

Мазин Петр Германович  
Псарев Сергей Александрович  
Шереметьев Семен Владимирович  
Южно-Уральский государственный университет  
[serj@chel.ru](mailto:serj@chel.ru), [petr@instr.susu.ac.ru](mailto:petr@instr.susu.ac.ru)

## КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ГИБКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

*Аннотация.* Представлена работа по решению задачи моделирования работы станков, робота и в целом гибкой производственной системы.

*Ключевые слова:* моделирование, программирование, робот, гибкая производственная система.

*Дисциплины:* информатика, компьютерные технологии.

На кафедре "Оборудование и инструмент компьютеризированного производства" Южно-Уральского государственного университета разработано программное обеспечение виртуального кривошипного пресса и робота в составе гибкой производственной системы (ГПС). Разработанное программное обеспечение создано под графическую оболочку Photon операционной системы QNX v6.0. Приложение включает в себя модуль моделирования кинематики пресса, модуль технологических расчетов и пульт управления прессом.

Основное окно приложения (рис. 1)

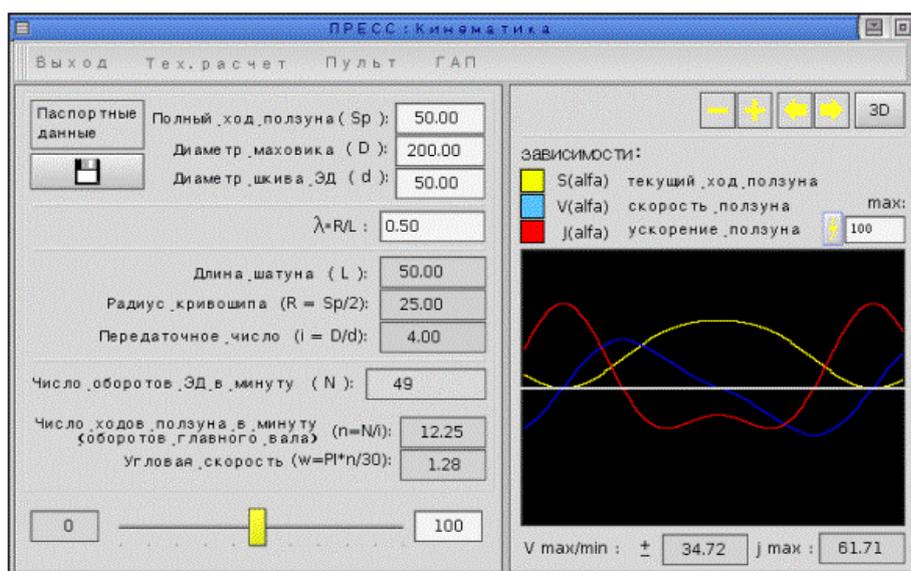


Рис.1

содержит блок моделирования кинематики. Данный блок обеспечивает возможность задания и сохранения в конфигурационный файл паспортных данных пресса и моделирования

кинематики движения пуансона на основе этих данных. Все поля с белым фоном предназначены для ввода соответствующих значений параметров. Все поля с серым фоном предназначены для вывода расчетных параметров системы. Формулы расчета приведены для каждого поля.

С помощью "бегунка" внизу окна можно задать число оборотов электродвигателя в минуту. После задания скорости, в правой части окна начнут выводиться кинематические зависимости движения пуансона.

С помощью кнопки "3D" можно открыть окно с трехмерной моделью прессы (рис.2), в котором в реальном времени будет отображаться система соответствующая заданным параметрам. Положение пуансона в каждый момент времени полностью соответствует выводимым зависимостям - их "правому краю".

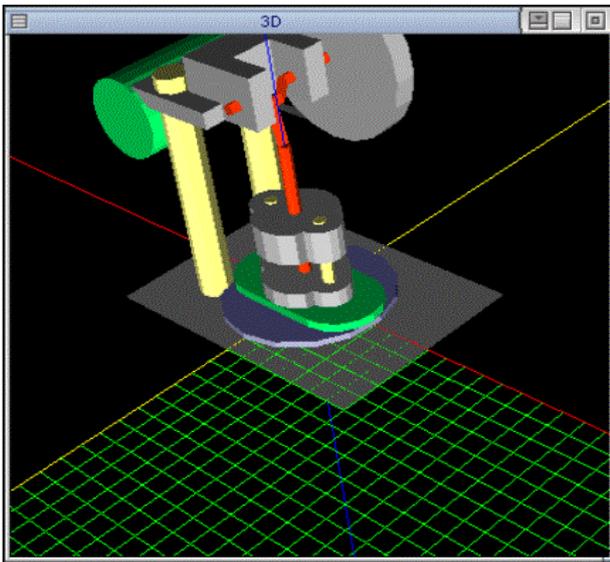


Рис.2

Рядом с кнопкой "3D" находятся кнопки управления трехмерным видом - вращение вокруг оси Z и изменение масштаба.

Рассмотрим блок технологических расчетов. Соответствующее диалоговое окно (рис.3) открывается при заходе в пункт меню "тех. расчет".

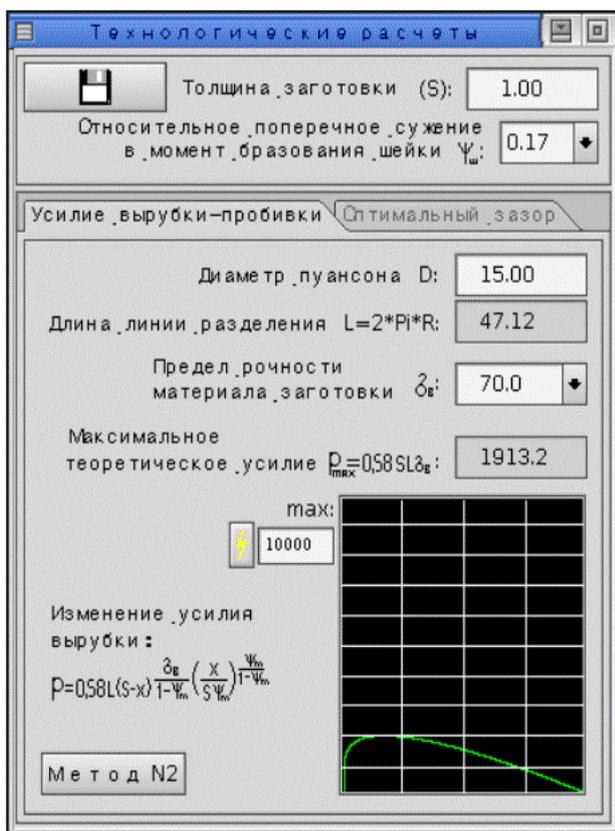


Рис. 3

Поля разделены по тому же цветовому признаку, что и в блоке моделирования кинематики. Все вводимые пользователем параметры подписаны, а к вычисляемым параметрам приведены формулы. Блок технологических расчетов предназначен для расчета максимального усилия вырубki - пробивки а также оптимального зазора между пуансоном и матрицей. Для расчета усилия можно применять два имеющихся в наличии метода. Первый кроме того позволяет построить график зависимости усилия от глубины погружения пуансона в заготовку. Для расчета оптимального зазора необходимо переключится на соответствующую закладку (рис 3).

### Пульт управления прессом

Вызов пульта управления производится через пункт ПУЛЬТ главного меню приложения. Вид пульта показан на рис.4.

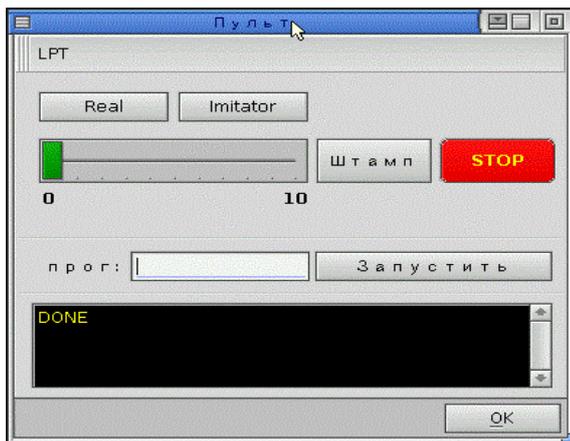


Рис. 4 - Пульт управления.

### Назначение кнопок и элементов Пульта:

- **Real** - включение работы с реальным Прессом
- **Imitator** - переключение в режим Имитатора
- **Штамп** - включение штампа
- **Stop** - остановить Пресс
- **Прог (Запустить)** - ввод имени файла с Управляющей программой, включение Автоматического режима
- **Меню LPT** - Инициализация LPT1 (при переходе в Реальный режим)

### Система команд прессы

Пресс может работать в автоматическом режиме. Для запуска этого режима необходимо создать управляющую программу (УП).

УП представляет собой простой текстовый файл, содержащий последовательность выполняемых прессом команд. Например:

**kick 10**

**kick 10**

-

**kick 15**

**kick 10**

Система команд прессы имеет одну функцию следующего формата:

**kick N**

где **N** - задержка в секундах перед срабатыванием муфты прессы (удар пуансоном).

### УПРАВЛЕНИЕ РОБОТОМ И МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ

Основное окно приложения представлено на рис.5

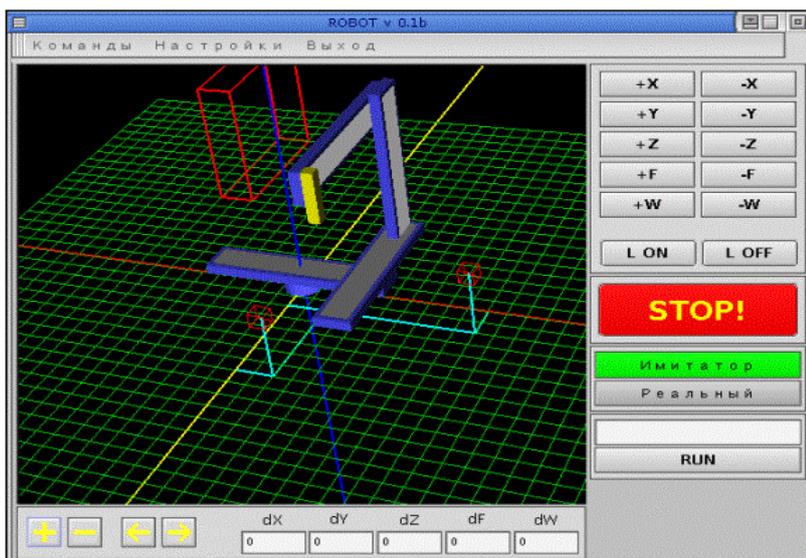


Рис. 5

В окне имеются следующие элементы управления:

1. Блок кнопок управления перемещением робота по всем его степеням и кнопок для работы с захватом.
2. Блок выбора режима работы "имитатор/реальный"
3. Кнопка "STOP" - экстренный останов всех видов перемещения.
4. Блок выполнения команд.
5. Блок вывода смещения по степеням робота. Значения выводятся в миллиметрах, кроме dW, которое выводится в градусах.
6. Блок управления трехмерным видом - две кнопки вращения по оси Z и две кнопки изменения масштаба.

Все элементы трехмерного вида настраиваются в меню "настройки".

В диалоговом окне "параметры склада" (рис.6) можно задать положение склада на плоскости, а также его размеры.

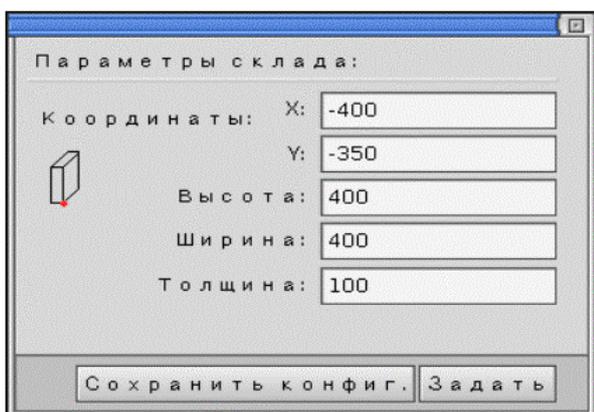


Рис.6

Кроме того, с помощью диалога "рабочие точки" можно задать положение специальных точек, используемых для позиционирования захвата робота. Например можно задать точку выгрузки заготовки для токарного станка и точку для фрезерного станка. Можно также отключить отображение этих точек. Данное диалоговое окно представлено на рис 7.

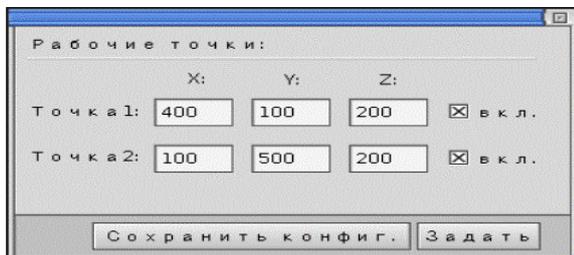


Рис.7

### Работа с реальным роботом

Для включения работы с реальным роботом необходимо:

1. Нажать кнопку **Реальный** в главном окне приложения
2. В главном меню выбрать пункт **Команды->Инициализировать LPT1**

Переход в режим имитатора осуществляется по кнопке **Имитатор**.

### Подключение модулей к ГАП

Для работы во взаимодействии с внешними модулями ГАП (Фрезерный, Токарный станки и Пресс) необходимо запустить приложения, выполняющие управления этими модулями и выполнить следующие операции:

1. Выбрать в главном меню пункт **Настройки -> Подключить станки**
2. В открывшемся диалоге нажать кнопку **Подключить**
3. Проанализировать сообщения в окне терминала подключения модулей (рис.8).

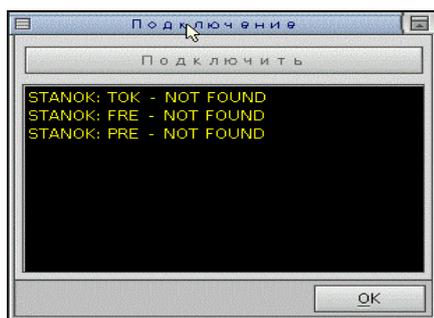


Рис.8.

Сообщения в терминале:

T STANOK {модуль}: **NOT FOUND** - Модуль не найден

T STANOK {модуль}: **FOUND** - Модуль найден

T STANOK {модуль}: **OK** - Модуль подключен

### Система команд робота

Робот имеет возможность работать в автоматическом режиме или в режиме преднабора команд.

Управляющая программа робота представляет собой простой текстовый файл, содержащий команды.

Список команд:

**gotoX N**

где N - перемещение по координате X в мм.

**gotoY N**

где N - перемещение по координате Y в мм.

**gotoZ N**

где N - перемещение по координате Z в мм.

**gotoF N**

где N - перемещение по координате F в секундах.

**gotoW N**

где N - перемещение по координате W в секундах.

**gotoXYZ dX dY dZ**

где dX, dY, dZ - перемещение по координате X, Y, Z соответственно .

**gotoFW dF dW**

где dF, dW - перемещение по координате F, W соответственно .

**nullXYZ** - выход в Ноль по координатам XYZ

**nullFW** - выход в Ноль по координатам FW

**lockON** - включить схват

**lockOFF** - выключить схват.

**Взаимодействие с внешними модулями ГАП**

**StanokPRE** - включение Пресса в автоматический режим, ожидание завершения автоматического режима прессы.

**StanokFRE** - включение Фрезерного станка в автоматический режим, ожидание завершения автоматического станка.

**StanokFRELockPart** - включение зажима детали на Фрезерном станке, ожидание окончания зажима.

**StanokFREULockPart** - включение разжима детали на Фрезерном станке, ожидание окончания разжима.

**StanokТОК** - включение Токарного станка в автоматический режим, ожидание завершения автоматического станка.

**StanokТОКLockPart** - включение зажима детали на Токарном станке, ожидание окончания

зажима.

**StanokТОКУLockPart** - включение разжима детали на Токарном станке, ожидание окончания разжима.

Пример программы:

```
gotoW 2  
gotoY -90  
gotoW 17  
gotoZ -7  
gotoX -30  
gotoY 100  
lockON  
gotoX 7  
gotoY -90  
gotoW -13  
gotoX -100  
gotoW -5  
gotoF 40
```

-

## **ФУНКЦИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

### **Общие положения**

Формат кадра

- Каждый кадр должен начинаться с номера кадра N.
- Кадр не должен содержать символа ПРОБЕЛ.

Формат данных

Значения параметров, содержащие символ "." читаются как дробное значение, заданное в мм.

Пример: X50.1 = 50,1 мм по координате X.

Значения параметров, не содержащие символ "." читаются как целое значение, заданное в дискретах.

Пример: X5000 = 5000 дискрет по координате X.

Файл управляющей программы

Файл УП - текстовый файл, редактируется или создается в любом текстовом редакторе, которым привык пользоваться оператор.

### **Описание команд и функций**

Команды

- Команда **F** - задает скорость перемещения суппорта в мм/мин. Пример: N1F130
- Команда **S** - задает скорость вращения главного движения в об/мин.

Пример: N1S1200

Примечание: Используется совместно с функциями M3 и M4.

- Команда **T** - установка вылетов инструмента.

Пример: N23T3 - установить для текущего инструмента вылеты, записанные для 3-ей позиции резцедержки.

- Команда **L** - комментарий.

Если первым символом строки кадра является L, то такая строка программы не будет исполняться, а будет воспринята как комментарий.

- Команда **END** - завершение программы.

Если при следующем кадром программы является кадр, начинающийся с команды END, то выполнение программы прекращается.

### **M-функции**

**M3** - включить главное движение против часовой стрелки.

**M4** - включить главное движение по часовой стрелке.

**M6** - смена инструмента.

**M5** - остановить главное движение.

**M90** - задать вылеты инструмента.

Пример: N10M90X10.Z20.P2. - Установить вылеты по X=10мм., по Z=20мм. для инструмента в позиции 2.

### **G-функции**

**G0** - Позиционирование (на максимальной скорости).

Формат: G0{X|U} {Z|W}

**X, Z** - абсолютное задание конечной точки позиционирования.

**U, W** - относительное задание точки позиционирования.

Пример: N200G0X-20.Z-40. - переместиться в точку с координатой

X= - 20мм. Z= - 40мм.

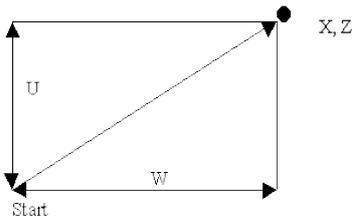


Рис.9. Примечание: Скорость движения в точку задается командой F.

N200G0U-20.W-30. - переместиться относительно стартовой точки на -20мм по координате X и на -30мм по координате Z.

**G1** - линейная интерполяция (рис.9).

Формат: G1 {X|U} {Z|W}

X, Z - абсолютное задание конечной точки позиционирования.

U, W - относительное задание точки позиционирования.

Пример: N200G1X-20.Z-40. - переместиться в точку с координатой

X= - 20мм. Z= - 40мм.

N200G1U-20.W-30. - переместиться относительно стартовой точки на -20мм по координате X и на -30мм по координате Z.

**G2** - круговая интерполяция против часовой стрелки (рис.10).

Формат: G2 {U} {W} {I} {K}

U, W - относительные координаты конечной точки.

I, K - положение центра окружности относительно начальной точки дуги.

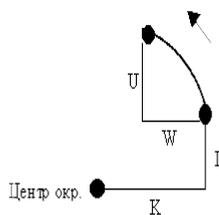


Рис.10.

Пример: N65G2U-10.W-10.I0.K-10.

**G3** - круговая интерполяция по часовой стрелке.

Формат: G3 {U} {W} {I} {K}

U, W - относительные координаты конечной точки.

I, K - положение центра окружности относительно

начальной точки дуги.

Пример: N65G3U10.W10.I10.K0.

#### **G4** - Пауза.

Формат: G4Pn

Pn - время задержки в секундах.

Пример: N45G4P15. - задержка выполнения программы на 15 секунд.

#### **G25** - включить зону запрета.

Формат: G25Pn

P - номер зоны запрета.

При попадании инструмента в зону запрета происходит останов выполнения программы. Пересечение зоны запрета определяется по точке, которая задается вылетами инструмента.

Примечание: Координаты зон запрета хранятся в параметрах 500-512

Зона 1: X1 - #500, Y1 - #501

X2 - #502, Y2 - #504

Зона 2: X1 - #505, Y1 - #506

X2 - #507, Y2 - #508

Зона 3: X1 - #509, Y1 - #510

X2 - #511, Y2 - #512

#### **G26** - выключить зону запрета.

Формат: G26Pn

P - номер зоны запрета.

#### **G37** - Выход в заданную точку.

Формат: G37 {X|U} {Z|W} {Pn}

X, Z - абсолютное задание конечной точки позиционирования.

U, W - относительное задание точки позиционирования.

Pn - номер параметра, в котором хранится координата точки.

Пример: N200G37X-20.Z-40. - переместиться в точку с координатой

X= - 20мм. Z= - 40мм.

N200G37U-20.W-30. - переместиться относительно стартовой точки на -20мм по координате X и на -30мм по координате Z.

N200G37P3. - Выход в точку, координаты которой записаны в параметрах 2003, 2203.

**G61** - Цикл многопроходной обработки вдоль координаты Z

Формат: G61 {U} {W} {P}

U - приращение по координате X.

W - приращение по координате Z.

P - величина снимаемого слоя за один проход.

Пример: N765G61U-20.W-64.5P1.5

Примечание: После завершения цикла обработки происходит возврат в начальную точку.

**G65** - Цикл многопроходной обработки вдоль координаты X

Формат: G65 {I} {K} {P}

I - приращение по координате X.

K - приращение по координате Z на каждую итерацию цикла.

P - число проходов.

Пример: N165G65I-15.K-1.5.P50.

Примечание: После завершения цикла обработки происходит возврат в начальную точку.

**G92** - привязка системы координат станка к системе координат детали.

Формат: G92 {X} {Z}

X, Z - координаты Нуля детали (в системе координат станка).

Пример: N10G92X-45.Z-9.

Примечание: Координаты могут указываться как явно, так и параметрически, т.е. со ссылкой на параметр, в котором они записаны.

Пример: N10G92X#2208Z#2208 - положение Нуля детали записанное в параметре N8.

**G100** - Автоматический выход в Ноль по X.

**G102** - Автоматический выход в Ноль по Z.

Пример: N1000G100

N1010G102

Примечание: При автоматическом выходе в Ноль, необходимо сначала вывести в Ноль координату X, координату Z.

G107 - Запуск зажима детали.

G108 - Запуск разжима детали.

Пример: N20G107

-

N500G108

### Использование сплайновой интерполяции в виртуальном токарном станке

Последовательность команд на воспроизведение инструментом токарного станка траектории, заданной в виде В-сплайна, имеет следующий формат:

N<номер>B1

N<номер>X<x1>Z<z1>

N<номер>X<x2>Z<z2>

-

N<номер>X<x<sub>n-1</sub>>Z<z<sub>n-1</sub>>

N<номер>X<x<sub>n</sub>>Z<z<sub>n</sub>>

N<номер>B2

Ниже приведен пример последовательности кадров задающих инструменту станка траекторию движения в виде В-сплайна:

N5 G0 X0 Z0 - выход в исходную точку

N10BSPLINE1 - начало задания сплайна

N25X100Z90

N45X0Z180

N50BSPLINE2 - конец задания сплайна

На рис. 13 показана траектория для данной последовательности управляющих кадров.

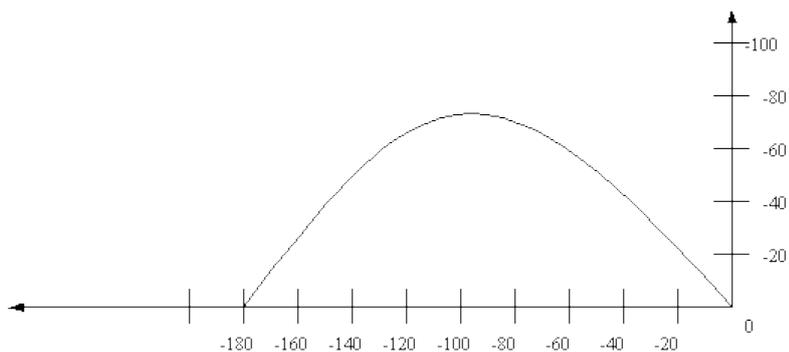


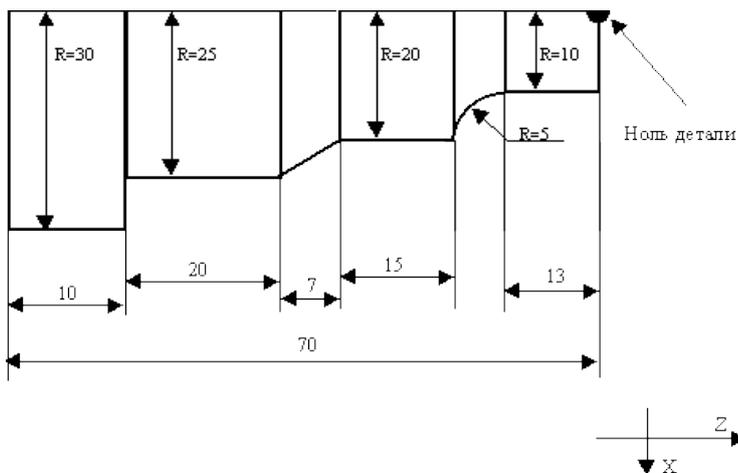
Рис. 11 .

При задании траектории в виде В-сплайна кривая проходит только через начальную и конечную точки. Остальные контрольные точки оказывают влияние на форму кривой, но последняя через них не проходит.

### Пример программы

Обработать контур (рис12.)

Дополнительные условия: Вылеты инструмента:  $dX=15$   $dZ=1$ . Координаты Нуля детали записаны в параметр N8.



N5M90X15.Z1.P1.

N10G92X#2008Z#2208

N20T1M6

N30S1000M3

N40G0X10.

N50G1Z-13.F70

N50G2U5.W-5.I5.K0.F100

N60G1Z-33.F80

N70G1X20.Z40.F85

N90G1Z60.

N100G1X30.

N120G1Z70.

N130G100

N140G102

N150M5

END

Таким образом, в представленной работе решена задача моделирования работы станков, робота и в целом ГПС, позволяющая вести эффективное обучение в системе начального, среднего и высшего профессионального образования.