

*В.Л. Сосонкин
Г.М. Мартинов*

ПРАКТИКУМ ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ СИСТЕМ ЧПУ

Курс лабораторных работ по подготовке операторов-программистов станков с ЧПУ

Изучение сплайн-контуров на плоскости

Москва
2008

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1. Теория сплайнов.	
Параметры, влияющие на точность аппроксимации контура	4
Понятие о сплайнах и методах интерполяции в системе ЧПУ	4
ASPLINE	4
CSPLINE.....	7
Сплайн-программирование в системе ЧПУ WinPCNC	13
Контрольные вопросы и задания.....	15
Индивидуальные задания	15
Лабораторная работа №2. Создание управляющих программ с использованием сплайновой интерполяции типов Akima (ASPLINE), NURBS (BSPLINE) и кубического сплайна (CSPLINE). Воспроизведение сплайновой интерполяции в системе ЧПУ WinPCNC	18
Система ЧПУ WinPCNC.....	18
Ход работы	18
ПРИМЕР 1: Контур лица в профиль	18
<i>Работа с редактором AdvancEd.....</i>	<i>18</i>
<i>Работа с WinPCNC</i>	<i>20</i>
<i>Код управляющей программы FACE.NSC</i>	<i>22</i>
<i>Внесение изменений в программу FACE.NCS</i>	<i>22</i>
<i>Контур, построенные с использованием сплайнов</i>	<i>22</i>
ПРИМЕР 2. Контур птицы в профиль	24
<i>Работа с редактором AdvancEd</i>	<i>24</i>
<i>Работа с WinPCNC</i>	<i>25</i>
<i>Структура управляющей программы СОСК.NSC</i>	<i>27</i>
Контрольные вопросы и задания.....	28
Индивидуальные задания	29

Лабораторная работа №3. Генерация и редактирование сплайн-контуров. Создание и отработка управляющих программ.....	30
Введение.....	30
Spline Generator	30
AdvancEd	31
WINPCNC	31
ПРИМЕР 1. Контур буквы.....	31
<i>Работа с программой Spline Generator</i>	<i>31</i>
<i>Работа с программой AdvancEd</i>	<i>33</i>
<i>Работа с системой WinPCNC.....</i>	<i>34</i>
ПРИМЕР 2. Контур фигуры	36
<i>Работа с программой Spline Generator</i>	<i>36</i>
<i>Работа с программой AdvancEd</i>	<i>36</i>
<i>Работа с системой WinPCNC.....</i>	<i>36</i>
Контрольные вопросы и задания.....	37
Индивидуальные задания	37
Приложение 1	38
Список литературы.....	39

Лабораторная работа № 1

ТЕОРИЯ СПЛАЙНОВ. ПАРАМЕТРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОЧНОСТЬ АППРОКСИМАЦИИ КОНТУРА

Понятие о сплайнах и методах интерполяции в системе ЧПУ

Большинство систем ЧПУ располагают линейной, круговой и винтовой интерполяцией. Для обработки сложных скульптурных поверхностей строят линейную аппроксимацию с помощью САМ-системы, которая представляет собой траекторию в виде последовательности коротких отрезков длиной порядка 20 мкм. Современные системы ЧПУ решают ту же задачу посредством полиномов и сплайнов. Из всего их многообразие устойчивое применение в системах управления нашли всего несколько их видов. Рассмотрим особенности применения соответствующих методов интерполяции.

1. Полиномиальная интерполяция считается наиболее простой. Ее применяют для гладких траекторий, особенно в тех случаях, когда на основе малого числа заданных точек необходимо получить точный результат. Контур представляют в виде полинома степени $n - 1$, где n — число точек с известными значениями интерполируемой функции. Недостаток состоит в больших затратах вычислительной мощности и в сравнительно высокой погрешности в случае негладких контуров.
2. Сплайн-интерполяция использует кусочно-кубические функции. Этот метод обладает большими достоинствами, но его применяют, когда число заданных точек достаточно велико.
3. «Рациональная» сплайн-интерполяция представляет собой функцию отношения двух полиномов. Этот метод можно считать наиболее мощным, поскольку он располагает дополнительными параметрами для управления формой контура.

Задача сплайновой интерполяции состоит из двух подзадач: расчет коэффициентов сплайна и расчет значений функции сплайна в отдельных его точках. Расчет коэффициентов сплайна обычно выполняет САМ-система, а расчет значений функции сплайна осуществляют в рамках алгоритма интерполяции системы ЧПУ. Задача сплайновой интерполяции сводится к решению двух подзадач: расчет коэффициентов сплайна и расчет значения функции $y(x)$ по заданному x .

ASPLINE

ASPLINE (Akima spline) проходит точно через заданные точки. В обобщенном виде акима-сплайн представляется многочленом (1), который описывает сегмент аппроксимируемой кривой, лежащий между двумя соседними точками.

$$y = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D \quad (1)$$

При этом коэффициенты многочленов подбираются так, чтобы в точках стыковки сегментов обеспечить непрерывность первой производной.

Минимально допустимое количество точек определяется особенностями системы ЧПУ; например, система ЧПУ Sinumerik позволяет построить кривые только через 6 смежных точек, в то время как система ЧПУ WinPCNC — через 4 точки (в предельном случае можно использовать две точки, но в этом случае кривая трактуется как отрезок прямой). Используя ASPLINE, следует учитывать, что при резком изгибе кривизны непрерывная кривая не создается.

Главная область применения этого типа сплайна — прохождение через точки, полученные от контрольно-измерительной машины (КИМ) или от аналогичных машин.

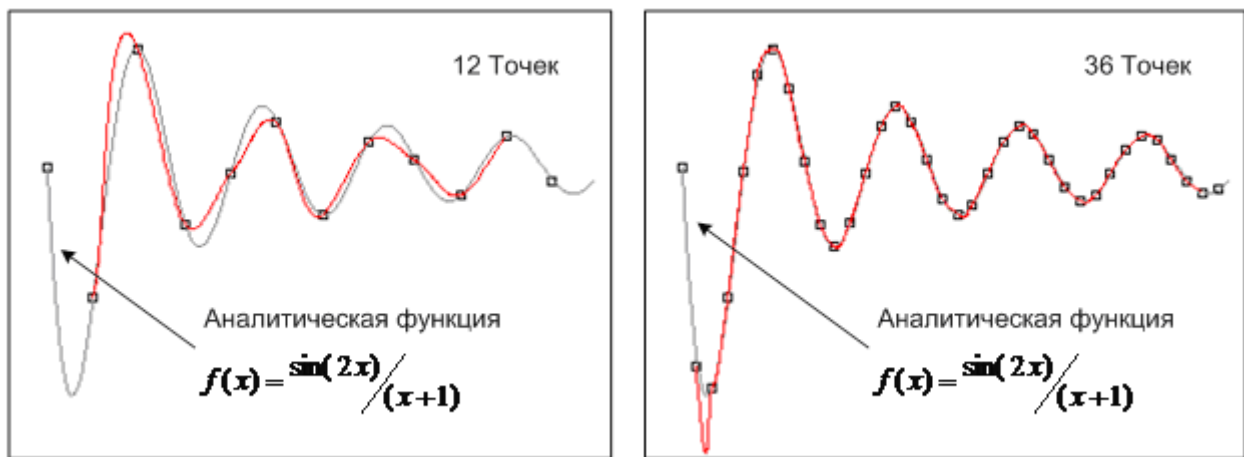


Рис. 1. Точность ASPLINE зависит от количества точек

Как можно видеть на рис.1, первый и последний сегменты не определены. Это следует из особенностей подбора коэффициентов ASPLINE-сплайна. В системах ЧПУ для определения этих сегментов используют дополнительные условия (рис. 2). Например, нулевая кривизна в начале и конце, определенное значение производной и т. д. В программе Spline Generator направление в начале и конце считается совпадающим с направлением «от первой до второй точки» и «от предпоследней до последней точки» соответственно.

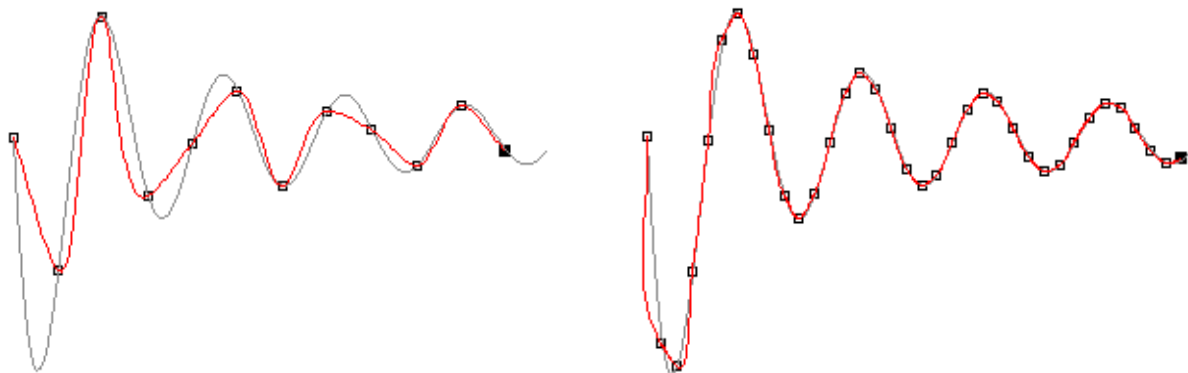


Рис. 2. Первый и последний сегменты ASPLINE-сплайна определены с помощью дополнительных условий

Задание 1. Откройте утилиту Spline Generator. Выполните команду меню Test>sin(2x)/x — 12 points и установите галочку в меню Test>Draw Function. После этого включите отображение ASPLINE-сплайна (рис. 3).

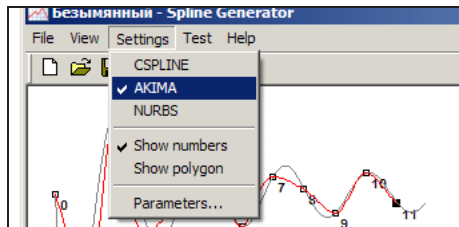


Рис. 3. Задание 1

По умолчанию, точки распределены равномерно по оси X (рис. 4 а). Переместите точки так, чтобы добиться максимального совпадения сплайн-контура с аппроксимируемой функцией (рис. 4 б). Результаты отразите в отчете.

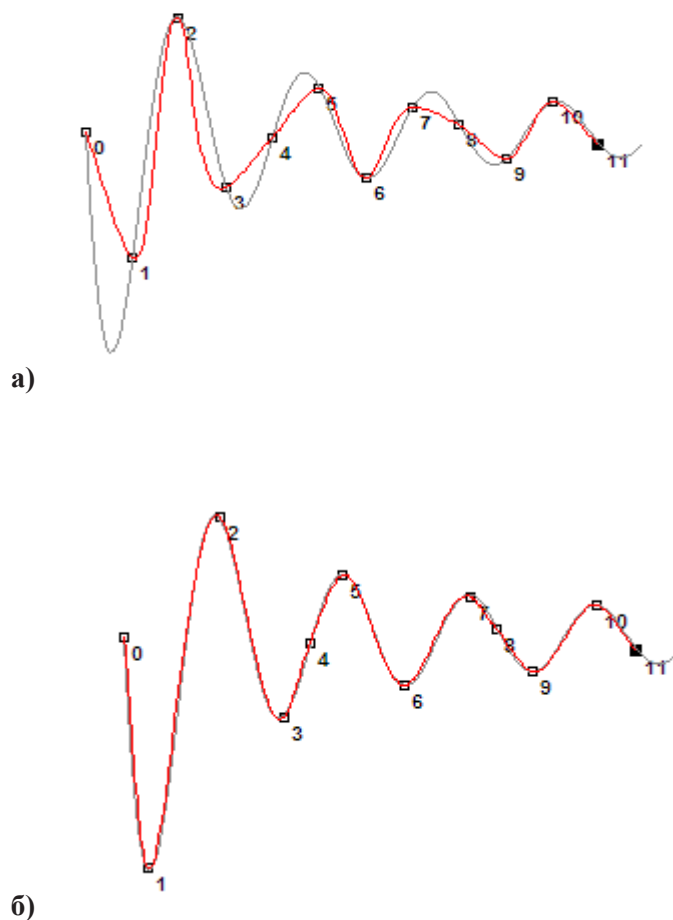


Рис. 4. Задание 1

CSPLINE

Кубический сплайн CSPLINE представляет собой непрерывную кривую, проходящую через заданные точки. Эти сплайны используют для задания точек, расположенных вдоль аналитически вычисляемой кривой (рис. 5).

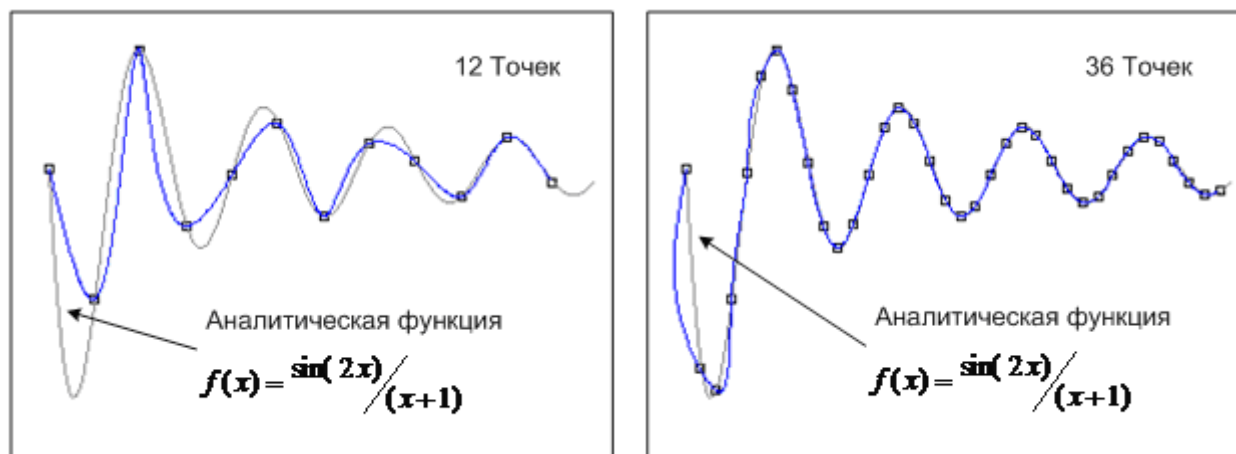


Рис. 5. CSPLINE (кубический сплайн)

Интерполяция кубическими сплайнами служит быстрым, эффективным и устойчивым способом интерполяции контура. Этот способ является основным конкурентом полиномиальной интерполяции. В его основе лежит идея разбиения интерполируемого контура на небольшие отрезки, на каждом из которых функция кривой задается полиномом третьей степени. Коэффициенты полинома подбираются так, что на границах интервалов обеспечивается непрерывность функции (контура), ее первой и второй производных. Также есть возможность задать граничные условия — значения первой или второй производной на границах интервала. Если значения одной из производных на границе известны, то, задав ее, получим достаточно точную интерполяционную схему. Если значения неизвестны, то вторую производную полагают равной нулю на границе; результаты при этом будут достаточно хорошими.

Только для ASPLINE-сплайна и для кубического сплайна могут задаваться дополнительные параметры, влияющие на характер прохождения первой и последней точек сплайна.

Интерполяционный кубический сплайн класса C^2 описывают многочленом:

$$S(f, x) = \sum_{k=0}^3 a_k^{(i)} (x_i - x)^k \quad (2)$$

Задание 2. Запустите утилиту Spline Generator и включите отображение ASPLINE и CSPLINE (меню Settings>AKIMA / CSPLINE). Введите 10–12 точек на достаточном расстоянии друг от друга (желательно развернуть окно утилиты во весь экран). Расположите точки примерно так, как показано на рис. 6 а.

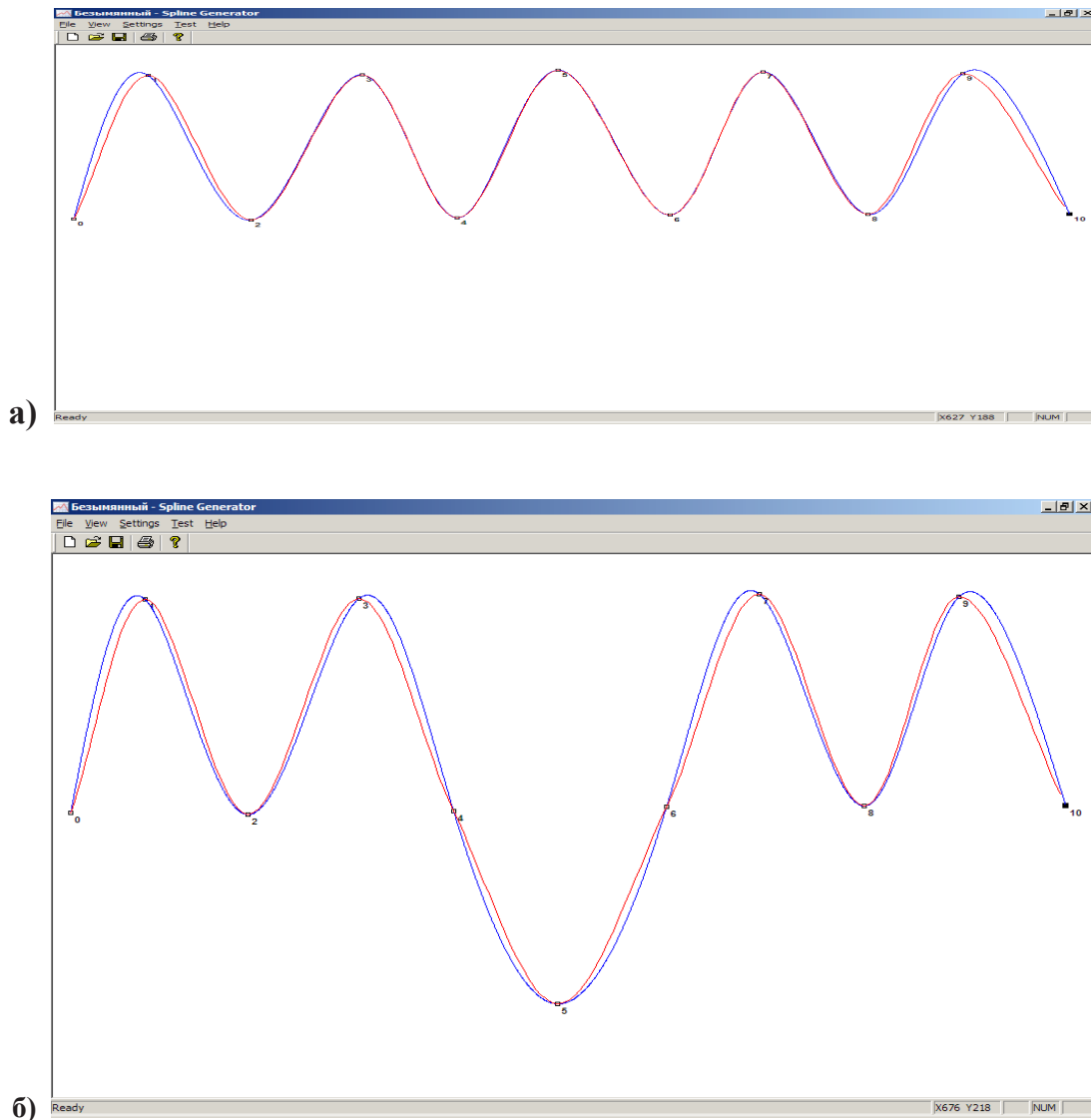


Рис. 6. Задание 2

Переместите одну из точек посередине контура (рис. 6 б) и проследите, как изменится форма кривой. Опишите в отчете особенности влияния положения точки на форму кривой в случаях ASPLINE-сплайна и кубического сплайна (на какую часть кривой точка влияет в обоих случаях).

Теперь введите 5 точек так, как показано на рис. 7 а. После этого переместите точку 2 вертикально вверх. Результат показан на рис. 7 б. Можно увидеть, что резкое изменение направления в точке может привести к дефектам контура в виде петель. Это ограничивает применимость ASPLINE-сплайна и кубического сплайна при аппроксимации произвольных кривых.

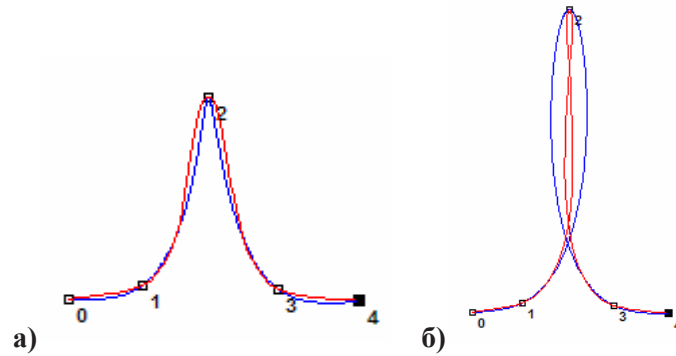


Рис. 7. Задание 2

Добавьте несколько точек и попробуйте получить одновременно две петли на контуре. Результат отразите в отчете.

NURBS — неравномерные рациональные B-сплайны

Термин NURBS является аббревиатурой и расшифровывается как Non-Uniform Rational B-Spline, где:

- Non-Uniform (*неравномерный*, неоднородный) означает, что область влияния контрольной точки на форму кривой может быть различной. Это очень важное свойство для моделирования иррегулярных кривых;
- Rational (рациональный) означает, что математическое выражение, описывающее форму моделируемой кривой, есть отношение двух полиномов. Эта особенность позволяет точнее моделировать различные кривые, например конические сечения;
- B-spline (basis spline, **базисный сплайн**) — способ математического описания кривой интерполяцией между тремя и более контрольными точками.

Математически NURBS описывается следующим образом:

$$Q(t) = \frac{\sum_{i=0}^p B_{i,n}(t) P_i w_i}{\sum_{i=0}^p B_{i,n}(t) w_i},$$

где $B_{i,n}$ — базисная функция (рис. 8);

P_i — управляющая точка;

w_i — вес управляющей точки;

n — степень базисной функции.

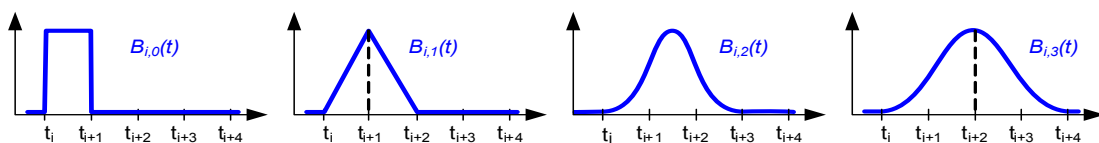


Рис. 8. Базисные функции с нулевого до третьего порядка

Одной из ключевых характеристик кривых NURBS является то, что их форма определена позициями *управляющих точек*, подобно тем, что обозначены как P_i на рис. 9. Контрольные точки часто соединяют линиями, чтобы их легко можно было увидеть и показать их отношение к кривой. Эти соединительные линии формируют то, что известно как *управляющий многоугольник (control polygon)*.

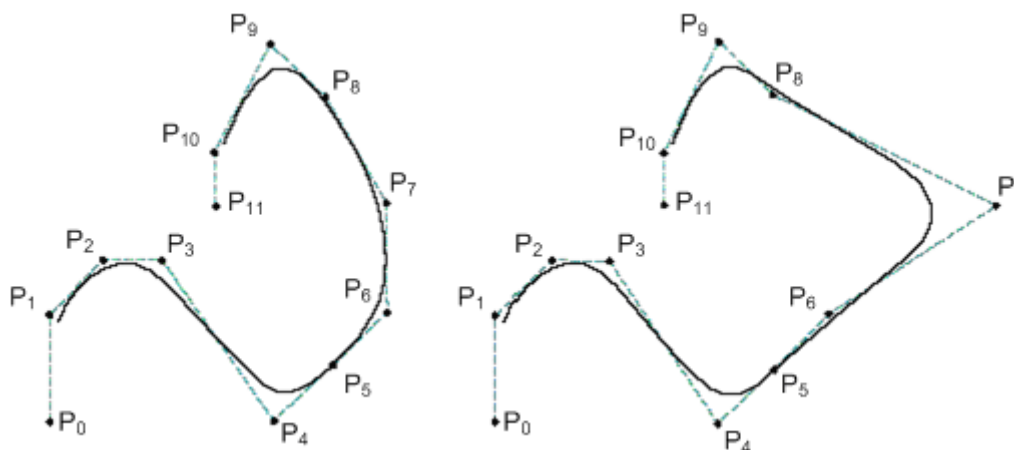


Рис. 9. Влияние положения управляющих точек на формирование NURBS-сплайна

Вторая кривая на рис. 9 иллюстрирует влияние смещения управляющей точки P_7 . Форма кривой изменяется не по всей длине кривой, а только в небольшом окружении контрольной точки. Эффект называют *локальным управлением*. Это свойство позволяет осуществлять локализованные изменения путем перемещения отдельных контрольных точек в CAD-CAM системах, не воздействуя на форму всей кривой. Каждая управляющая точка влияет на близлежащую к ней часть кривой и слабо или вообще не воздействует на части кривой, находящиеся дальше.

Задание 3. Повторите в утилите Spline Generator контур, показанный на рис. 9 (в отличие от рисунка контур в утилите начинается в первой точке и заканчивается в последней). Переместите точку 7 так, как на втором контуре рис. 9 (точку можно переместить указателем мыши, нажав клавишу Shift). Затем переместите эту точку внутрь контура. Результаты покажите в отчете.

Рациональные кривые, в сравнении с обычными (нерациональными — non-rational) B-сплайнами, дополнительно обладают двумя очень важными практическими свойствами:

- обеспечивают корректный результат при проекционных трансформациях (например, при масштабировании);
- их можно использовать для моделирования кривых любого вида, включая конические сечения (окружности, эллипсы, параболы и гиперболы).

Эти свойства обеспечиваются за счет ввода дополнительной координаты — веса управляющей точки (w). По умолчанию, каждая управляющая точка несет вес 1.0; это означает, что они все имеют равное влияние на форму кривой. Увеличение веса отдельной управляющей точки добавляет ей влияния, что создает эффект притягивания кривой к этой точке (рис. 10).

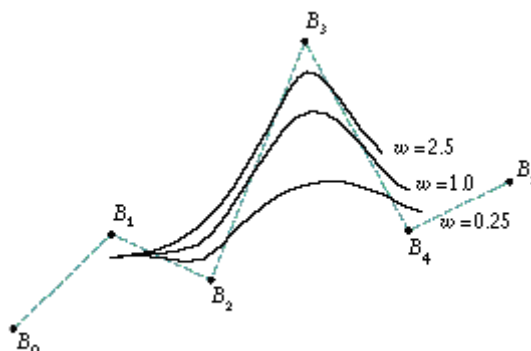


Рис. 10. Влияние веса управляющей точки на притягивание кривой

Следует иметь в виду, что изменение весов только отдельных управляющих точек оказывает влияние на форму кривой. При пропорциональном изменении веса всех управляющих точек форма кривой сохранится.

Задание 4. Повторите контур, показанный на рис. 10. Установите поочередно веса для точки 3 сначала 0.1, затем 3. Затем установите исходный вес (1.0).

Весы точек можно установить в диалоге меню > Settings > Parameters... (рис. 11).

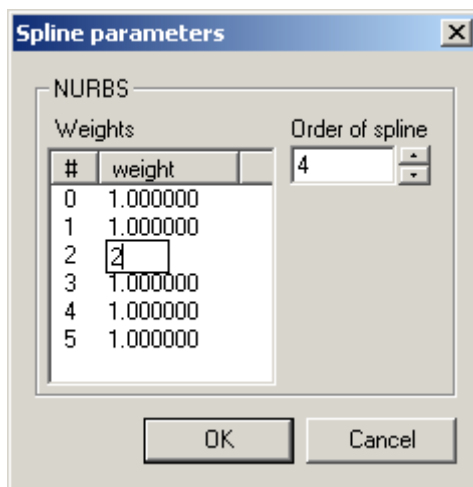


Рис. 11. Установка веса точки

Теперь попробуйте установить вес для всех точек, равным 2.0. Убедитесь, что форма контура при этом не меняется. Покажите в отчете результаты всех проделанных операций.

В системе управления запрограммированные (оцифрованные) точки контура служат контрольными для создаваемой NURBS-кривой. Результирующая кривая прилегает к контрольным точкам, но не проходит через них напрямую. При этом кривая всегда будет касательной к контуру в начальной и конечной точках сплайна. Дополнительные параметры (веса), задаваемые в кадре, оказывают влияние на создаваемую кривую. Они могут быть запрограммированы для каждой интерполяционной точки.

Например, для систем ЧПУ Sinumerik задание в программе веса контрольной точки при помощи w изменяется в диапазоне от 0 до 3 с шагом 0,0001. Как показано на рис. 10, при $w > 1$ кривая сильнее притягивается к контрольной точке, а при $w < 1$ — слабее.

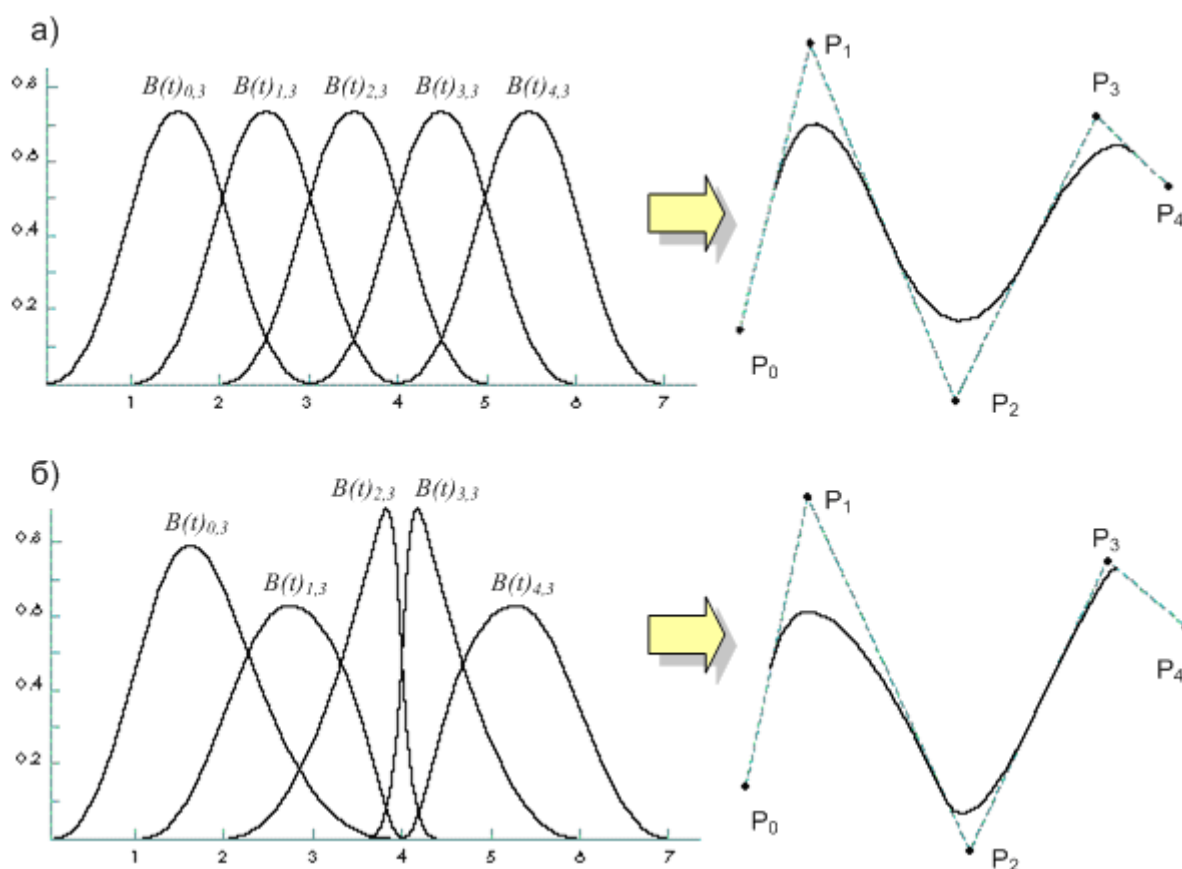


Рис. 12. Базовые функции для множества контрольных точек и NURBS-кривая для векторов узлов:
 а) равномерное распределение в векторе узлов;
 б) неравномерное распределение в векторе узлов

Любая управляющая точка имеет собственную базисную функцию. Кривая NURBS с пятью управляющими точками, представленная на рис. 12 а, будет обладать пятью такими функциями, каждая из которых покрывает некоторый интервал кривой. Все базисные функции на рис. 12 а имеют абсолютно одинаковую форму и охватывают равные интервалы влияния. Точки, разграничивающие интервалы, называются узлами, а упорядоченный их список — вектором узлов. Вектор узла для базисных функций, показанных на рис. 12 а, имеет вид $\{0,0; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0\}$. Это пример равномерного (uniform) вектора узлов, когда все базисные функции на рисунке охватывают равные интервалы по длине кривой.

Заменив вектор узлов на $\{0,0; 1,0; 2,0; 3,75; 4,0; 4,25; 6,0; 7,0\}$, получим набор неравномерных базисных функций, показанных на рис. 12 б, и соответствующую кривую (с использованием того же набора управляющих точек). Базисные функции $B_{2,3}(t)$ и $B_{3,3}(t)$, связанные с управляющими точками P_2 и P_3 соответственно, выше остальных, а интервалы $\{3,75; 4,0\}$ и $\{4,0; 4,25\}$ в векторе узлов для этих двух контрольных точек уже остальных, что оказывает на кривую концентрирующее влияние. В результате кривая сильнее смещена к управляющим точкам P_2 и P_3 .

Важными свойствами неравномерных векторов узлов являются: возможность управлять точным размещением начальной и конечной точек сплайна; возможность создавать кривую, содержащую петли или изломы. Пусть, например, вектор узлов $\{0,0; 0,0; 0,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0\}$ определяет набор базисных функций таким образом, что начало кривой совпадает с управляющей точкой P_0 (рис. 13 а). При смещении нескольких узлов в середину вектора $\{0,0; 1,0; 2,0; 3,0; 3,0; 5,0; 6,0; 7,0\}$ получим кривую (рис. 13 б), имеющую излом в управляющей точке P_2 . Совпадение двух узлов понижает степень кривизны в этом соединении на единицу; если совпадают три узла, то степень кривизны понижается на два; и так далее.

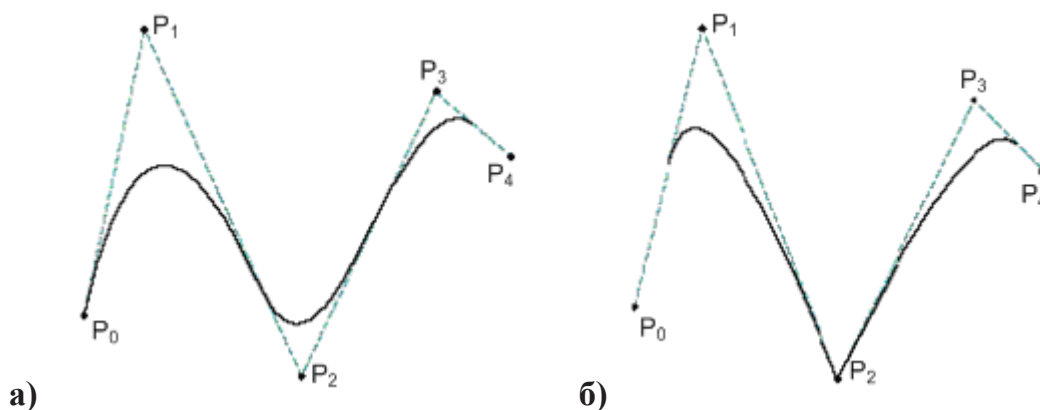


Рис.13. Влияние вектора узлов на форму кривой

Векторы узлов также подразделяются на периодические и непериодические. Единственным их отличием является то, что в случае непериодического вектора первые и последние k узлов равны (k — порядок NURBS-кривой). Например: $\{0,0; 0,0; 0,0; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 4,0; 4,0\}$ при $k = 3$. Как следствие, кривая начинается в первой управляющей точке и заканчивается в последней. В CAD/CAM системах и в системах ЧПУ в большинстве случаев используют непериодические векторы узлов.

Запрограммированные (оцифрованные) точки исходного контура создают некоторое множество управляющих точек NURBS-сплайна. Построенный сплайн лишь тяготеет к управляющим точкам, не пересекая их, кроме начальной и конечной точек, через которые проходит касательная к сплайну. Дополнительные параметры (веса), задаваемые в кадре управляющей программы ЧПУ, оказывают влияние на форму сплайна. Они могут быть привязаны к каждой управляющей точке контура. Так, в программе системы ЧПУ Sinumerik вес w управляющей точки можно изменять в диапазоне $0...3$ с шагом $0,0001$. В то же время в системе ЧПУ WinPCNC таких ограничений нет.

Сплайн-программирование в системе ЧПУ WinPCNC

К сожалению, широкое распространение сплайновой интерполяции не привело к унификации формата данных. В отсутствие стандарта ввода данных для сплайновой интерполяции, каждая фирма-производитель сама решает, расширять ли G-код или использовать команды своего макро-языка для задания сплайна.

Примеры формата кадра для NURBS и CSPLINE-интерполяции в системе ЧПУ Siemens Sinumerik (формат кадра в системе WinPCNC аналогичен):

```

;NURBS example
N10 G01 X0 Y0 F1500
N20 BSPLINE
N30 X100 Y200 PW=2.0
N40 X200 Y400
N50 X300 Y300 PW=0.5
N60 X400 Y450
N70 X500 Y0
M30

```

```

;Cubic spline example
N10 CSPLINE X20 Y10
N20 X300
N30 X400 Y50
N40 X500 Y150
N50 X550 Y70
N60 X600 Y200
N70 X650 Y200
N80 X700 Y00
N90 X800 Y100
N100 X900 Y00
M30

```

Задание 5. В программе *Spline Generator* расставить контрольные точки таким образом, чтобы их координаты соответствовали значениям *X* и *Y* первого из двух, приведенных выше примеров. Измените отличные от единицы веса управляющих точек. Результаты сохраните в файлах с расширением *.ncs. В редакторе добавьте недостающий текст для получения управляющей программы в соответствии с примером.

Заметьте, что координаты первой точки контура используются до команды *BSPLINE* в команде линейного перемещения *G01*, так как первоначально необходимо переместиться в начало контура.

Запустите файл в системе ЧПУ WinPCNC.

То же самое проделайте со вторым примером.

Покажите в отчете полученные результаты; формат контуров должен соответствовать изображениям на рис. 14.

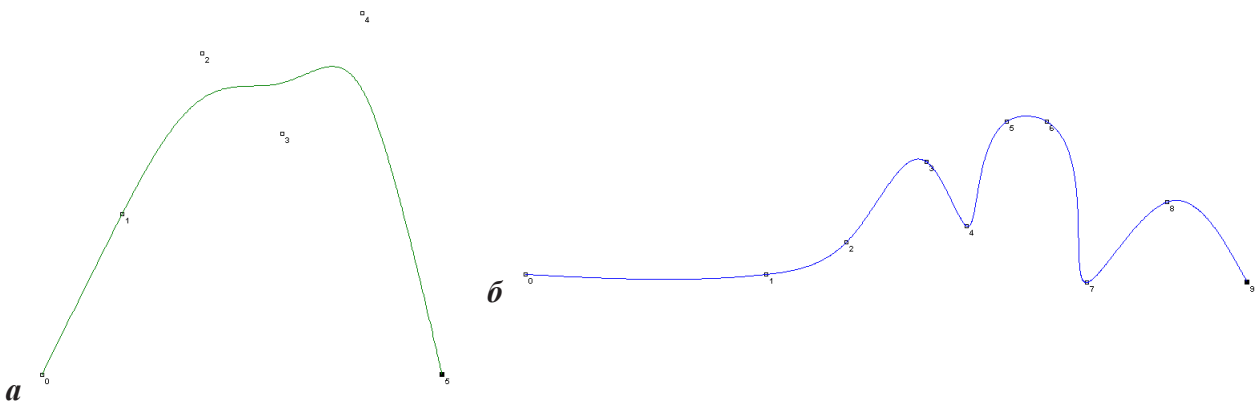


Рис. 14. Задание 5

Следует учитывать, что в алгоритмах систем ЧПУ используется параметрическое представление сплайнов, а это снимает ограничение на размерность пространства. В качестве параметра используется длина хорды. Применение параметрических сплайнов ASPLINE, CSPLINE и NURBS для интерполяционной кривой проиллюстрировано на рис. 15.

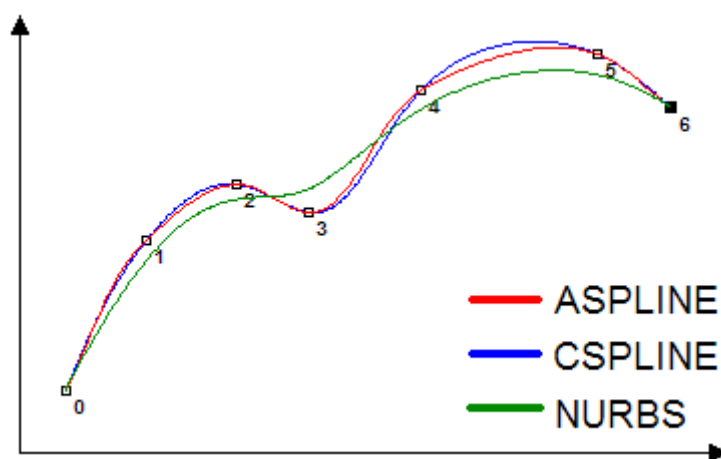


Рис. 15. Интерполяция контура параметрическими сплайнами

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы особенности ASPLINE-сплайна (до какого порядка обеспечивается непрерывность производных, на какую часть контура влияет произвольная точка)?
2. Каковы особенности кубического сплайна и его отличия от ASPLINE-сплайна (см. вопрос 1)?
3. Какие могут быть ограничения при использовании ASPLINE и CSPLINE при аппроксимации произвольной кривой?
4. Объясните аббревиатуру NURBS.
5. Перечислите основные элементы математического описания кривой NURBS.
6. Как влияет вес точки и вектор узлов на форму кривой? Приведите примеры.
7. Опишите формат кадра управляющей программы при использовании сплайновой интерполяции в системах ЧПУ Sinumerik и WinPCNC.

Индивидуальные задания

Все построения выполняются приближенно с использованием произвольных размеров, но с соблюдением пропорций, показанных на рисунках фигур и графиков.

Построить NURBS-кривую в утилите Spline Generator согласно указанному рисунку.

Предварительно установите порядок сплайна, равным k (меню Settings>Parameters...>поле Order of spline). Результат отразите в отчете.

1. Рис.16 а; $k=4$
2. Рис.16 б; $k=4$
3. Рис.16 в; $k=4$
4. Рис.16 г; $k=4$
5. Рис.16 д; $k=4$
6. Рис.16 е; $k=4$
7. Рис.16 а; $k=3$
8. Рис.16 б; $k=3$
9. Рис.16 в; $k=3$
10. Рис.16 г; $k=3$
11. Рис.16 д; $k=3$
12. Рис.16 е; $k=3$

Постройте кривую в утилите Spline Generator согласно указанному рисунку с помощью указанного типа сплайна. Результат отразите в отчете.

13. Рис. 17 а; ASPLINE
14. Рис. 17 б; ASPLINE
15. Рис. 17 в; ASPLINE
16. Рис. 17 а; CSPLINE
17. Рис. 17 б; CSPLINE
18. Рис. 17 в; CSPLINE

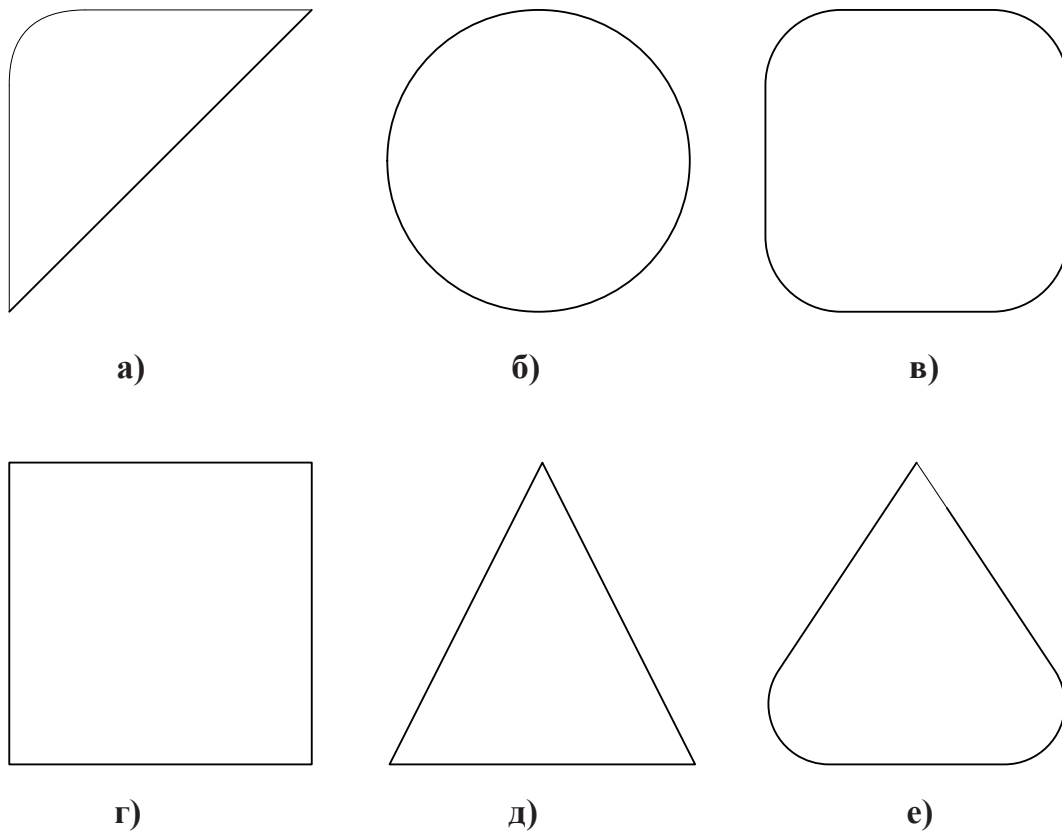


Рис. 16. Индивидуальные задания 1–12

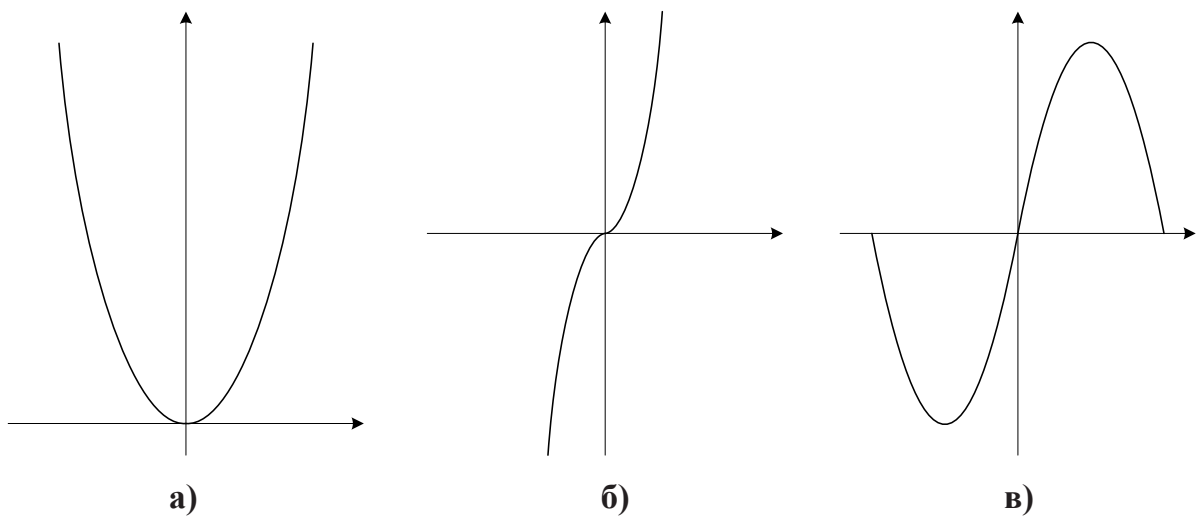


Рис. 17. Индивидуальные задания 13–18

Лабораторная работа № 2

СОЗДАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЛАЙНОВОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ТИПОВ АКИМА (ASPLINE), NURBS (BSPLINE) И КУБИЧЕСКОГО СПЛАЙНА (CSPLINE). ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ СПЛАЙНОВОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ В СИСТЕМЕ ЧПУ WINPCNC

Система ЧПУ WinPCNC

Система ЧПУ WinPCNC позволяет отрабатывать управляющие программы, обучать технологическому программированию систем ЧПУ.

Система WinPCNC служит для обучения технологов-программистов и операторов работе на современных станках (токарных, фрезерных, обрабатывающих центрах и т.п.) в условиях наибольшего комфорта. Встроенный контурный вычислитель обеспечивает возможность построения сколь угодно сложных контуров. Графическое моделирование обработки детали в реальном времени позволяет сопровождать процесс обучения средствами контроля программ и позволяет проверить готовые программы перед их отработкой на станке.


Ход работы

В процессе обучения будет рассмотрено использование сплайновой интерполяции на двух примерах. Будем использовать три основных типа сплайна: ASPLINE (Акима сплайн), BSPLINE (NURBS сплайн), CSPLINE (кубический сплайн). В конце работы будут предложены индивидуальные задания и контрольные вопросы для самопроверки и закрепления изученного материала.

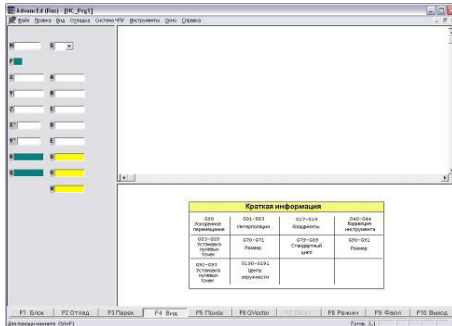
Рассмотрим пример с построением контура лица в профиль

ПРИМЕР 1: Контур лица в профиль

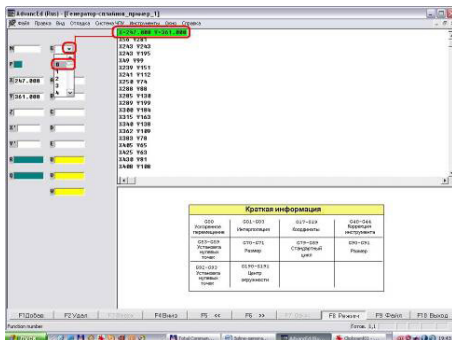
Работа с редактором AdvancEd

	Последовательность действий
 AdvancEd v2.0 Pro	1. Загрузите программу AdvancEd. Ярлык находится на рабочем столе

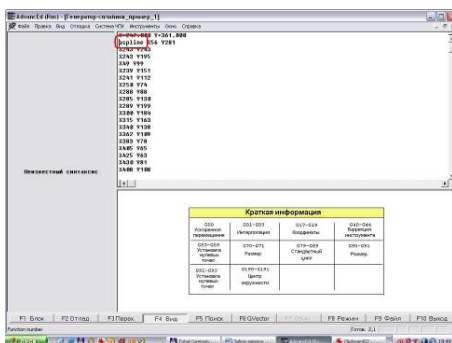
Последовательность действий



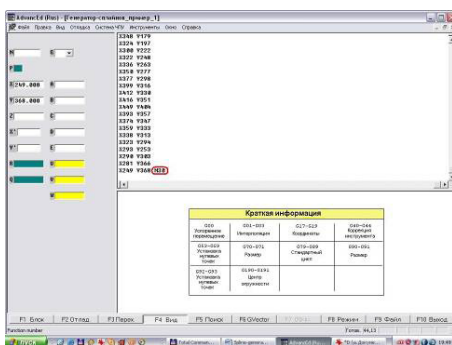
- Откройте управляющую программу с оцифрованными точками Face.ncs



- Установите курсор в первом кадре в начале строки. В списке G-команд выберите 0. Включите подачу F и задайте некоторое ее значение





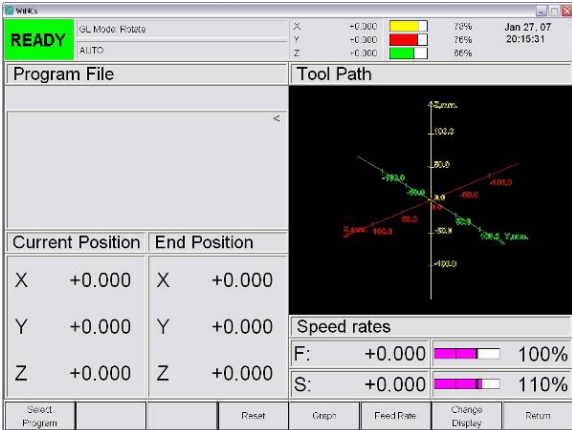
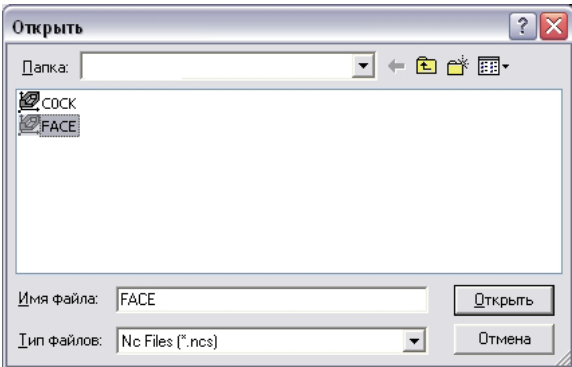
- Во второй строке включите сплайн типа Akima Spline, записав aspline



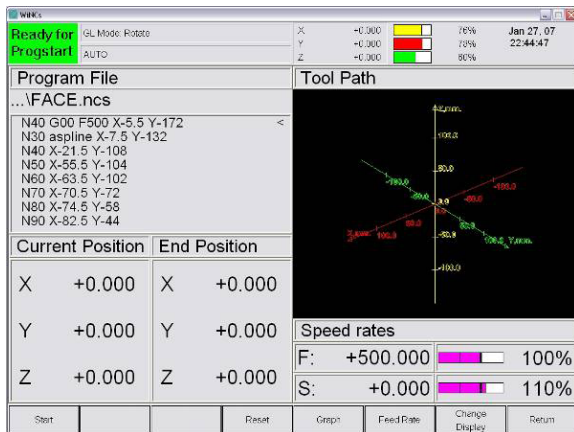
- В последнем кадре добавьте M-команду, означающую конец программы — M30

Сохраните файл

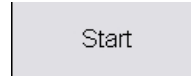
Работа с WinPCNC

Последовательность действий	
	<p>1. Загрузите систему ЧПУ WinPCNC. Ярлык находится на рабочем столе</p>
	<p>2. Перейдите в автоматический режим, нажав виртуальную клавишу Auto (F1)</p> <p style="text-align: center;"> <input type="button" value="Auto"/> </p>
	<p>3. Откройте файл управляющей команды Face.ncs Для этого следует нажать виртуальную клавишу Select Program (F1)</p> <p style="text-align: center;"> <input type="button" value="Select Program"/> </p>
	<p>4. Найдите программу в диалоге и выберите ее</p>

Последовательность действий



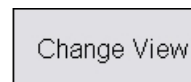
5. Нажмите виртуальную клавишу Start



Нажмите виртуальную клавишу Graph



6. Нажмите виртуальную клавишу смены вида Change View



Выберите клавишу просмотра в плоскости XY — XY Plan



7. Полученный результат — контур лица в профиль.
Создайте принтскрин и занесите картинку в отчет.

Повторите работу с редактором AdvancEd и системой ЧПУ WinPCNC дважды, используя сплайн-интерполяцию типа BSPLINE и CSPLINE. Занесите полученные результаты в отчет

Код управляющей программы FACE.NSC

Рассмотрим структуру управляющей программы: подвод к точке, включение сплайна; кадр с кодом M30, который означает конец главной программы.

Код	Пояснение
N10 G00 X195 Y28	;Подвод к первой точке на холостом ходу
N20 ASPLINE X192 Y68	;Включение сплайн-интерполяции типа Akima spline
N30 X179 Y92	;Оцифрованные точки
N40 X145 Y96	;...
N40 X145 Y96	;...
...	...
N320 X197 Y28	;...
N330 X196 Y28	;...
N340 G00 X195 Y28	; Отвод в исходное положение на холостом ходу
M30	; Команда конца программы

Внесение изменений в программу FACE.NCS

Повторите работу с редактором AdvancEd и системой ЧПУ WinPCNC дважды, используя сплайн-интерполяцию типа BSPLINE и CSPLINE. Внесите полученные результаты в отчет.

Контур, построенный с использованием сплайнов

ASPLINE, BSPLINE, CSPLINE, показаны на рис. 18.

Из рисунка следует, что использование сплайн-интерполяции уменьшает трудозатраты, сокращает время написания УП, уменьшает объем кода и общий размер программы. От выбранного типа сплайна в достаточной степени зависит конфигурация построенного контура.

Результаты обработки оцифрованного контура по алгоритмам сплайновой интерполяции в системе ЧПУ WinPCNC

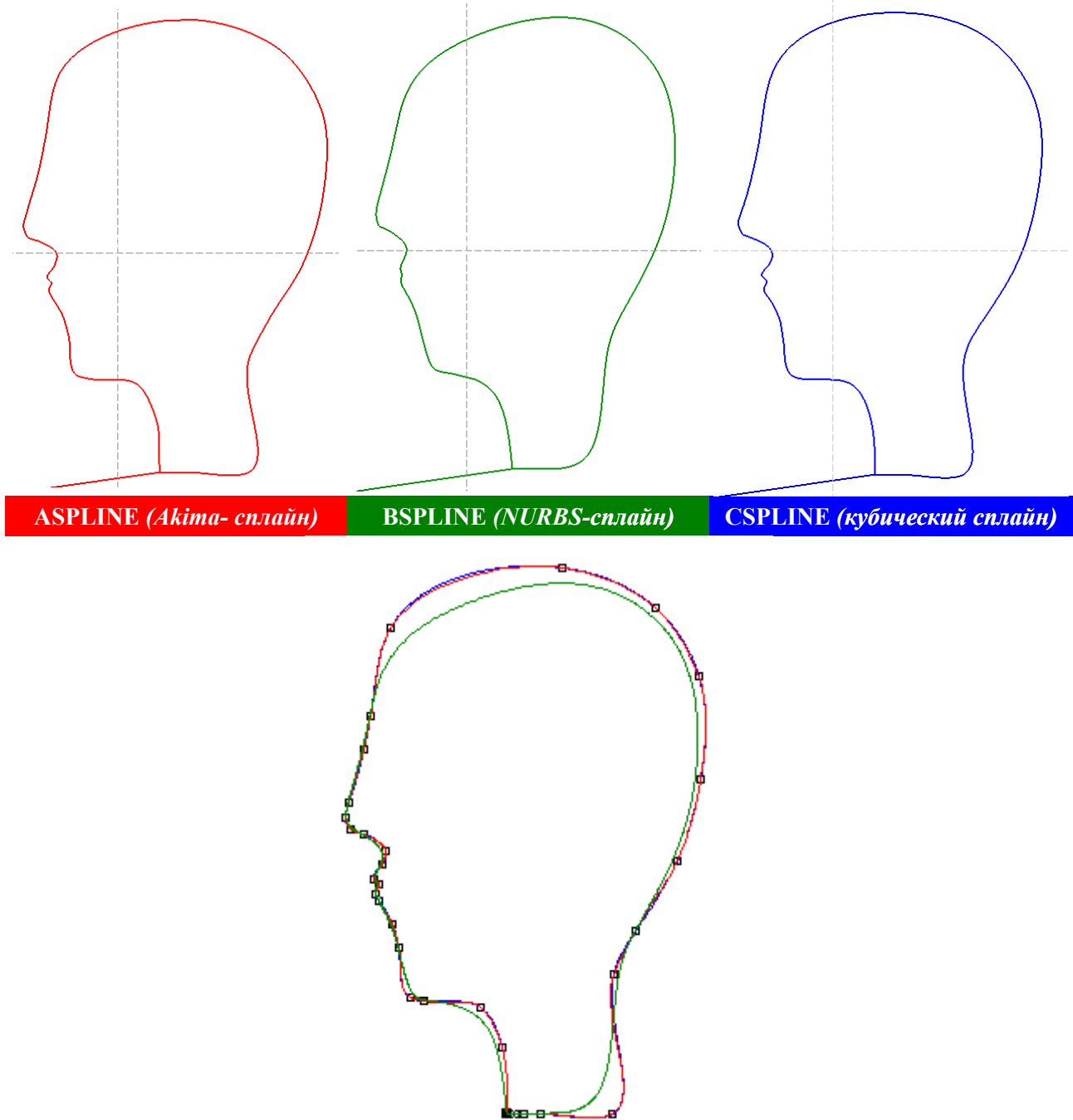

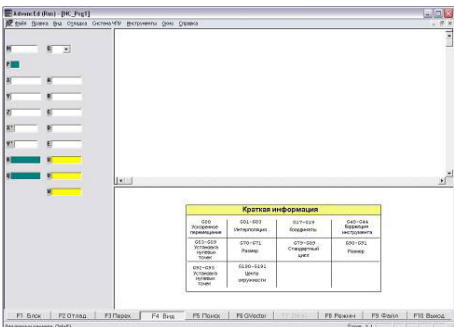
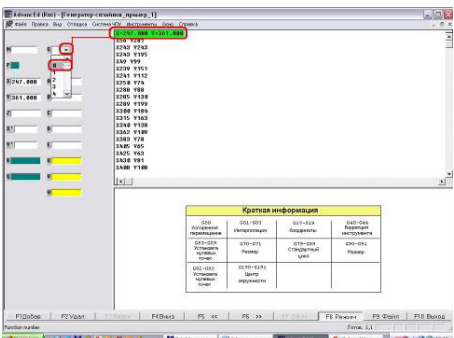
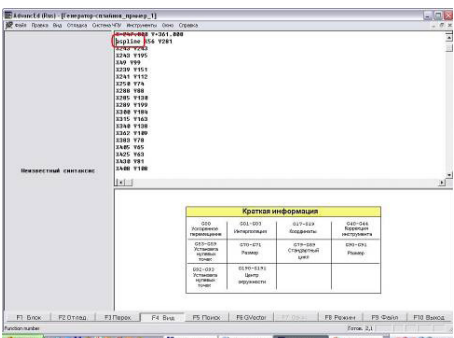
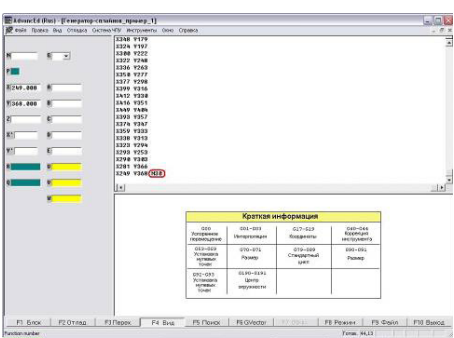





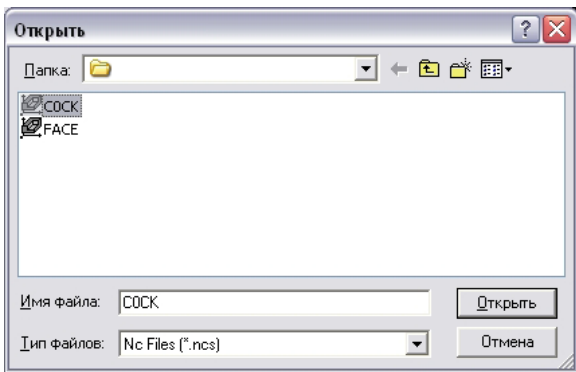
Рис. 18. Оцифрованный контур и построение сплайнов с помощью утилиты Spline Generator

ПРИМЕР 2. Контур птицы в профиль

Работа с редактором AdvancEd

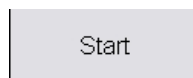
Последовательность действий	
 <p>AdvancEd v2.0 Pro</p>	<p>1. Загрузите программу AdvancEd. Ярлык находится на рабочем столе</p>
	<p>2. Откройте управляющую программу с оцифрованными точками COCK.ncs</p>
	<p>3. Установите курсор в первом кадре в начале строки. В списке G-команд выберите 0</p>
	<p>4. Во второй строке включите Akima сплайн, записав ASPLINE</p>
	<p>5. В последнем кадре добавьте M-команду, означающую конец программы — M30</p> <p>Сохраните файл</p>

Работа с WinPCNC

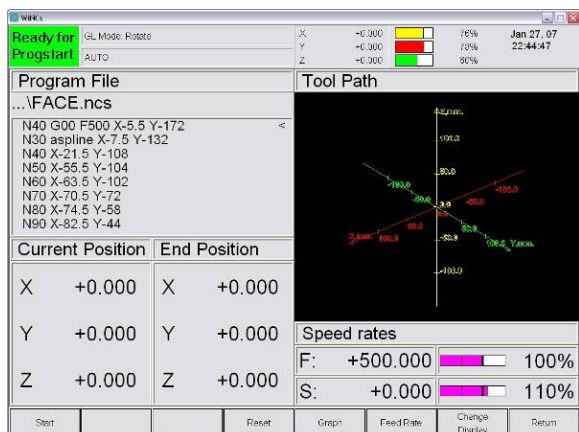
Последовательность действий	
	<p>1. Загрузите систему ЧПУ WinPCNC. Ярлык находится на рабочем столе</p>
	<p>2. Перейдите в автоматический режим, нажав виртуальную клавишу Auto (F1)</p> <p style="text-align: center;"> <input type="button" value="Auto"/> </p>
	<p>3. Откройте файл управляющей команды СОСК.ncs</p> <p>Для этого необходимо нажать виртуальную клавишу Select Program (F1)</p> <p style="text-align: center;"> <input type="button" value="Select Program"/> </p>
	<p>4. Найдите программу в диалоге и выберите ее</p>

Последовательность действий

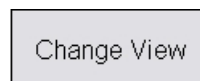
5. Нажмите виртуальную клавишу Start



Нажмите виртуальную клавишу Graph



6. Нажмите виртуальную клавишу смены вида Change View



Выберете клавишу просмотра в плоскости XY – XY Plan



7. Полученный результат — контур птицы в профиле. Создайте принтскрин и занесите картинку в отчет.



Повторите работу с редактором AdvancEd и системой ЧПУ WinPCNC дважды, используя сплайн-интерполяцию типов BSPLINE и CSPLINE. Занесите полученные результаты в отчет

Структура управляющей программы *COCK.NSC*

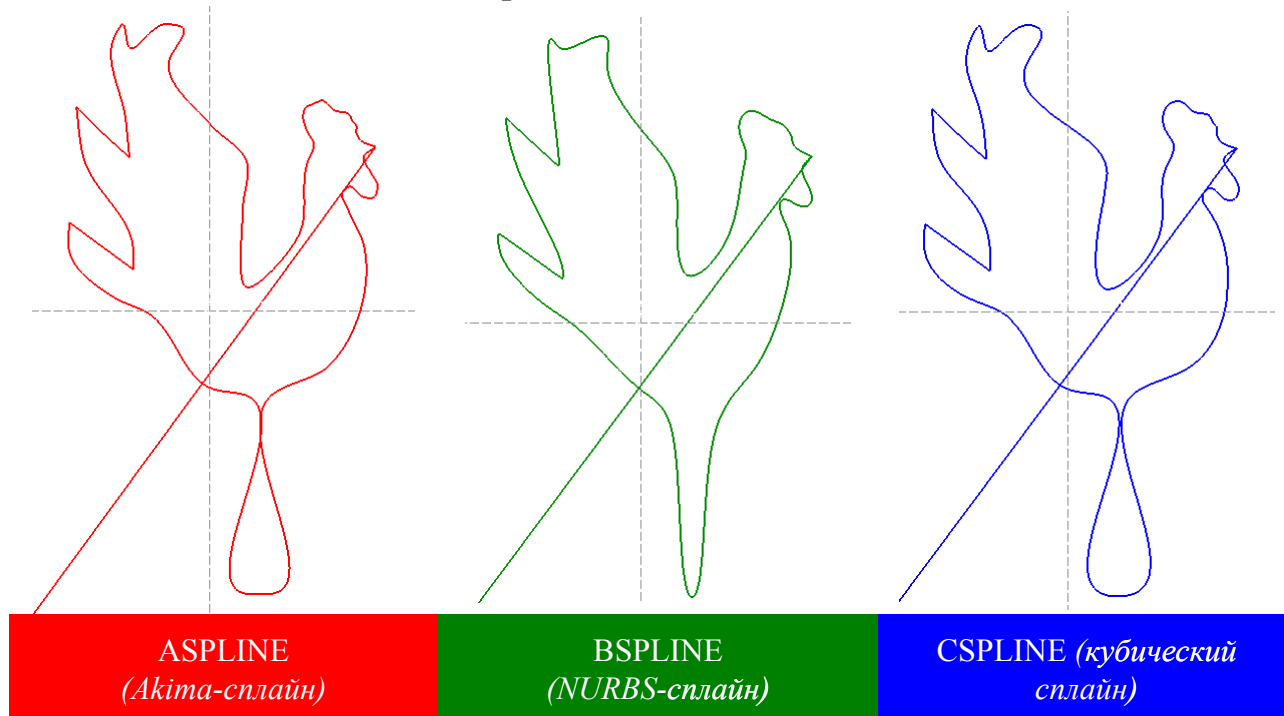
Подвод к точке, включение сплайна; включение кадра с кодом M30, который означает конец главной программы.

Код	Объяснение
G00 X193 Y473	;Подвод к первой точке на холостом ходу
ASPLINE X184 Y477	;Включение сплайн-интерполяции типа Akima spline
X182 Y481	;Оцифрованные точки
X182 Y485	;...
X180 Y487	;...
...	...
X190 Y459	;...
X186 Y467	;...
X193 Y473 M30	; Последняя точка, команда конца программы

Контуры, построенные с использованием сплайнов: ASPLINE, BSPLINE, CSPLINE, показаны на рис. 19.

Из рисунка следует, что использование сплайн-интерполяции уменьшает трудозатраты, сокращает время написания УП, уменьшает объем кода и общий размер программы. От выбранного типа сплайна в достаточной степени зависит конфигурация построенного контура.

Результаты обработки оцифрованного контура по алгоритмам сплайновой интерполяции в системе ЧПУ WinPCNC



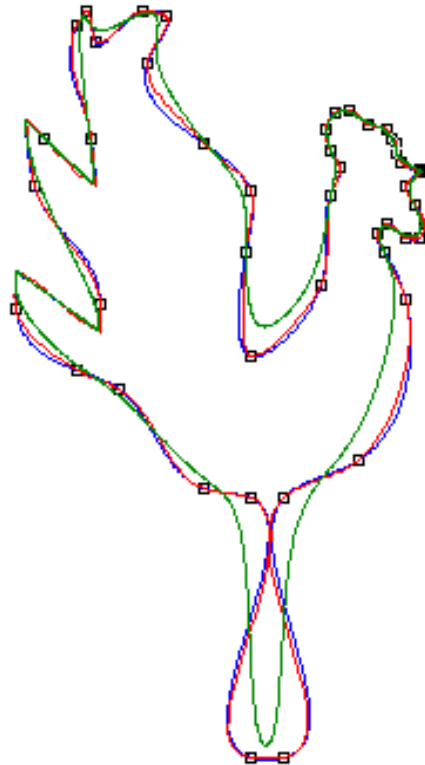


Рис. 19. Оцифрованный контур и построение сплайнов с помощью утилиты Spline Generator

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое интерполяция? Какие бывают виды интерполяции?
2. Дайте Определение сплайна.
3. Что такое вес точки; для чего, когда и как он используется?
4. Когда применимо использование сплайновой интерполяции?
5. ACPLINE как один из видов сплайновой интерполяции.
6. BSPLINE как один из видов сплайновой интерполяции.
7. CSPLINE как один из видов сплайновой интерполяции.
8. Когда наиболее приемлем тот или иной тип сплайновой интерполяции?
9. Возможно ли использование функций трансформаций координат при использовании сплайнов?
10. Какие функции трансформаций координат вы знаете?
11. Последовательность обработки программы.
12. Способ включения сплайна в программу.

Индивидуальные задания

1. В управляющей программе **Kont_01**, представлены оцифрованные точки неизвестного контура. Необходимо написать управляющую программу, используя сплайн-интерполяцию типа **Akima Spline**.
2. В управляющей программе **Kont_02**, представлены оцифрованные точки неизвестного контура. Необходимо написать управляющую программу, используя сплайн-интерполяцию типа **NURBS**.
3. В управляющей программе **Kont_03**, представлены оцифрованные точки неизвестного контура. Необходимо написать управляющую программу, используя сплайн-интерполяцию типа **Cubic Spline**.
4. В управляющей программе **Kont_04**, представлены оцифрованные точки неизвестного контура. Необходимо написать управляющую программу, используя сплайн-интерполяцию типа **Akima Spline**.
5. В управляющей программе **Kont_05**, представлены оцифрованные точки неизвестного контура. Необходимо написать управляющую программу, используя сплайн-интерполяцию типа **NURBS**.
6. В управляющей программе **Kont_06**, представлены оцифрованные точки неизвестного контура. Необходимо написать управляющую программу, используя сплайн-интерполяцию типа **Cubic Spline**.
7. В управляющей программе **Kont_07**, представлены оцифрованные точки неизвестного контура. Необходимо написать управляющую программу, используя сплайн-интерполяцию типа **Akima Spline**.
8. В управляющей программе **Kont_08**, представлены оцифрованные точки неизвестного контура. Необходимо написать управляющую программу, используя сплайн-интерполяцию типа **NURBS**.
9. В управляющей программе **Kont_09**, представлены оцифрованные точки неизвестного контура. Необходимо написать управляющую программу, используя сплайн-интерполяцию типа **Cubic Spline**.
10. В управляющей программе **Kont_10**, представлены оцифрованные точки неизвестного контура. Необходимо написать управляющую программу, используя сплайн-интерполяцию типа **Akima Spline**.
11. В управляющей программе **Kont_11**, представлены оцифрованные точки неизвестного контура. Необходимо написать управляющую программу, используя сплайн-интерполяцию типа **NURBS**.
12. В управляющей программе **Kont_12**, представлены оцифрованные точки неизвестного контура. Необходимо написать управляющую программу, используя сплайн-интерполяцию типа **Cubic Spline**.

Лабораторная работа № 3

ГЕНЕРАЦИЯ И РЕДАКТИРОВАНИЕ СПЛАЙН-КОНТУРОВ. СОЗДАНИЕ И ОТРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

Введение

Далее рассмотрены и использованы программные инструменты, которые позволяют подготовить управляющие программы, отредактировать и запустить их:

- Spline Generator;
- AdvancEd;
- WinPCNC.

Spline Generator

Этот инструмент позволяет строить контуры свободной формы, используя сплайн-интерполяцию (рис. 20). На плоскости расставляют точки, выбирают в меню тип сплайна (Akima, NURBS или кубический сплайн) и строят контур.

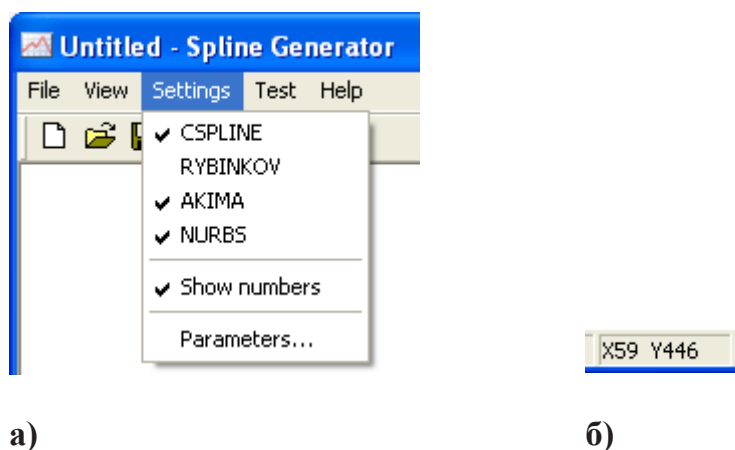


Рис. 20. Spline Generator:

- а) меню выбора используемых сплайнов;
б) окно статуса

Точки можно удалять, добавлять и смещать. В окошке статуса указываются текущие координаты указателя мышки. Точки нумеруются, но нумерацию можно выключить. Для сплайна типа NURBS можно задать веса точек.

Полученную кривую можно сохранить в файле в формате txt, где будут записаны последовательности координат X и Y. Таким образом, с помощью программы можно не

только просмотреть, как будет строиться та или иная кривая, но и использовать полученные оцифрованные точки в дальнейшем. Результаты сравнения ручного и программного способов оцифровки с помощью Spline Generator приведены в приложении 1.

AdvancEd


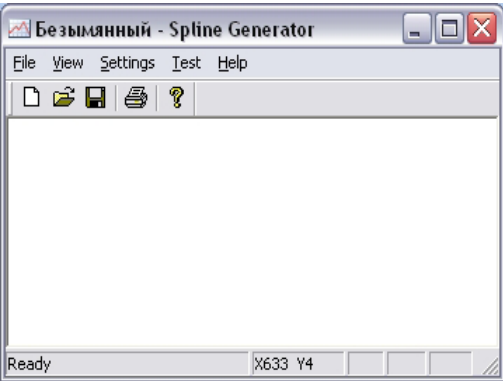
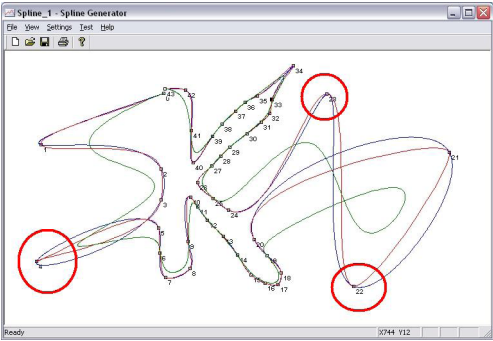
AdvancEd — инструмент для редактирования управляющих программ.

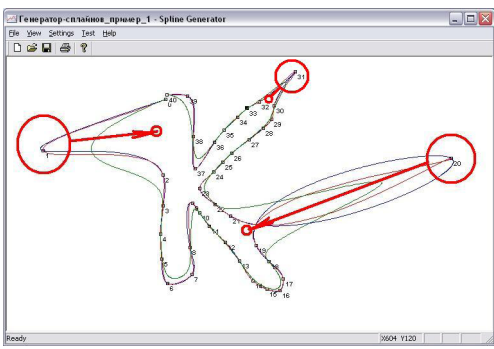
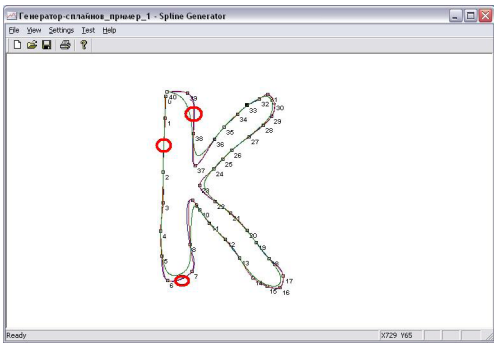
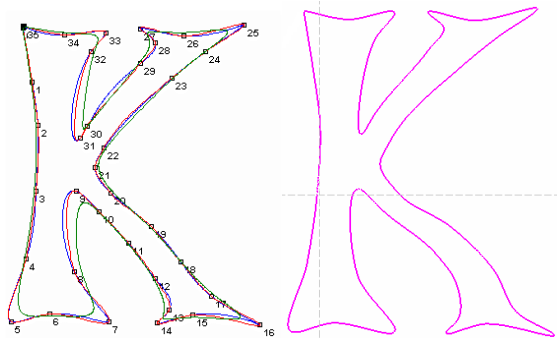
WINPCNC

Система ЧПУ WinPCNC, будет использована для запуска управляющих программ в режиме моделирования.


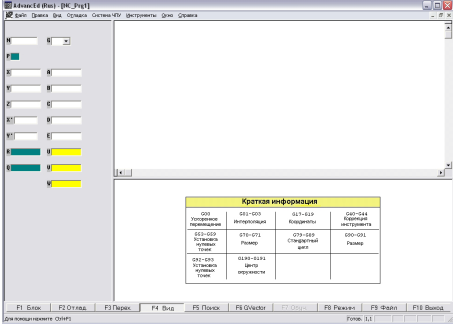
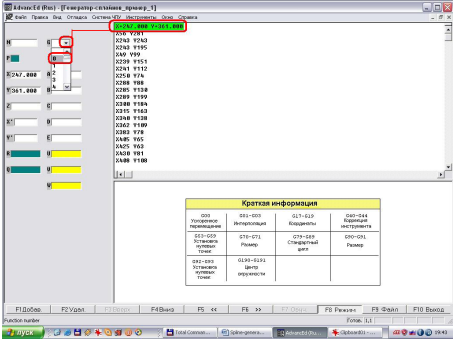
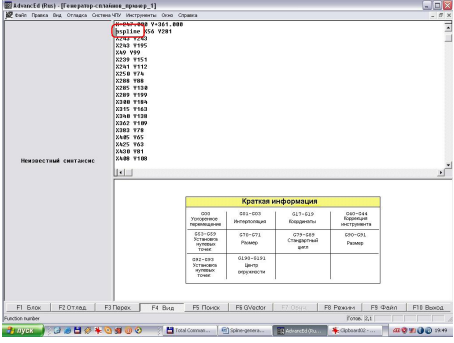
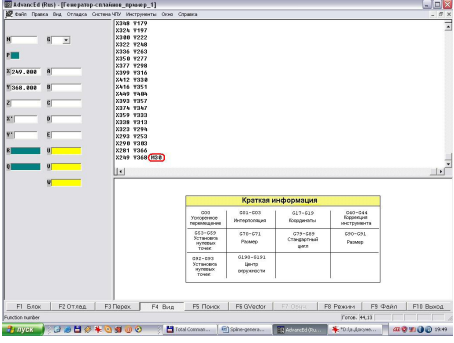
ПРИМЕР 1. Контур буквы

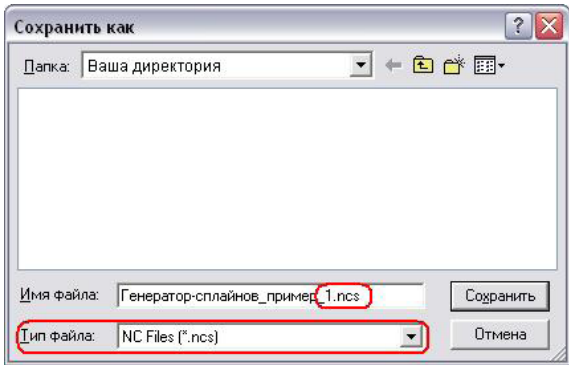
Работа с программой Spline Generator

	Последовательность действий
	<p>1. Загрузите программу Spline Generator. Ярлык находится на рабочем столе</p>
	<p>2. Откройте файл Генератор-сплайнов_пример_1. В нем уже сохранены оцифрованные точки. Необходимо произвести окончательную доработку контура. Для этого потребуется удалить, сместить и добавить некоторые точки</p>
	<p>3. Необходимо удалить точки 4, 22 и 23. Следует иметь в виду, что после удаления точки № 4 все остальные точки перенумеруются (22 станет 21, 23 → 22).</p> <p>Для удаления точки необходимо нажать клавишу Ctrl,вести указатель мышки на точку и щелкнуть по левой кнопке мышки</p>




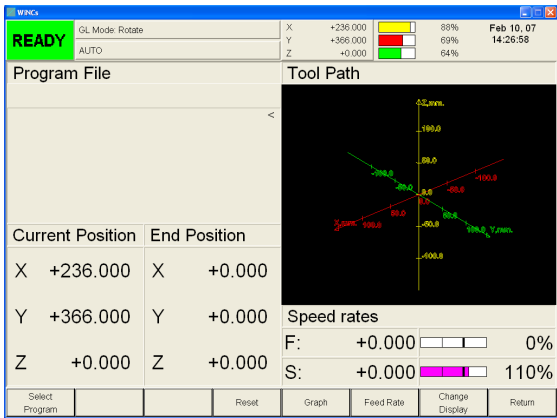
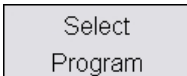
Последовательность действий	
	<p>4. Теперь необходимо сместить точки 1, 20 и 31 таким образом, чтобы получившийся контур представлял собой букву К.</p> <p>Для смещения точки необходимо нажать клавишу Shift, навести указатель мышки на точку, нажать левую кнопку мышки и вести указатель мышки вместе с точкой до необходимой координаты</p>
	<p>5. Необходимо добавить новые точки после точек № 1, 6 и 39.</p> <p>Для добавления точки необходимо выбрать активную точку (новая точка добавляется после активной точки). Необходимо нажать клавиши Shift + Ctrl, навести указатель мышки на точку и щелкнуть по точке левой кнопкой мышки. Далее необходимо щелкнуть в том месте, где должна быть новая точка (разжав кнопки на клавиатуре)</p>
	<p>6. Придайте букве контур, показанный на рисунке. Сохраните файл.</p> <p>Далее предстоит написать управляющую программу, используя редактор управляющих программ AdvancEd</p>

Работа с программой AdvancEd

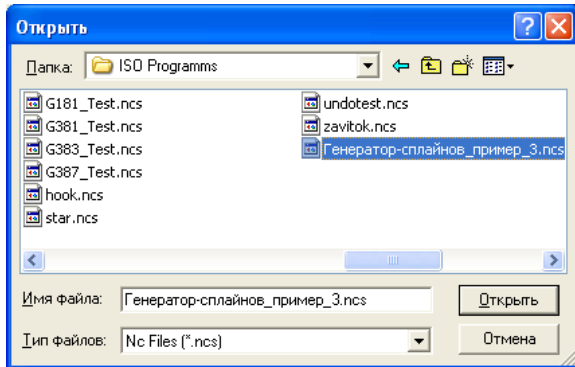
Последовательность действий	
 <p>AdvancEd v2.0 Pro</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Загрузите программу AdvancEd. Ярлык находится на рабочем столе
	<ol style="list-style-type: none"> 2. Откройте текстовый файл с оцифрованными точками («Генератор-сплайнов_пример_1»). Тип файла — все файлы (*.*)
	<ol style="list-style-type: none"> 3. Установите курсор в первом кадре в начале строки. В списке G-команд выберите 0. Включите функцию подачи F и укажите некоторое ее значение
	<ol style="list-style-type: none"> 4. Во второй строке включите сплайн типа Akima Spline, написав aspline
	<ol style="list-style-type: none"> 5. В последнем кадре добавьте M-команду, означающую конец программы — M30

Последовательность действий	
	<p>6. Сохраните файл в формате *.ncs. Для этого в падающем меню выберите Файл → Сохранить как. В диалоге сохранения укажите имя (по умолчанию Генератор-сплайнов_пример_1) и тип формата ncs. Расширение надо также указать после имени через точку</p>

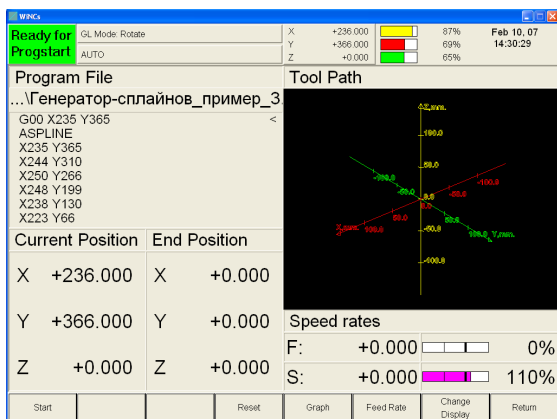
Работа с системой WinPCNC

Последовательность действий	
	<p>1. Загрузите систему ЧПУ WinPCNC. Ярлык находится на рабочем столе</p>
	<p>2. Необходимо перейти в автоматический режим, нажав программную клавишу Auto (F1)</p> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  </div>
	<p>3. Откройте файл управляющей команды Генератор-сплайнов_пример_1.ncs</p> <p>Для этого необходимо нажать программную клавишу Select Program (F1)</p> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  </div>

Последовательность действий



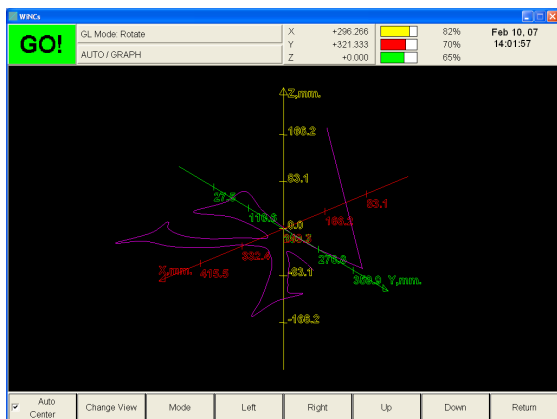
4. Найдите программу в диалоге и выберите ее



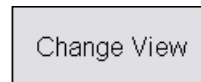
5. Нажмите программную клавишу Start



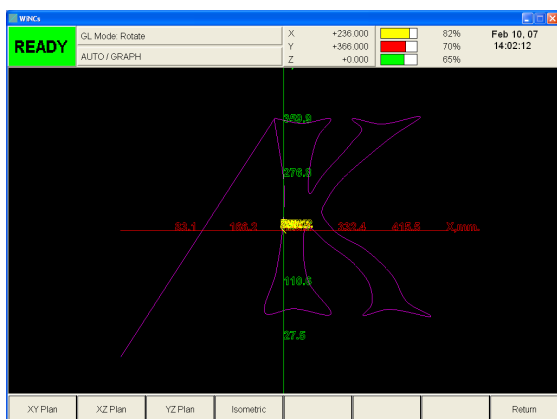
Нажмите программную клавишу Graph



6. Нажмите программную клавишу смены вида Change View



Выберите клавишу просмотра в плоскости XY – XY Plan



7. Получите результат — букву К. Создайте принтскрин и занесите картинку в отчет.

Повторите работу с AdvancEd и WinPCNC дважды, используя сплайн-интерполяцию типа bspline и cspline. Занесите полученные результаты в отчет

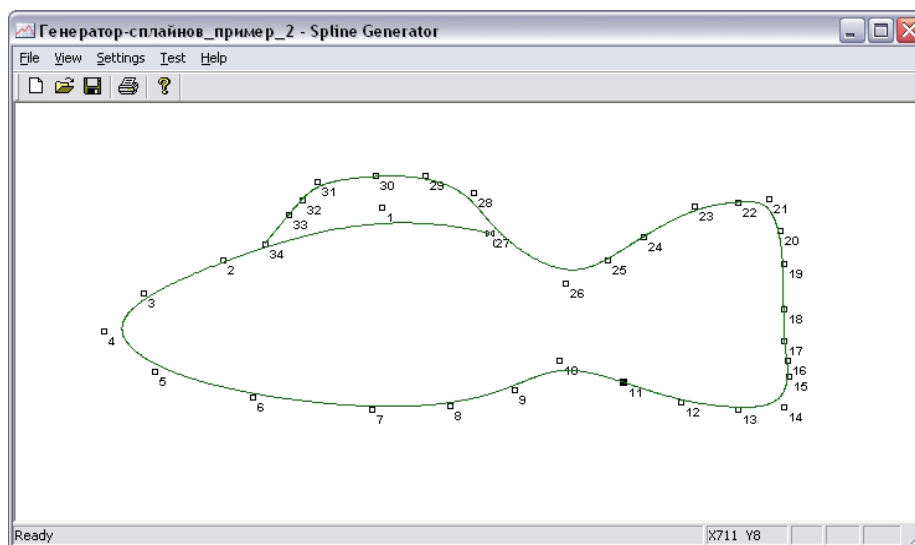
ПРИМЕР 2. Контур фигуры

В этом примере предлагается самостоятельно построить сложный контур, отредактировать его (написать УП) и запустить в системе WINPCNC в режиме моделирования.

Работа с программой Spline Generator

Предлагается два возможных варианта на выбор.

1. Построить контур, такой же, как на картинке.



2. Предложить свой вариант, обсудив его с преподавателем.

Работа с программой AdvancEd

Отредактируйте файл, добавив команду холостого хода G00, подачу F, сплайн-интерполяцию типа Akima spline и команду окончания программы M30. Сохраните файл в формате *.ncs

Работа с системой WinPCNC

Запустите управляющую программу. Сохраните результат в отчете.

Повторите работу с AdvancEd и WinPCNC дважды, используя сплайн-интерполяцию типа bspline и cspline. Занесите полученные результаты в отчет.

Контрольные вопросы и задания

1. Каково назначение программного инструмента AdvancEd?
2. Каково назначение программного инструмента Spline Generator?
3. Каково назначение системы ЧПУ WinPCNC?
4. Каково назначение компьютерной системы управления?
5. Перечислите инструментальные средства разработки программного обеспечения систем управления.

Индивидуальные задания

В каждом варианте предлагается по два контура на выбор. При желании можно предложить свой вариант, обсудив его с преподавателем.

№	Контур прописной буквы
1	<i>A</i>
2	<i>B</i>
3	<i>B</i>
4	<i>Д</i>
5	<i>Ж</i>
6	<i>З</i>
7	<i>И</i>
8	<i>Л</i>
9	<i>М</i>
10	<i>Н</i>
11	<i>П</i>
12	<i>Р</i>
13	<i>Т</i>
14	<i>У</i>
15	<i>Х</i>

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Сравнение способов оцифровки. Если сравнивать ручной способ оцифровки и программный (с помощью Spline Generator), то результаты таковы [1]:

	Первоначальное построение контура, мин	Окончательная доработка [2], мин	Оцифровка точек, мин	ИТОГО, мин
Ручной способ	4	40	240	284
Spline Generator	4	2	0	6

1 — Для построения контура использовалось количество точек, равное 100.

2 — В процесс окончательной доработки входят такие операции как удаление точек, добавление и их смещение. Указанное время является среднестатистическим, так как оно в значительной степени зависит от сложности контура.

Можно констатировать, что использование программы Spline Generator сокращает время подготовки оцифрованных точек контура для их дальнейшего использования в УП в 47 раз. Также существенно уменьшаются трудозатраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М.* Системы числового программного управления: Учеб. пособие. М.: Логос, 2005. 296 с.
2. *Мартинов Г.М., Сосонкин В.Л.* Проблемы использования сплайновой интерполяции в системах ЧПУ при обработке скульптурных поверхностей // Автоматизация в промышленности. 2006. № 11. С. 3–9.
3. *Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М.* AdvancEd — универсальная среда для редактирования, отладки и моделирования программ ЧПУ в коде ISO-7bit (любой версии) // Автотракторное электрооборудование. 2001. № 1–2 . С. 41–42.
4. <http://www.NCsystems.ru/>
5. *Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М.* Новый подход к построению редакторов управляющих программ: Универсальная среда AdvancEd // Информационные технологии в проектировании и производстве. М.: ВИМИ, 1999. № 1. С. 80–87.