

Рисунок 4 - Реализация второго способа

## ЛИТЕРАТУРА

1. Трудоношин, В.А., Пивоварова, Н.В. – Системы автоматизированного проектирования, кн. 4. Математические модели технических объектов. – Мн., Вышэйшая школа, 1981, 192 с.
2. Ивановский, Р.И. Компьютерные технологии в науке и образовании. Практика применения систем MathCAD. – М., Высшая школа, 2003, 343 с.

УДК 621.9.06-529

*Романюк С.И.*

## СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕАЛИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ЧПУ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Функционирование системы ЧПУ на прикладном уровне делится на несколько фундаментальных аспектов. То есть, все многообразие действий, совершаемых системой ЧПУ (СЧПУ), можно свести к нескольким классам: во-первых, обеспечение формообразования;

детали, связанное с перемещением режущих инструментов; во-вторых, управление многообразными вспомогательными механизмами и служебными операциями, относящимися к системе цикловой электроавтоматики; в-третьих, оптимизация или поддержание на заданном уровне параметров процесса обработки; в-четвертых, обеспечение интерактивного диалога системы ЧПУ и человека. Выделенные классы функций ЧПУ удобно называть "задачами ЧПУ". Тогда соответственно перечисленным выше классам, существуют четыре задачи ЧПУ: геометрическая, логическая, терминальная и технологическая [1, 2].

Такой подход, когда вычленяются отдельные задачи, а затем рассматриваются методы их реализации, является логичным по сути и методологически оправданным с точки зрения совершенствования и изучения систем ЧПУ в целом.

Важнейшей из таких "задач ЧПУ" является геометрическая, которая присутствует во всех без исключения системах ЧПУ. В свою очередь, геометрическая задача включает три крупные подзадачи: подготовку и интерпретирование управляющих программ (УП), решение траекторных задач и интерполирование и, наконец, управление следящими приводами [1]. Каждой из них уделяется пристальное внимание со стороны разработчиков ЧПУ, поэтому закономерно проследить современные подходы к их решению.

Традиционная ручная подготовка УП в настоящее время весьма эффективно вытесняется CAD/CAM-системами. Некоторые элементы автоматизации программирования имеются во встроенных в СЧПУ программно-технических средствах.

Между двумя способами программирования имеются различия на уровне пользователя. В первом случае задание обрабатываемых поверхностей выполняется с помощью методологии "цепочек" (рис.1). Цепочка представляет из себя геометрическую линию, состоящую из отдельных участков обрабатываемой поверхности. При таком подходе программист не выделяет опорные точки, он лишь указывает на поверхности, которые должны быть обработаны на данном переходе (указание осуществляется щелчком мыши на элементе контура). Завязку элементы контура связаны между собой, тогда достаточно выполнить процедуру "частичного сцепления", когда указываются только первый и последний элементы контура, а остальные включаются в цепочку автоматически. Программа сама определяет все размеры, связывает их к нулю детали, определяет опорные точки и высчитывает их координаты. Для математического описания сложных поверхностей все CAD/CAM-системы используют сплайны (чаще всего NURBS). И в этом случае от программиста требуется минимум действий. Постпроцессор преобразует внутреннюю информацию CAD/CAM-программы о координатах перемещения в конкретные команды интерполяции в зависимости от СЧПУ. Реализацию всех программных и математических возможностей CAD/CAM-системы могут ограничить технические возможности комплекса "станок – СЧПУ" (например, СЧПУ не поддерживает сплайн-интерполяции, станок не обеспечивает необходимых движений и т.д.).

Во втором случае для программирования перемещений могут использоваться "контурные построители" (их иногда называют "контурными вычислителями") (рис.2). Такая методология в сравнении с цепочками более сложна с точки зрения количества и содержания действий, выполняемых программистом. От него требуется последовательно ввести все элементы контура (в том числе фаски и закругления), обрабатываемые на данном переходе. Ввод выполняется указанием конкретных размеров каждого элемента, при этом программист должен самостоятельно определить, какую систему координат использовать: абсолютную или относительную, декартову, полярную или цилиндрическую. Т.е. фактически выполняет дублирование построения чертежа, к тому же, ограниченным (в сравнении с CAD/CAM-системами) набором технических средств. Возможность ввода и обработки чертежа, заранее составленного в CAD-пакете, отсутствует. Способ ввода координат с помощью "контурного построителя" имеет безусловное преимущество перед ручным программированием: в процессе ввода элементов контура происходит их прорисовка на экране, и программист имеет возможность контролировать правильность ввода. Однако даже использование "контурного построителя" проигрывает CAD/CAM-системам с точки зрения скорости и удобства ввода

информации. Преимуществом встроенных средств является то, что при их использовании не требуется специального постпроцессирования, т.к. изначально УП пишется в терминах, понятных данной системе ЧПУ. Кроме того, не возникает несоответствия между программными возможностями и техническими средствами ее реализации системой управления.

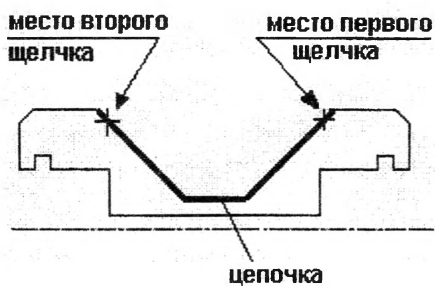


Рисунок 1 - Выполнение процедуры "частичного сцепления" при задании обрабатываемых поверхностей в CAD/CAM-системе MasterCAM

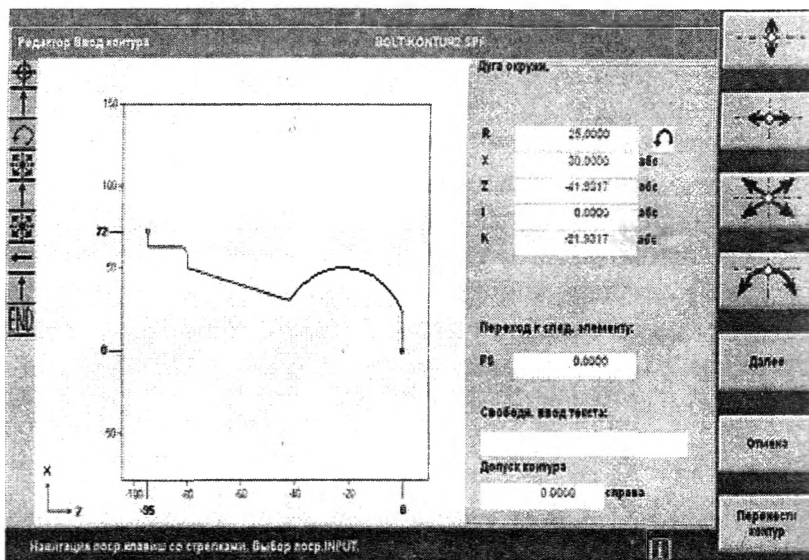


Рисунок 2 - Контурный построитель для программирования системы ЧПУ Sinumerik-840 фирмы Siemens

Задачи траекторных перемещений и интерполяции являются основной составляющей частью оперативного управления, в котором на их долю приходится примерно 35-40% [3]. Математическое содержание задачи сводится по существу к воспроизведению заданных траекторий. Наибольшие вычислительные мощности, соответствующие технические возможности станка и СЧПУ требуются при фрезеровании сложных пространственных поверхностей, с чем приходится иметь дело в инструментальном производстве, в производстве пресс-форм, а также в других отраслях промышленности (например, автомобильной, авиационной). Обеспечение повышенных требований к точности фрезерования таких поверхностей зависит от возможностей комплекса "станок – СЧПУ" и может реализовываться [4,5]:

- за счет увеличения числа участков при кусочно-линейной аппроксимации. Большое число участков обеспечивает более точное воспроизведение сложной поверхности, а также более высокое качество обработанной поверхности;
- за счет "загущения" строк траектории движения инструмента. Такое "загущение" повышает качество и точность обработки, однако существенно увеличивает общую длину траектории инструмента и для поддержания удовлетворительной производительности требуется существенное увеличение подачи;
- за счет уменьшения цены дискреты до 0,5 мкм и меньше;
- за счет гладкой аппроксимации с помощью сплайнов различного типа. Такая аппроксимация увеличивает нагрузку на процессор системы ЧПУ, а также требует включения в нее дополнительных модулей сплайн-интерполяции.

С учетом развития и удешевления средств микроэлектроники последний путь является наиболее эффективным. Поэтому в настоящее время все производители ЧПУ обеспечивают возможность сплайн-аппроксимации.

Суть сплайн-аппроксимации заключается в представлении поверхности набором кусочных кривых (сплайнов), описываемых кривыми второго или третьего порядков (например, кубическими параболой) и плавно сопряженными между собой в пределах одной линии. Вместо термина "сплайн-аппроксимация" иногда используют термин "сплайн-интерполяция", указывающий на то, что между начальной и конечной точками кривой выде-

ляется несколько промежуточных (узловых) точек, плавно соединенными между собой сплайнами. В системах ЧПУ Sinumerik фирмы Siemens используются три вида сплайнов: 1) NURBS – ненормированный рациональный базовый сплайн (non uniform rational b-spline), или просто В-сплайн; 2) Akima-сплайн (А-сплайн); 3) кубический сплайн (С-сплайн) [6].

При использовании В-сплайна кривая только прилегает к узловым точкам, а не проходит напрямую через них (рис.3,а). Узловые точки служат контрольными для создаваемой кривой. Степень близости сплайнов к узловым точкам задается весом узловой точки:  $PW = n$ , где  $n$  – изменяется в диапазоне от 0 до 3 с шагом 0,0001. При  $n > 1$  кривая сильнее притягивается к узловой точке,  $n < 1$  – слабее. Создаваемая кривая всегда касательна в начальной и конечной точках сплайна. Главное использование В-сплайна – САД системы и определение рельефных поверхностей.

А-сплайн проходит точно через заданные точки (рис.3,б). Он позволяет построить кривые через 6 смежных точек. При резком изгибе кривизны (например, точка 5 на рис.3,б) не создается гладкая непрерывная кривая. Главная область применения – проход через точки, полученные от измерительной машины или от аналогичных устройств.

С-сплайн представляет собой непрерывную кривую, проходящую через заданные точки (рис.3,в). В отличие от А-сплайна С-сплайн в узловых точках является устойчивым к кривизне, но имеет склонность к неожиданным колебаниям. С-сплайн может использоваться в тех случаях, когда точки располагаются на аналитически известной кривой.

Для А и С сплайнов могут задаваться дополнительные параметры, влияющие на характер прохождения первой и последней точек сплайна (кривизна, касательность к граничащей траектории или без определения характера).

В математической формулировке сплайн представляет собой кусочно-полиномиальную функцию порядка  $p$ , имеющую на заданном отрезке непрерывные производные порядка  $(p-1)$ . Важными свойствами сплайнов являются их устойчивость и сходимость. Кроме того, поскольку в узловых точках значения первых (иногда и вторых) производных смежных участков равны, то кривые, описываемые сплайнами, являются гладкими. Такие математические особенности сплайнов приводят при их использовании в системах управления станками к целому ряду достоинств сплайн-интерполяции:

- гладкая траектория движения позволяет увеличить путевую скорость и тем самым существенно увеличить производительность;
- динамика перемещения рабочего органа носит равномерный характер;
- вибрации в процессе обработки существенно снижены;
- шероховатость обработанной поверхности значительно ниже, чем при линейно-кусочной аппроксимации, в результате чего не требуется ручной доводки обработанной поверхности;
- точности обработки повышается при снижении объема управляющей программы.

В последнее время системы управления всех станков, предназначенных для фрезерования сложных поверхностей, оснащаются блоком (одним или несколькими) сплайн-интерполяции. Опыт показывает, что одна запись сплайнов может заменить от 5 до 10 линейных кадров при одинаковой точности. Программирование посредством кусочно-ломаной аппроксимации заменяется либо на передачу сплайнов непосредственно из системы САМ в систему ЧПУ, либо на геометрическое преобразование (компрессию) линейных кадров внутри ЧПУ [7].

Таким образом, сплайн-интерполяция исключает аппроксимацию сложных поверхностей посредством многих тысяч небольших линейных траекторий. Это решает ряд траекторных проблем, связанных с качеством и производительностью обработки, динамикой перемещения рабочих органов, длиной УП и временем ее обработки.

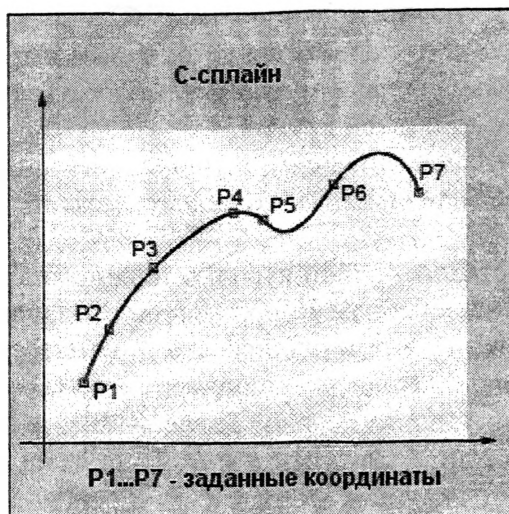
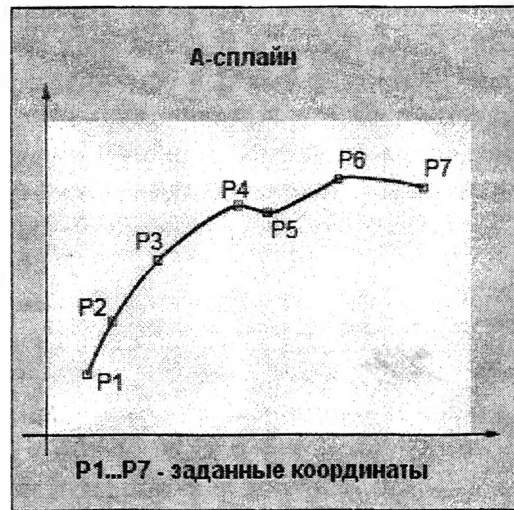
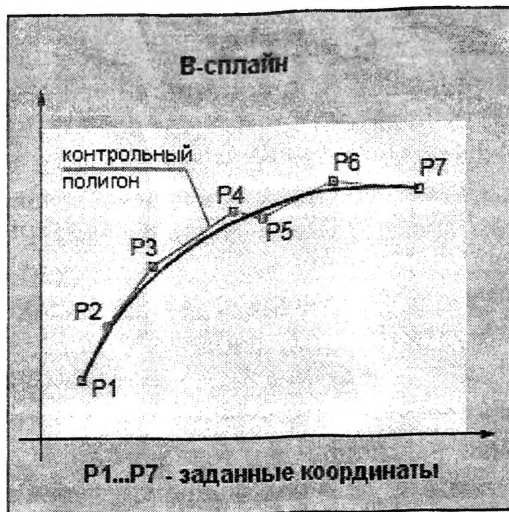


Рисунок 3 - Виды сплайнов в системе ЧПУ Sinumerik-840 фирмы Siemens

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сосонкин, В. Л. Задачи числового программного управления и их архитектурная реализация в устройствах ЧПУ // Станки и инструмент. – М.: 1988, № 10. – С. 39-41.
2. Мартинов, Г.М., Сосонкин, В.Л. Концепция числового программного управления мехатронными системами: реализация геометрической задачи // Мехатроника. – М.: 2001, № 1. – С.9-15.
3. Байков, В.Д., Вашкевич, С.Н. Решение траекторных задач в микропроцессорных системах ЧПУ / Под ред. В.Б.Смолова. – Л.: Машиностроение, 1986. – 106 с.
4. Аркадов, А. Ю., Николаев, П. М. Программирование обработки сложных поверхностей с повышенной точностью и производительностью // Информационные технологии в проектировании и производстве (ИТПП). – М.: 2000, №1. – С.54-57.
5. Вермель, В.Д., Зарубин, С.Г. ГеММа-3D: Программно-техническое обеспечение прямого управления станками с ЧПУ // Информационные технологии в проектировании и производстве (ИТПП). – М.: 2000, №1. – С.58-62.
6. Руководство по программированию Sinumerik 840D. Расширенное программирование. Выпуск 09.01. [Каталог]. – Siemens, 2001. – 648 с.
7. SIEMENS. Автоматизация и приводы. Системы ЧПУ Sinumerik и приводы Simodrive [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.automation-drives.ru/mc/>.