

УДК 621.9

ВЫБОР МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВАМИ ЧПУ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

В.В. Ерохин

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Брянск, Россия

В статье рассматривается влияние решения геометрической задачи ЧПУ на точность обработки заготовки посредством реализации определенного алгоритма интерполяции и значений дискретности перемещений рабочих органов станка с ЧПУ. Приводятся основные аспекты изучения влияния скорости подачи, закона управления и быстродействия привода на нестабильность контурной скорости обработки, а значит и на качество обрабатываемой поверхности детали. Рассматриваются основные методы управления контурной скоростью режущего инструмента с использованием различных видов интерполяций. Представлены рекомендации по использованию различных видов интерполяторов для обеспечения стабильности контурной скорости режущего инструмента или руки манипулятора (промышленного робота).

Ключевые слова: *числовое программное управление, качество обработки, интерполяция, технологическое оборудование.*

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-18-25

В машино- и приборостроении оборудование с ЧПУ решает основные четыре задачи управления устройствами ЧПУ [4-6]:

- 1) геометрическая задача – управление формообразованием деталей;
- 2) логическая задача – управление дискретной автоматикой станка;
- 3) терминальная задача – управление взаимодействиями окружающей среды с производственной средой (взаимодействие с оператором и управляющей ЭВМ);
- 4) технологическая задача – управление рабочим процессом станка.

Геометрическая задача определяет наибольшую составляющую в обеспечении точности обработки поверхностей заготовки по сравнению с другими задачами управления устройствами ЧПУ.

Для получения необходимого качества обрабатываемых поверхностей требуется обеспечить поддержание заданной контурной скорости с высокой точностью. Следящий привод подач обрабатывает перемещение, заданное УЧПУ, с определенной ошибкой, зависящей от ряда факторов, в том числе от скорости подачи, закона управления и быстродействия привода [1, 5, 6].

Геометрическая задача влияет на точность обработки заготовки посредством реализации определенного алгоритма интерполяции и значений дискретности перемещений рабочих органов станка с ЧПУ [7].

Интерполяция – это вычислительный процесс в устройстве ЧПУ, обеспечивающий переход от укрупненного описания заданного перемещения к оперативным командам в функции времени для исполнительных приводов. Интерполяция в процессе формообразования заготовки в современных устройствах ЧПУ может программно меняться, а, следовательно, влиять на показатели качества обрабатываемых поверхностей заготовки и производительность формообразования заготовки [3, 7].

Дискретность перемещений рабочих органов станка с ЧПУ определяется ценой деления шкалы датчика обратной связи по положению следящего привода. Она постоянна и не может быть изменена в процессе формообразования заготовки.

В машиностроении распространены следующие виды интерполяций: линейная и круговая. Линейная и круговая интерполяции могут быть реализованы по следующим принципам выдачи управляющих дискрет в приводы подачи [1, 3, 7]:

- равномерная;
- по ведущей и ведомой координатам;
- на постоянной несущей частоте.

Далее будем рассматривать только контурную (не позиционную) ЧПУ станка или промышленного робота.

Контурная ошибка при этом прямо пропорциональна скорости подачи и обратно пропорциональна добротности приводов подач, участвующих в формообразовании. При больших подачах ошибки в следящих системах ЧПУ, связанные с изменением управляющего воздействия, составляют значительную часть общей погрешности обработки. Уменьшение этих ошибок может быть обеспечено построением инвариантных или частично инвариантных по управлению систем. В реальных системах ЧПУ из-за ряда нелинейностей (насыщения усилителей, токоограничения и др.) не удается использовать форсирование в полной мере, хотя можно несколько улучшить динамические характеристики.

Уменьшение контурной ошибки достигается увеличением добротности, т.е. расширением полосы пропускания системы, или введением в управляющий приводом сигнал дополнительной составляющей, пропорциональной первой производной путевого задания (сигнал скоростной компенсации) [3]. Однако эти меры, уменьшая контурную ошибку, могут привести к увеличению колебательности и перерегулированию при переходных процессах. Кроме того, быстродействие приводов ограничено величиной допустимых ускорений исполнительного органа станка.

На рис. 1 приведены кривые зависимости между предельным значением скорости V и добротностью D при заданном значении ускорения a . В современном металлообрабатывающем оборудовании с ЧПУ допустимое ускорение составляет $0,2 \dots 0,4 \text{ м/с}^2$ для высокоточного оборудования и $0,8 \dots 1,5 \text{ м/с}^2$ для оборудования нормальной точности. При скоростях $10 \dots 15 \text{ м/мин}$ и допустимом ускорении 1 м/с^2 для реализации торможения без перерегулирования добротность не должна превышать 6 с^{-1} , что недопустимо, так как приводит к большой контурной ошибке.

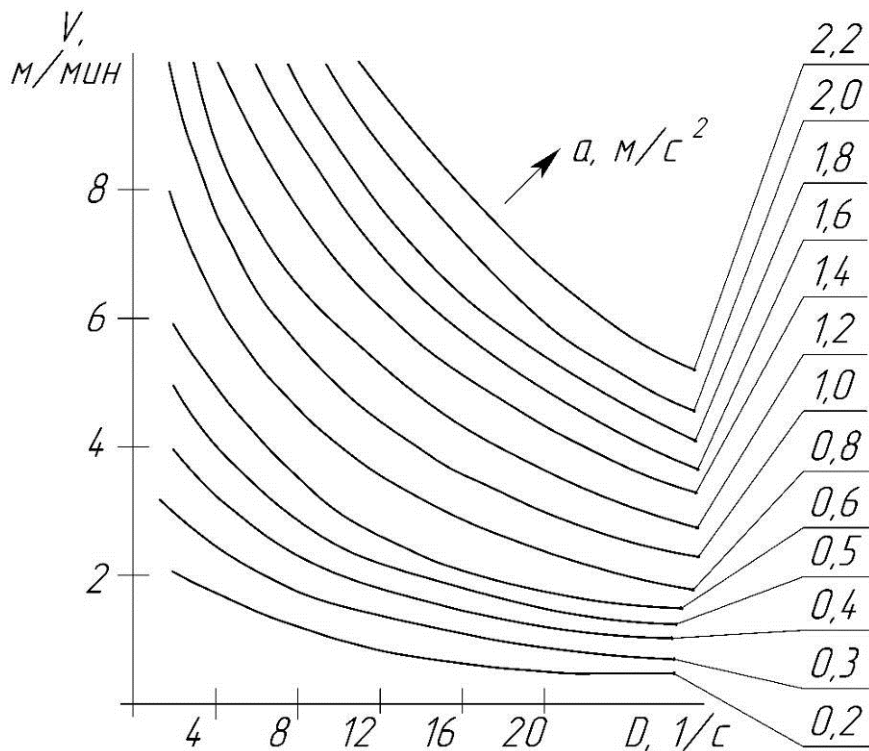


Рис. 1. Зависимость между скоростью V и добротностью D

При использовании шагового привода с интерполяцией на постоянной несущей частоте, ошибки обработки дискрет не возникает [1, 4, 5,]. Однако при управлении необходимо, чтобы максимальные частоты командных импульсов и скачки этих частот (ускорение) не превышали допустимых для данного привода пределов. Исходя из зависимости (рис. 1) для следящих приводов и ограничений на ускорение для шаговых приводов, в УЧПУ необходимо формировать кривую задания скорости, т.е. при интерполяции задавать законы разгона и

торможения (РТ). Наиболее легко реализуется линейный закон РТ, с помощью которого устраняются ошибки, связанные с запаздыванием, и уменьшается время переходного процесса (по сравнению с экспоненциальным законом).

Требования к формированию характеристик разгона и торможения существенно различаются, так как разгон влияет только на производительность оборудования, а торможение также обеспечивает заданную точность. При торможении недопустимы скачки скорости и ускорения, а также перерегулирование, что приводит к потере точности из-за зарезов, раскрытия люфтов и зазоров.

Формирование законов РТ является одной из задач управления контурной скоростью и характерно для всех видов обработки, кроме нарезания резьбы резцом, что является особой задачей. При контурной обработке закон РТ должен формироваться путем изменения контурной подачи, исходя из минимального допустимого ускорения приводов станка, участвующих в формообразовании. При формировании закона РТ необходимо анализировать общую длину перемещения, заданную в кадре. Если путь, заданный в кадре, меньше пути торможения, то необходимо либо проводить разгон не до заданной скорости, либо в предыдущем кадре провести уменьшение скорости до значения, при котором путь торможения не превышает длины перемещения в данном кадре.

Тесно связана с задачей формирования закона РТ задача учета ускорения, наблюдающегося при отработке дуги окружности. Так как составляющие ускорения изменяются при движении, то можно ограничиться проверкой соответствия ускорения, получившегося из заданных в кадре параметров, и минимального из максимально допустимых ускорений приводов станка. Если получившееся ускорение больше допустимого, тогда необходимо уменьшить контурную подачу.

Управление контурной скоростью при использовании шаговых методов интерполяции. Шаговые методы интерполяции применяются в основном для управления шаговыми приводами или формирования задания для следящего привода с аппаратно-замкнутой обратной связью по положению. В обоих случаях не требуется влиять на характеристики привода.

Методы шаговой интерполяции дают равномерную контурную скорость при воспроизведении прямой. При воспроизведении дуги окружности равномерность подачи получается только для метода цифровых дифференциальных анализаторов (ЦДА). При использовании метода оценочной функции (ОФ) контурная скорость при отработке дуги окружности изменяется в $\sqrt{2}$ раз для плоской и $\sqrt{3}$ раз для пространственной обработки [2, 4, 5].

Применение шаговых программных интерполяторов ограничено максимально возможной скоростью подачи, которая, в свою очередь, ограничивается максимально возможной частотой прерываний. Применение шаговых интерполяторов, работающих по методу ОФ, позволяет получить скорость, примерно в 1,6 раза большую, чем применение интерполяторов ЦДА. Таким образом, выбор шагового метода интерполяции во многом зависит от требований, предъявляемых к системе: равномерности движения (точности поддержания контурной скорости) или максимальной скорости перемещения.

Управление контурной скоростью при использовании методов ЦДА. При этом методе значение контурной скорости определяется шагом интегрирования h , который является функцией линейного или углового параметра траектории. Таким образом, при использовании алгоритмов ЦДА автоматически обеспечивается постоянство контурной скорости для прямых и дуг окружностей, точность поддержания которой зависит от точности вычисления h . При этом неточность вычисления приводит к отклонению скорости от заданной. Однако в процессе отработки кадра управляющей программы скорость остается постоянной.

При отработке плоских кривых второго порядка (эллипса, гиперболы, параболы, т.е. кривых с переменным радиусом кривизны) значительно увеличивается нормальное ускорение на наиболее крутых участках профиля, и, следовательно, значение контурной скорости V должно выбираться таким, чтобы в местах с наименьшим радиусом кривизны нормальное ускорение не превышало максимально допустимого. Усложнения расчетов при интерполя-

ции плоских кривых по сравнению с интерполяцией окружности не происходит тогда, когда в качестве h используется угловой параметр. Однако в этом случае при движении с $h = \text{const}$ более крутые участки проходятся с меньшей скоростью, а более пологие – с большей. При поддержании $V = \text{const}$ приходится пересчитывать h в зависимости от радиуса кривизны, что приводит к увеличению процессорного времени и, самое главное, времени обработки профиля.

Управление контурной скоростью при использовании комбинированных методов интерполяции [1, 4, 6]. В этом управление контурной скоростью для описанных схем различно. При комбинации на уровне вычислений контурная скорость определяется базовым методом, т.е. в данном случае особенности применения комбинации методов не сказываются на контурной скорости.

При комбинации методов на уровне структуры интерполятора необходимо выделить различия для описанных методов. При использовании интерполяции с коррекцией постоянство контурной скорости в основном зависит от применяемого корректирующего алгоритма. Использование градиентного метода коррекции обеспечивает более высокую точность поддержания контурной скорости, чем релаксационного.

При использовании многоэтапных методов (интерполяция с микроинтерполяцией) значение контурной скорости определяется последним (точным) этапом, однако постоянство скорости на различных шагах грубой интерполяции зависит от выбранного параметра. При использовании параметра, линейно-связанного с временем, в интерполируемом законе наряду с геометрическими учитываются технологические функции, затрудненная оперативная коррекция которых требует переменного (программируемого) такта управления.

В интерполятор могут интегрироваться различные задачи. При интегрировании задачи построения эквидистанты и преобразования системы координат интерполируемая и заданная кривые не совпадают. Для всех контуров, кроме линейного, погрешность скорости на обрабатываемой эквидистантой траектории зависит от ее кривизны и размеров инструмента.

Технология обработки иногда требует соблюдения заданного закона изменения контурной скорости, который может быть аппроксимирован с использованием различных видов интерполяции, однако при традиционных методах ОФ трудоемкость интерполяционной задачи значительно увеличивается из-за последовательного выполнения вычислений подачи и координат. Менее трудоемким и более гибким решением является применение параметрической интерполяции (третьего порядка и более высоких).

Для обеспечения требуемых параметров качества изготовления деталей в зависимости от используемого технологического оборудования с ЧПУ приведем следующие рекомендации по использованию различных видов интерполяторов для обеспечения стабильности контурной скорости режущего инструмента или руки манипулятора (промышленного робота).

Традиционное оборудование. Сравнительно невысокие требования по точности и небольшие скорости обработки на обычных фрезерных станках позволяют применять любые методы линейной и круговой интерполяции.

Существенными особенностями токарных станков являются работа с подачами на оборот и поддержание постоянной скорости резания, что приводит к изменению контурной скорости в такте интерполяции. Поэтому нецелесообразно применять методы ОФ, трудоемкость которых резко увеличивается, и методы ЦДА, использование которых может привести к накоплению ошибки по радиусу. Однако даже более точные методы ЦДА не всегда обеспечивают соблюдение допусков при обработке дуг малого радиуса, характерных для токарной обработки, без уменьшения параметров технологических режимов. Требуемую точность в этом случае обеспечивают методы интерполяции с коррекцией. Увеличение доли многоцелевых токарных станков, способных выполнять контурное фрезерование при синхронизации вращения шпинделя с поступательным движением инструмента, привело к применению комбинированных методов интерполяции, использующих преобразование координат методами «цифра за цифрой».

Шлифовальные станки являются финишным оборудованием, что определяет повышенные требования к точности интерполяции и плавности интерполируемой траектории (от-

сутствие разрывов первой и второй производных), влияющей на качество обрабатываемой поверхности. Именно для систем ЧПУ шлифовальным оборудованием характерно значительное разнообразие видов интерполяции (эвольвентная, параболическая от второй до пятой степени, тригонометрическая и т.п.), используемых при контурном шлифовании и профилировании абразивных кругов. Эти виды интерполяции требуют применения соответствующих методов ЦДА, «цифра за цифрой», комбинированных многоэтапных для расчета сложных траекторий.

Оптимальная технология шлифования требует применения высоких скоростей рабочих подач (их реальное использование сдерживается качеством управления сервосистемами). Это предъявляет повышенные требования к быстродействию интерполяции. Поэтому наиболее успешно могут быть использованы многоэтапные методы с микроинтерполяцией, которые обладают высоким быстродействием, но уступают другим методам по объему математического обеспечения. Особенностью шлифования является низкая размерная стойкость инструмента, вызванная быстрым износом и необходимостью периодической правки шлифовальных кругов для поддержания режущей способности. Поэтому коррекция, необходимая для сложных траекторий движения или непрерывной правки круга при обработке линейно-круговых контуров, требует применения комбинированных методов с интегрированным эквидистантным и интерполяционным расчетом.

Особенности интерполяционных задач в системах управления электроэрозионными и другими станками, использующими физико-химические методы обработки, связаны с тем, что рабочие подачи, во-первых, ограничены скоростью физико-химического процесса, и, во-вторых, оказывают значительное влияние на точность и качество обработанной поверхности. С этим связаны невысокие требования по быстродействию методов интерполяции и достаточно жесткие ограничения на ошибку поддержания контурной скорости. В этом случае могут быть применены методы «цифра за цифрой», которые позволяют одновременно решить и ряд специфических задач формообразования (управление углом наклона проволоки, ее разворот по нормали к контуру, поддержание межэлектродного зазора и т.д.).

Специальные станки для пространственной обработки. К специальным станкам для пространственной обработки относятся станки, использующиеся для обработки по четырем и более координатам одновременно.

Для управления специальными станками обычно используются две концепции:

1) программируется основная зависимость параметров детали, которая в интерполяторе преобразуется в последовательность точек положения узлов станка в многокоординатном пространстве;

2) программируется последовательность опорных точек в многокоординатном пространстве и производится интерполяция между ними.

В случае первой концепции при использовании комбинированных методов интерполяции с интеграцией задачи преобразования одновременно разрешаются проблемы компактной записи управляющей информации и возможности осуществления коррекции управляющей программы как оператором, так и автоматически на размер инструмента. Однако повышенная трудоемкость интерполяции не всегда соответствует возможностям УЧПУ [1, 5]. Аналогичная задача разрешима и при кодовой интерполяции с применением методов «цифра за цифрой». При неортогональности осей и смещении полюса качания алгоритм расчета существенно усложнится, поэтому не может быть реализован в интерполяционной задаче на серийно выпускаемых УЧПУ.

Вычислительная производительность УЧПУ позволяет применять первую концепцию управления лишь при определенном уровне кинематической сложности специальных станков, превышение которого приводит к необходимости использования второй концепции. В этом случае подготовка управляющей программы ведется с использованием систем автоматического программирования на ЭВМ и траектории движения узлов станка представляются в виде параметрических кривых. При этом наиболее часто используется линейная зависимость. Это приводит к значительным объемам управляющей информации и скачкообразному

изменению координатных скоростей в опорных точках. Избежать этих недостатков позволяет применение параметрических кубических парабол для описания координатных перемещений, в которых в качестве параметра используется нормализованная (приведенная к диапазону изменения от 0 до 1) длина траектории. Такой выбор параметра позволяет легко решить проблемы управления контурной скоростью при многокоординатной обработке. При необходимости коррекции (при шлифовании пространственных деталей) могут быть применены бикубические параболы (функции двух параметров).

Перспективным представляется расчет параметрических кубических кривых в системе ЧПУ в фоновом режиме (за суммарное время, остающееся от интерполяционных и других оперативных расчетов при отработке предыдущего кадра управляющей программы). Этот способ совмещает достоинства первой (по объему управляющей программы и возможности ее коррекции) и второй (по невысокой трудоемкости интерполяции) концепций. Меньшая трудоемкость расчетов, чем при интерполяции-преобразовании, объясняется тем, что число участков траектории, описанной сопряженными кубическими параболой, по сравнению с кусочно-линейной аппроксимацией уменьшается в значительно большей степени, чем увеличивается время интерполяционного расчета. Этот способ может быть реализован с использованием многоэтапной интерполяции.

Промышленные роботы. При управлении промышленными роботами (ПР) в позиционных и контурных системах управления (СУ) также приходится решать интерполяционную задачу. Позиционные СУ обеспечивают квазинепрерывную траекторию. Это означает, что траектория является, по существу, непрерывной, а позиционирование возможно только в дискретных значениях непрерывной функции, т.е. контролируемые являются положения рабочего органа ПР только в опорных точках, а сама траектория движения рабочего органа между опорными точками является произвольной. Контурные СУ обеспечивают непрерывные траектории движения, т.е. возможность попадания захватного устройства в любую точку рабочей зоны ПР, причем контролируются не только положения в опорных точках, но и вся траектория между ними.

Обычно с позиционным управлением связывают интерполяцию в обобщенных координатах, а с контурным – в декартовых. Понятие обобщенных координат вводится для определения пространственного положения конфигурации ПР. Обобщенными координатами исполнительного механизма называются независимые переменные q_1, \dots, q_n , задание которых однозначно определяет конфигурацию механизма. Каждая обобщенная координата соответствует угловой координате для вращательной пары в конструкции ПР и линейной координате для поступательной пары. Тип перемещения в декартовых координатах естественен для них, т.е. ПР движется вдоль прямых линий и поворачивается вокруг пространственных осей. Относительно просто такая интерполяция реализуется в цилиндрических, сферических и других ортогональных координатах.

Отличие способов интерполяции между опорными точками при описании в декартовых и в обобщенных координатах состоит в том, что при описании в декартовых координатах интерполяция производится по естественной траектории (прямой), середина которой вполне определена, при этом закон изменения координат сочленений (обобщенных координат) достаточно сложен, а при описании в обобщенных координатах перемещение и, следовательно, интерполяция линейны относительно обобщенных координат. Для обоих случаев описания необходим периодический расчет обобщенных координат по декартовым координатам (решение кинематической задачи), но при работе в декартовых координатах он производится гораздо чаще и его трудоемкость приблизительно в 100 раз больше. Кроме того, недостатками работы в декартовых координатах являются нарушения управления при вырождении конфигурации ПР и сложность предсказания превышения допустимых скоростей и ускорений. Расчет в реальном масштабе времени обобщенных координат по декартовым координатам при интерполяции в декартовых координатах возможен лишь при сравнительно простой кинематике ПР и может быть осуществлен с использованием комбинированных методов по схеме интерполяция-преобразование. При невозможности оперативного счета тра-

ектории ее опорные точки определяются до интерполяции (планирование траектории). Для экономичного запоминания и хранения множества опорных точек часто применяют сплайн-функцию. При регулировании скорости и ускорения перемещения используются граничные условия сплайн-функции.

Контуры по отдельным координатам представляют собой кубическую сплайн-функцию, обеспечивающую компактную запись контура в памяти СУ и точность многокоординатного управления на большой скорости с использованием алгоритма вычисления гладкой кривой в реальном масштабе времени. Кубическая сплайн-интерполяция обеспечивает равенство первой и второй производных по пути (скорости и ускорения) на стыках участков.

Также можно использовать для описания перемещений трех кусочных функций. Первая сплайн-функция описывает ускорение до момента достижения максимальной скорости, т.е. участок разгона, вторая сплайн-функция – перемещение с максимальной скоростью и третья – замедление до момента останова. Преимуществами применения метода одной сплайн-функции являются простота вычислений и потребность хранения только одной группы сплайн-коэффициентов. Метод трех сплайн-функций приводит к более быстрому перемещению, особенно при больших изменениях положения. При трех сплайн-функций также применяются кубические сплайны.

При интерполяции в обобщенных координатах опорные точки можно рассчитывать, как заранее, так и в процессе перемещения. Применяются оба варианта, что объясняется небольшим числом точек на траектории. Однако линейная интерполяция между опорными точками в этом случае малопримемлема из-за отсутствия непрерывности скоростей и ускорений. Для предотвращения вибраций режущего инструмента производят сглаживание в районах опорных точек с использованием парабол четвертой степени или применяют сплайн-интерполяцию.

Задачи управления траекторией движения ПР имеют много общего с задачей управления формообразованием для специальных станков. Однако если расчет траектории движения для станков является основной задачей, то для ПР – лишь одной из многих оперативных задач управления. Повышенная трудоемкость управления ПР частично объясняется:

1) большой сложностью решения кинематической задачи при планировании траектории (кинематика ПР со многими степенями подвижности значительно сложнее кинематики многокоординатных станков);

2) необходимостью оперативного контроля динамических (допустимых скоростей, ускорений, усилий, моментов и т.п.) и статических (зон запрета, препятствий и т.п.) ограничений;

3) сложностью качественного управления приводами (перемещением звеньев с переменным моментом инерции и низкой жесткостью).

Чтобы решить указанные задачи необходимо использовать для управления ПР системы ЧПУ с большой вычислительной мощностью.

Список литературы

1. Байков, В.Д. Решение траекторных задач в микропроцессорных системах ЧПУ / В.Д. Байков, С.Н. Вашкевич. – Л.: Машиностроение, 1986. – 106 с.
2. Байков, В.Д. Специализированные процессоры: Интеграционные алгоритмы и структуры / В.Д. Байков, В.Б. Смолов. – М.: Радио и связь, 1985. – 288 с.
3. Белов, М.П. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации / М.П. Белов, О.И. Зементов, А.Е. Козярук. – М.: Академия, 2006. – 368 с.
4. Ерохин, В.В. Системы автоматизированного управления производственным процессом / В.В. Ерохин, М.П. Топорков. – Брянск: БГТУ, 2004. – 99 с.
5. Ерохин, В.В. Системы управления производственным процессом / В.В. Ерохин, М.П. Топорков, Т.А. Моргаленко. – Брянск: БГТУ, 2009. – 158 с.
6. Ерохин, В.В. Автоматизированные системы проектирования и управления технологическим процессом / В.В. Ерохин, Е.А. Памфилов. – Брянск: БГИТА, 2011. – 368 с.

7. Сосонкин, В.Л. Системы числового программного управления / В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов. – М.: Логос, 2005. – 296 с.

Сведения об авторе

Ерохин Виктор Викторович - доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автоматизированные информационные системы и технологии» ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», *erohinvv@mail.ru*.

THE CHOICE OF METHODS OF IMPLEMENTATION OF THE GEOMETRIC CONTROL TASK CNC CONTROL IN PROCESS EQUIPMENT

Erokhin V.V.

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, Bryansk, Russian Federation

The paper examines the impact of CNC solutions geometric problem on the accuracy of machining a workpiece by means of a defined-interpolation algorithm and the discrete movements Rabo working bodies CNC machine. The basic aspects of the study of influence of feed rate-laws governing the performance of the drive and the volatility contouring speed, and hence on the quality of the surface-treated with the details. The main methods of management contouring speed re-binder tool using different types of interpolations. Recommendations on IP-use of different types of interpolators to ensure the stability of the contour speed of the cutting tool or a manipulator arm (industrial robot).

Keywords: *CNC, machining quality, interpolation, process equipment.*

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-01-18-25

References

1. Baikov V.D., Vashkevich S.N. *Reshenie traektornikh zadach v mikroprocessornikh sistemakh ChPU* [Solution trajectory problems in microprocessor CNC system]. Leningrad, Mashinostroenie, 1986. 106 p.
2. Baikov V.D., Smolov V.B. *Spetsializirovannyye processory: Integratsionnyye algoritmy i struktury* [Specialty engines: Integration algorithms and structures]. Moscow, Radio i svyaz, 1985. 288 p.
3. Belov M.P., Zementov O.I., Kozyaruk A.E. *Inzhiniring elektroprivodov i sistem avtomatizatsii* [Engineering of electric drives and automation systems]. Moscow, Akademiya, 2006. – 368 p.
4. Erokhin V.V., Toporkov M.P. *Sistemy avtomatizirovannogo upravleniya proizvodstvennykh processom* [Automated control systems of production processes]. Bryansk, BSTU, 2004. 99 p.
5. Erokhin V.V., Toporkov M.P., Morgalenko T.A. *Sistemy upravleniya proizvodstvennykh processom* [Control systems production process]. Bryansk, BSTU, 2009. 158 p.
6. Erokhin V.V., Pamfilov E.A. *Avtomatizirovannyye sistemy proektirovaniya i upravleniya tekhnologicheskimi processom* [The automated systems of design and control of technological process]. Bryansk, BGITA, 2011. 368 p.
7. Sosonkin V.L., Martinov G.M. *Sistemy chislovogo programmnoy upravleniya* [Systems CNC]. Moscow, Logos, 2005. 296 p.

Author' information

Viktor V. Erokhin - Doctor of Technical Sciences, Professor at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, *erohinvv@mail.ru*.

Дата публикации
(Date of publication):
25.03.2017

