

УДК 621.9.06-52
П54 ББК 34.63

*Печатается по решению Ученого Совета
факультета математики и информационных технологий
Ульяновского государственного университета*

Гисметулин А.Р. Числовое программное управление металлорежущими станками: Методические указания. - Ульяновск: УлГУ, 2008. с.

Методические указания разработаны с целью привития студентам специальности "Моделирование и исследование операций в организационно-технических системах" факультета математики и информационных технологий Ульяновского государственного университета практических навыков по компьютерному проектированию технологических процессов механообработки на станках с ЧПУ в системе ADEM NC. В методических указаниях даны методики расчета режимов резания при точении, фрезеровании и обработке осевым инструментом.

Табл. 20. Библиограф. 4.

Рецензент: доктор технических наук,

Ульяновский государственный университет

Числовое программное управление металлорежущими станками

Важнейшим условием роста эффективности производства является повышение производительности труда на базе механизации и автоматизации производственных процессов. Основная доля выпуска изделий в машиностроении приходится на мелкосерийное и единичное производства, в которых наиболее эффективным средством автоматизации являются станки с числовым программным управлением (ЧПУ).

По технологическим возможностям станки с ЧПУ делятся на следующие группы:

1. Станки токарной группы предназначены для обработки наружных и внутренних поверхностей деталей типа тел вращения (с прямолинейными и криволинейными контурами, со сложными внутренними полостями), а также для нарезания наружных и внутренних резьб.
2. Станки фрезерной группы предназначены для фрезерования деталей простой и сложной конфигурации, корпусных деталей (с нескольких сторон и под различными углами), а также для комплексной сверлильно-фрезерно-расточной обработки различных деталей.
3. Станки сверлильно-расточной группы предназначены для сверления и растачивания деталей различного качества точности, а также для комплексной сверлильно-расточной обработки.
4. Станки шлифовальной группы предназначены для финишной обработки деталей (плоскошлифовальные, круглошлифовальные, внутришлифовальные, шлицешлифовальные).
5. Станки электрофизической группы подразделяются на электроэрозионные, электрохимические и лазерные.

Многоцелевые станки предназначены для сверлильно-фрезерно-расточной обработки призматических корпусных и плоских деталей, а также токарной обработки деталей типа тел вращения с последующим их сверлением, фрезерованием и растачиванием.

В этих методических указаниях рассмотрим первые три группы станков, как наиболее распространенные.

Основные виды структур систем ЧПУ

Все многообразие видов структур систем ЧПУ можно подразделить на две группы:

- к первой относятся устройства с постоянной структурой (NC), имеющие схемную реализацию алгоритмов работы;

- ко второй группе (CNC) относятся устройства с программной реализацией большинства алгоритмов работы. Эти алгоритмы записываются в постоянное запоминающее устройство. Управление осуществляется от микропроцессора или встроенной ЭВМ. К ним относятся:

ЧПУ(NC) - числовое программное управление (Numerical control), управление осуществляется по программе в виде кодов;

ОСУ(HNC) - оперативная система ЧПУ (Hand NC), задание программы вручную на пульте управления;

CNC - компьютерное ЧПУ (Computer NC), управление с микроЭВМ;

DNC - (Direct numerical Control), управление группой станков от одной ЭВМ;

АДУ (AC) - (Adaptive Control), адаптивное управление;

ГПС(FM) - гибкая производственная система (Flexible manufacturing systems), комплекс технологического оборудования и системы управления от ЭВМ, обладающая свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий определенной номенклатуры и др.

По виду движений исполнительных механизмов станка, определяемых геометрической информацией в программе, устройства ЧПУ подразделяются на:

позиционные (координатные) системы - предназначены для независимого

перемещения рабочих органов, вид траектории при перемещении из одной координаты в другую не задается. Различают позиционные системы

-программирующие положение координат точек (токарные станки)
-программирующие отрезки прямолинейных или круговых траекторий (фрезерные, токарные станки);

контурные, обеспечивают формообразование при обработке в результате одновременного согласованного движения по нескольким управляемым координатам (3 - 5). Программу движения привода подач по отдельным координатам при контурной и объемной обработке рассчитывают, исходя из заданной формы обрабатываемой детали и результирующей скорости движения, определяемой режимом резания.

Система осей координат токарного станка

Ось **z** - ось основного рабочего шпинделя станка, положительное направление от места крепления детали к режущему инструменту.

Ось **x** - это горизонтальная ось направлена перпендикулярно к оси **z**, положительным направлением является направление влево, если смотреть на правый торец станка.

Кроме того, существуют система координат детали и система координат инструмента. При создании управляющей программы с помощью АDEM все эти системы привязываются к системе координат детали или к базовой поверхности приспособления для крепления детали (в системе АDEM эта функция осуществляется нажатием клавиш «О»- для относительной системы координат или «А»- для абсолютной системы координат). Например, изменение вылета различного режущего инструмента учитывается в управляющей программе с помощью специальных корректоров.

Основным элементом системы ЧПУ металлорежущими станками является управляющая программа (УП), в которой задаются траектория движения инструмента относительно заготовки, скорости и величины перемещений исполнительных механизмов станка.

Кодирование информации в управляющей программе

Международным стандартом (ISO) регламентированы единые правила кодирования информации на УП, которая записывается в виде последовательности кадров.

Каждый кадр содержит:

- а) номер кадра (N001 ,N002...);
- б) информационное слово;
- в) символ "конец кадра".

Информационные слова в кадре рекомендуется записывать в такой последовательности:

- 1) слово (или слова) «Подготовительная функция»- **G**;
- 2) слова «Размерные перемещения», которые рекомендуется записывать в такой последовательности символов-

X,Y,Z,U,V,W,P,Q,R,A,B,C.

X, Y, Z - первичные перемещения по соответствующим координатам;

U, V, W¹ - вторичные перемещения;

P, Q, R - третичные перемещения;

A, B, C - поворот вокруг осей **X, Y, Z**.

¹ вторичные и третичные перемещения осуществляются с помощью дополнительных устройств, например, с помощью суппорта и поперечных салазок токарного станка.

3) слова «Параметр интерполяции» или «Шаг резьбы» - **I, J, K**;

Движение инструмента по сложной траектории обеспечивается специальным устройством — интерполятором.

Сущность работы интерполятора заключается в преобразовании вводимых в него от программы чисел, в определенное число импульсов соответствующим образом распределяемых по управляемым координатам. Интерполяторы контурных ЧПУ можно разделить на линейные и линейно-круговые.

Интерполятор обрабатывает программу последовательно отдельными участками (кадрами), при линейной интерполяции - это участки прямых линий, расположенных в пространстве. Предположим, что необходимо обработать кадр, представляющий собой отрезок АВ (рис.1), расположенный в плоскости XY.

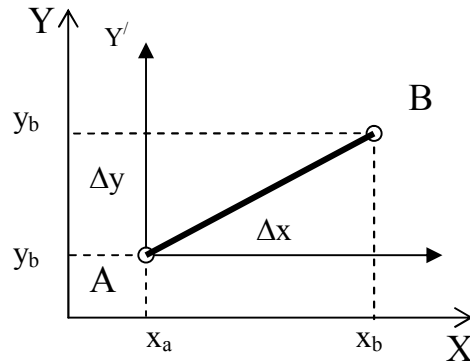


Рис.1. Относительные координаты отрезка при линейной интерполяции

Исходной информацией для интерполятора является разность координат конечной В и начальной А точек отрезка, т.е. приращения по координатам: $\Delta x = x_b - x_a$; $\Delta y = y_b - y_a$. При этом начало относительной системы координат для каждого отдельного участка совпадает с началом обрабатываемого отрезка. На каждый импульс, вырабатываемый интерполятором, привод подач соответствующей координаты станка осуществляет единичное перемещение в соответствии с дискретностью станка.

Линейно-круговая интерполяция в основном осуществляется по методу оценочной функции. При круговой интерполяции окружность, на которой расположен интерполируемый отрезок дуги, разделяет плоскость XY на две области: $F > 0$ (где значение оценочной функции F положительно), лежащую вне круга, ограниченного окружностью, и область $F < 0$, лежащую внутри круга. Сама окружность представляет собой область, где $F = 0$. Если промежуточная точка траектории интерполяции находится в области $F > 0$, то следующий шаг дается по оси X. Если же промежуточная точка траектории интерполяции находится в области $F < 0$, то следующий шаг дается по оси Y.

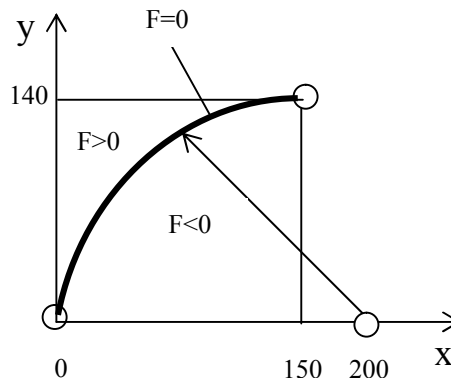


Рис.2. Интерполяция G17X150Y140I200

4) слово (или слова) «Функция подачи» - **F**, которые относятся только к определенной оси и должны следовать непосредственно за словами «Размерное перемещение» по этой оси; слово «Функция подачи» относящееся к двум и более осям, должно следовать за словом «Размерное перемещение»;

5) слово «Функция главного движения»- **S**;

6) слово (или слова) «Функция инструмента» - **T**;

7) слово (или слова) «Вспомогательная функция» - **M**.

В приложениях к методическому указанию приведены таблицы с описаниями указанных функций.

Порядок и кратность записи слов с адресами D, E, H, U, V, W, P, Q, R, используемых в значениях, отличных от принятых, указываются в формате конкретного устройства ЧПУ.

В пределах одного кадра управляющей программы не должны повторяться слова «Размерные перемещения» и «Параметр интерполяции» или «Шаг резьбы»; не должны использоваться слова «Подготовительная функция», входящие в одну группу.

После символа «Главный кадр» в управляющей программе должна быть записана вся информация, необходимая для начала или возобновления обработки. Этот символ используется для определения начала программы на носителе данных.

При необходимости режима «Пропуск кадра», например для осуществления наладочных переходов при наладке станка и исключения этих переходов после окончания наладки, перед символами «Номер кадра» и «Главный кадр» должен записываться символ «Пропуск кадра».

Каждое слово в кадре управляющей программы должно состоять из символа адреса, математического знака «+» или «-» (при необходимости) последовательности цифр.

Слова в управляющей программе могут быть записаны одним из двух способов: без использования десятичного знака (подразумеваемое положение десятичной запятой) и с его использованием (явное положение десятичной запятой). Явная десятичная запятая обозначается символом «DS». Подразумеваемое положение десятичной запятой должно быть определено в характеристиках конкретного устройства ЧПУ. При записи слов с использованием десятичного знака слова, в которых десятичный знак отсутствует, должны рассматриваться устройством ЧПУ как целые числа. В этом случае могут быть опущены незначащие нули, стоящие до и (или) после знака: X.03 означает размер 0,03 мм по оси X; X1030 — размер 1030,0 мм по оси X. Размер, представленный только нулями, должен быть выражен, по крайней мере, одним нулем.

При записи слов с подразумеваемой десятичной запятой с целью сокращения количества информации рекомендуется опускать нули, стоящие перед первой значащей цифрой (ведущие нули). Последние нули можно опускать (ведущие нули в этом случае опускать нельзя). При опускании, как ведущих, так и последних нулей положение подразумеваемой десятичной запятой остается неизменным согласно характеристикам конкретного устройства ЧПУ.

Слово «Номер кадра» должно состоять из цифр, количество которых указывается в формате конкретного устройства ЧПУ.

Слово (или слова) «Подготовительная функция» должно быть выражено кодовым символом.

Все размерные перемещения должны задаваться в абсолютных значениях или приращениях. Способ управления должен выбираться одной из подготовительных функций: G90 (абсолютный размер) или G91 (размер в приращениях).

За адресом каждого слова «Размерное перемещение» следуют две цифры, первая из которых показывает количество разрядов перед подразумеваемой десятичной запятой, отделяющей целую часть числа от дробной, вторая — количество разрядов после запятой. Если можно опустить нули, стоящие перед первой значащей цифрой и после последней в словах «Размерные перемещения», за адресом «Размерное перемещение» должны следовать три цифры. Если опускаются нули, стоящие перед первой значащей цифрой, то нулем должна быть первая цифра. Если опускаются нули, стоящие после значащей цифры, нулем должна быть последняя цифра.

Все линейные перемещения должны быть выражены в миллиметрах и их десятичных долях. Все угловые размеры даются в радианах или градусах. Допускается выражение угловых размеров в десятичных долях оборота.

Ряд устройств ЧПУ имеет специальные циклы, «привязанные» к конкретному станку. Например, токарные станки имеют циклы нарезания резьбы и канавок с автоматическим разделением на проходы, цикл глубокого сверления с автоматическим разделением на проходы, цикл нарезания резьбы метчиком или плашкой и др.

Если устройство ЧПУ допускает задание размеров в абсолютных значениях (положительных или отрицательных) в зависимости от начала системы координат, то математический знак («+» или «-») является составной частью слова «Размерное перемещение» и должен предшествовать первой цифре каждого размера.

Если абсолютные размеры всегда положительны, то между адресом и следующим за ним числом не ставят никакого знака, а если они либо положительны, либо отрицательны, то между адресом и следующим за ним числом ставится знак.

Если устройство ЧПУ допускает задание размеров в приращениях, то математический знак должен предшествовать первой цифре каждого размера, указывая направление перемещения.

Ручное программирование

При ручном программировании по чертежу обрабатываемой детали составляют таблицу с УП. Рассмотрим порядок составления такой таблицы на примере черновой обработки заготовки, представленной на рис.3, на токарно-револьверном станке с 2-мя головками:

- с инструментом для обработки внутренних поверхностей, позиции Н1 - Н6;
- с инструментом для обработки наружных поверхностей, позиции R1 – R6.

Последовательность операций при ручном программировании:

1. Вначале разрабатывают технологические переходы, выбирают инструменты и их расположение на револьверных головках, определяют метод крепления заготовки и режим резания для каждого перехода: торцы А и Д обрабатываются в позиции R1; элементы В, С обрабатываются инструментом в позиции R2; отверстие диаметром 75 мм растачивается резцом в позиции Н1.

2. Если станок работает в абсолютной системе координат, то чертежные размеры детали (рис.3, а) пересчитываются в абсолютные размеры в системе координат, в которой одна ось совпадает с левым торцом детали (рис.3,б).

3. Определяется траектория движения каждого инструмента:

а) подрезного резца в позиции R1: траектория представлена на рис.4. Из исходной точки в точку 1 резец движется со скоростью быстрых перемещений. Из точки 1 в точку 2 и далее - со скоростью рабочей подачи;

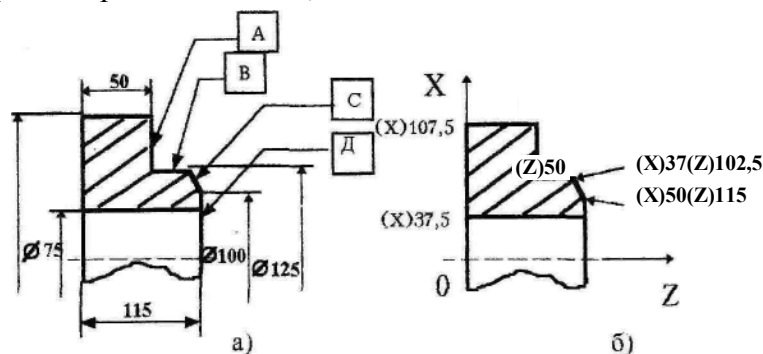


Рис.3. Чертеж заготовки (а) и ее размеры в абсолютных координатах (б)

- б) подрезного резца в позиции R2;
- в) расточного резца в позиции H1.

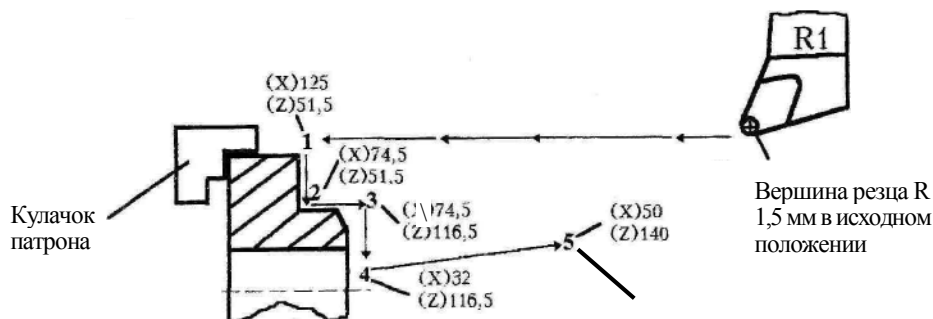


Рис.4. Траектория движения инструмента по опорным точкам

Обычно инструкции по ручному программированию имеют вспомогательные таблицы, упрощающие расчет. На рис.5 приведена таблица для расчета конечных положений резца при обработке фаски (конуса), если радиус закругления при вершине резца 1,5 мм.

α , град	a	α , град	a
5	0,075	35	0,483
10	0,125	40	0,560
15	0,200	45	0,630
20	0,279	50	0,712
25	0,330	55	0,787
30	0,406	60	0,890

Рис.5. Расчетные значения конечных положений резца
Вершина резца в положении смены инструмента

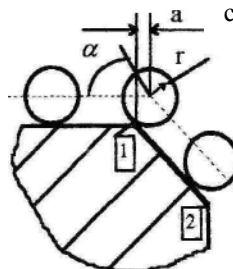


Рис.6. Определение конечных положений резца при обработке фаски (конуса)

Для определения траектории проходного резца, закрепленного в позиции R2 круглой револьверной головки, при обработке фаски выполняют следующие вычисления:

1. Рассчитывают координату (Z_2) точки 2 (см. рис.6):

$$Z_2 = 102,5 + a = 103,13,$$

где 102,5-координата (2) вершины фаски на детали; $a = 0,63$ при $\alpha = 45^\circ$.

2. Рассчитывают координату (X_2) точки 2:

$$(X_2)=62,5+1,5=64,$$

где 62,5 - координата (X) вершины фаски;

1,5 - радиус вершины резца.

3. Рассчитывают координату (Z₁) точки 1:

$$Z_1=Z_2+12,5+2 \cdot 1,5=103,13+12,5+3=118,63,$$

где 12,5=(Z)115 - (Z)102,5 (см. рис.3.6);

1,5 - радиус вершины резца.

4. Для определения катета прямоугольного треугольника с $\alpha =45^\circ$ (см.рис.6) определяют разность (Z₁) - (Z₂)=118,63-103,13=15,5.

5. Рассчитывают координату (X₁) точки 1 (см. рис.6):

$$(X_1)=(X_2)-15,5=64-15,5=48,5.$$

4. Кодирование информации УП с помощью специальных бланков, см. табл.1.

Таблица 1.

Номер фразы	Код скорости шпинделя	Вспомогательные команды			Подготов- тов-й код	Коды перемещений		Код расположения дуги		Код подачи
		M27*	M21							
N001	S01*	M27*	M21		G90*					
N002		M03*			G73*	X125,00	Z250,00			F90*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N007						X050,00	Z140,00			F99*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

S01 - код частоты вращения шпинделя 180 об/мин,

"*" - знак показывает, что эти команды действуют до появления новой команды, например, S01,

M27- поворот круглой револьверной головки вверх,

M21 - поворот головки до позиции R1,

G90 – позиционирование в нулевой точке.

Подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ с помощью системы ADEM

Математическая модель, описывающая геометрию детали, создается с помощью CAD части системы ADEM и может быть использована для: получения чертежей; проведения анализа методом конечных элементов; получения управляющих программ для станков с ЧПУ структуры CNC.

На рисунке 7 представлено окно главного меню CAD части программы ADEM.

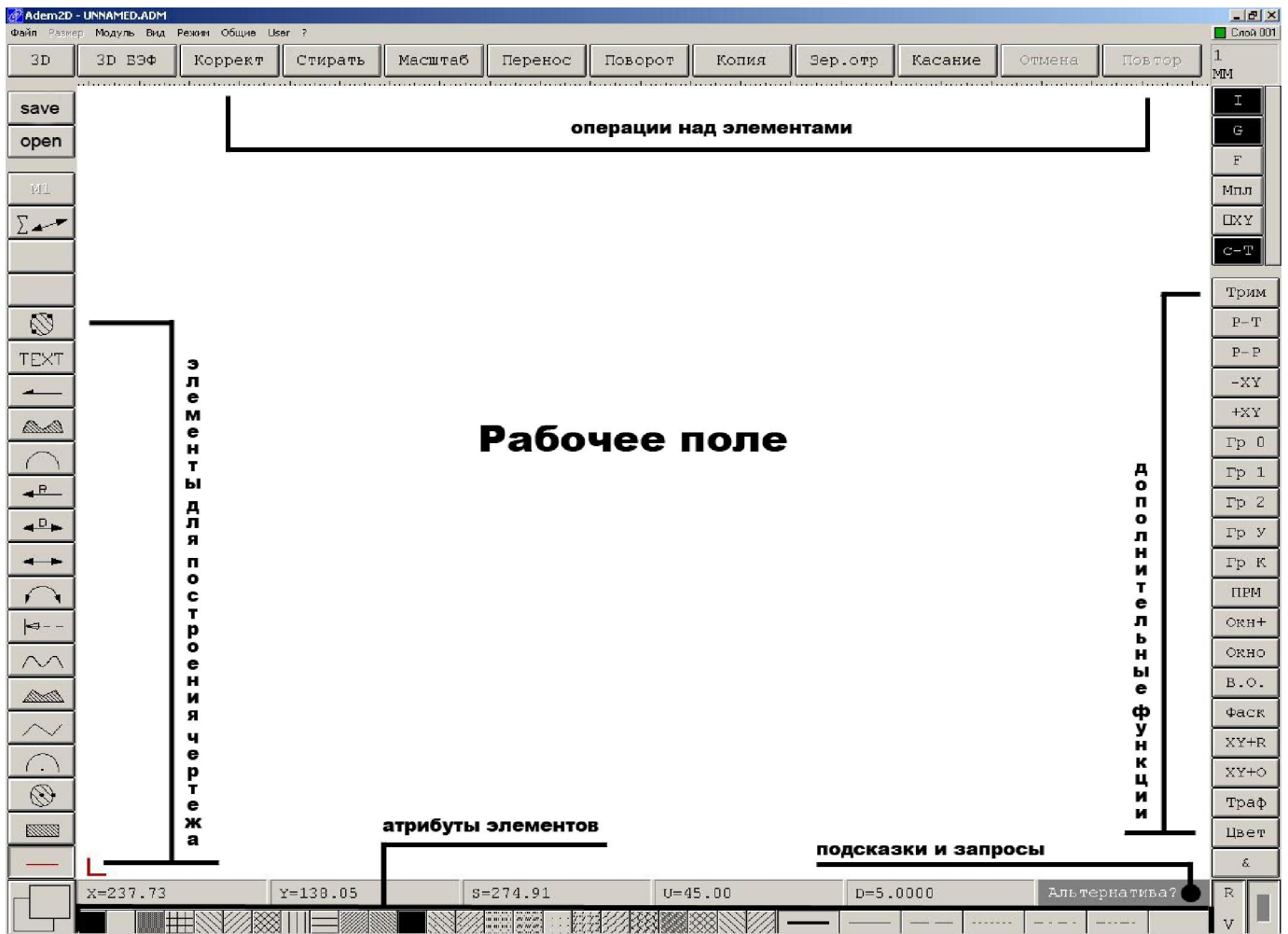


Рис.7. Окно главного меню CAD части программы ADEM

Подсказки и запросы:

Подсказка – надпись, информирующая о том, какие действия система ожидает от пользователя. Она постоянно присутствует в строке состояния. Например, «Узел?» - система просит указать положение следующего узла строящегося элемента. Подсказка «Альтернатива?» говорит о том, что система находится в режиме ожидания ввода команды.

Запрос – надпись, дающая запрос на ввод каких либо параметров с клавиатуры. Например, «Масштаб = ».

Элементы для построения чертежа:

Любой чертеж, созданный в системе **ADEM** состоит из базовых графических элементов (отрезки, дуги, ломанные линии и т.д.), размерных блоков, текстовых строк, специальных обозначений, а так же вспомогательных элементов.

В системе **ADEM** простейшим понятием является **узел**. Узлы – характерные точки элементов чертежа, определяющие положение этих элементов на рабочем поле. Перемещая узлы элемента можно изменять его форму.

	построение окружности по трем точкам	Трим	
	создание надписи	Р-Т	
		Р-Р	
	построение контура сплайном	-XY	
		+XY	
	установка радиуса	Гр 0	объединение элементов в группу
	установка диаметра	Гр 1	объединение элементов в группу
	установка линейного размера	Гр 2	объединение элементов в группу
	установка углового размера	Гр У	объединение элементов в группу
		Гр К	объединение элементов в группу
	построение сплайна	ПРМ	
	построение замкнутого контура	Окн+	
	построение ломанной линии	Окно	
	построение дуги	В.О.	
	построение окружности	Фаск	
	построение прямоугольника	XY+R	
	построение отрезка	XY+O	
		Траф	создание трафарета
		Цвет	
		&	

Атрибуты элементов:



Каждому элементу при создании присваиваются атрибуты – тип линии и тип штриховки. Они могут быть изменены в любой момент времени. По умолчанию установлены тип линии «основная», тип штриховки «пустая прозрачная».

Система координат:

x=151.15	y=-7.08	s=151.32	U=45.00	D=5.0000
----------	---------	----------	---------	----------

Нажатие клавиши **X** на клавиатуре приведет к появлению запроса «X =».

Нажатие клавиши **Y** на клавиатуре приведет к появлению запроса «Y =».

Нажатие клавиши **U** на клавиатуре приведет к появлению запроса «U =». Изменяет угол перемещения курсора.

Нажатие клавиши **D** на клавиатуре приведет к появлению запроса «D =». Одно короткое нажатие на цифровую клавишу позволяет сдвинуть курсор на величину шага D.

Для перемещения курсора в начало координат достаточно нажать клавишу **Home** на клавиатуре.

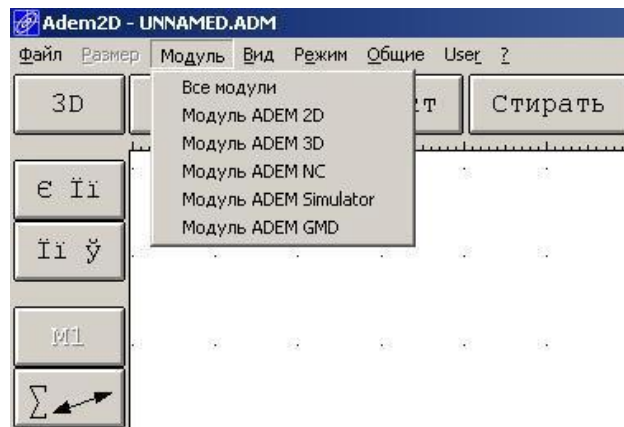
Для перемещения начала системы координат достаточно поместить курсор в нужное место на рабочем поле и нажать клавишу **O** на клавиатуре.

Для удобства можно включить трафарет нажатием клавиши **T**, либо через меню «Вид».

Выпадающие меню

Меню «Модуль»:

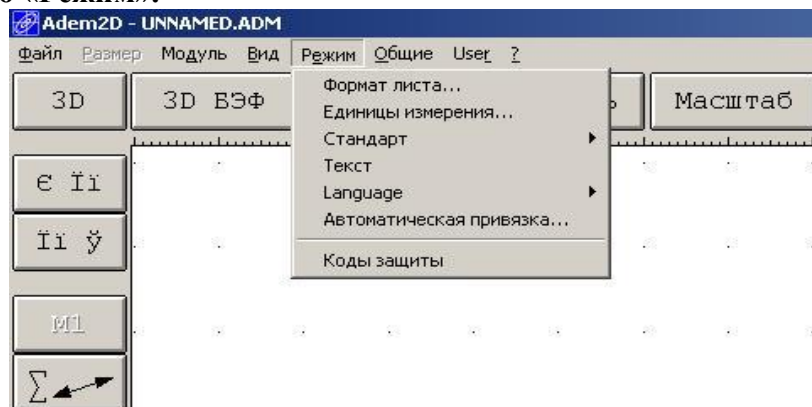




Через меню «Модуль» осуществляется переключение между модулями программы.

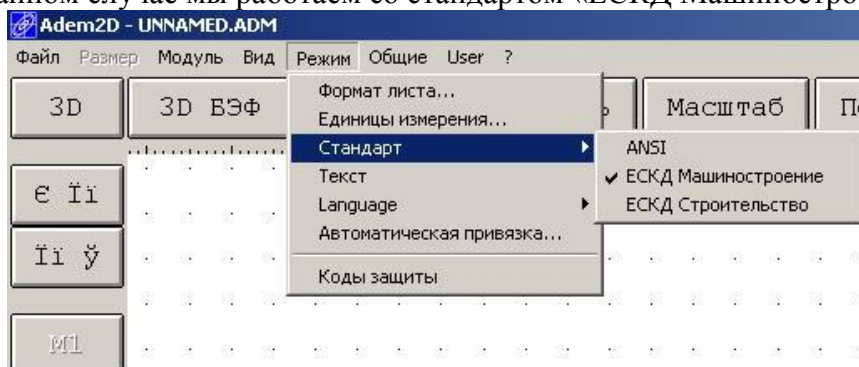
- Модуль ADEM 2D
- Модуль ADEM 3D
- Модуль ADEM NC
- Модуль ADEM Simulator
- Модуль ADEM GMD

Меню «Режим».

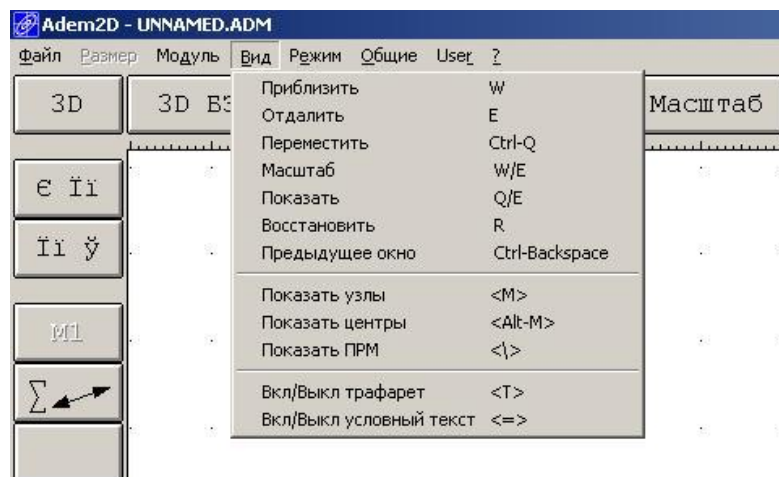


- Формат листа
- Единицы измерения
- Стандарт
- Текст
- Язык
- Автоматическая привязка
- Коды защиты

В данном случае мы работаем со стандартом «ЕСКД Машиностроение».



Меню «Вид».



- Приблизить
- Отдалить
- Переместить
- Масштаб
- Показать
- Восстановить
- Предыдущее окно
- Показать узлы
- Показать центры
- Показать ПРМ
- Вкл/выкл трафарет
- Вкл/выкл условный текст

В системе ADEM для разработки управляющих программ предназначен модуль ADEM NC. Единицей информации в этом модуле является технологический объект (ТО). Он содержит следующую информацию:

- тип конструктивного элемента (колодец, уступ, плоскость и т.д.);
- параметры конструктивного элемента (глубина колодца, припуск на дне конструктивного элемента и др.);
- геометрию конструктивного элемента (контуры);
- тип технологического перехода (фрезеровать, точить и т.д.);
- параметры технологических переходов (подача, частота вращения шпинделя и др.).

Кроме того, технологическим объектом является технологическая команда, которая задает:

- начальные условия обработки (например, координаты начального положения инструмента);
- связь между двумя технологическими переходами (перемещение инструмента от одного конструктивного элемента к другому, обход препятствий и т.д.).

Маршрут обработки определяется последовательностью технологических объектов. Пользователь может изменить порядок ТО, а также параметрически связать несколько технологических объектов с одним конструктивным элементом. При этом изменения в одном конструктивном элементе автоматически вносятся во все остальные.

С ТО можно произвести следующие действия: просмотр и изменения их параметров; удаление и копирование ТО. Меню команд управления ТО располагается вверху вдоль левого края экрана.

Процесс получения управляющих программ состоит из следующих основных этапов:

1. **Создание последовательности технологических объектов.** ТО создается в два этапа: описывается конструктивный элемент; описывается технологический переход.
2. **Расчет траектории движения инструмента.** Для этого используется расчетная функция **Процессор**.
3. **Моделирование обработки на экране.** Осуществляется с помощью команды **Моделирование**.
4. **Просмотр CLDATA.** Просмотр траектории движения инструмента в формате **CLDATA**.
5. **Получение управляющей программы.** Рассчитанная и проверенная траектория движения инструмента преобразуется УП для конкретной модели станка с ЧПУ. Для этого используется расчетная функция **Адаптер**. Выбор конкретного постпроцессора осуществляется по имени станка, который задается командой **СТАН**.
6. **Просмотр УП.** Проконтролировать работу постпроцессора можно с помощью команды **Просмотр УП**.

После построения чертежа детали и указания обрабатываемых областей, при помощи меню «Модуль» выбирается модуль ADEM NC.

На рис.8 представлено окно главного меню модуля ADEM NC.

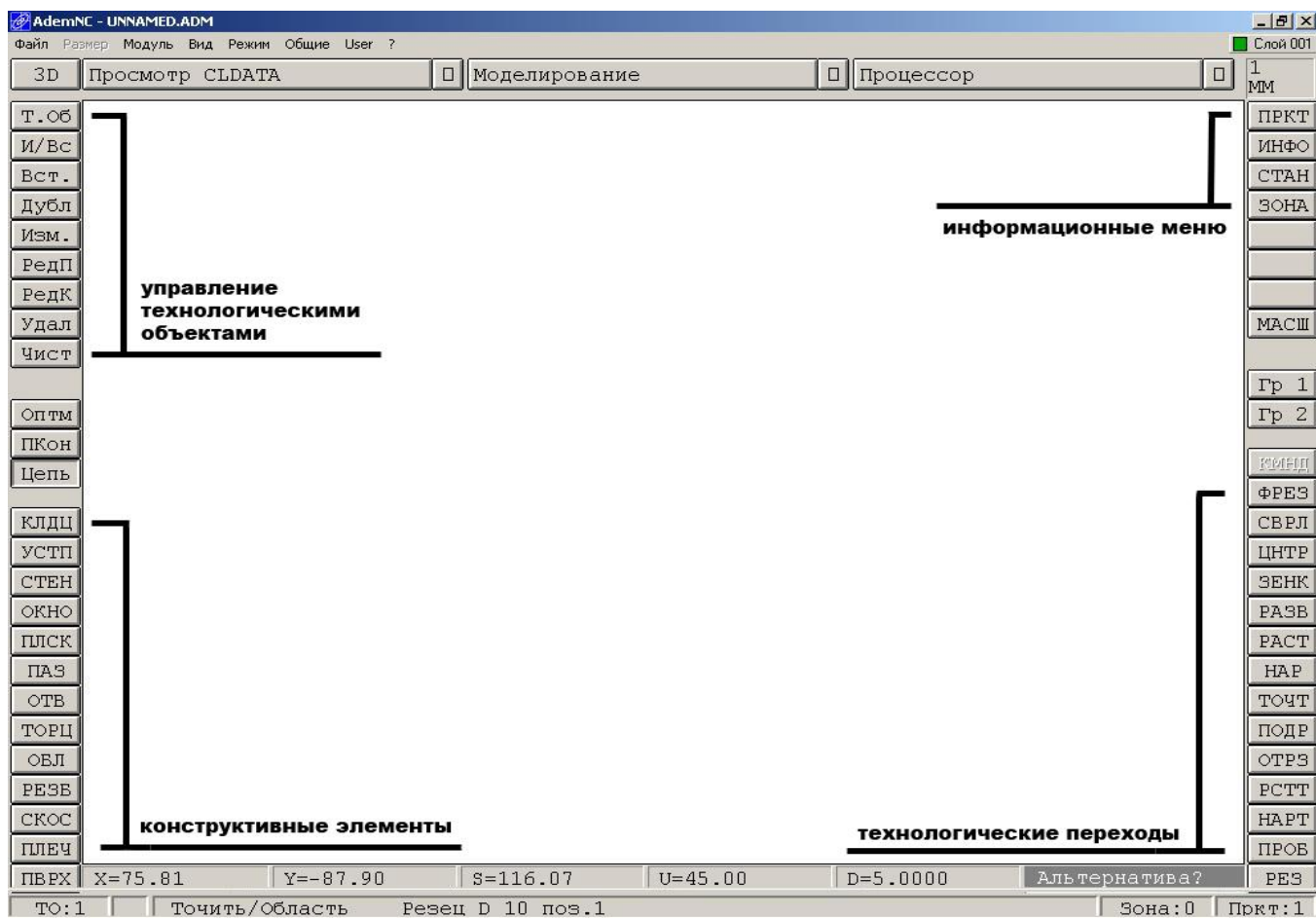


Рис.8. Окно главного меню модуля ADEM NC

На рис. 9 представлена расшифровка основных конструктивных элементов и технологических переходов.

КЛДЦ	колодец	ФРЕЗ	фрезеровать
УСТП	уступ	СВРЛ	сверлить
СТЕН	стенка	ЦНТР	центровать
ОКНО	окно	ЗЕНК	зенкеровать
ПЛСК	плоскость	РАЗВ	развернуть
ПАЗ	паз	РАСТ	расточить отверстие
ОТВ	отверстие	НАР	нарезать резьбу
ТОРЦ	торец	ТОЧТ	точить
ОБЛ	область	ПОДР	подрезать
РЕЗБ	резьба	ОТРЗ	отрезать
СКОС	скос	РСТТ	расточить токарный
ПЛЕЧ	плечо	НАРТ	нарезать токарный
ПВРХ	поверхность	ПРОБ	пробить постштамповка

Рис.9. Конструктивные элементы и технологические переходы модуля ADEM NC

Т.ОБ	выбор ТО
И/Вс	исключение и восстановление текущего ТО
Вст.	вставка нового ТО
Дубл	копирование ТО
Изм.	изменение ТО
РедП	редактирование параметров перехода
РедК	редактирование параметров конструктивного элемента
Удал	удаление ТО
Чист	удаление всех ТО

Рис.10. Кнопки управления технологическими объектами

ПРКТ	проект
ИНФО	информация о детали
СТАН	информация о станке
ЗОНА	зона

Рис.11. Информационные меню

ИНФОРМАЦИЯ О ДЕТАЛИ - В модуле ADEM NC с помощью команды ИНФО можно задать следующую вспомогательную информацию:

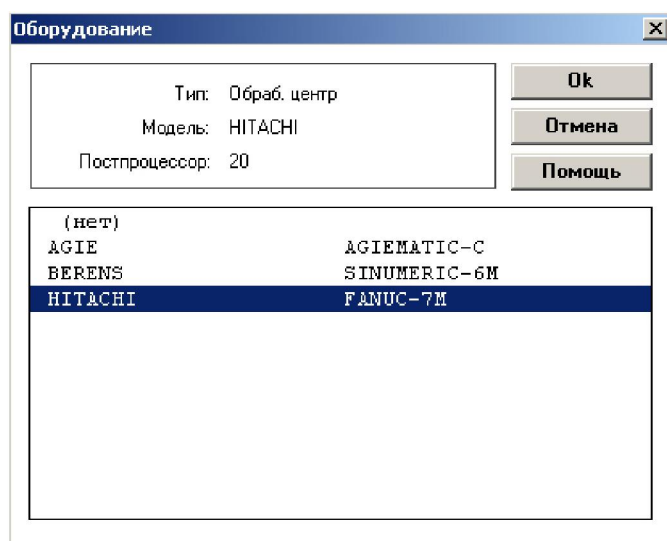
- имя управляющей программы (не более 8 символов),
- имя (обозначение) детали (не более 16 символов).

ИНФОРМАЦИЯ О СТАНКЕ - Командой СТАН определяется станок, на который разрабатывается управляющая программа. Эта информация является обязательной, так

как по имени станка адаптер автоматически выбирает постпроцессор.

После нажатия клавиши СТАН на экране появится панель с двумя параметрами:

- Тип оборудования - информация для справки. Значение этого параметра устанавливается автоматически согласно выбранной модели станка.
- Модель станка.



ПРОЦЕССОР - Расчет траектории движения инструмента для всех существующих не исключенных из обработки технологических объектов.

Результатом работы процессора является файл **CLDATA** - последовательный набор команд перемещения инструмента, смены технологических параметров и т. д. в стандартном формате.

ПРОСМОТР CLDATA – выводит на экран CLDATA.

```

CLDATA
1 ИДИ ТОЧ/
40.049238 30.900902 0.000000;
1 ИДИ ТОЧ/
40.049238 34.900902 0.000000;
1 ХХОД;
1 ИДИ ТОЧ/
192.049238 34.900902 0.000000;
1 ИДИ ТОЧ/
192.049238 26.900902 0.000000;
1 ПОДАЧА/ 20.000000 мм/мин;
1 ИДИ ТОЧ/
40.049238 26.900902 0.000000;
1 ИДИ ТОЧ/
40.049238 30.900902 0.000000;
1 ХХОД;
1 ИДИ ТОЧ/
40.049238 31.900902 0.000000;
1 ИДИ ТОЧ/
192.049238 31.900902 0.000000;
1 ИДИ ТОЧ/
192.049238 22.900902 0.000000;
1 ПОДАЧА/ 20.000000 мм/мин;
1 ИДИ ТОЧ/
40.049238 22.900902 0.000000;
1 ИДИ ТОЧ/
40.049238 42.900902 0.000000;
0 КОНЕЦ;

```

Рис.12. Пример CLDATA

АДАПТЕР - Преобразование **CLDATA** в управляющую программу (**УП**). После завершения работы адаптера на экран можно вывести панель со значениями времени обработки и длины перфоленты.

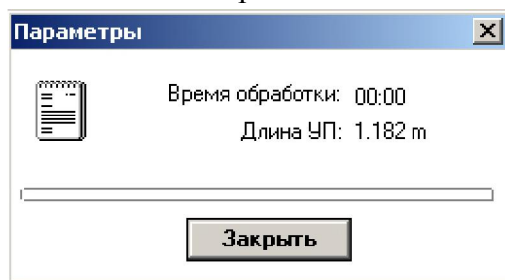
ПРОСМОТР УП – выводит на экран управляющую программу.

```

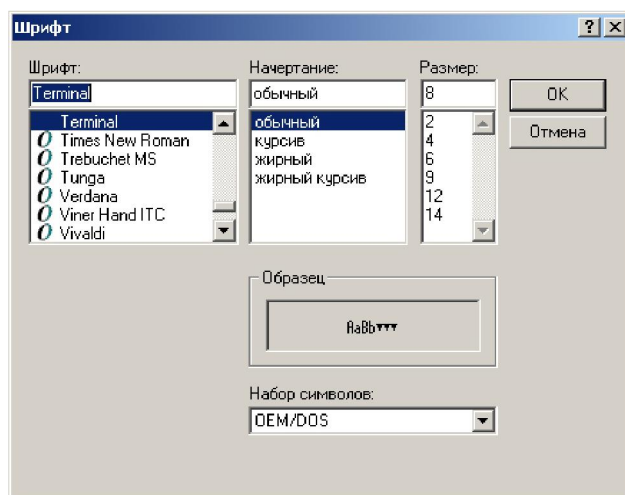
Управляющая Программа
FANK0020.AMK
%
L8100G00G90G43DR5ZR2
G01G09ZR3
G00ZR0
M1M17
M20M30
%
M1 T01
M2 L99
M9901 G00 G90
M3 S17 M03
M4 G00 X0 Y38901
M5 X192049
M6 G01 X40049 F20
M7 Y42901
M8 G00 X192050
M9 Y34901
M10 G01 X40049 F20
M11 Y38901
M12 G00 X192049
M13 Y30901
M14 G01 X40049 F20
M15 Y34900
M16 G00 X192050
M17 Y26901
M18 G01 X40049 F20

```


ВРЕМЯ&ДЛИНА – показывает время выполнения УП и длину перфоленты.

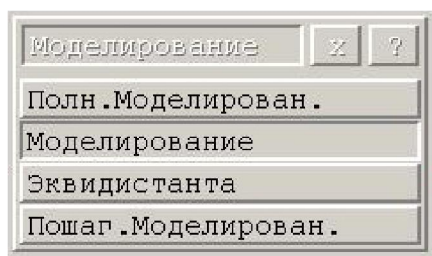


Для корректного отображения кириллицы в CLDATA следует установить шрифт «Terminal».



ПОЛНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ – моделирование обработки с выводом в информационной строке координат текущего положения инструмента.

МОДЕЛИРОВАНИЕ - моделирование обработки с выводом в информационной строке координат инструмента в конечной точки текущего элемента CLDATA.



ЭКВИДИСТАНТА - отображение траектории движения инструмента (пунктирная линия).



ПОШАГОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ – моделирование, при котором, на каждый клик мыши инструмент совершает одно перемещение.

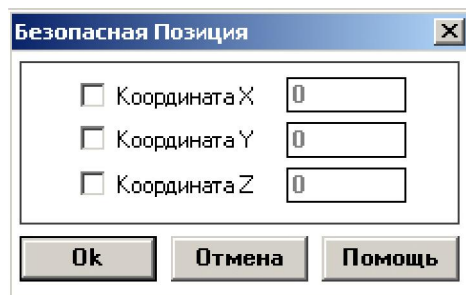
Технологические команды

Нажав на кнопку «КМНД», находящуюся над панелью «технологические переходы», мы можем перейти к панели «технологические команды». Нажав кнопку «ПРХД» мы вернемся обратно.

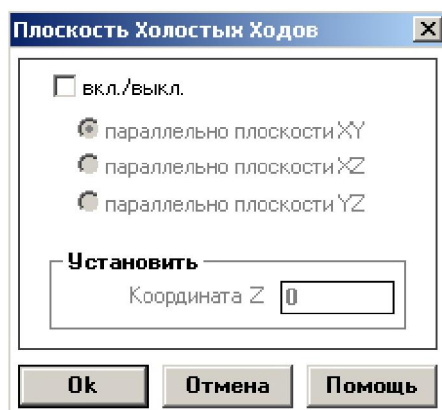
ПРХД	
ИНСТ	инструмент
НЦ	начало цикла
БЕЗП	безопасная позиция
ПХХ	плоскость холостых ходов
ПРЗХ	перезахват
СТОП	стоп
ОСТН	остановка
ОТВД	отвод
АППР	аппроксимация
ПОВР	повернуть

НАЧАЛО ЦИКЛА - это положение инструмента относительно детали, в начале и в конце обработки. **ХУ с экрана** – положение может быть выбрано вручную с помощью мыши рядом с моделью заготовки.

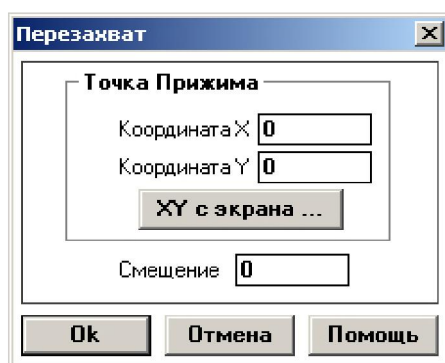
БЕЗОПАСНАЯ ПОЗИЦИЯ - это точка или плоскость, куда отводится инструмент перед сменой, перед поворотом детали в рабочем пространстве станка, перед сменой стола спутника, а также по команде **ОТВОД**.



ПЛОСКОСТЬ ХОЛОСТЫХ ХОДОВ - это плоскость, по которой выполняются холостые перемещения инструмента при переходе от одного КЭ к другому.



ПЕРЕЗАХВАТ - определяются положения креплений заготовки



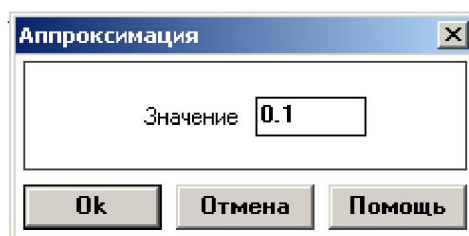
СТОП, ОСТАНОВКА, ОТВОД. Команда СТОП позволяет осуществлять программный останов станка и УП. При этом происходит выключение шпинделя и СОЖ. Для продолжения работы необходимо вмешательство оператора. При продолжении работы функции шпинделя и СОЖ восстанавливаются.

Команда ОСТАНОВ отличается от команды СТОП тем, что она отрабатывается в зависимости от положения специального переключателя на пульте УЧПУ.

Команды СТОП и ОСТАНОВ могут быть заданы только для тех станков, у которых реализованы данные функции.

При выполнении команды ОТВОД система формирует в УП последовательность команд перемещения инструмента из текущего положения в безопасную позицию.

АППРОКСИМАЦИЯ. Задается величина приращений по координатам.



Лабораторная работа №1

Токарная обработка

Цель работы: получить управляющую программу для обработки на токарном станке с ЧПУ тела вращения типа болт. **Порядок выполнения работы:**

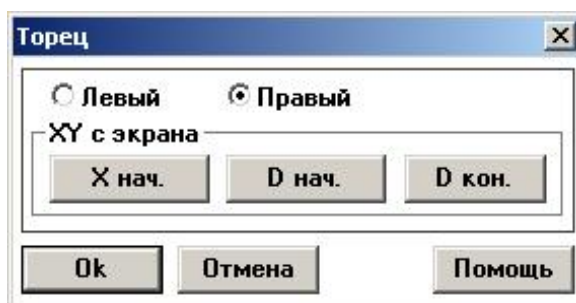
1. Нарисовать чертеж болта в ADEM 2D.
2. Определить вид обрабатываемых конструктивных элементов и их параметры (область, торец, резьба).
3. Определить параметры токарных переходов (назначить режимы резания для конкретного конструктивного элемента, выбрать вид режущего инструмента).
4. Задать технологическую команду - координаты начального положения инструмента.
5. Оформить маршрут обработки.
6. Рассчитать траектории движения инструментов (подрезного, проходного и резьбового резцов).
7. Смоделировать процесс обработки.
8. Получить управляющую программу.
9. Изучить файлы CLDATA. и УП для контроля траектории движения инструмента и правильности выполнения технологических переходов.
10. Рассчитать силу резания по назначенным режимам резания.

Проектирование токарной обработки в ADEM NC

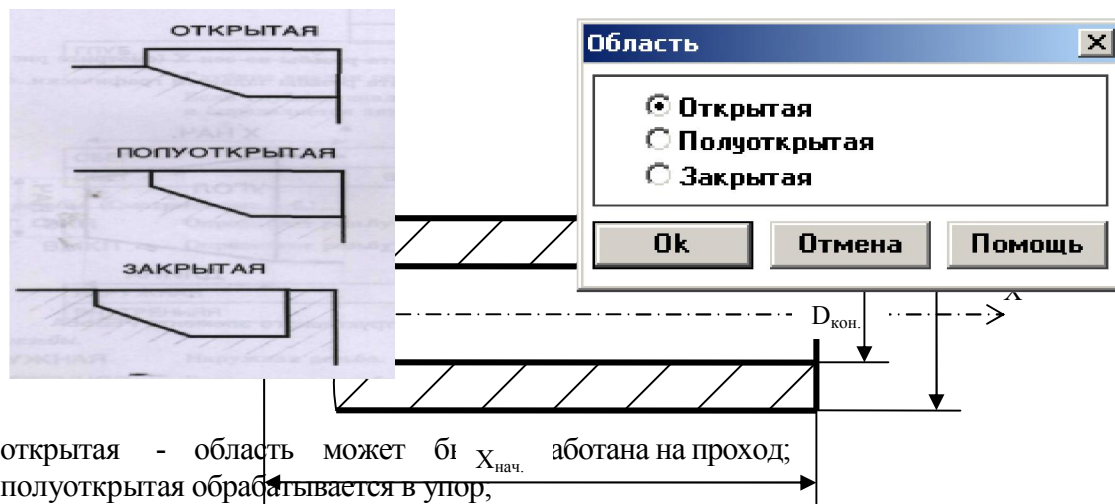
Описание конструктивных элементов типа **ОБЛАСТЬ, ТОРЕЦ, РЕЗЬБА**. Конструктивный элемент - это элемент детали, обрабатываемый за один технологический переход. Процесс описания конструктивного элемента состоит из трех этапов:

- выбор типа конструктивного элемента;
- задание параметров конструктивного элемента;
- задание контуров конструктивного элемента.

ТОРЕЦ - Конструктивный элемент, над которым выполняются токарные и сверлильно-расточные переходы.

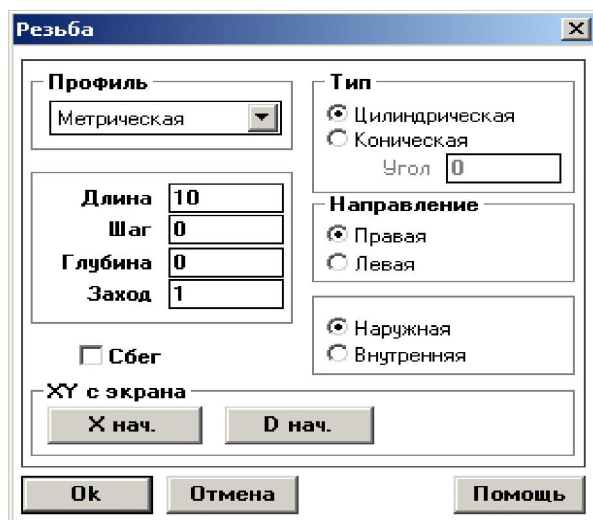


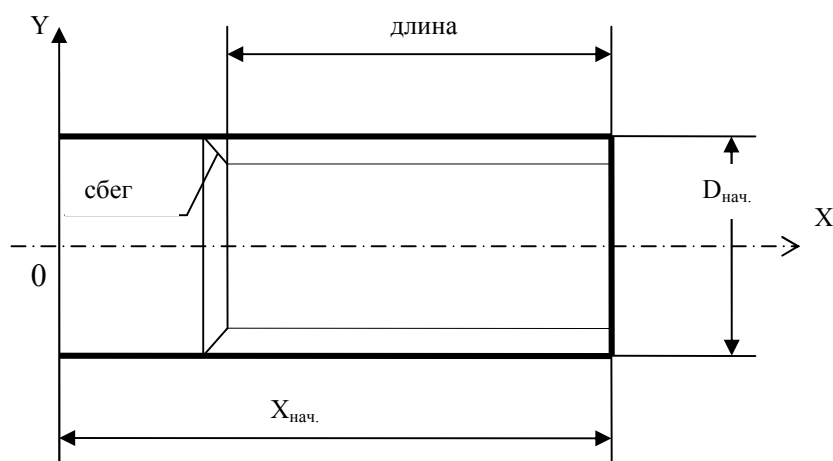
ОБЛАСТЬ - Токарная область - припуск, снимаемый при токарной обработке и ограничиваемый контурами детали и заготовки.



открытая - область может быть обработана на проход;
 полуоткрытая обрабатывается в упор,
 закрытая - область обрабатывается только на врезание.

РЕЗЬБА - Резьба, нарезаемая на токарном станке.





После задания параметров конструктивного элемента (тип области) необходимо задать ограничивающие контуры. В правом нижнем углу экрана появится подсказка: «КОНТУР I/ESC». Контур можно определить двумя способами:

- Цепочкой составляющих элементов. Кнопка ЦЕПЬ левого вертикального меню должна быть нажата. Для определения контура цепочкой составляющих элементов достаточно указать один из элементов этого контура, остальные элементы контура система определяет автоматически. Все элементы, составляющие контур, будут выделены более ярким цветом.
- Поэлементной отметкой. Кнопка ЦЕПЬ должна быть отжата. По окончании набора всех необходимых элементов необходимо нажать клавишу Esc.

Параметры токарных переходов

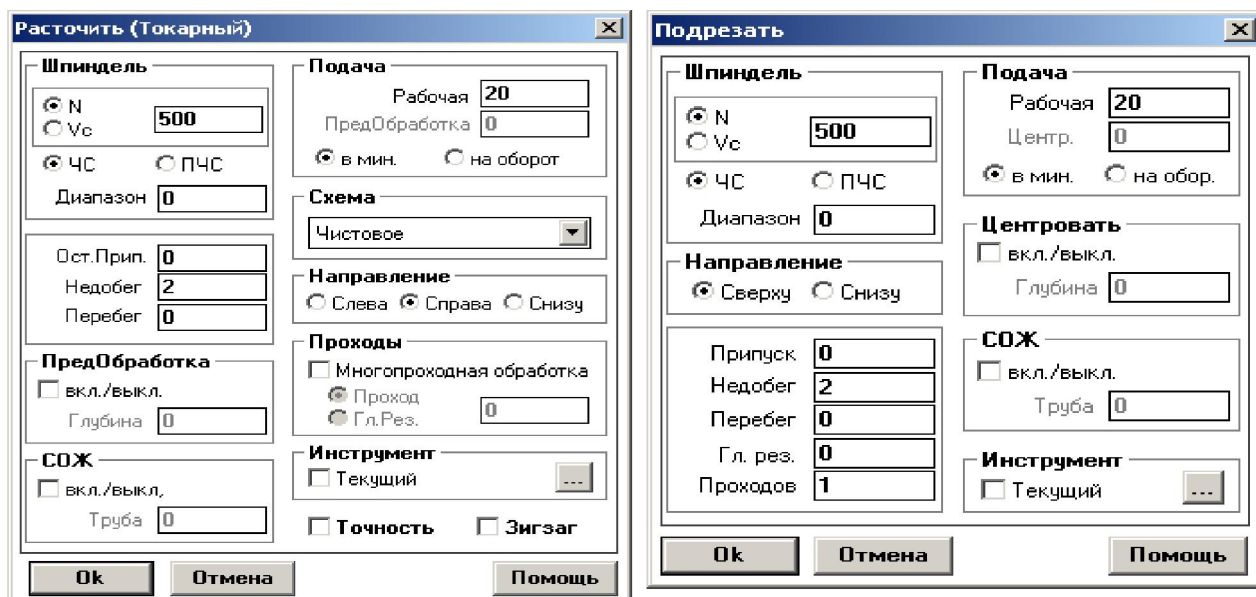
Описание технологического перехода состоит из двух этапов:

- выбор типа перехода;
- * задание параметров перехода.

Меню переходов располагается вдоль правого края экрана. Каждая команда соответствует определенному типу перехода.

Точить	
Шпиндель <input checked="" type="radio"/> N <input type="radio"/> Vc <input type="text" value="500"/> <input checked="" type="radio"/> ЧС <input type="radio"/> ПЧС Диапазон <input type="text" value="0"/>	Подача Рабочая <input type="text" value="20"/> ПредОбработка <input type="text" value="0"/> <input checked="" type="radio"/> в мин. <input type="radio"/> на оборот
Ост. Прип. <input type="text" value="0"/> Недобег <input type="text" value="2"/> Перебег <input type="text" value="0"/>	Схема <input type="text" value="Чистовое"/>
ПредОбработка <input type="checkbox"/> вкл./выкл. Глубина <input type="text" value="0"/>	Направление <input type="radio"/> Слева <input checked="" type="radio"/> Справа <input type="radio"/> Сверху
СОЖ <input type="checkbox"/> вкл./выкл. Труба <input type="text" value="0"/>	Проходы <input type="checkbox"/> Многопроходная обработка <input checked="" type="radio"/> Проход <input type="text" value="0"/> <input checked="" type="radio"/> Гл. Рез.
<input type="checkbox"/> Точность <input type="checkbox"/> Зигзаг	Инструмент <input type="checkbox"/> Текущий <input type="text" value="..."/>
<input type="button" value="Ok"/> <input type="button" value="Отмена"/> <input type="button" value="Помощь"/>	

Нарезать Резьбу (Токарный)	
Шпиндель <input checked="" type="radio"/> N <input type="radio"/> Vc <input type="text" value="500"/> <input checked="" type="radio"/> ЧС <input type="radio"/> ПЧС Диапазон <input type="text" value="0"/>	Схема нарезки <input checked="" type="radio"/> Профиль <input type="radio"/> Смещ. <input type="text" value="0"/>
Недобег <input type="text" value="2"/> Перебег <input type="text" value="0"/>	Направление <input type="radio"/> Слева <input checked="" type="radio"/> Справа
СОЖ <input type="checkbox"/> вкл./выкл. Труба <input type="text" value="0"/>	Проходы <input checked="" type="checkbox"/> Авто <input checked="" type="radio"/> Кол-во <input type="text" value="0"/> <input type="radio"/> Гл. рез.
<input type="checkbox"/> Точность <input type="checkbox"/> Зигзаг	Инструмент <input type="checkbox"/> Текущий <input type="text" value="..."/>
<input type="button" value="Ok"/> <input type="button" value="Отмена"/> <input type="button" value="Помощь"/>	



ПОДАЧА- рабочая подача в мм/мин.(ЗОБ в мм/об.);

N- частота вращения шпинделя, об/мин. (**V_c** - скорость резания, м/мин);

ДИАПАЗОН - номер механического диапазона; **ШПИНДЕЛЬ** - направление вращения шпинделя (**ЧС** - по часовой стрелке, **ПЧС** - против часовой стрелки);

ЧИСТОВОЕ - схема точения (черновое, предварительное, чистовое и др.);

СПРАВА - направление обработки;

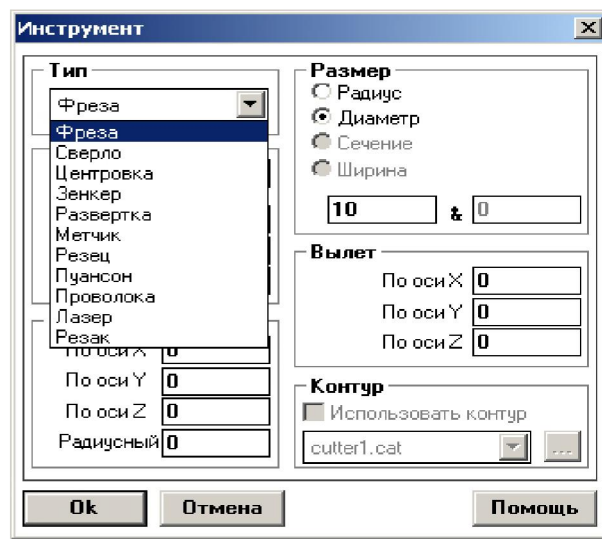
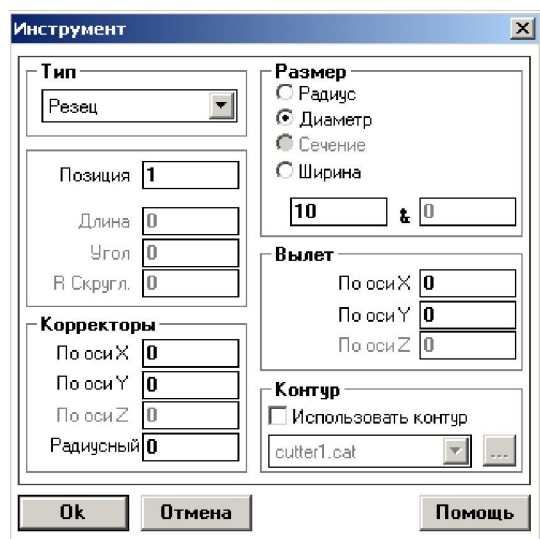
ГЛ. РЕЗ/ПРОХОД - шаг обработки (**ВЫКЛ** - однопроходная обработка, **ПРОХОД** - количество одинаковых по глубине проходов, **ГЛ.РЕЗ** - глубина резания, количество проходов определяется системой);

ОСТ. ПРИП- величина припуска, оставляемая на детали после выполнения прохода;

НЕДОБЕГ - расстояние от инструмента до детали, на котором выполняется переход с холостого хода на рабочую подачу; **ПЕРЕБЕГ** - расстояние, на которое инструмент выходит из детали на рабочей подаче; **СОЖ** - управление охлаждением;

ПРЕДВ. ОБРАБ. - предварительное снятие дефектного слоя; **ТОЧНОСТЬ** - отказ от разбивки последнего прохода на два: 2/3 и 1/3 глубины прохода.

ИНСТРУМЕНТ – позволяет выбрать и настроить инструмент для определенного технологического перехода:



ПОЗИЦИЯ - номер позиции инструмента в револьверной головке или магазине инструментов;

РАДИУС (ДИАМЕТР, СЕЧЕНИЕ, ШИРИНА)- радиус при вершине резца (радиус фрезы, пуансона), диаметр фрезы или сверла;

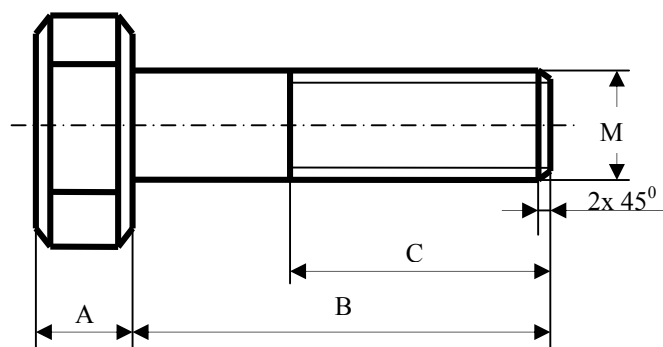
УГОЛ - угол ориентации пуансона относительно положительного направления оси X (при точении равен 0);

ВЫЛЕТ X, ВЫЛЕТ Y, ВЫЛЕТ Z - величина вылета инструмента по осям X, Y, Z;

КОРРЕКТОРЫ: По оси X, Y, Z - номера линейных корректоров по осям X, Y, Z;

РАДИУСНЫЙ - номер радиусного корректора инструмента.

Варианты заданий



Номер варианта	Размеры, мм			М
	А	В	С	
1	10	60	40	M10x1,25
2	15	70	45	M12x1,25
3	20	80	50	M16x1,5
4	15	90	55	M18x1,5
5	20	90	60	M16x1,5

Расчет режимов резания при точении

1. Определение глубины резания, t мм.

Глубина резания определяется в основном величиной припуска на обработку Δ , мм.

$$\Delta = \frac{D - D_0}{2},$$

где D, D_0 - соответственно диаметр заготовки и детали.

При черновой обработке: $t_{черн} = (2/3 - 3/4) \Delta$;

при чистовой обработке: $t_{чист} = (1/3 - 1/4) \Delta$. $\Delta < 0,1 - 0,4$ мм для $Ra = 2,5 - 0,63$ мкм.

2. Определение подачи, S мм

Величину подачи определяем по табл.3 приложения 3 в зависимости от глубины резания t . Уточняем принятое значение подачи по паспорту станка.

3. Определение скорости резания V , м/мин.

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} k_v$$

где C_v - коэффициент и показатели степени x, y, m определяем по табл.1 приложения 3;

T - период стойкости инструмента, $T = 30 - 60$ мин;

$$k_v = k_{mv} k_{nv} k_{uv},$$

k_{mv} - коэффициент, учитывающий влияния материала заготовки:

$$k_{mv} = k_{\Gamma} \left(\frac{750}{\sigma_s} \right)^{n_v}$$

σ_s - предел прочности обрабатываемого материала, см. приложение 2;

k_T -коэффициент, учитывающий группу стали по обрабатываемости, при обработке конструкционных сталей инструментом из твердого сплава и быстрорежущей стали $k_T = 1$;
 n_v - показатель степени: $n_v = -1$ при $\sigma_s < 450$, $n_v = 1,75$ при $\sigma_s > 450$;
 k_{nv} - коэффициент, учитывающий влияние состояния поверхности заготовки: $k_{nv} = 0,8 - 0,85$ для отливок; $k_{nv} = 0,9$ - для проката; $k_{nv} = 0,8$ - для поковок;
 k_{uv} - коэффициент, учитывающий влияние инструментального материала: $k_{uv} = 1,0$ для Т15К6; $k_{uv} = 0,4$ для ВК8; $k_{uv} = 1,0$ для Р6М5; $k_{uv} = 0,5$ для У12А.

4. Определение частоты вращения заготовки n , об/мин.

$$n = \frac{1000V}{\pi D}$$

Уточняем n по паспорту станка n_{cm} (см. приложение 1).

Уточняем скорость резания по принятому n_{cm} :

$$V_{факт} = \frac{\pi D n_{cm}}{1000}$$

5. Проверка расчетных режимов резания по мощности резания $N_{рез}$, кВт

$$N_{рез} < N_{эл.д} \eta, N_{рез} = \frac{P_z V_{факт}}{60 \cdot 1020},$$

где P_z - тангенциальная (главная) составляющая силы резания:

$$P_z = 10 C_p t^x s^y V^n k_p$$

где C_p - коэффициент и показатели степени x, y, n определяем по табл.2 приложения 3.

K_p - коэффициент, учитывающий фактические условия резания:

$$k_p = k_M k_\phi k_\gamma k_\lambda k_r,$$

где k_M - коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала:

$$k_M = \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^n$$

где n - показатель степени, при обработке конструкционных сталей резцами из твердого сплава $n = 0,75$, из быстрорежущей стали - $n = 0,35$;

k_ϕ - коэффициент, учитывающий влияние главного угла в плане, см. табл.2.

Таблица 2.

φ, град	30	45	60	90
k_ϕ	1,08	1,0	0,94	0,88

k_γ - коэффициент, учитывающий влияние переднего угла, см. табл.3.

Таблица 3

γ , град	-15	0	10
k_γ	1,25	1,1	1,0

k_λ - коэффициент, учитывающий влияние угла наклона главной режущей кромки,

$k_\lambda = 1$.

k_r - коэффициент, учитывающий влияние радиуса при вершине резца, см.табл.4.

Таблица 4

г, мм	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
k_r	0,87	0,93	1,0	1,04	1,1

$N_{эл.д}$ - действительная мощность электродвигателя станка, кВт, см.приложение 1;

η - коэффициент полезного действия электродвигателя, см. приложение 1.

Для осуществления процесса резания действительная мощность электродвигателя станка $N_{эл.д}$ должна быть больше или в крайнем случае равна мощности резания с учетом коэффициента полезного действия электродвигателя η .

Расчет режимов резания для резьбонарезания

1.Определение глубины резания, t мм.

Глубина резания при нарезании резьбы за один проход равна высоте резьбового профиля или части высоты профиля, соответствующей числу рабочих ходов i , необходимых для образования резьбы, см. табл.5.

Таблица 5.

Материал резца	Шаг резьбы P , мм	Число рабочих ходов, i	
		Черновые	Чистовые
Твердый сплав	1,5	3	2
	2,0	3	
	3,0	5	
	4,0	6	
	5,0	7	
	6,0	8	
Быстрорежущая сталь	1,25 – 1,5	4	2
	1,75	5	3
	2,0 – 3,0	6	4
	3,5 – 4,5	7	
	5,0 – 5,5	8	
	6,0	9	

2.Определение подачи S ,мм/об.

Величина подачи равна шагу резьбы.

3.Определение скорости резания V , м/мин

$$V = \frac{C_v}{T m_t^x s^y} k_v$$

где коэффициент C_v , период стойкости T и показатели степени x, y, m определяем по табл. 16 приложения 3;

$$k_v = k_{mv} k_{cv} k_{uv},$$

k_{mv}, k_{uv} - значения коэффициентов, см. «Расчет режимов для точения»;

k_{cv} - коэффициент, учитывающий способ нарезания резьбы:

$k_{cv}=1$ - при нарезании резьбы черновым и чистовым резцами;

$k_{cv}=0,75$ - при нарезании резьбы чистовым резцом.

4. Определение частоты вращения заготовки n , об/мин.

$$n = \frac{1000V}{\pi D}.$$

Уточняем n по паспорту станка $n_{ст}$, см. приложение 1.

Уточняем скорость резания по принятому $n_{ст}$:

$$V_{факт} = \frac{\pi D n_{ст}}{1000}$$

5. Проверка расчетных режимов резания по мощности резания $M_{рез}$, кВт

$$N_{рез} < N_{эл.д} \eta, N_{рез} = \frac{P_z V_{факт}}{60 \cdot 1020},$$

где P_z - тангенциальная (главная) составляющая силы резания:

$$P_z = \frac{10 C_p P^y}{t^u} k_p,$$

где коэффициент C_p и показатели степени x, y, u определяем по табл.18 приложения 3.
 $k = k_M$ - коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала, см. «Расчет режимов резания для точения».

Для осуществления процесса резания действительная мощность электродвигателя станка $N_{эл.д}$ должна быть больше или в крайнем случае равна мощности резания с учетом коэффициента полезного действия электродвигателя η .

Список контрольных вопросов:

1. Перечислить основные конструктивные элементы токарной обработки в системе ADEM.
2. Описать основные параметры конструктивного элемента РЕЗЬБА.
3. Каким образом задается глубина резания в системе ADEM при токарном переходе?
4. Перечислить основные факторы и режимы резания при точении, в зависимости от которых определяется допустимая скорость резания.
5. Какой функцией в управляющей программе задается шаг резьбы?
6. Расшифровать полученную в ходе выполнения лабораторной работы управляющую программу или CLDATA.

Лабораторная работа №2

Фрезерная обработка

Цель работы: получить управляющую программу для обработки фасонных поверхностей на фрезерном станке с ЧПУ.

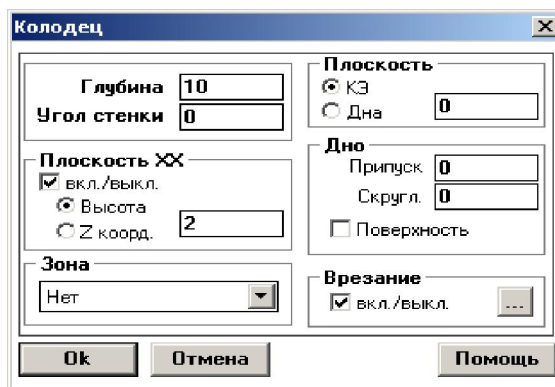
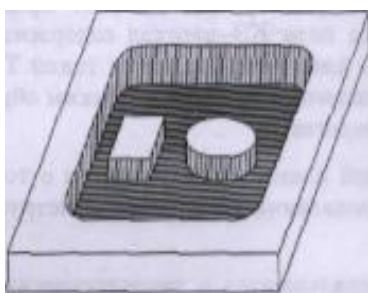
Порядок выполнения работы:

1. Нарисовать чертеж поверхности в ADEM 2D.
2. Определить вид обрабатываемых конструктивных элементов и их параметры (колодец, уступ, стенка, окно, плоскость, паз, отверстие).
3. Определить параметры фрезерных переходов (назначить режимы резания для конкретного конструктивного элемента, выбрать вид режущего инструмента).
4. Задать технологическую команду - координаты начального положения инструмента.
5. Оформить маршрут обработки.
6. Рассчитать траектории движения инструментов (торцевой фрезы).
7. Смоделировать процесс обработки.
8. Получить управляющую программу.
9. Изучить файлы CLDATA и УП для контроля траектории движения инструмента и правильности выполнения технологических переходов.
10. Рассчитать силу резания по назначенным режимам резания.

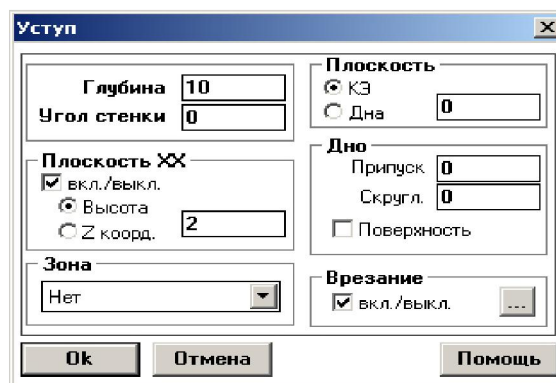
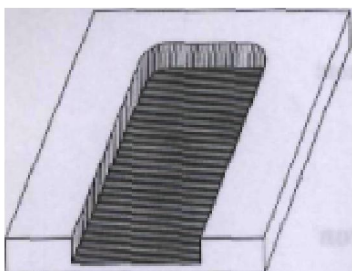
Проектирование фрезерной обработки в ADEM NC

Описание конструктивных элементов типа **КОЛОДЕЦ, УСТУП, СТЕНКА, ОКНО, ПОЛОСТЬ, ПАЗ, ОТВЕРСТИЕ.**

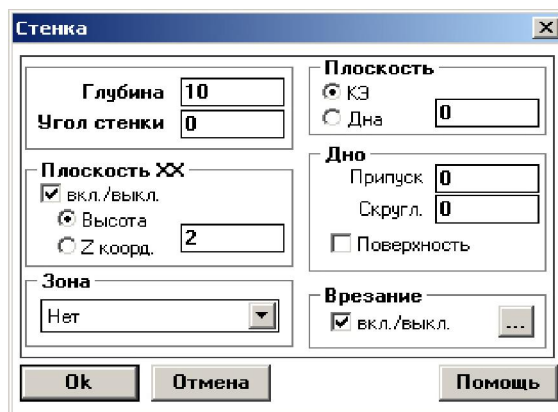
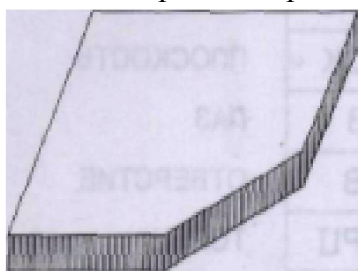
КОЛОДЕЦ - конструктивный элемент, у которого внешний ограничивающий контур всегда замкнут и дно расположено ниже плоскости привязки. Внутри колодца могут располагаться внутренние необрабатываемые элементы (острова), которые также описываются замкнутыми контурами.



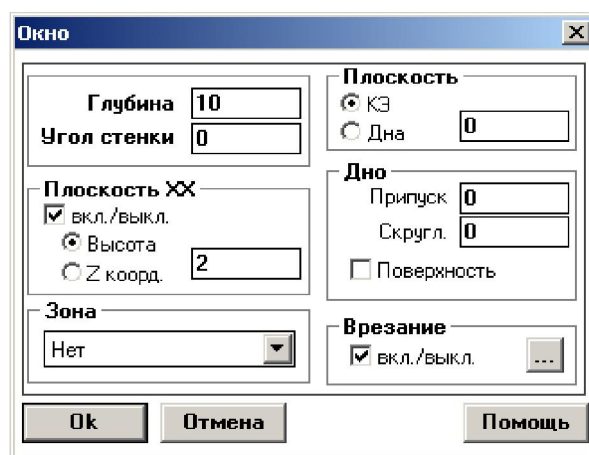
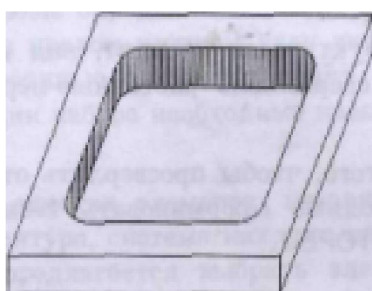
УСТУП - конструктивный элемент, у которого часть ограничивающего контура лежит в плоскости дна.



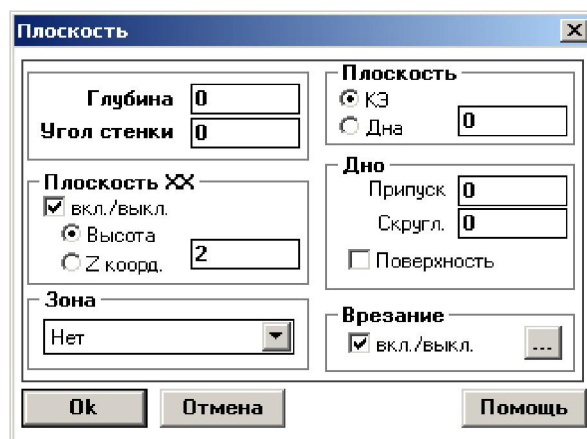
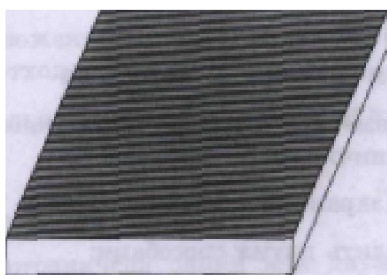
СТЕНКА - Конструктивный элемент, имеющий замкнутый или незамкнутый контур, и обработка которого производится с внешней стороны.



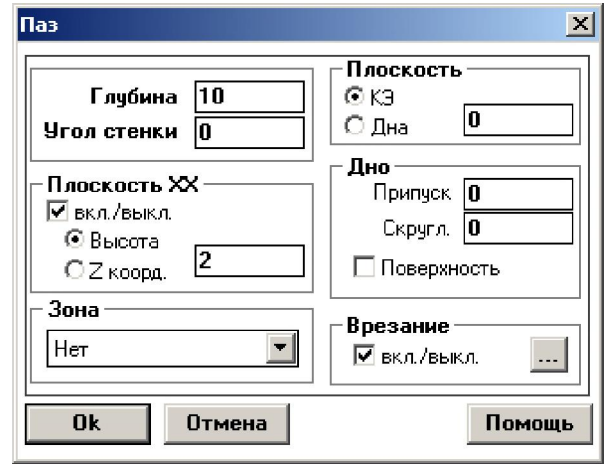
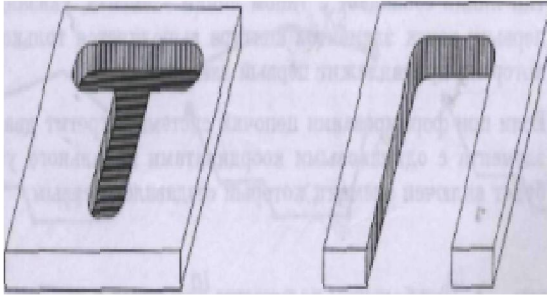
ОКНО - Конструктивный элемент, у которого отсутствует дно. Обработка производится внутри контура.



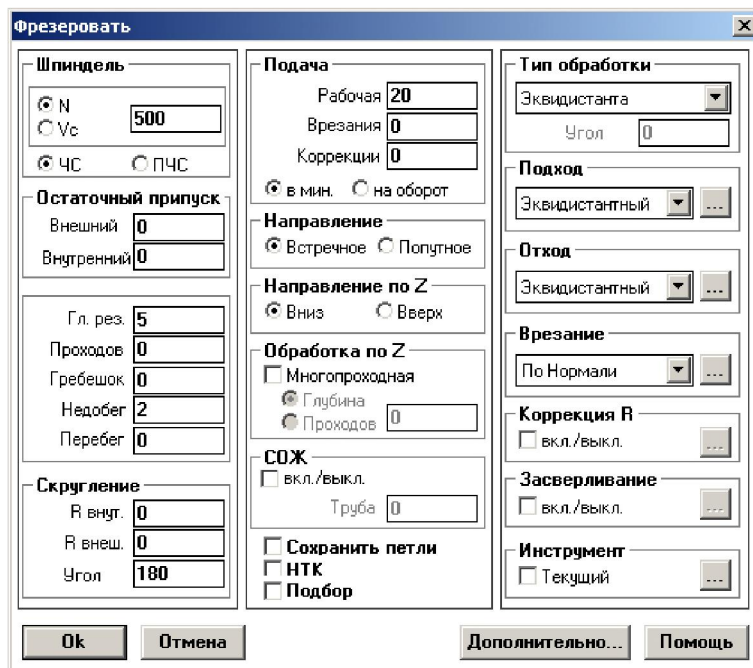
ПЛОСКОСТЬ - Конструктивный элемент, не имеющий глубины. Ограничивающий контур должен быть замкнутым. На плоскости могут располагаться острова (необработанные зоны, которые описываются замкнутыми контурами).



ПАЗ - Конструктивный элемент, разновидность колодца или окна, который имеет постоянную ширину. В пазе не должно быть островов.



Параметры фрезерных переходов



ВРЕЗАНИЕ ВКЛ - врезания в точку, координаты которой определяются системой автоматически или задаются пользователем **ВЫКЛ** - точка врезания не определяется, инструмент из текущей позиции опускается в плоскость обработки и на рабочей подаче перемещается в точку начала обработки).

ПРИП.ДНА - припуск на дне конструктивного элемента.

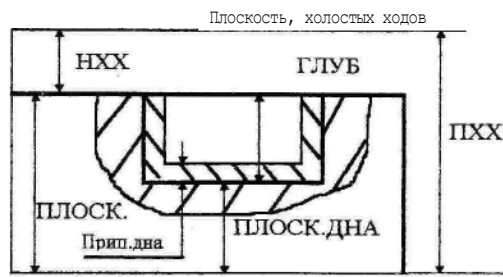


Рис.13. Глубина конструктивного элемента и плоскость холостых ходов

ЭКВИДИСТАНТА - схемы фрезерования (эквидистанта -траектория движения центра инструмента - фрезы): эквидистанта - выборка от центра к периферии; спираль - выборка материала по спирали и т.д.(см.рис.14).

ГЛ.РЕЗ - глубина резания, слой металла, снимаемый за один проход в плоскости XY (см.рис. 12).

ПРОХОД - число проходов при обработке конструктивного элемента.

К. ВНУТ., К ВНЕШ. - радиусы округления внутренних и внешних углов эквидистанты.

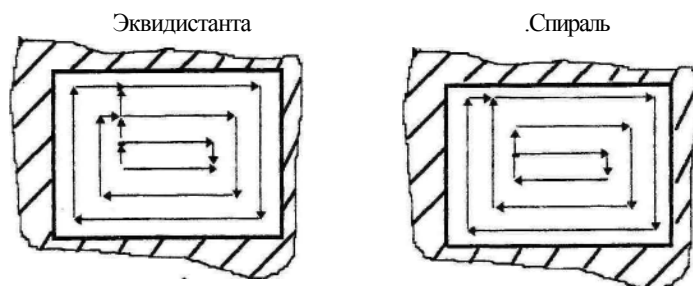


Рис. 14. Схемы фрезерования

СКРУГЛ. - предельная величина внешних углов эквидистанты, подлежащих округлению, измеряется со стороны металла (если нужно скруглять все внешние углы эквидистанты, необходимо установить 180 градусов).

S.КОР - корректировка рабочей подачи в углах конструктивного элемента (т.к. в углах увеличивается объем снимаемого металла).

S.ВРЕЗ - подача врезания в металл из точки недобега.

ГЛ./КОЛ.ВРЕЗ - величина глубины врезания и количество одинаковых по глубине врезаний (**ВЫКЛ** - обработка производится за одно врезание).

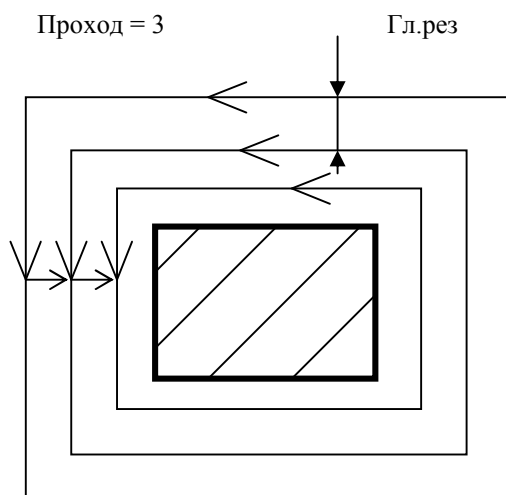


Рис. 12.Глубина резания и число проходов при фрезеровании

ВРЕЗАНИЕ ПО НОРМ. - схема врезания:

ВРЕЗАНИЕ ПО НОРМ.- врезание по нормали на всю глубину;

ВРЕЗАНИЕ L - косое врезание с возвратом в точку врезания;

ВРЕЗАНИЕ L НАКЛОН - косое врезание без возврата в точку врезания;

ВРЕЗАНИЕ R - радиусное врезание.

ПОДХОД ЭКВИД. - подход к контуру по биссектрисе угла в точке начала обработки на расстоянии 1 мм (*L* - подход под углом; *R* - подход по дуге; **ВЫКЛ** - движение инструмента непосредственно в точку начала обработки контура).

ПОДБОР - подбор необработанных зон (параметр **ПОДБОР ВКЛ** можно использовать только для технологических объектов, параметрически связанных по конструктивному элементу).

Для создания двух технологических объектов, один из которых будет дорабатывать то, что оказалось не обработано другим, необходимо:

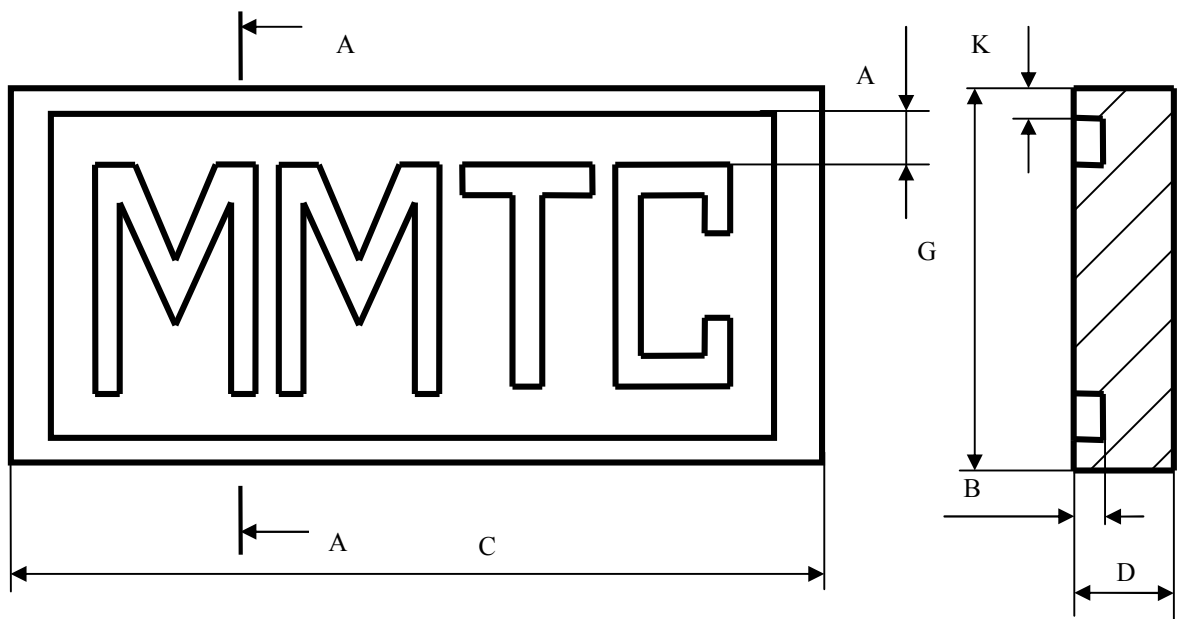
- создать технологический объект, например, ФРЕЗЕРОВАТЬ/КОЛОДЕЦ;
- командой **Дубл** скопировать этот технологический объект;
- воспользоваться командой **Изм** и описать новый переход, в котором должны быть установлены:
 - инструмент меньшего диаметра, чем в первом технологическом переходе;
 - параметр **ПОДБОР ВКЛ**.

НТК - начальная точка контура, с которой начиналось построение в ADEM 2D для соединения эквидистант при эквидистантной обработке (ВЫКЛ- соединение эквидистант по кратчайшему расстоянию, ВКЛ - соединение эквидистант в направлении начальной точки контура).

КОНТРОЛЬ ЭКВ - контроль эквидистант на самопересечение (ВКЛ - обработка с удалением петель, получающихся при построении эквидистант, ВЫКЛ - обработка без удаления петель).

КОРРЕКЦИЯ - радиусная коррекция при радиусном ПОДХОДЕ/ОТХОДЕ инструмента.

Варианты заданий



Номер варианта	Размеры, мм					
	A	B	C	D	E	K
1	10	10	350	15	2	5
2	15	5	450	20	5	5
3	20	10	500	15	5	5
4	15	5	500	20	2	5
5	20	10	600	15	5	5

Расчет режимов резания при фрезеровании

1. Определение глубины t , мм и ширины фрезерования B , мм

Глубина резания определяется в основном величиной припуска на обработку Δ , мм.

При черновой обработке: $t_{черн} = (2/3 - 3/4) \Delta$;

при чистовой обработке: $t_{чист} = (1/3 - 1/4) \Delta$. $\Delta < 0,1 - 0,4$ мм для $Ra = 2,5 - 0,63$ мкм. При торцовом фрезеровании $D = (1,25 - 1,5)B$.

2. Определение подачи на зуб S_z , мм

Величину подачи определяем по табл. 10-12 приложения 3.

3. Определение скорости резания V , м/мин

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} k_v,$$

z – число зубьев фрезы, принимается по табл. 19 приложения 3.

Коэффициент C_v и показатели степени x, y, m, u, p, q определяем по табл. 13 приложения 3;

T – период стойкости инструмента, принимается по табл. 14 приложения 3.

$$k_v = k_{mv} k_{nv} k_{uv},$$

k_{mv} – коэффициент, учитывающий влияния материала заготовки, см. «Расчет режимов резания для точения», только показатель степени n_v , принимаем $n_v = 0,9$ для инструмента из быстрорежущей стали, $n_v = 1,0$ для инструмента из твердого сплава;

k_{mv}, k_{uv} – поправочные коэффициенты, см. «Расчет режимов резания для точения».

4. Определение частоты вращения заготовки n , об/мин

$$n = \frac{1000V}{\pi D}.$$

Уточняем n по паспорту станка $n_{см}$, см. приложение 1.

Уточняем скорость резания по принятому $n_{см}$:

$$V_{факт} = \frac{\pi D n_{см}}{1000}$$

5. Проверка расчетных режимов резания по мощности резания $N_{рез}$, кВт

$$N_{рез} < N_{эл.д} \eta, N_{рез} = \frac{P_z V_{факт}}{60 \cdot 1020},$$

где P_z – тангенциальная составляющая силы резания:

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^n z}{D^q n^w} k_p,$$

где коэффициент C_p и показатели степени x, y, n, q, w определяем по табл. 15 приложения 3.

k_p – коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала, см. «Расчет режимов резания для точения», только показатель степени $n = 0,3$.

Для осуществления процесса резания действительная мощность электродвигателя станка $N_{эл.д}$ должна быть больше или в крайнем случае равна мощности резания с учетом коэффициента полезного действия электродвигателя η .

Список контрольных вопросов

1. Описать основные параметры конструктивного элемента КОЛОДЕЦ.
2. Изложить методику реализации фрезерного перехода ПОДБОР.
3. Каким образом осуществляется эквидистантная схема фрезерования?

4. Перечислить основные этапы получения управляющей программы в ADEM NC.
5. Перечислить основные факторы и режимы резания при фрезеровании, в зависимости от которых определяется допустимая скорость резания.
6. Расшифровать полученную в ходе выполнения лабораторной работы управляющую программу.

Лабораторная работа №3

Сверлильно-расточная обработка

Цель работы: получить управляющую программу для обработки фасонных поверхностей на сверлильном станке с ЧПУ.

Порядок выполнения работы:

1. Нарисовать чертеж обрабатываемых отверстий в ADEM 2D.
2. Определить вид обрабатываемого конструктивного элемента и его параметры (отверстие).
3. Определить параметры сверлильно-расточных переходов (назначить режимы резания для конкретного конструктивного элемента, выбрать вид режущего инструмента).
4. Задать технологическую команду - координаты начального положения инструмента..
5. Оформить маршрут обработки.
6. Рассчитать траектории движения инструментов (центровки, сверла, зенкера, развертки, метчика),
7. Смоделировать процесс обработки.
8. Получить управляющую программу.
9. Изучить файлы CLDATA и УП для контроля траектории движения инструмента и правильности выполнения технологических переходов.
10. Рассчитать силу резания по назначенным режимам резания.

Проектирование сверлильно-расточной обработки в ADEM NC

ОТВЕРСТИЕ (группа отверстий) - конструктивный элемент, над которым выполняются сверлильно-расточные и фрезерный переходы. Последовательности обработки отверстий соответствует порядку их отметки на модели.

Глубина	10
Угол стенки	0
Плоскость	<input checked="" type="radio"/> КЗ <input type="radio"/> Дна 0
Дно	Припуск 0 Скругл. 0 <input type="checkbox"/> Поверхность
Плоскость ХХ	<input checked="" type="checkbox"/> вкл./выкл. <input checked="" type="radio"/> Высота 2 <input type="radio"/> Z коорд.
Зона	Нет
Врезание	<input checked="" type="checkbox"/> вкл./выкл. ...

Параметры сверлильно-расточных переходов

ВЫСТОЙ - величина выстоя в секундах, **ВЫСТОЙ N** - в оборотах шпинделя.

ВЫВОД - величина вывода при многопроходном сверлении.

При комплексной обработке осевым инструментом (центровать, сверлить, зенкеровать, развернуть, нарезать резьбу) рационально использовать параметрическую связь по конструктивному элементу (отверстие).

Центровать [X]

Шпиндель

N Vc

ЧС ПЧС

Глубина
Недобег

Подача
Рабочая

в мин. на обор.

СОЖ

вкл./выкл.
Труба

Инструмент

Текущий [...]

Ok **Отмена** **Помощь**

Сверлить [X]

Шпиндель

N Vc

ЧС ПЧС

Глубина
Недобег
Перебег

Подача
Рабочая

в мин. на обор.

Проход

Многопроходная

Кол-во
 Глубина
Уменьшить
Выход

Выстой

Значение

в сек. в обор.

Инструмент

Текущий [...]

СОЖ

вкл./выкл.
Труба

Ok **Отмена** **Помощь**

Развернуть [X]

Шпиндель

N Vc

ЧС ПЧС

Глубина
Недобег
Перебег

Подача
Рабочая

в мин. на обор.

СОЖ

вкл./выкл.
Труба

Инструмент

Текущий [...]

Ok **Отмена** **Помощь**

Зенкеровать [X]

Шпиндель

N Vc

ЧС ПЧС

Глубина
Недобег
Перебег

Подача
Рабочая

в мин. на обор.

Выстой

Значение

в сек. в обор.

СОЖ

вкл./выкл.
Труба

Инструмент

Текущий [...]

Ok **Отмена** **Помощь**

Нарезать Резьбу [X]

Шпиндель

N Vc

ЧС ПЧС

Глубина
Недобег
Перебег

Подача
Рабочая

в мин. на обор.

СОЖ

вкл./выкл.
Труба

Инструмент

Текущий [...]

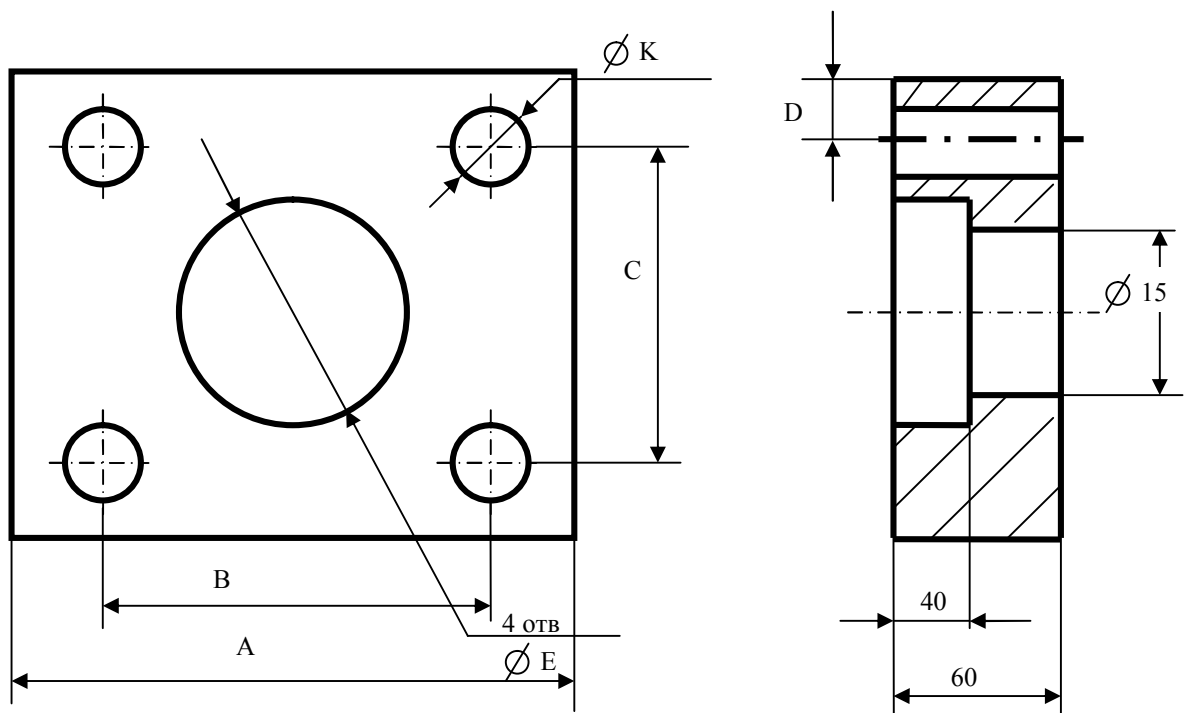
Ok **Отмена** **Помощь**

Создание технологических объектов, параметрически связанных по конструктивному элементу, осуществляется с помощью команд управления технологическими объектами в следующей последовательности:

- командой **Дубл** создаются одинаковые технологические объекты;
- выбирается команда **Изм** (при этом выдается запрос «**Что изменить?**») и описывается новый переход.

Изменение параметров или геометрии конструктивного элемента в одном технологическом объекте автоматически приводит к изменению конструктивного элемента в других технологических объектах. Таким образом, можно **СВЕРЛИТЬ, ЗЕНКЕРОВАТЬ, РАЗВЕРНУТЬ, НАРЕЗАТЬ РЕЗЬБУ** одно и то же **ОТВЕРСТИЕ**.

Варианты заданий



Номер варианта	Размеры, мм					
	A	B	C	D	E	K
1	200	120	100	15	10	30
2	250	100	120	20	5	25
3	200	120	100	15	8	35
4	250	130	120	20	8	35
5	200	110	100	15	10	30

Расчет режимов резания при обработке осевым инструментом

1. Определение глубины резания, t , мм.

При сверлении $t=0,5D$,

где D - диаметр обрабатываемого отверстия, мм.

При зенкеровании и развертывании $t=0,5(D - d)$,

где d - диаметр предварительно полученного отверстия.

$t_{\text{зенкер}} = 1 \dots 4$ мм, $t_{\text{развертка}} = 0,4 \dots 0,5$ мм.

2. Определение подачи s , мм.

Величину максимально допустимой подачи по прочности сверла определяем по табл.4-6 приложения 3.

3. Определение скорости резания V , м/мин

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m s^y} k_v \text{ - для сверления,}$$

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x s^y} k_v \text{ - для зенкерования и развертывания,}$$

где коэффициент C_v и показатели степени x, y, m, q определяем по табл.8 приложения 3;
 T - значение периода стойкости инструмента, принимаем по табл.20 приложения 3;

$$k_v = k_m k_l k_u,$$

k_m - коэффициент, учитывающий влияния материала заготовки, см. «Расчет режимов резания для точения», только показатель степени $n_y = -0,9$ для инструмента из быстрорежущей стали, $n_y = 1,0$ для инструмента из твердого сплава.

k_u - поправочный коэффициент, см. «Расчет режимов резания для точения»;

k_l - коэффициент, учитывающий глубину сверления, см.табл.6.

Таблица 6

Параметр	Сверление					Зенкерование развертывание
	3D	4D	5D	6D	8D	
Глубина отверстия, мм	3D	4D	5D	6D	8D	-
k_l	1,0	0,85	0,75	0,70	0,60	1,0

4. Определение частоты вращения заготовки n , об/мин

$$n = \frac{1000V}{\pi D}.$$

Уточняем n по паспорту станка $n_{см}$, см.приложение 1.

5. Проверка расчетных режимов резания по мощности резания $N_{рез}$, кВт

$$N_{рез} < N_{эл.д} \eta, N_{рез} = \frac{M_{кр} n}{9750},$$

где $M_{кр}$ - крутящий момент, Нм:

$M_{кр} = 10 C_m D^q s^y k_p$ - для сверления, $M_{кр} = 10 C_m D^q t^x s^y k_p$ - для зенкерования,
 коэффициент C_m и показатели степени x, y, q определяем по табл.9 приложения 3,

$$M_{кр} = \frac{C_p t^x s_z^y D z}{200} \text{ - для развертывания,}$$

где s_z - подача на зуб развертки, равная s/z , s - подача, мм/об,

z - число зубьев, $z \geq 6$,

коэффициент C_p и показатели степени x, y определяем по табл.2 приложения 3.

k_p - коэффициент, учитывающий фактические условия резания;

$$k_p = k_m$$

k_m - поправочный коэффициент, см. «Расчет режимов резания для точения», только показатель степени $n = 0,75$;

$N_{эл.д}$ - действительная мощность электродвигателя станка, кВт, см. приложение 1;

η - коэффициент полезного действия электродвигателя, см. приложение 1.

Для осуществления процесса резания действительная мощность электродвигателя

станка $N_{эл.д}$ должна быть больше или в крайнем случае равна мощности резания с учетом коэффициента полезного действия электродвигателя η .

Расчет режимов резания для нарезания резьбы метчиками и плашками

Метчики и плашки работают с самоподачей, и из параметров режима резания рассчитывается скорость резания V , м/мин:

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} k_v,$$

где коэффициент C_v , среднее значение периода стойкости T и показатели степени q , y , m определяются по табл.16 приложения 3;

$$k_v = k_m k_z k_T,$$

$k_m k_z k_T$ - значения поправочных коэффициентов определяем по табл.17 приложения 3.

4. Определение частоты вращения заготовки n , об/мин

$$n = \frac{1000V}{\pi D}.$$

Уточняем n по паспорту станка $n_{ст}$, см.приложение 1.

5. Проверка расчетных режимов резания по мощности резания $N_{рез}$, кВт

$$N_{рез} < N_{эл.д}\eta, N_{рез} = \frac{M_{кр}n}{9750},$$

где $M_{кр}$ - крутящий момент, Нм:

$$M_{кр} = 10C_M D^q P^y k_p$$

P – шаг резьбы, мм;

коэффициент C_M и показатели степени y , q определяем по табл.18 приложения 3;

коэффициент $k_p = k_M$, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала по табл.17 приложения 3.

Для осуществления процесса резания действительная мощность электродвигателя станка $N_{эл.д}$ должна быть больше или в крайнем случае равна мощности резания с учетом коэффициента полезного действия электродвигателя η .

Список контрольных вопросов

1. Перечислить основные параметры сверлильно-расточных переходов.
2. Каким образом создаются технологические объекты, параметрически связанные по конструктивному элементу?
3. Перечислить основные факторы, определяющие величину крутящего момента при сверлении и развертывании.
4. Назвать различия в методиках расчета режимов резания при нарезании резьбы резцом и плашкой.
5. Расшифровать полученную в ходе выполнения лабораторной работы управляющую программу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программное управление станками/Под ред. В.Л.Сосонкина.-М.Машиностроение,

1981.

2.Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2/ Под ред.А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. - 4-е изд.. перераб. и доп.-М.:Машиностроение, 1985. 496 с., ил.

3. Режимы резания металлов: Справочник/ Под ред.Ю.В. Барановского.-М.: Машиностроение, 1972. 407 с.

4. Программное управление станками и промышленными роботами/ В.Л.Косовский, Ю.Г. Козырев и др.- М.: Высш.шк..1986, 287с., ил.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

1.Токарно-винторезный станок мод.16КЗОФ305:

$N_{cm}=22$ кВт; $\eta=0,75$; коэффициент геометрической прогрессии $\varphi = 1,41$;

n , об/мин: 6,3; 8,9; 12,5; 16; 20; ... 1250;

s , мм/об: 0,07; 0,074; 0,084; 0,097; 0,11; 0,12; 0,13; 0,14; 0,15; 0,17; 0,195; 0,21; 0,23; 0,26; 0,28; 0,30; 0,34; 0,39; 0,43; 0,47; 0,52; 0,57; 0,61; 0,70; 0,78; 0,87; 0,95; 1,04; 1,14; 1,56; 1,76; 1,90; 2,08; 2,28; 2,42; 2,80; 3,12; 3,47; 3,80; 4,16.

2.Фрезерный широкоуниверсальный станок мод. 6Б76ПФ2:

$N_{cm}=2,2$ кВт; $\eta=0,75$; коэффициент геометрической прогрессии $\varphi = 1,41$,

n , об/мин: 40 ... 2000;

s - бесступенчатое регулирование 2,5 -1600 мм/мин.

3.Вертикально-сверлильный станок мод.21104Н7Ф4

$N_{cm} = 5,5$ кВт; $\eta=0,75$; коэффициент геометрической прогрессии $\varphi = 1,41$;

n , об/мин: 30 ... 3000;

s - бесступенчатое регулирование 50-2000 мм/мин.

ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ
КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Марка стали	Толщина, мм	σ_b , МПа
18кп	до 20	355
	до 40	380
ВСтЗкп2-1	до 10	345
	до 20	335
ВСтТпс	до 40	410
10Г2С1	до 10	465
15ХСНД	до 32	465
18Г2АФ	до 32	535

Табличные значения параметров для расчета режимов резания

Таблица 1.

Значения коэффициента и показателей степени в формулах скорости резания при обработке резцами конструкционной углеродистой стали

Вид обработки	Материал режущей части резца	Характеристика подачи	Коэффициент и показатели степени			
			C_v	x	y	m
Наружное продольное точение проходными резцами	T15K6	S до 0,3	420	0,15	0,20	0,50
		S св 0,3	350		0,35	
		S >0,7	340		0,45	
То же резцами с дополнительным лезвием	T15K6		292	0,30	0,15	0,18
				0,15	0,30	
Отрезание	T15K6 P18		47	-	0,80	0,20
			23,7		0,66	0,25
Фасонное точение	P18		22,7	-	0,50	0,30
Нарезание крепежной резьбы	T15K6	Черновые ходы	244	0,23	0,30	0,20
	P6M5		14,8	0,70	0,30	0,11
			30	0,60	0,25	0,08
		Чистовые	14,8	0,45	0,30	0,13
Вихревое нарезание резьбы	T15K6		2330	0,50	0,50	0,50

Таблица 2.

Значения коэффициента C_p и показателей в формулах силы резания при точении

Обрабатываемый материал	Материал рабочей части резца	Вид обработки	Коэффициент и показатели степени в формулах			
			Тангенциальная сила P_z			
			C_p	x	e	n
Конструкционная сталь и стальные отливки $\sigma_b=750$ МПа	Твердый сплав	Наружное, продольное и поперечное точение и растачивание	300	1,0	0,75	-0,15
		Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	384	0,90	0,90	
		Отрезание и прорезание	408	0,72	0,8	0
		Нарезание резьбы	148	-	1,7	0,71

Таблица 3.

Поддачи при черновом наружном точении резцами с пластинами из твердого сплава и быстрорежущей стали

Диаметр детали, мм	Размер державки и резца, мм	Обрабатываемый материал									
		Сталь конструкционная углеродистая, легированная и жаропрочная					Чугун и медные сплавы				
		Поддача s , мм/об, при глубине резания t , мм									
		До 3	Св.3 до 5	Св.5 до 8	Св.8 до 12	Св.12	До 3	Св.3 до 5	Св.5 до 8	Св.8 до 12	Св.12
До 20	От 16x25 до 25x25	0,3-0,4									
Св.20 до 40	От 16x25 до 25x25	0,4-0,5	0,3-0,4				0,4-0,5				
>>40>>60	От 16x25 до 25x40	0,5-0,9	0,4-0,8	0,3-0,7			0,6-0,9	0,5-0,8	0,4-0,7		
>>60>>100	От 16x25 до 25x40	0,6-1,2	0,5-1,1	0,5-0,9	0,4-0,8		0,8-1,4	0,7-1,2	0,6-1,0	0,5-0,9	
>>100>>400	От 16x25 до 25x40	0,8-1,3	0,7-1,2	0,6-1,0	0,5-0,9		1,0-1,5	0,8-1,9	0,8-1,1	0,6-0,9	
>>400>>500	От 20x30 до 40x60	1,1-1,4	1,0-1,3	0,7-1,2	0,6-1,2	0,4-1,1	1,3-1,6	1,2-1,5	1,0-1,2	0,7-0,9	
>>500>>600	От 20x30 до 40x60	1,2-1,5	1,0-1,4	0,8-1,3	0,6-1,3	0,1-1,2	1,5-1,8	1,2-1,6	1,0-1,4	0,9-1,2	0,7-0,9
>>600>>1000	От 25x40 до 40x60	1,2-1,8	1,1-1,5	0,9-1,4	0,8-1,4	0,7-1,3	1,5-2,0	1,3-1,8	1,0-1,4	1,0-1,3	0,7-0,9
>>1000>>2500	От 30x45 до 40x60	1,3-2,0	1,3-1,8	1,2-1,6	1,1-1,5	1,0-1,5	1,6-2,4	1,6-2,0	1,4-1,8	1,3-1,7	0,7-0,9

Таблица 4.

Поддачи, мм/об, при сверлении стали, чугуна, медных и алюминиевых сплавов сверлами из быстрорежущей стали

Диаметр сверла D , мм	сталь			
	$HB < 160$	$HB 160-240$	$HB 240-300$	$HB 300$
2-4	0,09-0,13	0,08-0,10	0,06-0,07	0,04-0,06
4-6	0,13-0,19	0,10-0,15	0,07-0,11	0,06-0,09
6-8	0,19-0,26	0,15-0,20	0,11-0,14	0,09-0,12
8-10	0,26-0,32	0,20-0,25	0,14-0,17	0,12-0,15
10-12	0,32-0,36	0,25-0,28	0,17-0,20	0,15-0,17
12-16	0,36-0,43	0,28-0,33	0,20-0,23	0,17-0,20
16-20	0,43-0,49	0,33-0,38	0,23-0,27	0,20-0,23
20-25	0,79-0,58	0,38-0,43	0,27-0,32	0,23-0,26
25-30	0,58-0,62	0,43-0,48	0,32-0,35	0,26-0,29
30-40	0,62-0,78	0,48-0,58	0,35-0,42	0,29-0,35
40-50	0,78-0,89	0,58-0,66	0,42-0,48	0,35-0,40

Таблица 5.

Поддачи, мм/об, при обработке отверстий зенкерами из быстрорежущей стали и твердого сплава

Обрабатываемый материал	Диаметр зенкера D , мм									
	До 15	Св.15 до 20	Св.20 до 25	Св.25 до 30	Св.30 до 35	Св.35 до 40	Св.40 до 50	Св.50 до 60	Св.60 до 80	Св.80 до 100
сталь	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,9	0,8-1,0	0,9-1,1	0,9-1,2	1,0-1,3	1,1-1,3	1,2-1,5	1,3-1,7

Таблица 6.

Подачи, мм/об, при предварительном (черновом) развёртывании отверстий развертками из быстрорежущей стали

Обрабатываемый материал	Диаметр зенкера D , мм									
	До 10	Св.10 до 15	Св.15 до 20	Св.20 до 25	Св.25 до 30	Св.30 до 35	Св.35 до 40	Св.40 до 50	Св.50 до 60	Св.60 до 80
сталь	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0

Таблица 7.

Значения коэффициента и показателей степени в формуле скорости резания при сверлении

Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	Подача S , мм/об	Коэффициент и показатели степени				охлаждение
			C_v	q	y	m	
Сталь конструкционная углеродистая	P6M5	0,2	7,0	0,40	0,70	0,20	есть
		0,2	9,8				

Таблица 8.

Значения коэффициента и показателей степени в формуле скорости резания при рассверливании, зенкероании и развёртывании

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени					Охлаждение
			C_v	q	x	y	m	
Конструкционная углеродистая сталь	Рассверливание	P6M5	16,2	0,4	0,2	0,5	0,2	есть
		BK8	10,8	0,6		0,3	0,25	
	Зенкерование	P6M5	16,3	0,3	0,2	0,5	0,3	
		T15K6	18,0	0,6		0,3	0,25	
	Развёртывание	P6M5	10,5	0,3	0,2	0,65	0,4	
		T15K6	100,6	0,3		0	0,65	

Таблица 9.

Значения коэффициентов и показателей степени в формулах крутящего момента и осевой силы при сверлении, рассверливании и зенкероании

Обрабатываемый материал	Наименование операции	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени в формулах крутящего момента			
			C_m	q	x	y
Конструкционная углеродистая сталь	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,0345	2,0	-	0,8
	зенкерование		0,09	1,0	0,9	0,8

Таблица 10.

Подачи при черновом фрезеровании торцовыми, цилиндрическими и дисковыми фрезами с пластинами из твердого сплава

Мощность станка, кВт	сталь		Чугун и медные сплавы	
	Подача на зуб фрезы S_t мм, при твердом сплаве			
	T15K6	T5K10	BK6	BK8
5-10	0,09-0,18	0,12-0,18	0,14-0,24	0,20-0,29
Св.10	0,12-0,18	0,16-0,24	0,18-0,28	0,25-0,38

Таблица 11.

Поддачи при фрезеровании твердосплавными концевыми фрезами плоскостей и уступов
стальных заготовок

Черновое фрезерование								
Вид твердосплавных элементов	Диаметр фрезы D, мм	Подача на один зуб фрезы, мм, при глубине фрезерования <i>t</i> , мм						
		1-3	5	8	12	20	30	40
коронка	10-12	0,01- 0,03	-	-	-	-	-	-
	14-16	0,02- 0,06	0,02- 0,04	-	-	-	-	-
Винтовые пластинки	18-22	0,04- 0,07	0,03- 0,05	0,02- 0,04				
	20	0,06- 0,10	0,05- 0,08	0,03- 0,05				
	25	0,08- 0,12	0,06- 0,10	0,05- 0,10	0,05- 0,08			
	30	0,10- 0,15	0,08- 0,12	0,06- 0,10	0,05- 0,09			
	40	0,10- 0,18	0,08- 0,13	0,06- 0,11	0,05- 0,10	0,04- 0,07		
	50	0,10- 0,20	0,10- 0,15	0,08- 0,12	0,06- 0,10	0,05- 0,09	0,05- 0,08	0,05- 0,06
	60	0,12- 0,20	0,10- 0,16	0,10- 0,12	0,08- 0,12	0,06- 0,10	0,06- 0,10	0,06- 0,08
Чистовое фрезерование								
Диаметр фрезы, мм					10-16	20-22	25-35	40-60
Подача, м/об					0,02- 0,06	0,06- 0,12	0,12- 0,24	0,3-0,6

Таблица 12.

Поддачи, мм/об, при чистовом фрезеровании плоскостей и уступов торцовыми,
дисковыми и цилиндрическими фрезами

Параметр шероховатости поверхности	Торцовые и дисковые фрезы со вставными ножами		Цилиндрические фрезы из быстрорежущей стали при диаметре фрезы, мм, в зависимости от обрабатываемого материала					
	Из твердого сплава	Из быстрорежущей стали	Конструкционная углеродистая и легированная сталь			Чугун, медные и алюминиевые сплавы		
			40-75	90-130	150-200	40-75	90-130	150-200
6,3	-	1,2-2,7	-	-	-	-	-	-
3,2	0,5-1,0	0,5-1,2	1,0-2,7	1,7-3,8	2,3-5,0	1,0-2,3	1,4-3,0	1,9-3,7
1,6	0,4-0,6	0,23-0,5	0,6-1,5	1,0-2,1	1,3-2,8	0,6-1,3	0,8-1,7	1,1-2,1
0,8	0,2-0,3	-	-	-	-	-	-	-
0,4	0,15	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 13.

Значение коэффициента и показателей степени в формуле скорости резания при фрезеровании

фрезы	Материал режущей части	операция	Параметры срезаемого слоя, мм			Коэффициент и показатели степени в формуле скорости резания						
			B	t	S_z	C_v	q	x	y	u	p	m
Обработка конструкционной углеродистой стали												
торцовые	T15K6	Фрезерование плоскостей	-	-	-	332	0,2	0,1	0,4	0,2	0	0,2
	P6M5		-	-	0,1 >0,1	64,7 41	0,25	0,1	0,2 0,4	0,15	0	0,2
цилиндрические	T15K6					390 443	0,17	0,19 0,38	0,28	-0,05	0,1	0,33
						616 700	0,17	0,19 0,38	0,28	0,08	0,1	0,33
	P6M5		-	-		55 35,4	0,45	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,33
Концевые с коронками	T15K6		-	-	-	145	0,44	0,24	0,26	0,1	0,13	0,37
Концевые с напаян. пластин.			-	-	-	234	0,44	0,24	0,26	0,1	0,3	0,37
Концевые цельные			P6M5	-	-	-	46,7	0,45	0,5	0,5	0,1	0,1

Таблица 14.

Среднее значение периода стойкости фрез

фрезы	Стойкость T , мин, при диаметре фрезы, мм											
	20	25	40	60	75	90	110	150	200	250	300	400
торцовые	-		120	180					240		300	400
Цилиндрические со вставными ножами и цельные с крупным зубом	-			180			240		-			
Цилиндрические цельные с мелким зубом	-		120		180		-					
концевые	80	90	120	180	-							

Таблица 15

Значения коэффициента и показатели степени в формуле окружной силы при фрезеровании

фрезы	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени					
		C_p	x	y	u	q	w
Обработка конструкционной углеродистой стали							
Торцовые	Твердый сплав	825	1,0	0,75	1,1	1,3	0,2
	Быстрорежущая сталь	82,5	0,95	0,8	1,1	1,1	0
Цилиндрические	Твердый сплав	101	0,88	0,75	1,0	0,87	0
	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
концевые	Твердый сплав	12,5	0,85	0,75	1,0	0,73	-0,13
	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0

Таблица 16

Значение коэффициентов и показателей степени в формулах скорости
резания для резьбовых соединений

Обрабатываемый материал	Нарезание резьбы	Материал режущей части	Условия резания или конструкции инструмента	Коэффициент и показатели степени					Среднее значение периода стойкости T, мин	
				C_v	x	y	q	m		
Сталь конструкционная углеродистая, МПа	Крепежной: резцами	T15K6	-	244	0,23	0,30	-	0,20	70	
		P6M5	Черновые ходы	14,8	0,70	0,30	-	0,11	80	
				30,0	0,60	0,25	0,08			
	Метчиками: машинными гаечными автоматными	P6M5	-	Числовые ходы	41,8	0,45	0,30	-	0,13	90
					64,8	-	0,5	1,2	0,90	
					53,0		0,5	1,2	0,90	
	Круглыми плашками	9XC Y12A	-	-	2,7	-	1,2	1,2	0,50	90

Таблица 17

Поправочные коэффициенты на скорость резания и крутящий момент
для метчиков, плашек и резьбовых головок

Обрабатываемый материал	Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от					Поправочный коэффициент на крутящий момент K_{mp}
	обрабатываемого материала	марки инструментального материала K_{zv}		класса точности резьбы K_{rv}		
		P6M5	SXC; Y10A; Y12A;	точный	средний	
Сталь: углеродистая	0,7 1,0	1,0	0,7	0,8	1,0-1,25	1,3 1,0

Таблица 18

Значения коэффициентов и показателей степени в формулах силовых зависимостей при
нарезании резьбы

Обрабатываемый материал	Тип инструмента	Коэффициенты и показатели степени				
		C_p	C_m	y	q	u
Сталь конструкционная углеродистая	резцы	148	-	1,7	-	0,71
	Метчики: машинные гаечные автоматные	-	0,0270	1,5	1,4	-
		-	0,0041		1,7	
		-	0,0025		2,0	
Плашки круглые	-	0,0460	1,5	1,1	-	

Таблица 19

Число зубьев концевых фрез (по ГОСТ 17026-71)
в зависимости от диаметра фрезы

<i>d</i> , мм	Число зубьев фрез
10-18	4
20-28	5
32-50	6
56-63	8

Таблица 20

Средние значения периода стойкости сверл, зенкеров и разверток

Инструмент	Обраб. материал (сталь)	материал режущей части	Стойкость <i>T</i> , мин, при диаметре инструмента						
			До 5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60
Сверло	Конструкционная углеродистая и легированная	Быстрорежущая сталь	15	25	45	50	70	90	110
		Твердый сплав	8	15	20	25	35	45	-
Зенкер	-	Быстрореж. и тв. сплав	-	-	30	40	50	60	80
Развертка	Конструкционная углеродистая и легированная	Быстрорежущая сталь	-	25	40	80	80	120	120
		Твердый сплав	-	20	30	50	70	90	110

Значения управляющих символов и знаков, подготовительных и вспомогательных функций

G - функция	Значение для версии Bosch	Значение для версии Andron
G00 – G04	Традиционные функции интерполяции для обеих версий	
G05	Круговая интерполяция с входом в контур по касательной	
G06	Программирование ускорений при разгонах и торможениях независимо для каждой оси	
G07	Программирование максимального ускорения для всех осей при разгонах и торможения	
G08	Использование разгонов и торможений только при изменении подачи или обходе углов	
G09	Использование разгонов и торможений до нуля в каждом кадре	
G10 – G13	То же, что и G00, G01, G02, G03 соответственно, но в полярных координатах	
G14	Программирование величины коэффициентов усиления по скорости следящего привода	Вызов макроса по имени
G15	Отмена G14	
G16		Свободный выбор базовой плоскости (включение одной из главных осей X, Y, Z обязательно)
G17 – G19	Традиционные функции выбора базовой плоскости для обеих версий	
G20	Выбор плоскости круговой интерполяции по декартовым координатам полюса. Далее предполагается программирование в полярных координатах относительно полюса	
G22	Активация таблиц базы данных для компенсации геометрических погрешностей и смещений нуля	Вызов, в рамках основной управляющей программы, другой, которая может быть выполнена несколько раз
G30		Программирование сплайна
G32	Нарезание резьбы в режиме линейной интерполяции без компенсирующего патрона	
G34	Скругление угла для двух соседних прямолинейных участков (с допустимым отклонением под адресом E)	
G35	Выключение сглаживания угла	
G36	Выключение запрограммированного при скруглении угла отклонения, которое становится равным машинному параметру	
G37	Программирование точки для зеркального отображения или поворота координат	
G38	Активизация зеркального отображения, поворота координат, масштабирования	

G39	Отмена зеркального отображения, поворота координат, масштабирования	
G40 – G42	Традиционные функции коррекции инструмента для обеих версий	
G43		Коррекция на радиус инструмента для участков линейной интерполяции при подводе к соседним участкам с внешней стороны контура
G44		Коррекция на радиус инструмента для участков линейной интерполяции при подводе к соседним участкам с внутренней стороны контура
G53 – G59	Традиционные функции смещения нуля для обеих версий	
G60	Смещение координатной системы программы	
G61	Доработка кадра до запрограммированной позиции	
G62	Отмена доработки кадра до запрограммированной позиции	
G63	Деактивация корректора скорости подачи	
G64	Поддержание постоянной подачи в точке контакта фрезы	
G65	Поддержание постоянной подачи для центра фаз	
G66	Активация корректора скорости подачи	
G67	Отмена смещения координатной системы программы	
G68	Сопряжение прямолинейных эквидистантных участков по дуге	
G69	Соединение эквидистант путем включения дополнительных кадров	
G70 – G71	Соответственно дюймовая и метрическая системы измерения для обеих программ	
G72		Отмена зеркального отображения и масштабирования
G73	В отличие от G01 программируется линейная интерполяция с доработкой каждого кадра до запрограммированной позиции (независимо от G61 – G62)	Программирование зеркального отображения и масштабирование
G74	Одновременный выход в относительную точку для указанных координат	
G75	Движение измерительного устройства триггерного типа до касания с заготовкой	
G76	Выход в фиксированную точку в координатной системе станка	
G77		Выполнение ранее объявленного цикла несколько раз в равноудаленных позициях вдоль дуги окружности
G78	Присвоение некоторой оси статуса сверлильной	
G79	Отмена присвоения статуса сверлильной	Ускорение и безопасный выход к началу объявленного ранее цикла
G80 – G86	Традиционные сверлильные циклы для обеих версий	
G87 – G89		Фрезерные циклы

G90 – G91	Программирование соответственно в абсолютной и относительной системах координат для обеих версий	
G93	Программирование подачи через время обработки	Программирование сдвига нуля по отношению к некоторой фиксированной точке, каковой может быть нуль программы или точка, в которой ранее было объявлено начало координат
G94	Программирование подачи в мм/мин для обеих версий	
G95	Программирование подачи в мм/об	Программирование подачи через время обработки
G97	Прямое задание частоты вращения шпинделя	
G101 – G106		Программирование лазерной обработки с различными вариантами задания параметров рабочего режима
G105	Программирование новой нулевой точки для квазинепрерывной оси (оси с очень большим перемещением), от которой ведется новый отсчет координаты	
G110		Программирование набора входных сигналов для внешнего программируемого контроллера
G111		Программирование приема набора выходных сигналов внешнего программируемого контроллера
G112	Отмена снижения подачи до уровня, чтобы было возможно торможение (отмена учета тормозного пути)	
G113	Снижение подачи до уровня, при котором возможно торможение (учет тормозного пути)	
G114	Слежение за изменением направления подачи для учета зазора в кинематике	
G115	Отмена слежения за изменением направления подачи	
G134	Скругление угла аналогично G34, но с заданным радиусом скругления	
G138	Компенсация положения заготовки в системе координат	
G139	Выключение компенсации положения заготовки	
G145	Включение внешней компенсации инструмента	
G146	Выключение внешней компенсации инструмента	
G150	Использование типа позиционирования бесконечных осей, как это указано в машинных параметрах	
G151	Программирование типа бесконечных осей	
G153	Отмена первого (дополнительного аддитивного) смещения осей	

G154 – G159	Первое дополнительное аддитивное смещение нуля	
G160	Иницилируемое извне (например, со стороны программируемого контроллера) смещение нуля	
G161	Точный вход в позицию при ускоренном перемещении	
G162	Отмена точного входа в позицию	
G163	Доработка кадра до запрограммированной позиции при движении, как со скоростью подачи, так и при ускоренном перемещении	
G164	Доработка кадра до запрограммированной позиции со снижением подачи до нуля. Контроль (через приводы) попадания осей в окно точного позиционирования	
G165	Доработка кадра до запрограммированной позиции со снижением подачи до нуля. Контроль (через приводы) попадания осей в окно грубого позиционирования	
G166	Доработка кадра до запрограммированной позиции со снижением подачи до нуля	
G167	Отмена иницилируемого извне смещения нуля	
G175	Цикл бесконтактного измерения с помощью измерительной системы привода и сигнала, подаваемого измерительной головке в точках измерения	
G177	Программирование максимального крутящего момента для оси (нормально это значение сохраняется в качестве машинного параметра)	
G181		Программирование измерительного цикла калибровки измерительной головки путем касания эталонного кольца на столе станка
G182		Программирование измерительного цикла: измерение расстояния
G183		Программирование измерительного цикла: определение значений для точек измерения на наклонной плоскости вдоль прямой линии
G184		Программирование измерительного цикла: определение радиуса вала относительно его центра в нескольких точках измерения по окружности
G185		Программирование измерительного цикла: определение радиуса отверстия относительно его центра в нескольких точках измерения по окружности
G186		Программирование измерительного

		цикла: определение координат точки X, Y, Z
G187		Программирование измерительного цикла: калибровка измерительной плиты в определенном положении на столе станка
G188		Программирование измерительного цикла: определение длины инструмента относительно его нулевой точки
G189	Программирование в абсолютных координатах по отношению к активной нулевой точке	Программирование измерительного цикла: установление поломки инструмента с помощью измерительной плиты
G190	Программирование в абсолютной системе координат с возможным выполнением инструкций относительного программирования	Задание центра окружности в абсолютных координатах
G191	Программирование в относительной системе координат с возможным выполнением инструкций абсолютного программирования	Программирование центра окружности относительно начальной точки дуги
G192	Программирование нижнего ограничения на частоту вращения шпинделя	
G194	Дискретное изменение подачи для достижения запрограммированной подачи в конце кадра (мягкое ускорение)	
G200	Линейная интерполяция на быстром ходу без торможения до нуля в конце кадра	
G206	Сохранение в памяти максимальных значений ускорений для всех осей (в отличие от значения по умолчанию) и использование этих значений при программной вызове G06	
G245	Внешняя компенсация инструмента (другое значение в сравнении с G145, которое деактивируется)	
G253	Отмена второго (дополнительного аддитивного) смещения нуля	
G254 – G259	Второе дополнительное аддитивное смещение нуля	
G275	Цикл бесконтактного измерения с помощью измерительной системы привода и сигнала для измерительной головки. В отличие от G175 каждая точка измерения программируется заново	
G281		Указание максимальной относительной доли оси в общем перемещении по запрограммированному контуру (служит для назначения максимальных ускорений при разгонах)
G282		Выбор координатной системы либо заготовки, либо станка

G283		Программирование измерительного цикла: определение координат (X, Y, Z) точек поверхности свободной формы
G284		Программирование движения магазина смены инструмента
G285		Программирование касания заготовкой для определения соответствующего смещения нуля
G286		Активизация – деактивизация режима Look - Ahead
G289		Передача значения радиуса инструмента в систему инструментального менеджмента

G - функция	Значение для версии Bosch
G292	Программирование верхнего ограничения на частоту вращения шпинделя
G301	Программирование осциллирующего движения для одной из осей при линейной интерполяции
G345	Внешняя компенсация инструмента (другое значение по сравнению с G145, G245, которые деактивируются)
G350	Программирование параметров осциллирующего движения
G352	Программирование нуля заготовки, расположенной в наклонной плоскости относительно координатной системы станка
G353	Отмена программирования наклонной плоскости
G354 – G359	Программирование таблицы параметров наклонной плоскости заготовки
G360	Третье инициализируемое извне смещение нуля
G408	Программирование формы разгонов и торможений в каждом кадре и их продолжительности в циклах интерполяции
G445	Внешняя компенсация инструмента (другое значение по сравнению с G145, G245, G345, которые деактивируются)
G500	Мониторинг коллизий при эквидистантной коррекции: программируется число кадров, вовлеченных в мониторинг
G520	Программирование перемещений для интерполируемых осей одного канала с помощью данных, поступающих из другого канала
G521	Возвращение к обычным операциям (отмена G520)
G522	Привлечение интерполируемых осей одного канала к программированию перемещений из другого канала
G523	Программирование скорости подачи для осей, перемещение которых программируется из другого канала
G524	Программирование ускорения для осей, перемещение которых программируется из другого канала
G532	Цикл резьбонарезания для нескольких шпинделей
G543	Включение мониторинга коллизий
G544	Выключение мониторинга коллизий
G545	Внешняя компенсация инструмента (другое значение по сравнению с G145 – G445, которые деактивируются)
G590	Активизация объединения осей, которые программируются вместе (с указанием master – оси и slave – оси)
G591	Деактивация объединения осей
G608	Сглаживание ускорений для каждой из интерполируемых осей, задаваемое числом интерполяционных циклов

G645, G745, G845	Внешняя компенсация инструмента
G900	Программирование идентификатора SERCOS – привода подачи непосредственно в программе (зависимого или независимого от производителя)

М - функция	Значение функции
M00	Программируемый останов. Останов шпинделя, подача и выключение охлаждения
M01	Останов с подтверждением. То же, что и M00, но выполняется при предварительном нажатии соответствующей кнопки на пульте оператора
M02	Конец программы. Останов шпинделя и выключение подачи СОЖ
M03, M04	Вращение шпинделя соответственно по ходу и против хода часовой стрелки
M05	Останов шпинделя наиболее эффективным способом
M06	Смена инструмента. Команда на смену инструмента подается вручную или автоматически
M07, M08	Включение охлаждения соответственно №1 и №2
M09	Выключение охлаждения. Отменяет команды M07, M08, M50, M51
M10, M11	Зажим и разжим. Относится к зажимным приспособлениям столов станка, заготовки и т.д.
M13, M14	Вращение шпинделя по ходу и против хода часовой стрелки при одновременном включении охлаждения
M15, M16	Быстрое перемещение в «+» и «-»
M17	Конец подпрограммы для устройства ЧПУ со встроенной памятью
M19	Останов шпинделя в определенном угловом положении
M20	Конец подпрограммы, которой является многократно считываемая глава программы
M30	Конец информации
M31	Обход блокировки. Команда на временную отмену блокировки
M36, M37	Диапазон подач соответственно №1 и №2
M38, M39	Диапазон вращения шпинделя соответственно №1 и №2
M48	Отмена M49
M49	Отмена ручной коррекции
M50, M51	Включение охлаждения соответственно №1 и №2
M55, M56	Линейное смещение инструмента в положении №1 и №2 соответственно
M58	Отмена M59
M59	Постоянная скорость шпинделя
M60	Смена заготовки
M61, M62	Линейное смещение заготовки в фиксированное положение №1 и №2 соответственно
M68, M69	Зажим и отжим заготовки
M71, M72	Угловое смещение заготовки в фиксированное положение №1 и №2 соответственно
M78, M79	Зажим и отжим стола

Символ	Значение
A	Угол поворота вокруг оси X
B	Угол поворота вокруг оси Y
C	Угол поворота вокруг оси Z
D	Вторая функция инструмента
E	Вторая функция подачи
F	Первая функция (скорость) подачи
G	Подготовительная функция
H	Коррекция длины инструмента
I	Параметр угловой интерполяции или шаг резьбы параллельно оси X
J	Параметр угловой интерполяции или шаг резьбы параллельно оси Y
K	Параметр угловой интерполяции или шаг резьбы параллельно оси Z

L	Не определен
M	Вспомогательная функция
N	Номер кадра
O	Не определен
P	Третичная длина перемещения, параллельного оси X
Q	Третичная длина перемещения, параллельного оси Y
R	Перемещение на быстром ходу по оси Z или третичная длина перемещения, параллельного оси Z
S	Функция (скорость) главного движения
T	Первая функция инструмента
U	Вторичная длина перемещения, параллельного оси X
V	Вторичная длина перемещения, параллельного оси Y
W	Вторичная длина перемещения, параллельного оси Z
X	Первичная длина перемещения, параллельного оси X
Y	Первичная длина перемещения, параллельного оси Y
Z	Первичная длина перемещения, параллельного оси Z
ГТ	Символ, управляющий перемещением действующей позиции печати в следующую (заранее определенную) знаковую позицию на той же строке; предназначен для управления устройствами печати при распечатке управляющей программы; устройство ЧПУ не воспринимается
ПС	Символ, обозначающий конец кадра управляющей программы
%	Знак, обозначающий начало управляющей программы (используется также для остановки носителя данных при обратной перемотке)
(Знак, обозначающий, что следующая за ним информация не должна обрабатываться на станке
)	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация должна обрабатываться на станке
+	Математический знак
-	Математический знак
.	Десятичный знак
/	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация до первого символа «конец кадра» может обрабатываться или нет на станке (в зависимости от положения органа управления на пульте управления устройством ЧПУ)
:	Знак, обозначающий главный кадр управляющей программы