**Энгельсский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А.»**

ПОДГОТОВКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ КОНТУРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ НА СТАНКЕ С ЧПУ

Методические указания
к выполнению практических занятий по дисциплине
"Автоматизация производственных процессов в машиностроении"
для студентов направления

(15.03.05) «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» дневной и очно-заочной форм обучения

очной и заочной форм обучения

Энгельс 2024

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТА №1

1. Подготовка геометрической информации для контурной обработки детали на станке с ЧПУ

1. Цель работы

Цель работы – приобрести умение производить подготовку геометрической информации для написания управляющей программы при контурной обработке детали на станке с ЧПУ

2. Основные теоретические сведения

2.1. Системы координат станков с ЧПУ

Работа станка с ЧПУ тесно связана с системами координат, оси которых располагают параллельно направляющим станка, что позволяет при программировании обработки указывать направления и величины перемещений рабочих органов.

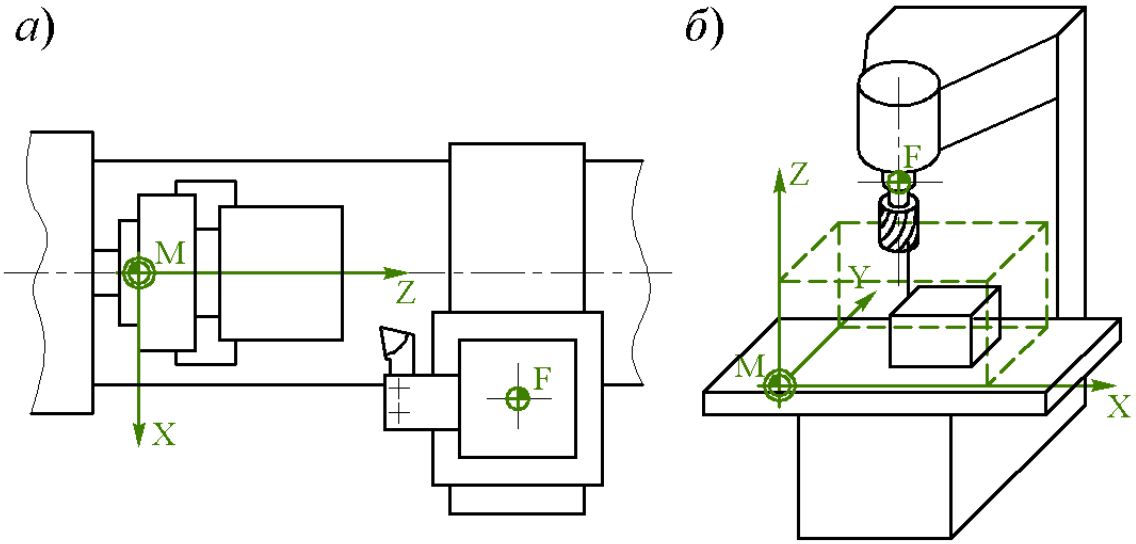


Рис. 1. Системы координат станков с ЧПУ: *а*) – токарный станок; *б*) – вертикально-фрезерный станок

Система координат станка MCS (*machine coordinate system*) – это координатная система, в которой определяются начальные, текущие и предельные положения рабочих органов станка. Система координат станка является главной расчетной системой, относительно которой задается положение всех других систем координат (детали, программы, инструмента). Начало системы координат станка обозначают буквой M и символом и называют ***нулем станка*** (рис. 1).

Положения рабочих органов характеризуют ***базовые точки***, которые выбираются в зависимости от конструкции рабочих органов (узлов станка). Например, для шпиндельного узла базовой точкой является точка пересечения *F* торца шпинделя с осью его вращения (рис. 1.1).

Если у станка с ЧПУ имеется несколько рабочих органов, несущих инструмент, то используют следующие обозначения координатных осей и соответствующих им перемещений (рис. 2): X, Y, Z – первый рабочий орган; U, V, W –второй рабочий орган (вторичные оси); P, Q, R –третий рабочий орган (третичные оси).

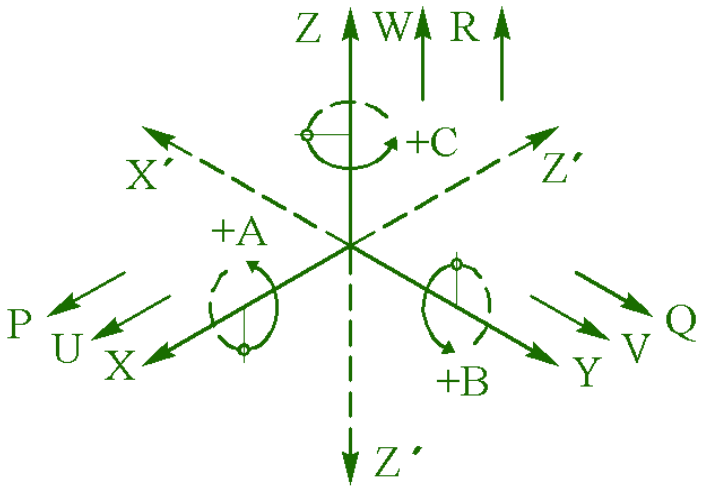


Рис. 2. Обозначения осей и движений в системе координат станка

Круговые перемещения рабочих органов, несущих инструмент, обозначают буквами: *A* – вокруг оси *X*; *B* – вокруг оси *Y*; *C*

– вокруг оси Z. Следует отметить, что к круговым перемещениям не относится вращение шпинделя.

Положительные направления движения заготовки относительно неподвижных частей станка указывают оси X′, У′, Z′, направленные противоположно осям X, Y, Z.

Для обеспечения единства методов подготовки управляющих программ для всех станков с ЧПУ принята ***стандартная система координат***, которая должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Стандартная система координат является правой прямоугольной системой координат, то есть координатные оси в данной системе ориентированы относительно друг друга определенным образом.

Для запоминания расположения осей в правой системе координат можно воспользоваться ***правилом правой руки***: направлениям осей X, Y, Z соответствует расположение большого, указательного и среднего пальцев правой руки (рис. 1.3, *а*).

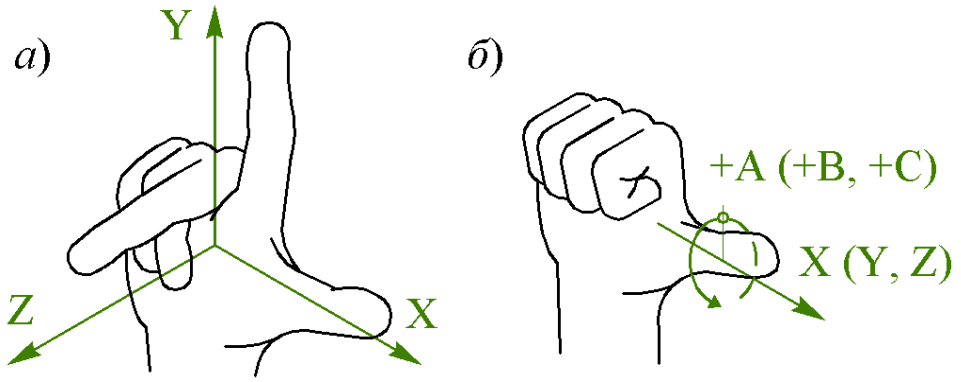


Рис. 3. Определение направления осей и движений в правой системе координат по правилу «правой руки»

Правило «правой руки» позволяет определить положительное направление вращение в правой системе координат. Если расположить большой палец правой руки по направлению оси, то остальные согнутые пальцы укажут положительное направление вращения (рис. 3 *б*).

2. При использовании стандартной системы координат нуль станка фиксируется относительно рабочего органа несущего за-

готовку в таком положении, при котором все перемещения станка задаются положительными координатами.

3. Ось Z стандартной системы координат принимается параллельной оси вращения шпинделя, а за ось X выбирается ось, вдоль которой возможно большее перемещение.

4. Положительные направления осей X, Y, Z принимаются такие, в которых инструмент удаляется от заготовки.

2.2. Система координат детали и инструмента

Для удобства подготовки управляющих программ помимо системы координат станка также используются системы координат детали и инструмента.

Система координат детали WCS (*Workpiece Coordinate System*) – это координатная система, в которой определены все размеры данной детали и заданы координаты опорных точек траектории инструмента. Система координат детали является главной системой при программировании обработки. Начало системы координат детали обозначают буквой W и символом ⊕ и называют ***нулем детали*** (рис. 4).

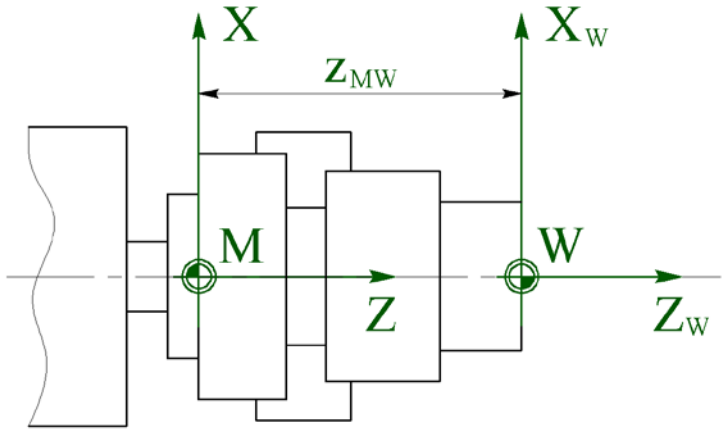


Рис. 4. Пример расположения системы координат детали при обработке на токарном станке с ЧПУ

В качестве системы координат детали наиболее часто используется правая прямоугольная система координат. Кроме то-

го, в качестве системы координат детали могут быть использованы цилиндрическая и сферическая координатные системы. Например, цилиндрическую систему координат удобно использовать при сверлильно-расточной обработке, когда обрабатываемые отверстия расположены по окружности.

Для упрощения разработки УП при выборе положения системы координат детали необходимо обеспечить следующие требования:

1) направления осей системы координат детали следует принимать такими же, как у системы координат станка;

2) координатные плоскости необходимо совмещать с поверхностями технологических баз или располагать параллельно;

3) нуль детали требуется выбирать таким, чтобы все или большая часть опорных точек имели положительные координаты;

4) координатные оси следует совмещать с осями симметрии детали или выносными линиями, от которых проставлено наибольшее число размеров.

Система координат инструмента TCS (*Tool Coordinate System*) – это координатная система, которая предназначена для задания положения режущей части инструмента относительно державки. Начало системы координат инструмента обозначают буквой T и символом ⊕ и называют ***нулем инструмента*** (рис. 1.5).

На станках с ЧПУ режущий инструмент осуществляет работу совместно со вспомогательным инструментом (державкой). Все вместе это образует инструментальный блок, который позволяет производить настройку инструмента вне станка.

Система координат инструмента представляет собой правую координатную систему, которая жестко связана с инструментальным блоком, состоящим из режущего и вспомогательного инструментов.

Положение система координат инструмента должно удовлетворять следующим требованиям:

1) оси системы координат инструмента должны быть параллельны соответствующим осям стандартной системы координат;

2) нуль инструмента T должен быть совмещен с базовой точкой инструментального блока, положение которой зависит от особенностей установки блока на станке.

На рис. 5 представлены примеры размещения системы координат в соответствии с указанными правилами, где в качестве инструментов выступают токарный резец и произвольный осевой инструмент (фреза, сверло и др.).

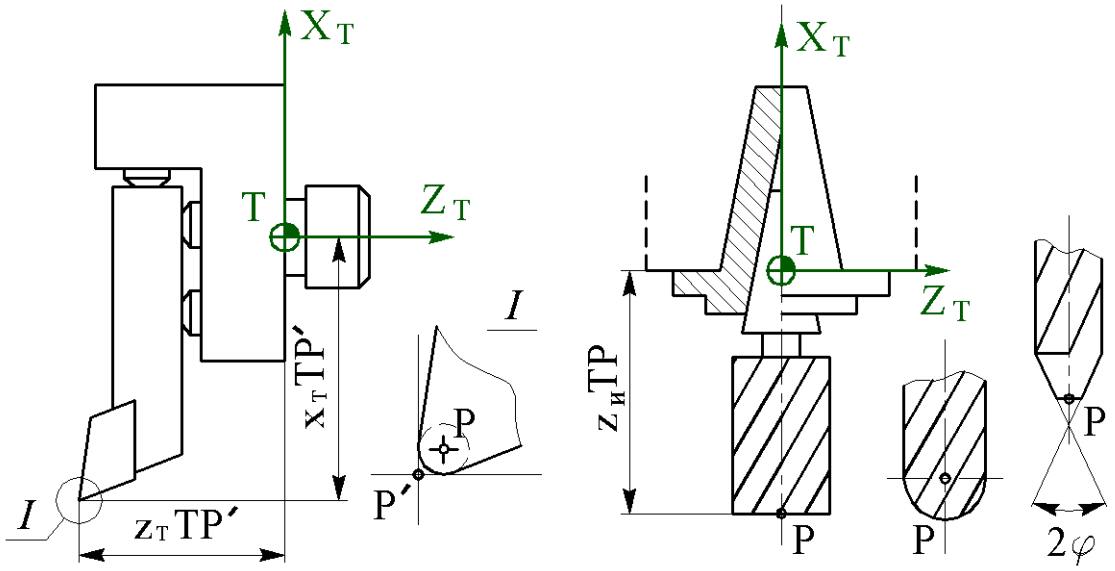


Рис. 5. Примеры размещения системы координат инструмента относительно инструментального блока и центра инструмента относительно его режущей части

Положение режущей части инструмента характеризуется положением его вершины и режущих кромок.

Вершина инструмента задается точкой Р, которая располагается в центре закругления инструмента и называется ***центром инструмента*** (рис. 5).

Центр инструмента Р используется в качестве расчетной точки при вычислении траектории инструмента, а сама траектория представляет собой множество положений точки Р.

Исходная точка О – точка, с которой начинается работа по управляющей программе.

Перед началом обработки центр инструмента совмещен с нулем программы.

Исходную точку выбирают исходя из следующих соображений:

1) минимизация вспомогательных перемещений инструмента;

2) обеспечение удобства и безопасности смены инструмента.

2.3. Особенности построения расчетно-технологической карты

Расчетно-технологическая карта (РТК) представляет собой технологический документ, который содержит законченный план обработки детали на станке в виде графического изображения траектории движения инструмента со всеми необходимыми пояснениями и расчетными размерами. По данным РТК технолог программист, не обращаясь к чертежу детали или каким-либо другим источникам, может полностью составить текст управляющей программы.

Можно выделить следующие этапы оформления РТК:

1). Вычерчивают в масштабе контур детали, подлежащий обработке, и контур заготовки с указанием всех размеров, необходимых при программировании.

2). Намечают расположение базирующих элементов и прижимов в соответствии с техническими условиями на приспособление.

3). Наносят траекторию движения центра инструмента для каждого из используемых инструментов. При этом рабочие перемещения инструмента обозначают сплошными линиями, а холостые (ускоренные) перемещения – прерывистыми линиями.

4). На траектории инструмента отмечают и обозначают цифрами опорные точки траектории и ставят стрелки, указывающие направление движения. При необходимости указывают места контрольных точек и точек остановки, необходимых для смены инструмента, изменения частоты вращения шпинделя, переустановки детали и др., указывают продолжительность остановки в секундах.

5). Наносят дополнительные данные, тип станка, наименование и материал детали, особенности заготовки и ее крепления, параметры инструмента и режимы его работы на отдельных участках траектории и пр.

Пример оформления РТК показан на рис. 6.

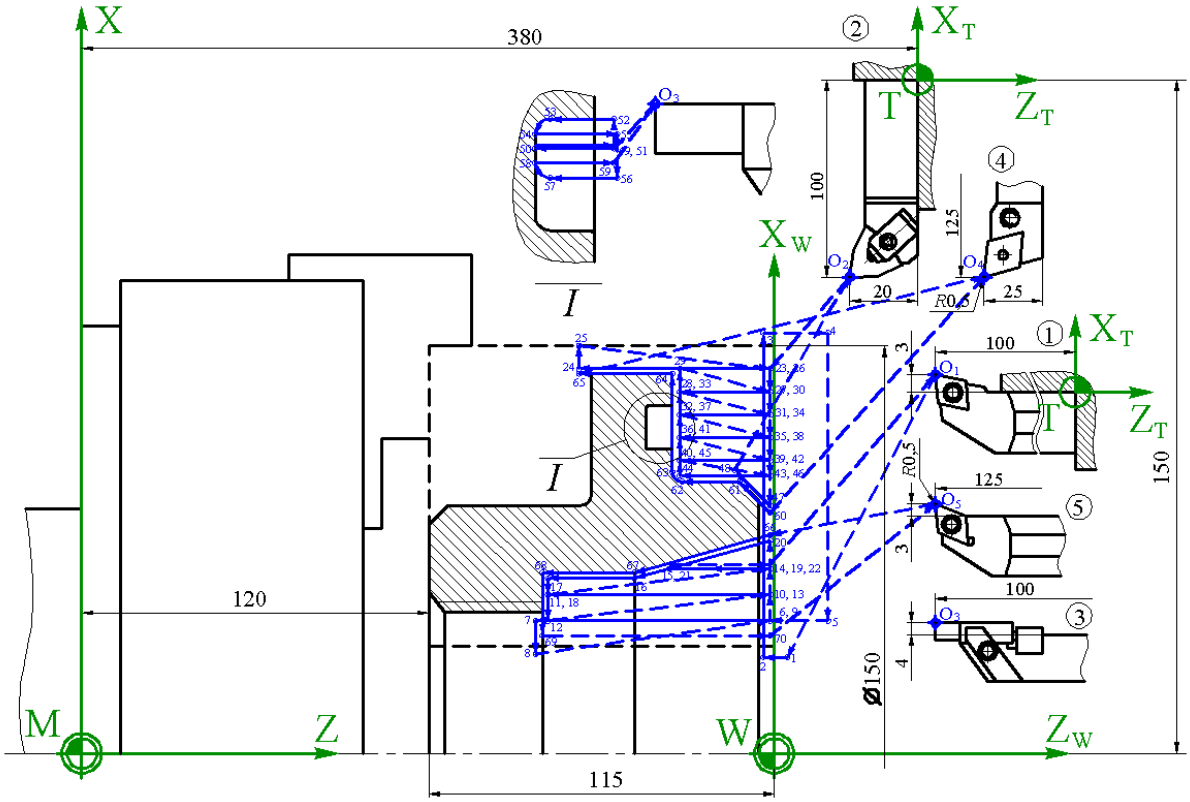


Рис. 6. Расчетно-технологическая карта

При построении траектории движения центра инструмента на РТК необходимо соблюдать следующие правила:

1). Подводить инструмент к обрабатываемой поверхности и отводить его следует по специальным траекториям с учетом величин недоходов и перебегов.

2). Недопустимы остановка инструмента и резкое изменение подачи в процессе резания, что сопровождается повреждением обрабатываемой поверхности. Перед остановкой или резким изменением подачи необходимо отвести инструмент от обрабатываемой поверхности.

3). Длина холостых перемещений должна быть минимальной.

4). Для устранения влияния на точность обработки люфтов станка желательно предусмотреть дополнительные петлеобразные переходы в зонах реверса, обеспечивающие выборку люфта.

2.4. Особенности расчета траектории инструмента при контурной обработке

При обработке контура детали на станке с ЧПУ траектория движения инструмента представляет собой множество положений центра этого инструмента.

Различают следующие способы расположения траектории движения инструмента относительно контура детали:

1) Траектория совпадает с контуром детали (рис. 7, *а*).

2) Траектория эквидистантна (расположена по эквидистанте) контуру детали (рис. 7, *б*).

Эквидистанта – геометрическое место точек, равноудаленных от какой либо линии и лежащих по одну сторону от нее.

3) траектория изменяет положение относительно контура детали по определенному закону (рис. 7, *в*).

Для упрощения расчетов траекторию инструмента необходимо разбивать на отдельные участки, называемые геометрическими элементами траектории. К геометрическим элементам относятся отрезки прямых, дуги окружностей, кривые второго и высшего порядков.

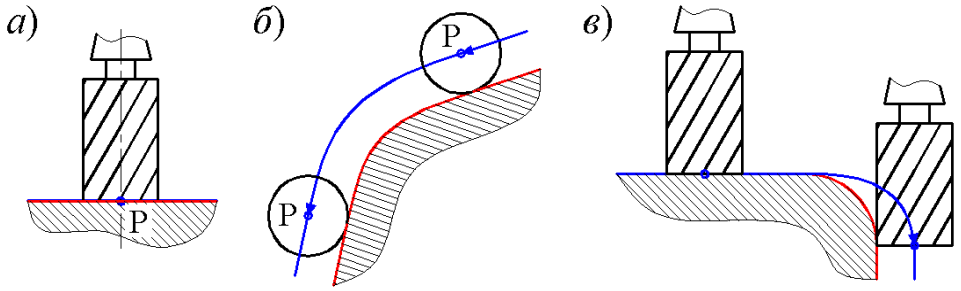


Рис. 7. Варианты расположения траектории инструмента относительно контура детали

Расчет траектории инструмента сводится к определению координат опорных точек, которые разделяют на геометрические и технологические.

Опорные геометрические точки – точки, в которых происходит изменение закона, описывающего траекторию инструмента.

Опорные технологические точки – точки траектории, в которых происходит изменение условий протекания технологического процесса (изменение режимов обработки, временный останов инструмента, включение или выключение охлаждения и т. д.).

Положение опорных точек может задаваться двумя способами:

1) ***в абсолютных размерах***, когда координаты всех опорных точек заданы относительно одной точки (главным образом относительно нуля детали).

2) ***в приращениях***, когда координаты каждой последующей опорной точки заданы относительно предыдущей точки.

Выделяют графический и аналитический методы определения координат опорных точек. При графическом методе координаты опорных точек находят непосредственно с расчетно-технологической карты, построенной в требуемом масштабе. Данный метод характеризуется погрешностями построения траектории и измерения размеров и часто не обеспечивает определение координат с требуемой точностью. Более точным является аналитический метод, который заключается в расчете координат опорных точек через специальные уравнения и формулы.

При контурной обработке (траектория эквидистантна контуру) расчет координат опорных точек траектории включает два этапа:

***Этап* 1.** Расчет координат опорных точек на контуре детали

В общем случае на данном этапе находят уравнения, описывающие геометрические элементы контура детали, и совместно решают эти уравнения для соседних геометрических элементов. Тем самым находят координаты опорных точек, расположенных на пересечении геометрических элементов контура детали. Иногда для расчета координат точек на контуре более удобным является использование специальных формул, получаемых через размеры геометрических элементов и координаты характерных точек этих элементов.

Наиболее часто решаются задачи определения координат опорных точек, лежащих на пересечении прямых и окружностей. Расчетные формулы для различных случаев пересечения прямых и окружностей представлены в табл. П.1.

***Этап* 2.** Расчет координат опорных точек на эквидистанте

На данном этапе по специальным формулам производится расчет координат опорных точек на эквидистанте через координаты соответствующих точек на контуре детали. Формулы для расчета координат опорных точек на эквидистанте для нескольких случаев представлены в табл. П.2.

Используют два способа соединения элементов эквидистанты в зависимости от угла α между соседними геометрическими элементами контура детали:

1) при $\alpha \leq 180^{o}$ геометрические элементы эквидистанты соединены точкой их пересечения (рис. 8, *а*);

2) при $\alpha > 180^{o}$ геометрические элементы эквидистанты соединены дугой окружности радиусом , центр которой расположен в соответствующей опорной точке контура детали (рис. 8, *б*).

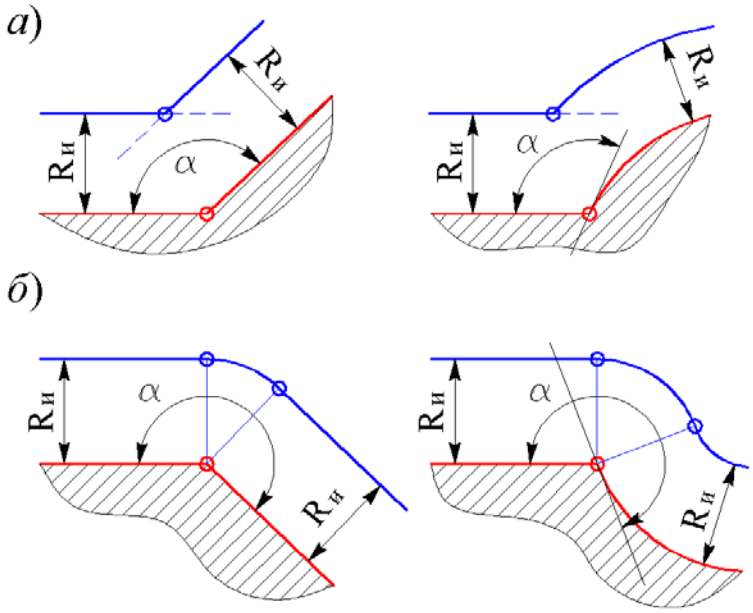


Рис. 8 Способы соединения элементов эквидистанты

1.3. Порядок выполнения работы

Данная лабораторная работа предполагает выполнение следующих этапов:

1). Изучить методические указания к практической работе.

2). Пройти собеседование с преподавателем и получить задание для выполнения работы.

3). Построить расчетно-технологическую карту обработки заданной детали по выделенному контуру.

4). Произвести расчет координат опорных точек на контуре детали.

5). На основе полученных значений координат опорных точек на контуре детали аналитически определить координаты опорных точек на эквидистанте.

6). Оформить и защитить отчет по лабораторной работе.

4. Варианты заданий

В качестве вариантов заданий для выполнения данной лабораторной работы предлагаются эскизы обрабатываемых деталей (рис. 9 – 13), на которых выделен красным цветом обрабатываемый контур. Размеры указанных деталей для различных вариантов задания представлены в табл. 1 – 5.

Обработка должна быть произведена путем однократного прохода инструментом по контуру детали. При этом наружный и внутренний контуры детали обрабатываются разными инструментами, то есть обработка осуществляется за два перехода.

Плоские детали должны быть обработаны на фрезерном станке с помощью концевых фрез. Радиусы концевых фрез принять меньше, чем радиусы обрабатываемых ими элементов контура. Детали типа тел вращения обрабатываются на токарном станке с помощью контурных резцов. Радиусы скругления при вершине контурных резцов принять равными 0,1 – 0,5 мм.

Величины недоходов и перебегов режущих инструментов принять равными 1 – 5 мм.

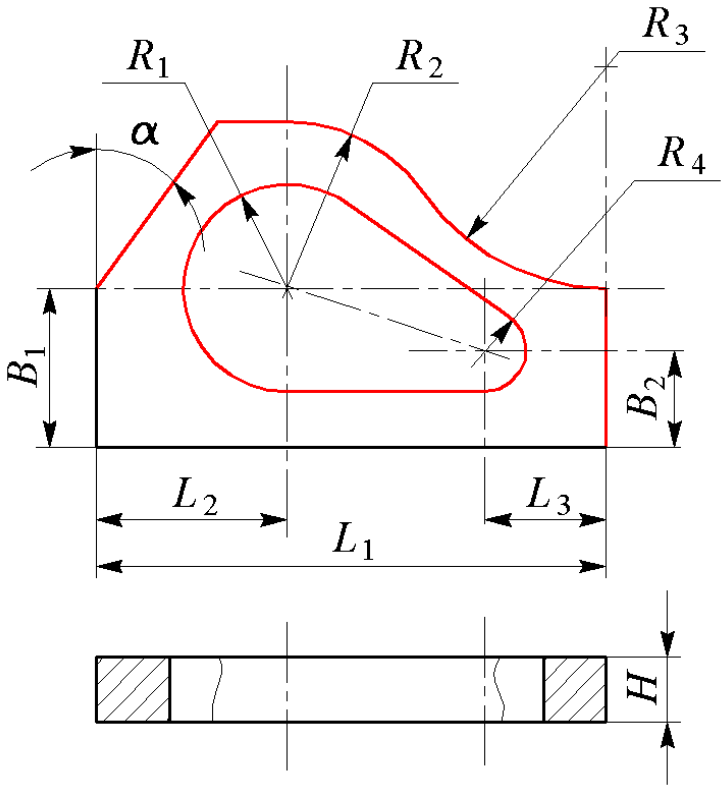


Рис. 9. Эскиз обрабатываемой детали для вариантов 1, 6, 11, 16, 21

Таблица 1

Размеры обрабатываемой детали для вариантов 1, 6, 11, 16, 21

Размер, мм	**Вариант**				
	1	**6**	**11**	**16**	**21**
L_1	105	108	114	118	125
L_2	35	33	37	40	39
L_3	20	23	25	28	30
R_1	20	24	25	26	28
R_2	35	40	42	43	46
R_3	40	42	48	47	53
R_4	15	18	14	20	22
B_1	30	32	30	32	36
B_2	22	25	20	25	28
H	10	8	12	14	10
α	40°	45°	40°	45°	40°

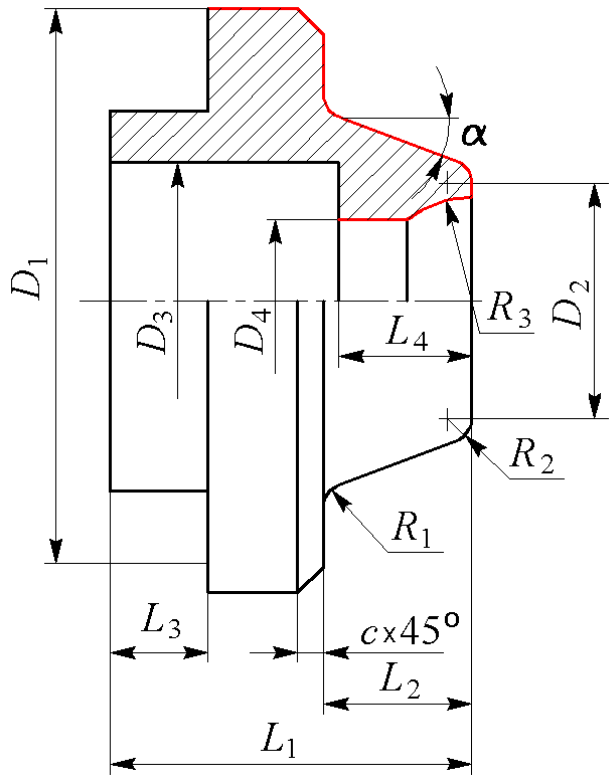


Рис. 10. Эскиз обрабатываемой детали для вариантов 2, 7, 12, 17, 22

Таблица 2

Размеры обрабатываемой детали для вариантов 2, 7, 12, 17, 22

Размер, мм	**Вариант**				
	2	**7**	**12**	**17**	**22**
L_1	60	62	68	65	70
L_2	32	40	35	37	40
L_3	15	18	20	15	15
L_4	25	30	28	25	28
R_1	3	4	3	3	4
R_2	4	3	4	3	4
R_3	21	24	20	25	20
D_1	90	90	94	86	90
D_2	44	52	45	54	55
D_3	26	30	28	31	33
D_4	18	20	16	20	18
c	2	3	2	2	3
α	12°	14°	12°	15°	15°

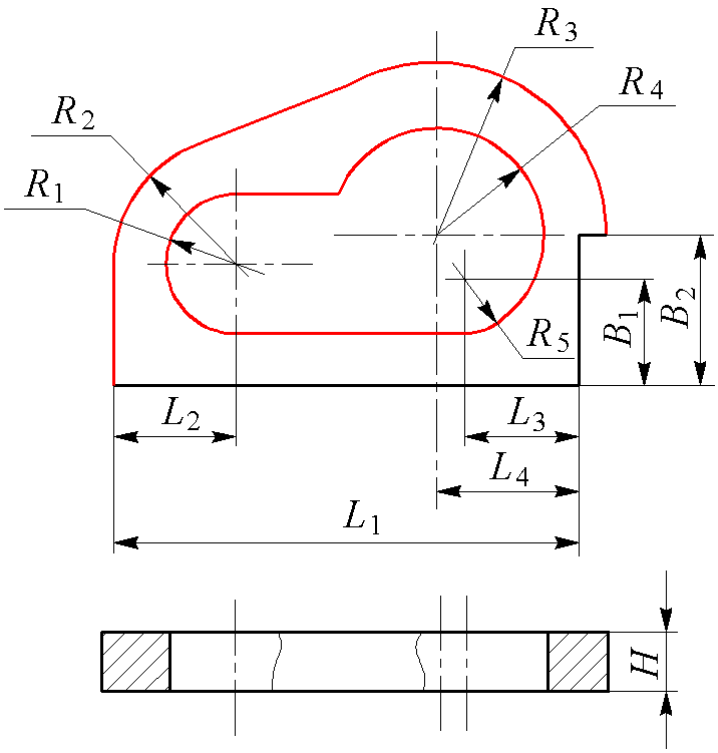


Рис. 11. Эскиз обрабатываемой детали для вариантов 3, 8, 13, 18, 23

Таблица 3

Размеры обрабатываемой детали для вариантов 3, 8, 13, 18, 23

Размер, мм	**Вариант**				
	3	**8**	**13**	**18**	**23**
L_1	135	108	110	106	88
L_2	25	15	18	23.5	15.5
L_3	26	27	30	30	21.5
L_4	33	33	35	37	25
R_1	17	12	15	20	11
R_2	25	16	20	24	16
R_3	30	33	35	37	25
R_4	20	22	25	28	15
R_5	16	9	13	18	10
B_1	16	18.5	25.5	25	17.5
B_2	19.5	30	36	34	22
H	12	10	8	12	10

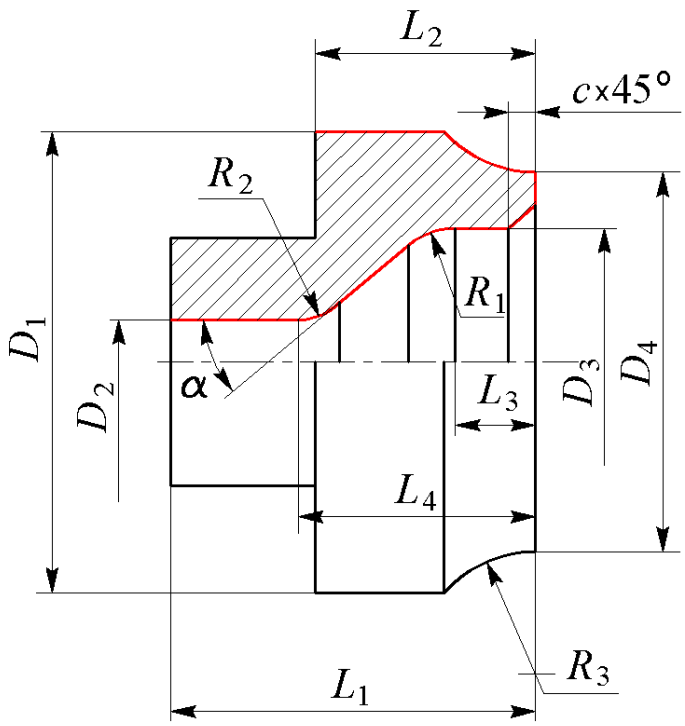


Рис. 12. Эскиз обрабатываемой детали для вариантов 4, 9, 14, 19, 24

Таблица 4

Размеры обрабатываемой детали для вариантов 4, 9, 14, 19, 24

Размер, мм	**Вариант**				
	4	**9**	**14**	**19**	**24**
L_1	70	65	64	60	65
L_2	40	36	36	30	42
L_3	15	15	15	14	15
L_4	46	40	40	36	48
R_1	2	2	3	2	3
R_2	2	2	3	2	3
R_3	10	10	20	30	40
D_1	86	90	90	88	92
D_2	16	20	20	14	22
D_3	46	48	48	40	50
D_4	64	68	68	64	70
c	3	2	3	2	3
α	25°	22°	30°	30°	25°

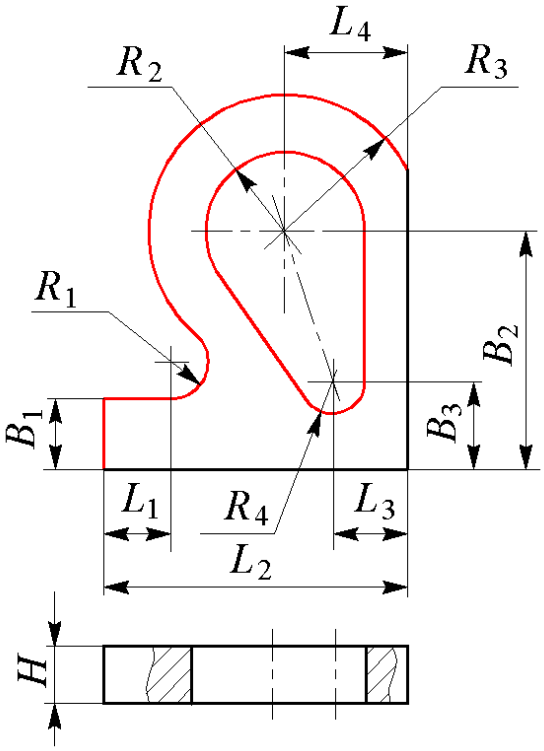


Рис. 13. Эскиз обрабатываемой детали для вариантов 5, 10, 15, 20, 25

Таблица 5

Размеры обрабатываемой детали для вариантов 5, 10, 15, 20, 25

Размер, мм	**Вариант**				
	5	**10**	**15**	**20**	**25**
L_1	9	10	10	14	9
L_2	37	40	35	44	38
L_3	9	11	9	11	10
L_4	15	18	15	19	14
R_1	5	6	5	6.5	5
R_2	10	12	12	14	15
R_3	16	19	16	20	8
R_4	4	5	5.5	5	3.5
B_1	9	11	10	11	8.5
B_2	31	34	33	34	30
B_3	12	14	13	15	11.5
H	12	9	10	9	8

5. Пример выполнения работы

Пусть требуется произвести обработку детали, показанной на рис. 14, по контуру, выделенному красным цветом.

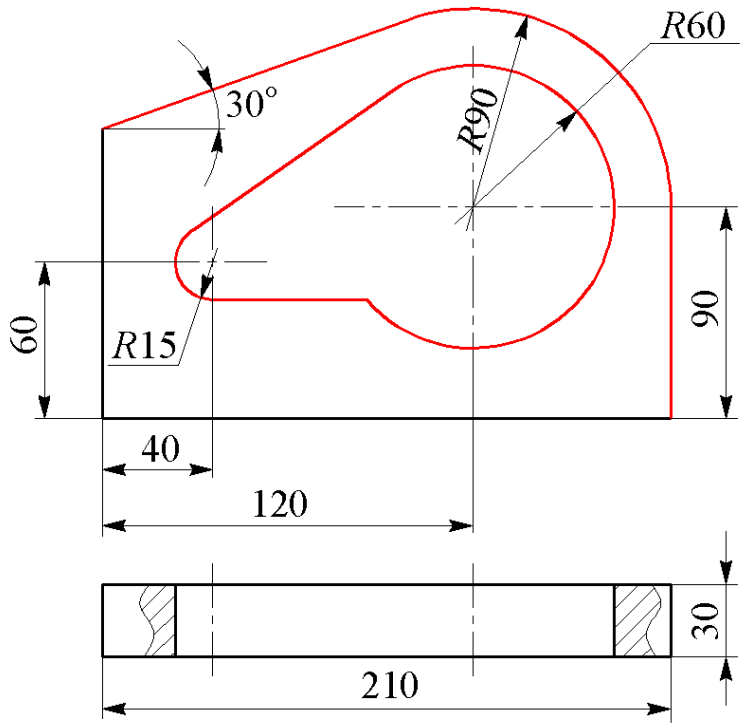


Рис. 14. Эскиз обрабатываемой детали

РТК обработки заданной детали показана на рис. 15.

Необходимо аналитически определить координаты X и Y опорных точек 3, 4, 9, 12, 13 эквидистанты. Для этого найдем координаты X и Y опорных точек *a*, *b*, *c*, *d*, *e* контура детали по следующим формулам (табл. П.1):

$x_a = x_{C1} \pm R_1 \cdot \sin \alpha$; $x_a = 120 - 90 \cdot \sin 30° = 90$ (мм);

$y_a = y_{C1} \pm R_1 \cdot \cos \alpha$; $y_a = 90 + 90 \cdot \cos 30° = 167{,}94$ (мм);

$x_b = 0$;

$y_b = y_a - x_a \cdot \mathrm{tg}\, 30°$; $y_b = 141{,}96(1 - \mathrm{tg}\, 30°) = 60{,}00$ (мм);

$x_c = x_{C1} \pm R_1 \cdot \sin (\lambda + \varphi)$; $y_c = y_{C1} \pm R_1 \cdot \cos (\lambda + \varphi)$;

$x_d = x_{C2} \pm R_2 \cdot \sin (\lambda + \varphi)$; $y_d = y_{C2} \pm R_2 \cdot \cos (\lambda + \varphi)$;

$\lambda = \mathrm{arctg}\, (y_{C1} - y_{C2})/(x_{C1} - x_{C2})$;

$\lambda = \mathrm{arctg}\, (90 - 60)/(120 - 40) = 20{,}56°$;

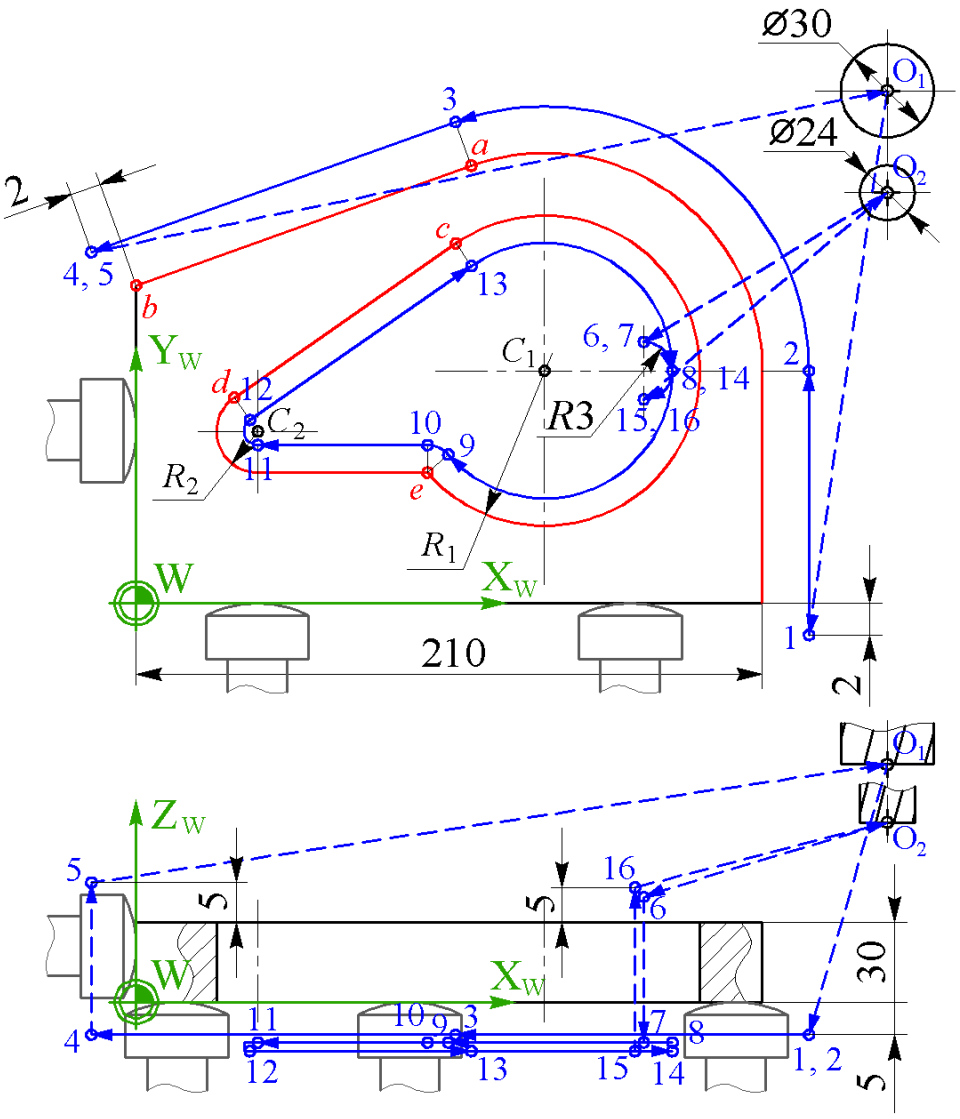


Рис. 15. Расчетно-технологическая карта

$\varphi = \arcsin (R_1 - R_2)/[(y_{C2} - y_{C1})^2 + (x_{C2} - x_{C1})^2]^{1/2}$;
$\varphi = \arcsin (60 - 15)/[(90 - 60)^2 + (120 - 40)^2]^{1/2} = 31{,}78°$;
$x_c = 120 - 60 \cdot \sin (20{,}56° + 31{,}78°) = 72{,}50$ (мм);
$y_c = 90 + 60 \cdot \cos (20{,}56° + 31{,}78°) = 126{,}66$ (мм);
$x_d = 40 - 15 \cdot \sin (20{,}56° + 31{,}78°) = 28{,}13$ (мм);
$y_d = 60 + 15 \cdot \cos (20{,}56° + 31{,}78°) = 69{,}16$ (мм);
$y_e = 60 - 15 = 45$ (мм);
$x_e = x_{C1} - [R_1^2 - (y_{C1} - y_e)^2]^{1/2}$;
$x_e = 120 - [60^2 - (90 - 45)^2]^{1/2} = 80{,}31$ (мм).

Отсюда координаты опорных точек траектории инструмента будут (табл. П.2):

$x_3 = x_a - R_{и1}\cdot(x_{C2} - x_d)/R_1$;
$x_3 = 90 - 15\cdot(120 - 90)/60 = 82{,}5$ (мм);
$y_3 = y_a + R_{и1}\cdot(y_a - y_{C1})/R_1$;
$y_3 = 141{,}96 + 15\cdot(141{,}96 - 90)/60 = 154{,}95$ (мм);
$x_4 = x_b - (R_1^2 + 2^2)\sin(\alpha + \beta)$; $y_4 = y_b + (R_1^2 + 2^2)\cos(\alpha + \beta)$;
$\beta = \mathrm{arctg}\, 2/R_{и1}$; $\beta = \mathrm{arctg}\, 2/15 = 7{,}59°$;
$x_4 = 0 - (15^2 + 4)\sin(30° + 7{,}59°) = -9{,}23$ (мм);
$y_4 = 60 + (15^2 + 4)\cos(30° + 7{,}59°) = 71{,}99$ (мм);
$x_9 = x_e + R_{и2}\cdot(x_{C1} - x_e)/R_1$;
$x_9 = 80{,}31 + 12\cdot(120 - 80{,}31)/60 = 88{,}25$ (мм);
$y_9 = y_e + R_{и2}\cdot(y_{C1} - y_e)/R_1$;
$y_9 = 80{,}31 + 12\cdot(90 - 45)/60 = 89{,}31$ (мм);
$x_{12} = x_d + R_{и2}\cdot(x_{C2} - x_d)/R_2$;
$x_{12} = 28{,}13 + 12\cdot(40 - 28{,}13)/15 = 37{,}63$ (мм);
$y_{12} = y_d - R_{и2}\cdot(y_d - y_{C2})/R_2$;
$y_{12} = 69{,}16 - 12\cdot(69{,}16 - 60)/15 = 61{,}83$ (мм);
$x_{13} = x_c + R_{и2}\cdot(x_{C1} - x_c)/R_1$;
$x_{13} = 72{,}5 + 12\cdot(120 - 72{,}5)/60 = 82$ (мм);
$y_{13} = y_c + R_{и2}\cdot(y_c - y_{C1})/R_1$;
$y_{13} = 126{,}66 - 12\cdot(126{,}66 - 90)/60 = 119{,}33$ (мм).

Найденные значения координат опорных точек представлены в табл. 6.

Таблица 6

Координаты опорных точек траектории инструмента

№	*X*, мм	*Y*, мм	*Z*, мм	№	*X*, мм	*Y*, мм	*Z*, мм
O_1	240	200	50	8	168	90	– 5
1	225	– 2	– 5	9	88,25	89,31	– 5
2	225	90	– 5	10	88,25	57	– 5
3	82,5	154,95	– 5	11	40	57	– 5
4	– 9,23	71,99	– 5	12	37,63	61,83	– 5
5	– 9,23	71,99	35	13	82	119,33	– 5
O	240	200	45	14	168	90	– 5
6	177	93	35	15	165	87	– 5
7	165	93	– 5	16	165	87	35

6. Контрольные вопросы

1. Каково назначение системы координат станка?

2. Что представляет собой стандартная система координат станков с ЧПУ?

3. Каково назначение системы координат детали?

4. Для чего предназначена система координат инструмента?

5. Что такое исходная точка и руководствуясь чем выбирают ее положение при обработке на станках с ЧПУ?

6. Что представляет собой траектория движения инструмента (для положения какой точки задается и из каких элементов состоит)?

7. Что такое опорная точка траектории инструмента, и какие выделяют виды опорных точек?

8. Какие используются способы задания положения опорных точек.

9. Что такое эквидистанта, и каким образом координаты опорных точек на ней при использовании расчетно-аналитического метода?

10. Какие используются способы соединения геометрических элементов эквидистанты, и в каких случаях?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серебреницкий П.П. Программирование автоматизированного оборудования: учебник для вузов: В 2 ч. Ч. 1. / П.П. Серебреницкий, А.Г. Схиртладзе. – М.: Дрофа, 2008. – 576 с.

2. Серебреницкий П.П. Программирование автоматизированного оборудования: учебник для вузов: В 2 ч. Ч. 2. / П.П. Серебреницкий, А.Г. Схиртладзе. – М.: Дрофа, 2008. – 301 с.

3. Ловыгин А.А., Васильев А.В., Кривцов С.Ю. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система. – М.: «Эльф ИПР», 2006. – 286 с.

4. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления: Учеб. пособие. – М.: Логос, 2005. – 296 с.

5. Устройство ЧПУ NC-110, NC-200, NC-210. Руководство оператора. – СПб.: Балт-Систем, 2004. – 150 с.

6. Каштальян И.А., Клевзович В.И. Обработка на станках с числовым программным управлением: Справ. пособие. – Мн.: 1989. – 271 с.

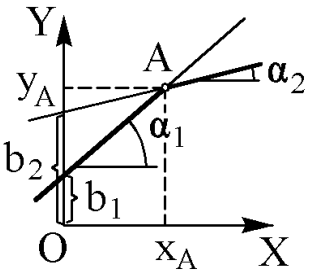
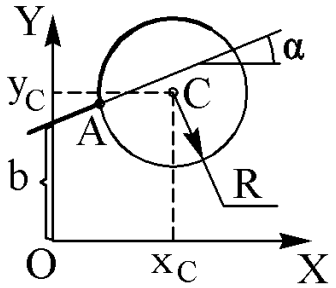
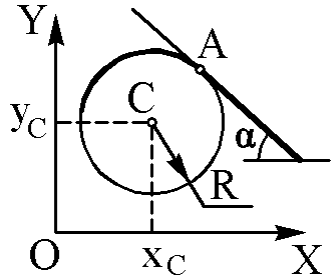
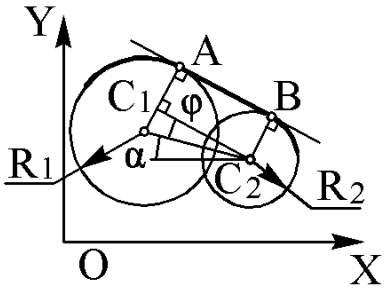
7. Босинзон М.А. Современные системы ЧПУ и их эксплуатация / М.А. Босинзон; под ред. Б.И. Черпакова. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 192 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

П.1. Формулы для определения координат опорных точек

Таблица П.1

Уравнения и формулы для расчета координат опорных точек на контуре детали

№	Расчетная схема	Уравнения и формулы
1		$y = k_1x + b_1$ $y = k_2x + b_2$ $k_1 = \text{tg}\ \alpha_1$, $k_2 = \text{tg}\ \alpha_2$.
2		$y = kx + b$; $(y - y_C)^2 + (x - x_C)^2 = R^2$; $k = \text{tg}\ \alpha$.
3		$x_A = x_{C1} \pm R \sin \alpha$; $y_A = y_{C1} \pm R \cos \alpha$.
4		$x_A = x_{C1} \pm R_1 \cdot \sin(\alpha+\varphi)$; $y_A = y_{C1} \pm R_1 \cdot \cos(\alpha+\varphi)$; $x_B = x_{C2} \pm R_2 \cdot \sin(\alpha+\varphi)$; $y_B = y_{C2} \pm R_2 \cdot \cos(\alpha+\varphi)$; $\alpha = \text{arctg}\ (y_{C2} - y_{C1})/\ (x_{C2} - x_{C1})$; $\varphi = \arcsin\ (R_2 - R_1)/[(y_{C2} - y_{C1})^2 + (x_{C2} - x_{C1})^2]^{1/2}$.

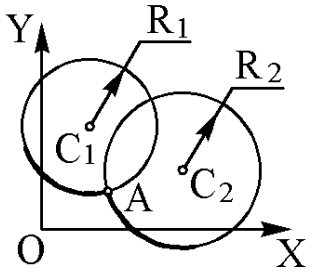
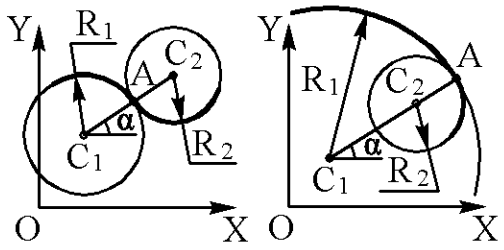
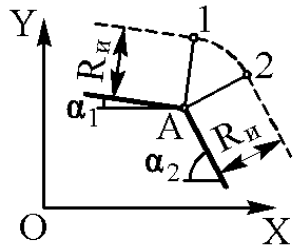
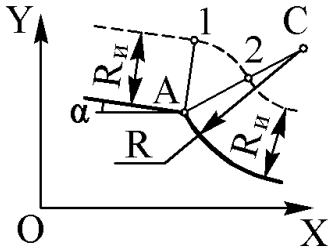
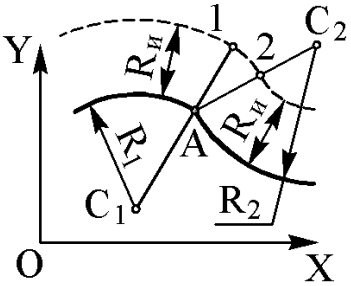
№	Расчетная схема	Уравнения и формулы
5		$(y - y_{C1})^2 + (x - x_{C1})^2 = R_1^2$ $(y - y_{C2})^2 + (x - x_{C2})^2 = R_2^2$
6		$x_A = x_{C1} \pm R \cos \alpha$; $y_A = y_{C1} \pm R \sin \alpha$; $\alpha = \mathrm{arctg}\,(y_{C2} - y_{C1})/\,(x_{C2} - x_{C1})$.

Таблица П.2

Формулы для расчета координат опорных точек на эквидистанте

№	Расчетная схема	Формулы
1		$x_1 = x_A + R_и \cdot \sin \alpha_1$; $y_1 = y_A + R_и \cdot \cos \alpha_1$; $x_2 = x_A + R_и \cdot \sin \alpha_2$; $y_2 = y_A + R_и \cdot \cos \alpha_2$.
2		x_1 и y_1 определяются аналогично схеме 1 $x_2 = x_A + R_и \cdot (x_C - x_A)/R$; $y_2 = y_A + R_и \cdot (y_C - y_A)/R$.
3		$x_1 = x_A + R_и \cdot (x_A - x_{C1})/R_1$; $y_1 = y_A + R_и \cdot (y_A - y_{C1})/R_1$; $x_2 = x_A + R_и \cdot (x_{C2} - x_A)/R_2$; $y_2 = y_A + R_и \cdot (y_{C2} - y_A)/R_2$.