) и осевую линию (ось X).

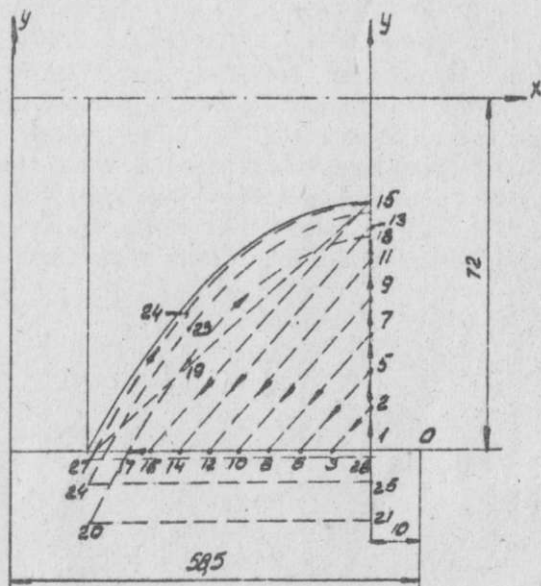


Рис. ПИ-2

За начальную точку принимается точка с координатами: $X = 58,5$;

$Y = -72$. Обработку выполним в несколько проходов. Движение инструмента в начале примем по наклонной траектории, а когда припуск будет небольшим — по криволинейной траектории. Все проходы и направления движения инструмента обозначены на чертеже обработки (рис. ПИ-2).

Назначаем рабочую подачу $S_{об} = 0,3 + 0,4$ мм/об или $S = 150$ мм/мин; холостой ход от периферии к центру по правому торцу

$S = 300$ мм/мин, по периферии к начальной точке $S = 600$ мм/мин.
Скорость резания (по таблицам) $V = 150 + 200$ м/мин, а число оборотов шпинделя

$$n = \frac{1000V}{\pi D_{\text{max}}}$$

$$n = 300 + 400 \text{ об/мин.}$$

Результаты расчета координат узловых (опорных) точек сведены в табл. ПИ-1. Как видно из таблицы, при обработке окружности на участках траектории 18-19 и 22-23 дуга окружности радиусом $R = 54$ мм (с $\varphi_0 = 81^\circ 0' 05''$ до $\varphi_k = 40^\circ$) аппроксимируется с $\Delta\varphi = 3^\circ$, а на участке 15-26 - с интервалом $\Delta\varphi = 1^\circ$, так как этот проход является чистовым. Вычисление опорных точек при аппроксимации дуги $R = 54$ для черновых и чистового проходов соответственно представлены в табл. ПИ-2, ПИ-3 и ПИ-4.

Кодирование задающей информации выполним применительно к интерполятору ИЛ-2 в двоично-десятичном коде БЦК-5 с ценой двоичных разрядов "8-4-2-1" без введения коррекции на изменение размера инструмента. Результаты этих расчетов приведены в табл. ПИ-5.

Таблица III-I

Координаты опорных точек				Деталь		
Индекс участка	Тип участка	Координаты конца уч-ка			Поддача δ, мм/мин	Примечание
		X	Y	Z		
0		58,5	72	-		
0-1	прямая	48,5	72	-	600	
1-2	- " -	48,5	68	-	300	
2-3	- " -	44	72,5	-	150	
3-4	- " -	48,5	72,5	-	450	
4-5	- " -	48,5	63,5	-	300	
5-6	- " -	39,5	72,5	-	150	
6-4	- " -	48,5	72,5	-	600	
4-7	- " -	48,5	59	-	300	
7-8	- " -	35	72,5	-	150	
8-4	- " -	48,5	72,5	-	600	
4-9	- " -	48,5	72,5	-	300	
9-10	- " -	30,5	72,5	-	150	
10-4	- " -	48,5	72,5	-	600	
4-II	- " -	48,5	50	-	300	
II-12	- " -	26	72,5	-	150	
12-4	- " -	48,5	72,5	-	600	
4-13	- " -	48,5	45,5	-	300	
13-14	- " -	21,5	72,5	-	150	
14-4	- " -	48,5	72,5	-	600	
4-15	- " -	48,5	43	-	300	
15-16	- " -	13,5	72,5	-	150	
16-4	- " -	48,5	72,5	-	600	
4-15	- " -	48,5	43	-	300	
15-17	- " -	8,5	72,5	-	150	
17-4	- " -	48,5	72,5	-	600	
4-18	- " -	48,5	46	-	300	
18-19	окр. R 54	15,58	64,62	-	150	от 81° 0' 05" до 40° через 3°
19-20	прямая	6,08	75,8	-	150	
20-21	- " -	48,5	75,8	-	600	
21-22	- " -	48,5	43,5	-	300	
22-23	окр. R 54	15,58	62,12	-	150	от 81° 0' 05" до 40° через 3°
23-24	прямая	6,08	73,3	-	150	
24-25	- " -	48,5	73,3	-	600	
25-15	прямая	остан.	10 с.	-	300	
15-26	окр. R 54	15,58	51,52	-	80	от 81° 0' 05" до 40° через 1°
26-27	прямая	6,08	72,7	-	80	
27-28	- " -	58,5	72,7	-	600	
28-0	- " -	58,5	72	-	80	

Таблица ПІ-2

Аппроксимация окружности $R = 54 \text{ мм (2700 \text{ имп.})}$, $\varphi_0 = 81^\circ 0' 05''$, $\varphi_k = 40^\circ$, $\Delta\varphi = 3^\circ$					Деталь			
					Лист		Всего листов	
град φ	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$R\cos\varphi$	$R\sin\varphi$	ΔX		ΔY	
					мм	имп	мм	имп
81° 0' 05"					422	139	2667	26
78					561	138	2641	33
75					699	135	2608	40
72					834	134	2568	47
69					968	130	2521	54
66					1098	128	2467	61
63					1226	124	2406	68
60					1350	121	2338	74
57					1471	116	2264	80
54					1587	112	2184	86
51					1699	108	2098	92
48					1807	102	2006	97
45					1909	97	1909	102
42					2006	62	1807	71
40					2068		1736	

$$\Sigma \Delta X = 1646$$

$$\Sigma \Delta Y = 931$$

Таблица ПИ-3

Аппроксимация окружности					Деталь			
$R = 54 \text{ мм (2700 \text{ имп.})}$ $\Delta\theta = 81^\circ 0' 05'' ; \gamma_k = 40^\circ$ $= 1$					Лист		Всего листов	
					ΔX		Δy	
φ град	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$R\cos\varphi$	$R\sin\varphi$				
					мм	имп	мм	имп
81° 0' 05"				422	46	2667	8	
80				468	47	2659	9	
79				515	46	2650	9	
78				561	46	2641	10	
77				607	46	2631	11	
76				653	46	2620	12	
75				699	45	2608	13	
74				744	45	2595	13	
73				789	45	2582	14	
72				834	45	2568	15	
71				879	44	2553	16	
70				923	45	2537	16	
69				968	43	2521	18	
68				1011	44	2503	18	
67				1055	43	2485	18	
66				1098	43	2467	20	
65				1141	43	2447	20	
64				1184	42	2427	21	
63				1226	42	2406	22	
62				1268	41	2384	23	
61				1309	41	2361	23	
60				1350	41	2338	24	
59				1391	40	2314	24	
58				1331	40	2290	26	
57				1471	39	2264	26	
56				1510	39	2238	26	
55				1549	38	2212	28	
54				1587	38	2184	28	
53				1625	37	215	28	
52				1662	37	2128	30	
51				1699	37	2098	30	
50				1736	35	2068	30	
49				1771	36	2038	32	
48				1807	34	2006	31	
47				1841	35	1975	33	
46				1876	33	1942	33	
45				1909	33	1909	33	
44				1942	33	1876	35	
43				1972	31	1841	34	
42				2006	32	1807	30	
41				2038	30	1777	41	
40				2068	X	1736	X	

Таблица ПИ-4

Программа № "Обработка наружного конуса"										Деталь "Фланец"									
№ по пор.	ΔX			Δy			Δz			Время код	Листов	Разгон торцов	Эжек. др. жер.	Контроль		примечание			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10					11	12		13	14	15
I	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	I	8	4			X=500
2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	5	I	8	2			y=200
3	0	I	8	3	0	I	8	3	0	0	0	0	9	I	0	4			X=225
	0	0	4	2	0	0	4	2	0	0	0	0	I	I	I	4			y=225
4	0	2	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	I	8	0			X=225
5	0	0	0	0	0	3	I	8	0	0	0	0	6	I	0	2			
	0	0	0	0	0	I	3	2	0	0	0	0	I	I	I	2			y=450
6	0	4	0	3	0	4	0	3	0	0	0	0	I	I	0	4			X=450
	0	0	4	7	0	0	4	7	0	0	0	0	I	I	I	4			y=450
7	0	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	I	8	0			X=457
8	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	9	I	0	2			
	0	0	0	0	0	I	2	5	0	0	0	0	I	I	I	2			y=675
9	0	6	3	0	0	6	3	0	0	0	0	0	3	3	0	4			X=675
	0	0	4	5	0	0	4	5	0	0	0	0	I	I	I	4			y=675
10	0	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	I	0	0			
	0	2	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	I	I	I	0			X=675
11	0	0	0	0	0	7	7	5	0	0	0	0	6	I	0	2			
	0	0	0	0	0	I	2	5	0	0	0	0	I	I	I	2			y=900
12	0	8	5	7	0	8	5	7	0	0	0	0	5	3	0	4			X=900
	0	0	4	3	0	0	4	3	0	0	0	0	I	I	I	4			y=900
13	0	6	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	7	I	0	0			
	0	2	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	I	I	I	0			X=900
14	0	0	0	0	I	0	0	8	0	0	0	0		I	0	2			
	0	0	0	0	0	I	I	7	0	0	0	0	II	I	I	2			y=II25
15	I	0	8	0	I	0	8	0	0	0	0	0	6	3	0	4			X=II25
	0	0	4	5	0	0	4	5	0	0	0	0	I	I	I	4			y=II25
16	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	I	0	0			
	0	2	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	I	I	I	0			X=II25

Продолжение табл. ПИ-4

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
17	0	0	0	0	1	2	2	8	0	0	0	0	1	3	0	2			
	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	0	1	1	1	2			-y = I350
18	1	3	0	6	1	3	0	6	0	0	0	0	7	3	0	4			-x = I350
	0	0	4	4	0	0	4	4	0	0	0	0	1	1	1	4			y = I350
19	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	1	0	0			
	0	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0			x = I350
20	0	0	0	0	1	3	4	1	0	0	0	0	1	3	0	2			
	0	0	0	0	0	1	3	4	0	0	0	0	1	1	1	2			-y = I475
21	1	7	0	3	1	4	3	5	0	0	0	0	8	3	0	4			-x = I750
	0	0	4	7	0	0	4	0	0	0	0	0	1	1	1	4			y = I475
22	1	5	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	0	0			
	0	2	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0			x = I750
23	0	0	0	0	1	3	4	1	0	0	0	0	1	3	0	2			
	0	0	0	0	0	1	3	4	0	0	0	0	1	1	1	2			-y = I475
24	1	9	4	6	1	4	3	5	0	0	0	0	8	3	0	4			-x = 2000
	0	0	5	4	0	0	4	0	0	0	0	0	1	1	1	4			y = I475
25	1	7	5	6	0	0	0	0	0	0	0	0		1	0	0			
	0	2	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0			x = 2000
26	0	0	0	0	1	2	0	5	0	0	0	0	1	3	0	2			
	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	1	1	1	2			-y = I325
27	0	1	3	9	0	0	2	6	0	0	0	0	6	1	0	4			
	0	1	3	8	0	0	3	3	0	0	0	0	6	1	0	4			
	0	1	3	5	0	0	4	0	0	0	0	0	6	1	0	4			
	0	1	3	4	0	0	4	7	0	0	0	0	6	1	0	4			
	0	1	3	0	0	0	5	4	0	0	0	0	6	1	0	4			
	0	1	2	8	0	0	6	1	0	0	0	0	6	1	0	4			
	0	1	2	4	0	0	6	8	0	0	0	0	6	1	0	4			
	0	1	2	1	0	0	7	4	0	0	0	0	6	1	0	4			
	0	1	1	6	0	0	8	0	0	0	0	0	6	1	0	4			
	0	1	1	2	0	0	8	6	0	0	0	0	6	1	0	4			
	0	1	0	8	0	0	9	2	0	0	0	0	6	1	0	4			
	0	1	0	2	0	0	9	7	0	0	0	0	6	1	0	4			
	0	0	9	7	0	1	0	2	0	0	0	0	6	1	0	4			-x = I646
	0	0	6	2	0	0	7	1	0	0	0	0	6	1	0	4			y = 931

Продолжение табл. ПИ-4

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
28	0	4	3	2	0	5	0	8	0	0	0	0	I	3	0	4			-X = 475
	0	0	4	3	0	0	5	I	0	0	0	0	I	I	I	4			y = 559
29	I	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		I	0	0			X = 2I2I
	0	2	2	I	0	0	0	0	0	0	0	0	I	I	I	0			-y = I6I5
30	0	0	0	0	I	4	9	I	0	0	0	0	2	3	0	2			
	0	0	0	0	0	I	2	4	0	0	0	0	I	I	I	2			
31	0	I	3	9	0	0	2	6	0	0	0	0	6	I	0	4			
	0	I	3	8	0	0	3	3	0	0	0	0	6	I	0	4			
	0	I	3	5	0	0	4	0	0	0	0	0	6	I	0	4			
	0	I	3	4	0	0	4	7	0	0	0	0	6	I	0	4			
	0	I	3	0	0	0	5	4	0	0	0	0	6	I	0	4			
	0	I	2	8	0	0	6	I	0	0	0	0	6	I	0	4			
	0	I	2	4	0	0	6	8	0	0	0	0	6	I	0	4			
	0	I	2	I	0	0	7	4	0	0	0	0	6	I	0	4			
	0	I	I	6	0	0	8	0	0	0	0	0	6	I	0	4			
	0	I	I	2	0	0	8	6	0	0	0	0	6	I	0	4			
	0	I	0	8	0	0	9	2	0	0	0	0	6	I	0	4			
	0	I	0	2	0	0	9	7	0	0	0	0	6	I	0	4			
	0	0	9	7	0	I	0	2	0	0	0	0	6	I	0	4			-X = I646
	0	0	6	2	0	0	7	I	0	0	0	0	6	I	0	4			y = 93I
32	0	4	3	2	0	5	0	8	0	0	0	0	I	3	0	4			-X = 475
	0	0	4	3	0	0	5	I	0	0	0	0	I	I	I	4			y = 559
33	I	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		I	0	0			
	0	2	2	I	0	0	0	0	0	0	0	0	I	I	I	0			X = 2I2I
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	0	0			останов.
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	I	I	0			T = IOo
35	0	0	0	0	I	4	0	3	0	0	0	0	2	3	0	2			
	0	0	0	0	0	I	I	7	0	0	0	0	I	I	I	2			I520
36	0	0	4	6	0	0	0	8	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	4	7	0	0	0	9	0	0	0	0		I	0	4			
	0	0	4	6	0	0	0	9	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	4	6	0	0	I	0	0	0	0	0	3		0	4			
	0	0	4	6	0	0	I	I	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	4	6	0	0	I	2	0	0	0	0	3	I	0	4			

Продолжение табл. ПИ-4

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	0	0	4	5	0	0	1	3	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	4	5	0	0	1	4	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	4	5	0	0	1	5	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	4	4	0	0	1	6	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	4	5	0	0	1	6	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	4	3	0	0	1	8	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	4	4	0	0	1	8	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	4	3	0	0	1	8	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	4	3	0	0	2	0	0	0	0	0	5	I	0	4			
	0	0	4	3	0	0	2	0	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	4	2	0	0	2	1	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	4	1	0	0	2	2	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	4	1	0	0	2	3	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	4	1	0	0	2	3	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	4	1	0	0	2	4	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	4	0	0	0	2	4	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	4	0	0	0	2	6	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	3	9	0	0	2	6	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	3	9	0	0	2	6	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	3	8	0	0	2	8	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	3	8	0	0	2	8	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	3	7	0	0	2	8	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	3	7	0	0	3	0	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	3	7	0	0	3	0	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	3	5	0	0	5	0	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	3	6	0	0	3	2	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	3	4	0	0	3	1	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	3	5	0	3	3	0	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	3	3	0	0	3	3	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	3	3	0	0	3	3	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	3	3	0	0	3	5	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	3	1	0	0	3	4	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	3	2	0	0	3	0	0	0	0	0	3	I	0	4			
	0	0	3	0	0	0	4	1	0	0	0	0	3	I	0	4			
37	0	4	5	6	0	5	3	7	0	0	0	0	6	3	0	4			
	0	0	1	9	0	0	2	2	0	0	0	0	1	1	1	4			
38	2	3	8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0			

-X=1646

y= 931

-X= 475

y= 559

Продолжение табл. П1-4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
39	0	2	3	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0			X=262I
	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	5	0	0	2			
	0	0	0	0	0	0	2	9	0	0	0	0	1	1	1	2			-y=35
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	3	0	0			

Приложение 2

Пример расчета программы для фрезерной обработки наружного контура детали, изображенной на рис. П2-1.

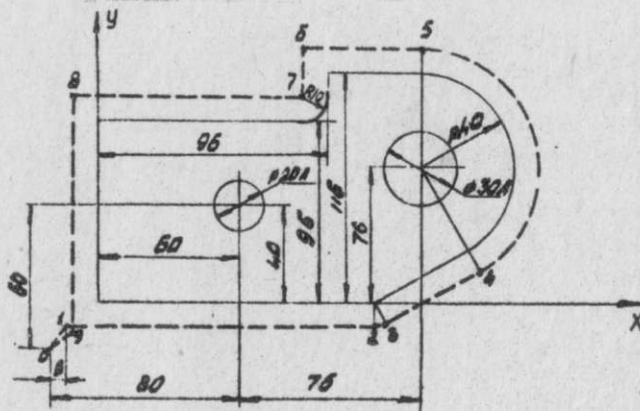


Рис. П2-1

Наиболее удобны для обработки данной детали прямоугольные координаты, оси которых совпадают с двумя сторонами детали (как показано на чертеже П2-1). На основании технологического анализа выберем инструмент - концевую фрезу из быстрорежущей

стали диаметром $\phi_{\text{ф}} = 20$ мм. Базирование осуществляем на два отверстия $\phi = 20$ А и $\phi = 30$ А (на цилиндрический и ромбический пальцы) и с помощью гаек с шайбами закрепляем в этих точках. Исходную точку 0 выбираем на установочной плите с координатами $X = -2$; $Y = -20$; $Z = -50$ (отверстие $\phi 5$ А). Обработку выполняем в один проход ($t = 1,5$ мм) с подачей на прямолинейных участках $S = 300$ мм/мин, на криволинейных $S = 100$ мм/мин, ускоренный подвод (отвод) на подаче $S = 600$ мм/мин. Обработка ведется на вертикально-фрезерном станке, оснащенном контурной системой.

Эквидистанта будет полнее контура детали на 10 мм, причем в районе точки 2 появится дополнительная дуга 2-3 радиусом $R_2 = 10$ мм и в районе точки 7 дуга контура ($R = 10$ мм) превращается в точку.

Результаты расчета координат опорных точек сведены в табл. П2-1, аппроксимация окружности $R_2 = 50$ мм в табл. П2-2. Аппроксимация дуги $R_2 = 10$ мм в таблице не приводится. В табл. П2-3 расчета данных программы не приведены также расчет дуги 2-3 и участков 7-8, 8-9. Кодирование информации, приведенной в табл. П2-3, выполнено применительно к интерполлятору УЛИ-1.

Таблица П2-1

Координаты узловых точек траектории												Деталь	
												Лист	Всего листов
№ по пор.	Индекс участка	Тип участка	Координаты конца участка									По-да-ча	Чис-ло обо-ротов шпин.
			X			Y			Z				
			ΔX			ΔY			ΔZ				
			мм	мм	ИМП.	мм	мм	ИМП.	мм	мм	ИМП.		
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I	0-0	прямая	-20	0	0	-20	0	0	-50	-50	-2500	600	
2	0-1	прямая	-10	8	400	-10	10	500	50	0	0	600	
3	1-2	прямая	116	128	6400	-10	0	0	"	"	"	300	
4	2-3	окружн.	1235	75	375	-7	3	150	"	"	"	100	
5	3-4	прямая	163	435	2175	335	405	2025	"	"	"	300	
6	4-5	окружн.	135	-27	-1350	126	925	4625	"	"	"	100	
7	5-6	прямая	86	-50	-2500	126	0	0	"	"	"	3000	
8	6-7	прямая	86	0	0	106	-20	-1000	"	"	"	300	
9	7-8	прямая	-10	-96	-4800	106	0	0	"	"	"	300	
10	8-9	прямая	-10	0	0	-12	-118	-5900	"	"	"	300	
11	9-0	прямая	-20	-10	-500	-20	-8	-400	"	"	"	600	

Таблице П2-2

Аппроксимация окружности на участке "4-5"							Деталь		
$R_3 = 50 \text{ мм}$ $\varphi_0 = 0^\circ$ $\Delta\varphi = 3^\circ$ $\varphi_k = 45^\circ$ $R_3 = \frac{R_{\text{мм}}}{0,05} = 2500 \text{ мм}$							Лист	Всего листов	
							№ по пор.		град
	0	1,000000							
	3	0,998630	0052336	001370	005236	3,43	3	13084	131
	6	0994522	0104528	0004108	0052192	1027	11	13048	130
	9	098768	0156434	0006834	0051906	1709	17	12977	130
	12	0978148	0207912	0005940	0051478	2385	24	12870	129
	15	0965926	0258819	0012222	0050907	3056	30	12727	127
	18	0951057	0309017	0014869	0050196	3717	37	12550	126
	21	0933580	0358368	0017477	004351	4369	44	12338	123
	24	0913545	0406737	0020035	048369	5009	50	12092	121
	27	0891007	0453990	0022538	0047253	5634	56	11813	118
	30	0866025	0500000	0024982	0046010	6246	63	11502	115
	33	0838671	0544639	0027354	0044639	6839	68	11160	112
	36	0809017	0587785	0029654	0043146	7414	74	10786	107
	39	0777146	0629320	0031871	0041535	7968	80	10384	104
	42	0743145	0669131	0034001	0039811	8500	85	9953	100
	45	0707107	0707107	0036038	0037976	9010	90	9494	95

Таблица П2-3

Программа					Деталь					
ΔX	ΔY	ΔZ	коррек- ции		время		Разгон торможен.	Знак движения	КОМАНДЫ	Примечание
			ΔV _{гор}	ΔV _{осл}	Значен.	МНОЖИТ.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		2029 47I			Д	А	О	А		0-0
258	322		50		5	А	А	А		γ=5,3
142	178				8	А	О	О		0-1
6378					5	А	А	О		γ=2,8
245					А	В	О	О		1-2
			17	37	5	А	А	О		γ=27
					А	О	К	О		смена кор.
-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
85	100		1	1	1	А	С	О		окр. 3-4
80	104		2	2	1	А	С	О		γ=22
74	107		2	1	1	А	С	О		
68	112		2	2	1	А	С	О		
63	115		2	1	1	А	С	О		
56	118		2	1	1	А	С	О		
50	121		3	1	1	А	С	О		
44	122		2	1	1	А	С	О		
37	126		3	1	1	А	С	О		
30	127		2	1	1	А	С	О		
24	129		3	0	1	А	С	О		
17	130		2	1	1	А	С	О		
11	130		3		1	А	С	О		
3	131		3		1	А	С	О		
3	131		2		1	А	2	2		

Продолжение табл. П2-3

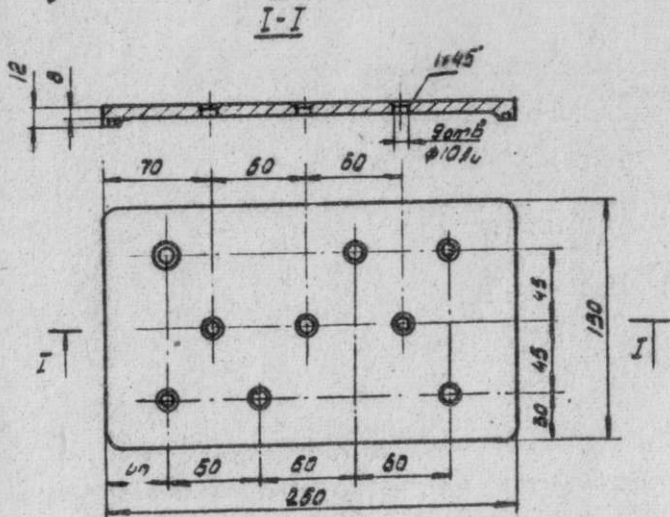
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
II	I30		3		I	A	2	2		
I7	I30		3		I	A	2	2		
24	I29		2	I	I	A	2	2		
30	I27		3		I	A	2	2		
37	I26		2	I	I	A	2	2		
44	I23		3	I	I	A	2	2		
50	I21		2	I	I	A	2	2		
56	II8		3	I	I	A	2	2		
63	II5		2	I	I	A	2	2		
68	II2		2	I	I	A	2	2		
74	IO7		2	2	I	A	2	2		
80	IO4		2	I	I	A	2	2		
85	IO0		2	2	I	A	2	2		
90	95		2	2	I	A	2	2		
95	90		2	2	I	A	2	2		
IO0	85		2	2	I	A	2	2		
IO4	80		2	2	I	A	2	2		
IO7	74		I	2	I	A	2	2		
II2	68		2	2	I	A	2	2		
II5	63		I	2	I	A	2	2		
II8	56		I	2	I	A	2	2		
I21	50		I	3	I	A	2	2		
I23	44		I	2	I	A	2	2		
I26	37		I	3	I	A	2	2		
I27	30		I	2	I	A	2	2		
I29	24		I	3	I	A	2	2		
I30	II		I	2	I	A	2	2		
I3I	3			3	I	A	2	2		
IO0				I	4	B	0	2		4-5
250					5	A	A	2		
	970		50	50	A	7	5	0		смена кор
					6	B	0	I		5-6

Продолжение табл. П2-3

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
406	325			50	Д	А	І	С		9-0
94	75				5	А	А	С		$T = 5,3$
					9	А	0	0		перемотка
					5	В	0	0	05	магн.
										ленты
										$T = 12,2$

Приложение 3

Пример расчета программы для обработки отверстий в детали, показанной на рис. П3-1.



Фланец материал: ст.45
 Допуск на межцентровые
 расстояния $\pm 0,05$ мм

Рис. П3-1

Обработку отверстий выполним на вертикально-сверлильном станке модели 2Н118У2, оснащенном системой программного управления "Координата С-68" (ППС-2). Отверстия вместе с фасками обработаем одновременно, применив комбинированное сверло-зенковку. Установку и крепление детали выполним с помощью угольника и трех прихватов (как показано на рис. ПЗ-2).

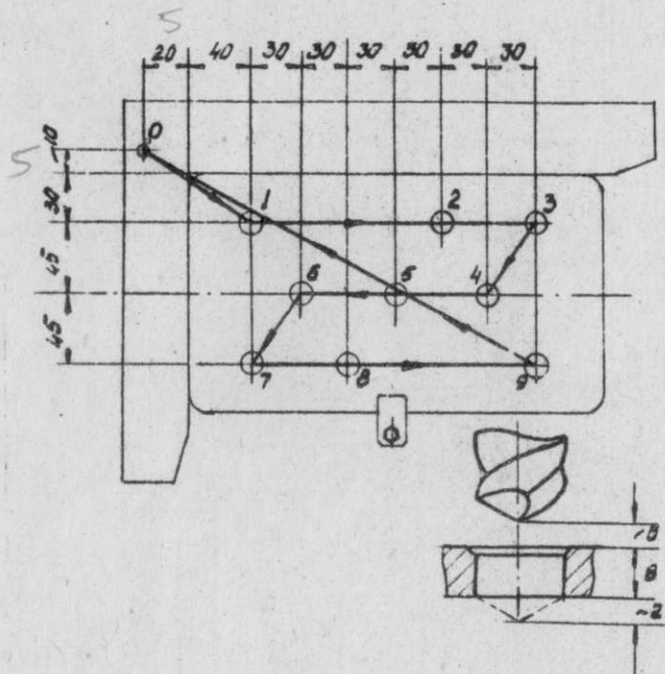


Рис. ПЗ-2

Исходная точка в виде калиброванного отверстия $\varnothing 5$ А находится на угольнике.

Режим обработки задается здесь номером цикла. Цикл состоит из быстрого подхода шпиндельной бабки со сверлом, рабочей подачи (собственно сверление на глубину 10 мм) и обратного хода шпиндельной бабки (возвращение сверла в исходное верхнее положение).

Номер цикла предусматривает величину вертикального перемещения сверла (по упорам), скорость перемещений (подвода и рабочую подачу), а также частоту вращения шпинделя.

Координатные движения (перемещение инструмента от одного центра отверстия к другому) осуществляет стол вместе с закрепленной на нем заготовкой одновременно по координатам X и Y. Результаты расчетов перемещений по координатам для обработки 0 I-го по 9-е отверстий и коды технологических команд помещены в табл. ПЗ-1.

Таблица ПЗ-1

Программа для станка 2Н118Ф2							Деталь "Фланец"		
							Лист	Всего листов	
Номер кадра	Перемещение по X	Направлен. перем.	Контроль число	Перемещение по Y	Направлен. перем.	Контроль число	Номер отверстия	Индекс цикла	Остаток
Н	В060 00	0	3	Д040 00	1	5	К01	С1	
Н	В120 00	0	6				К02		
Н	В060 00	0	3				К03		
Н	В030 00	1	6	Д015 00	1	6	К04		
Н	В060 00	1	3				К05		
Н	В030 00	1	3				К06		
Н	В010 00	1	6	Д015 00	1	6	К07		
Н	В060 00	0	3				К08		
Н	В120 00	0	6				К09		
Н	В240 00	1	3	Д130 00	0	5	К10		
Н							К11		В

Информация в закодированном виде набивается на стандартную перфоленту (шириной 17,5 мм) с помощью перфоратора СТА-2М, причем код букв Н, Е, Д, К, С, В, (адресов) получается автоматически при нажатии соответствующих клавишей пробивных отверстий в одной строке. Например, при нажатии клавиши с буквой Е на ленте пробиваются отверстия только на первой дорожке, буквой Н - на третьей и четвертой,

Оглавление

Предисловие	3
§1. Общие сведения	4
§2. Технологическая подготовка программ	13
§3. Математическая подготовка программ	22
§4. Кодирование и запись информации	34
§5. Контроль и отладка программ	50
Литература	52
Приложения	58

Редактор В.М. Царев

Корректор Л.И.Малотина

Заказ 864

Объем 4 1/2 п.л.

Тираж 500 экз.

Д-198454 от 21/У-74г. Бесплатно .

Печ. 1974 г.

Ротапринт МВТУ. 107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5