

А. Б. Чуваков

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

**Производственное оборудование
и основы программирования операций**

(электронная версия)



Нижний Новгород 2011

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. АЛЕКСЕЕВА»

Павловский филиал НГТУ им. Р.Е. Алексеева

А. Б. Чуваков

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

**Производственное оборудование
и основы программирования операций**

(электронная версия)

*Рекомендовано Ученым советом Нижегородского
государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева
в качестве учебного пособия
для студентов машиностроительных специальностей
всех форм обучения*

Нижний Новгород 2011

УДК 621.91
ББК 34.63
Ч82

Рецензенты:

Главный инженер ОАО «Судостроительный завод «ВОЛГА» С.Ю. Гусев;
доктор технических наук, профессор Ю.П. Кузнецов

Чуваков А.Б.

Ч82 **Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ. Производственное оборудование и основы программирования операций** (электронная версия): учеб. пособие / А.Б. Чуваков; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2011. – 279 с.
ISBN 978-5-93272-918-2

Рассмотрены основы программирования обрабатывающих операций на станках с ЧПУ, структурные схемы программных станков фрезерной и токарной групп, методы проведения наладки технологического оснащения.

Предназначено для студентов машиностроительных специальностей всех форм обучения, может быть использовано при курсовом и дипломном проектировании. Возможно использование пособия на курсах переподготовки специалистов в качестве методического материала, а также на промышленных предприятиях в качестве практического руководства.

Рис. . Табл. . Библиогр.: 4 назв.

УДК 621.91
ББК 34.63

ISBN 978-5-93272-918-2

© Нижегородский государственный
технический университет
им. Р.Е. Алексеева, 2011
© Чуваков А.Б., 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ СТАНКОВ С ЧПУ	6
1.1. Общие положения	6
1.2. Структурные схемы станков типа «Обрабатывающий центр»	6
1.3. Механизмы автоматической смены инструментов в шпинделе	15
1.4. Угловые шпиндельные головки	18
1.5. Токарное оборудование с ЧПУ	20
1.6. Токарно-фрезерный многофункциональный центр	23
1.7. Совершенствование токарно-фрезерного оборудования	26
1.8. Системы автоматизированного активного контроля	29
2. НАЛАДКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ	32
2.1. Системы координат фрезерного оборудования	32
2.2. Ориентация деталей на рабочем столе обрабатывающего центра	34
2.3. Устранение погрешности базирования серийных деталей	37
2.4. Коррекция длины инструментов фрезерной группы	39
2.5. Наладка токарного оборудования	41
2.6. Таблица параметров инструментов токарных станков с ЧПУ	43
2.7. Коррекция длины инструментов токарной группы	45
2.8. Наладка токарно-фрезерных многофункциональных центров	46
3. ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ НА СТАНКАХ ТИПА «ОБРАБАТЫВАЮЩИЙ ЦЕНТР»	47
3.1. Общие положения	47
3.2. Программирование отрезков перемещений	48
3.3. Коррекция диаметра инструмента	50
3.4. Внутренняя расточка	54
3.5. Основы построения управляющих программ	58
3.6. Постоянные циклы сверления	61
4. СОКРАЩЕННОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕДУР	65
4.1. Модульное построение управляющих программ. Подпрограммы	65
4.2. Переменные параметры и операторы программирования	70
4.3. Программирование стандартных видов обработки	70
4.4. Программирование на базе закона изменения переменных	71
4.5. Применение логических функций	73
4.6. Логические функции с использованием счетчика	75
5. РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ	77
5.1. Общие положения	77
5.2. Программирование режимов резания	79
5.3. Программирование траекторий инструментов	80
5.4. Сокращенное описание контуров обработки	82
5.5. Коррекция радиуса рабочей вершины резца	83

5.6. Циклы обработки детали по замкнутому контуру	86
5.7. Нарезание цилиндрической резьбы	93
5.8. Программирование фрезерных операций на многофункциональных центрах	95
5.9. Пример комбинированной обработки детали	96
5.10. Программирование станков с двумя инструментальными блоками	100
5.11. Повышение производительности токарных операций	102
6. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ..	105
6.1. Принципы моделирования производственного процесса	105
6.2. Совершенствование работы гибкого автоматизированного участка..	107
6.2.1. Разработка модели технологического цикла	107
6.2.2. Применение параллельного режима работы оборудования	111
6.2.3. Привлечение дополнительного оборудования	114
6.3. Совершенствование работы гибкого производственного модуля	117
7. ОРГАНИЗАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ	124
7.1. Классификация деталей	124
7.2. Контроль качества выпускаемой продукции	125
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	137
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Пример программирования технологической операции на многофункциональном токарно-фрезерном центре	138
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Пример программирования технологической операции на станке фрезерной группы типа «Обрабатывающий центр»	171
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Графическое моделирование управляющих программ	221
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Пример графического моделирования обработки детали на станке с ЧПУ токарной группы	244
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Пример графического моделирования обработки детали на станке с ЧПУ фрезерной группы	251
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Альбом корпусных деталей (для практических работ и курсового проектирования)	258
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Бланки системы обеспечения качества (для практических работ и курсового проектирования)	271

ВВЕДЕНИЕ

В современном производстве все больший удельный вес занимает номенклатура деталей, выпускаемых мелкими и средними партиями [1]. В этих условиях широкое применение находят интегрированные производственные системы, основанные на применении станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Станки с ЧПУ, наряду с возможностью быстрой переналадки, способны обеспечить высокую эффективность производства и качество выпускаемой продукции.

Современные технологи и программисты ЧПУ должны знать основы подготовки автоматизированного производства и принципы работы оборудования, а также свободно владеть языками программирования систем ЧПУ, применяемыми на предприятии. Это существенно повышает уровень их профессионального мастерства, дает возможность активно участвовать в освоении новой продукции, включая наладку технологического оснащения и технологическую отработку управляющих программ (УП).

Современная литература по обработке деталей на станках с ЧПУ (учебники, монографии, эксплуатационная документация станков) дает хотя и глубокую, но очень разнородную и специфическую информацию. Такой материал сложен для восприятия и предназначен в основном для высококвалифицированных специалистов, осваивающих новую технику. В частности, практически отсутствует обучающая литература с обобщенной информацией по структурным схемам станков с ЧПУ и принципам выполнения пуско-наладочных работ. Это крайне отрицательно сказывается на учебном процессе. Как результат, молодые специалисты приходят на участки автоматизированного производства недостаточно подготовленными и нуждаются в дополнительной профессиональной подготовке.

В настоящем пособии в сжатой и доступной форме описаны принципы подготовки, программирования и выполнения технологических операций на автоматизированном оборудовании. Основы программирования фрезерной обработки на станках с ЧПУ типа **«Обрабатывающий центр»** описаны на базе системы управления и языка программирования **FANUC**. Основы программирования операций на токарно-фрезерных multifunctional центрах описаны на базе конструктивной схемы станка **INDEX** с двумя инструментальными блоками, двухканальной системой ЧПУ **Siemens** и языком программирования **SINUMERIK-840D**. Отдельное внимание посвящено вопросам повышения производительности работы автоматизированного оборудования и обеспечения качества выпускаемой продукции.

Учебное пособие предназначено для студентов специальностей «Технология машиностроения» и «Автоматизация производственных процессов (в машиностроении)» всех форм обучения. Оно может быть использовано на курсах переподготовки специалистов в качестве методического материала, а также на промышленных предприятиях в качестве практического руководства для молодых специалистов.

Приведенные в пособии рекомендации базируются на производственном опыте автора.

1. СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ СТАНКОВ С ЧПУ

1.1. Общие положения

ОБРАБАТЫВАЮЩИМИ ЦЕНТРАМИ (ОЦ) называют станки с ЧПУ фрезерной группы, имеющие инструментальный магазин и устройство автоматической смены инструментов в шпинделе (рис.1.1) [2]. В ОЦ принята правосторонняя прямоугольная система координат, в которой оси X, Y, Z соответствуют *БОЛЬШОМУ*, *УКАЗАТЕЛЬНОМУ* и *СРЕДНЕМУ* пальцам кисти правой руки (рис.1.2). В общем случае программирования ось Z совпадает с осью вращения шпинделя, а ее положительное направление принимается *ОТ ДЕТАЛИ*. Обычно ОЦ обрабатывает деталь последовательно несколькими инструментами (см. результаты компьютерного моделирования выполняемой операции на рис.1.3). Контуры фрезерной обработки в большинстве процедур формируются в плане $X-Y$, сверление производится при движении инструментов вдоль оси Z .

Значения символов системы кодирования УП, принятые в языке **FANUC** и соответствующие ГОСТ 20999-83, приведены в табл.1.1. Подготовительные и вспомогательные функции языка **FANUC**, применяемые в пособии при описании основ разработки УП, сведены в табл.1.2.

В процессе выполнения операций инструменты ОЦ осуществляют поступательные перемещения вдоль трех осей прямоугольной системы координат X, Y, Z . При этом все перемещения инструментов однозначно увязаны с *СИСТЕМОЙ КООРДИНАТ СТАНКА $X_c-Y_c-Z_c$* . *НУЛЕВАЯ ТОЧКА* системы координат станка обычно располагается в крайних точках перемещения рабочего стола и шпинделя (рис.1.4).

1.2. Структурные схемы станков типа «Обрабатывающий центр»

В настоящее время в основном применяются два типа ОЦ:

- станки с вертикальным расположением шпинделя (вертикальные ОЦ), предназначенные для обработки поверхностей в плоскости рабочего стола (рис.1.1, 1.11);
- станки с горизонтальным расположением шпинделя (горизонтальные ОЦ), предназначенные для обработки поверхностей, перпендикулярных плоскости рабочего стола (рис.1.5, 1.6).

На практике применяется несколько структурных схем вертикальных станков. В схеме, изображенной на рис.1.4, движение инструмента относительно детали в направлении оси Z обеспечивается перемещениями подвижного элемента 10 со шпинделем 1 вдоль направляющих 3. Движение в плане $X-Y$ обеспечивается перемещениями подвижных элементов 11, 12 с установленным на них рабочим столом 2 вдоль направляющих 4 и 5.



Рис.1.1. Вертикальный станок с ЧПУ типа «Обрабатывающий центр»

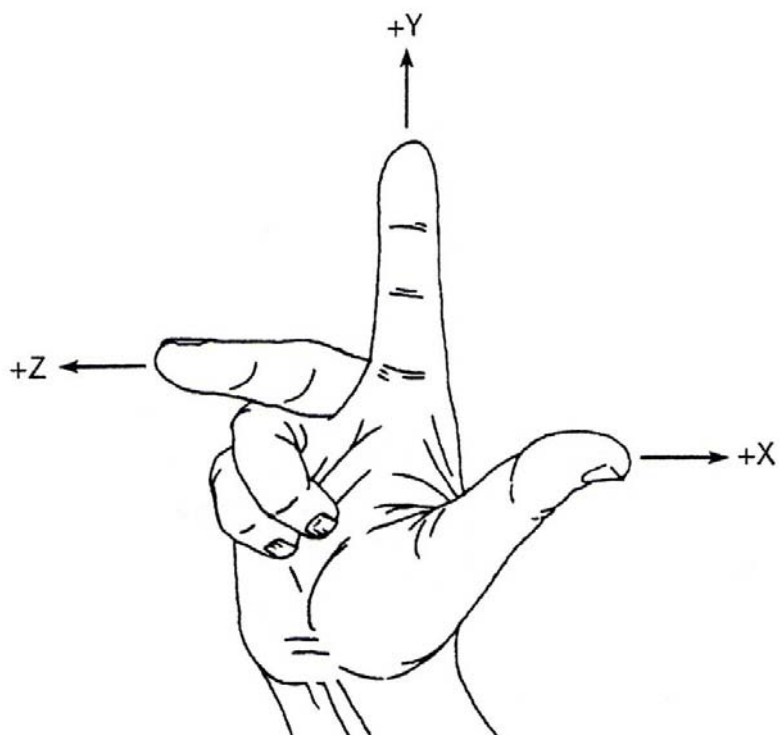


Рис.1.2. Расположение осей правосторонней системы координат

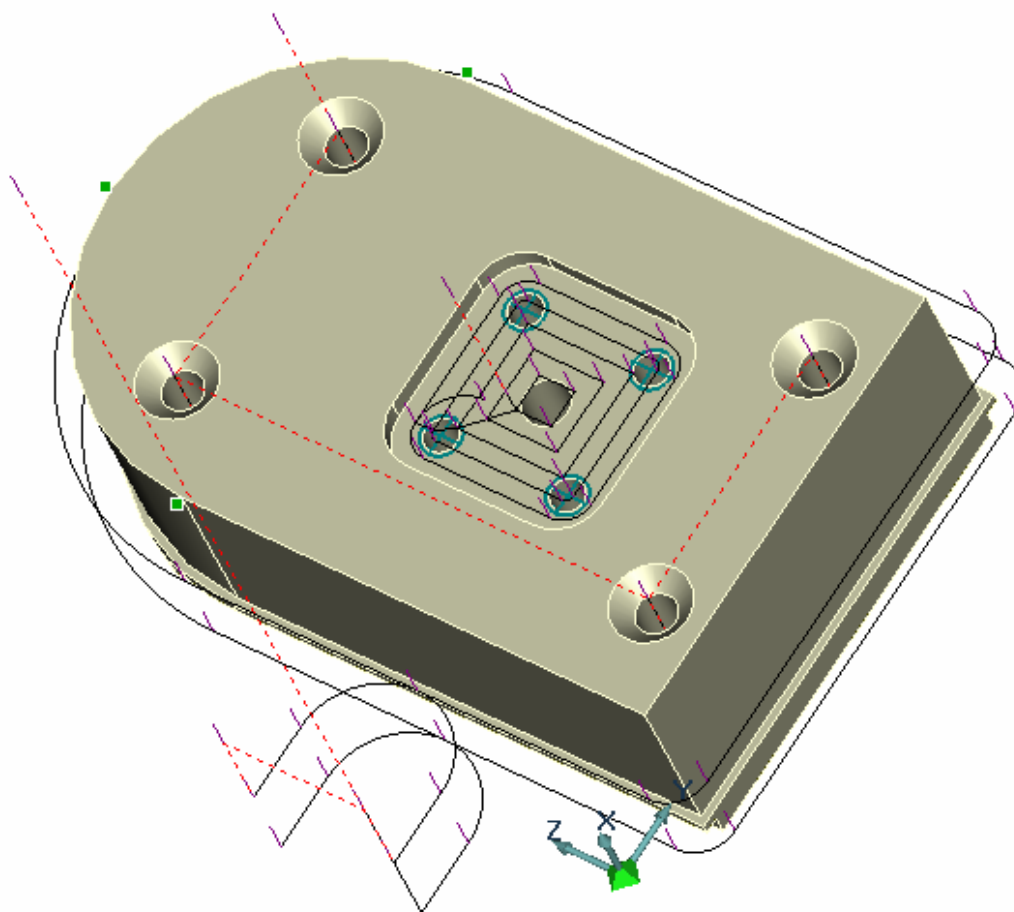


Рис.1.3. Поле экрана дисплея при графическом моделировании фрезерной обработки

Таблица 1.1

Символ	Значение
X, Y, Z	Координата по осям X, Y, Z прямоугольной системы координат
R, C	Длина и угол наклона отрезка в полярной системе координат
A, B, C	Поворот (угловое смещение) детали вокруг осей X, Y, Z
U, V, W	Относительное перемещение по осям X, Y, Z
I, J, K	Расстояние центра интерполяции от точки начала интерполяции по осям X, Y, Z
R	Радиус интерполяции
N	Номер кадра управляющей программы
G, M	Подготовительная и вспомогательная функция
F	Величина подачи инструмента (мм/мин)
S	Величина частоты вращения инструмента (об/мин)
T	Номер инструмента в инструментальном магазине
D, H	Ячейки корректоров диаметра и длины инструмента в таблице параметров инструментов (D_i, H_i для T_i)
%	Начало управляющей программы
O	Обозначение управляющей программы
(...)	Информация для оператора
L	Число вызовов подпрограммы

Т а б л и ц а 1.2

Код	Значение
ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ	
<i>G0</i>	Перемещение к точке на ускоренной подаче (позиционирование) в прямоугольной системе координат
<i>G1(...F)</i>	Перемещение к точке на рабочей подаче в прямоугольной системе координат
<i>G2(...F)</i>	Циркуляция по часовой стрелке
<i>G3(...F)</i>	Циркуляция против часовой стрелки
<i>G10</i>	Позиционирование в полярной системе координат
<i>G11(...F)</i>	Перемещение к точке на рабочей подаче в полярной системе координат
<i>G17</i>	План обработки <i>X-Y</i>
<i>G18</i>	План обработки <i>X-Z</i>
<i>G19</i>	План обработки <i>Y-Z</i>
<i>G40</i>	Отмена коррекции диаметра инструмента
<i>G41(...D_i)</i>	Ввод коррекции диаметра – контур справа от инструмента
<i>G42(...D_i)</i>	Ввод коррекции диаметра – контур слева от инструмента
<i>G43(...H_i)</i>	Ввод коррекции длины вылета инструмента
<i>G54...G59</i>	Перемещения в заданной системе координат детали
<i>G81</i>	Цикл короткого сверления
<i>G83</i>	Цикл длинного сверления
<i>G84</i>	Цикл нарезания резьбы
<i>G85</i>	Цикл развертывания №1
<i>G86</i>	Цикл развертывания №2
<i>G80</i>	Отмена циклов сверления
<i>G90</i>	Абсолютная система отсчета
<i>G91</i>	Относительная система отсчета
<i>G91 G28</i>	Перемещения в системе координат станка
<i>G98</i>	Перемещения сверлильных инструментов на высоте плоскости безопасности
<i>G99</i>	Перемещения сверлильных инструментов на высоте точки начала сверления
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ	
<i>M0</i>	Программный останов станка
<i>M2 (M30)</i>	Окончание программы
<i>M3</i>	Запуск вращения шпинделя по часовой стрелке
<i>M4</i>	Запуск вращения шпинделя против часовой стрелки
<i>M5</i>	Останов вращения шпинделя
<i>M8</i>	Включение подачи охлаждающей жидкости
<i>M9</i>	Отключение подачи охлаждающей жидкости
<i>M98</i>	Вызов подпрограммы
<i>M99</i>	Окончание подпрограммы

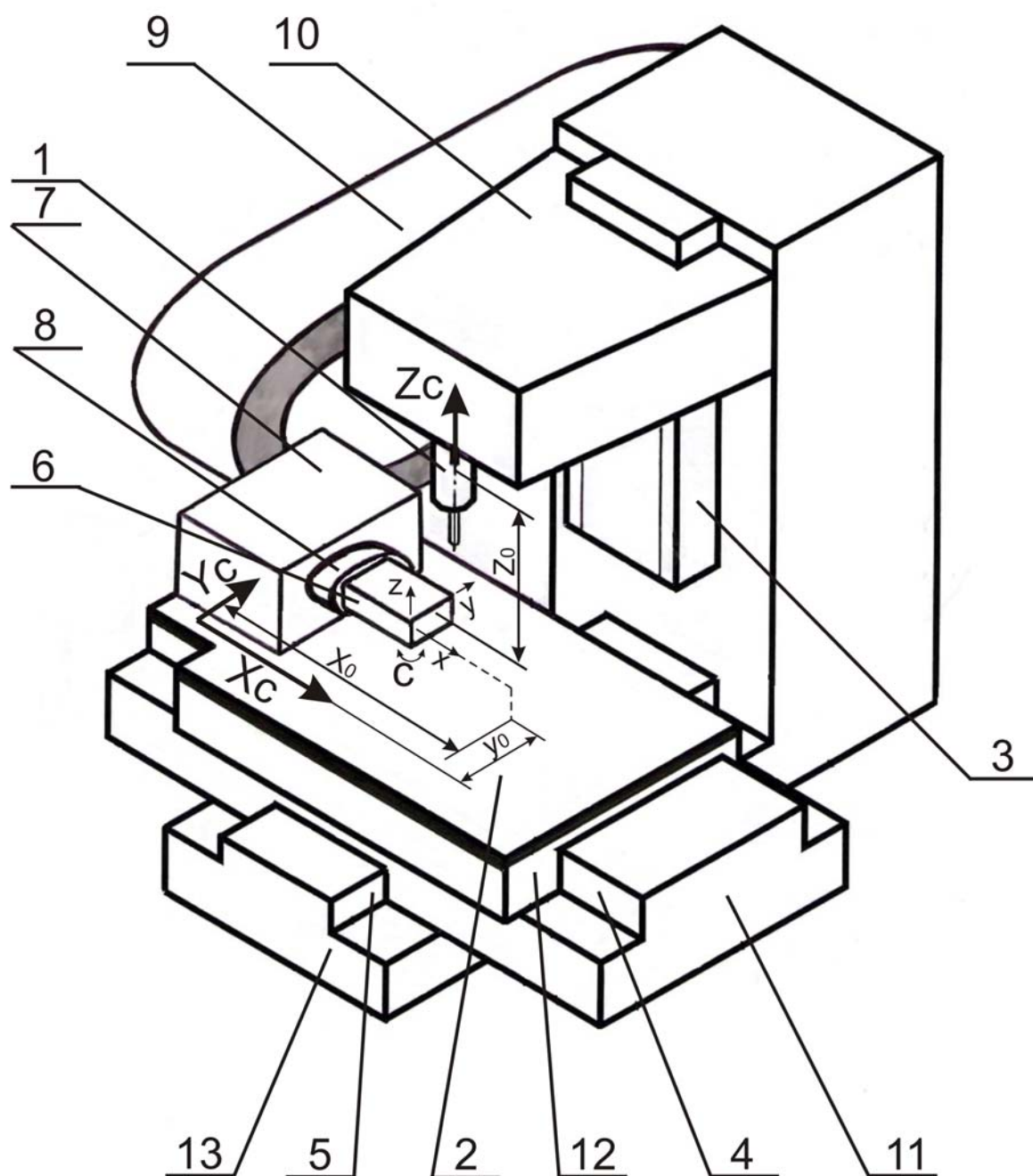


Рис.1.4. Структурная схема вертикального ОЦ:

1 – шпиндель; 2 – рабочий стол; 3,4,5 – направляющие; 6 – обрабатываемая деталь; 7 – поворотная головка; 8 – патрон; 9 – инструментальный магазин; 10,11,12 – подвижные элементы; 13 – основание; C – обозначение поворота детали; X_c, Y_c, Z_c – координатные оси системы координат станка; X, Y, Z – координатные оси системы координат детали; X_0, Y_0, Z_0 – константы смещения нулевой точки системы координат детали

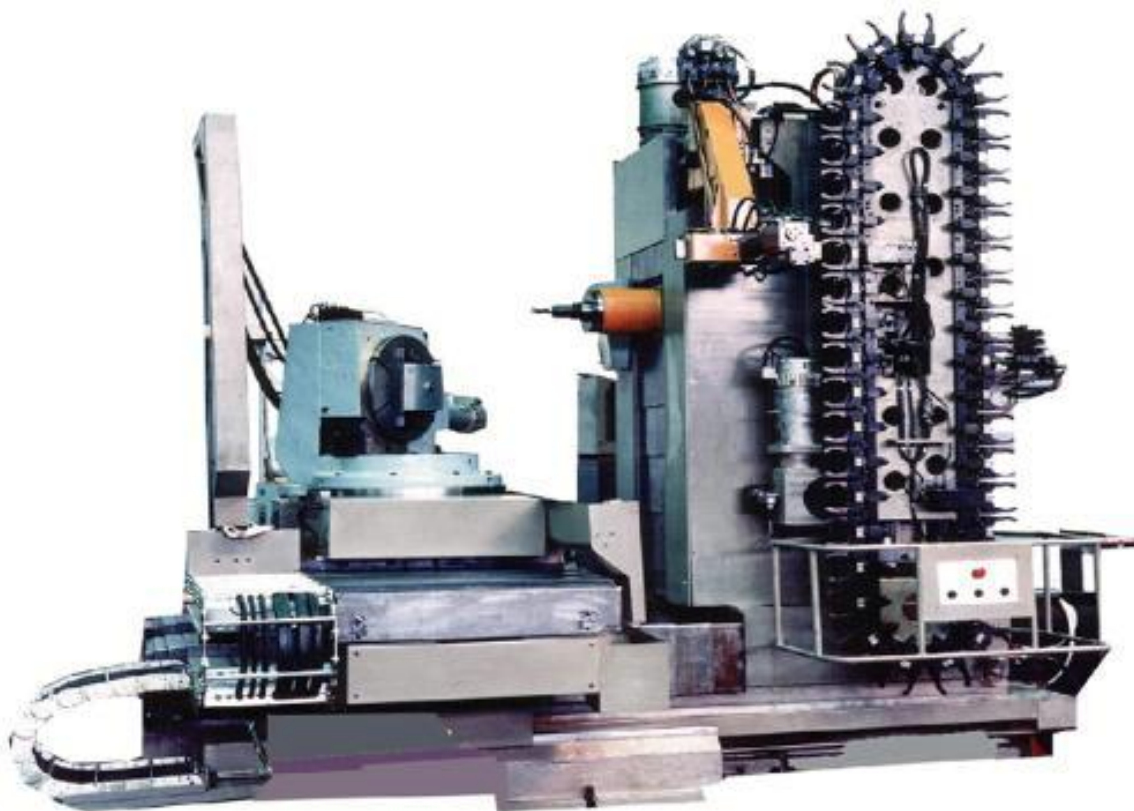


Рис.1.5. Горизонтальный станок с магазином типа «*РУКА*» и конвейером с инструментами

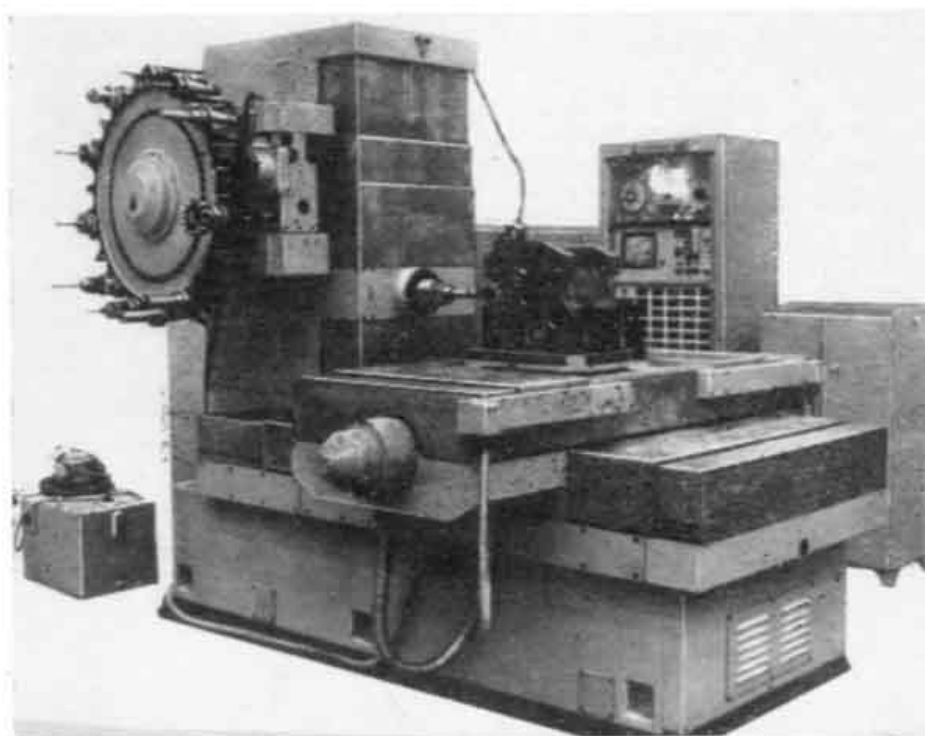


Рис.1.6. Горизонтальный станок с магазином типа «*РУКА*» и барабаном с инструментами

В качестве дополнительного элемента на рабочем столе 2 (рис.1.4) может быть установлена поворотная головка 7, в патроне 8 которой могут закрепляться относительно небольшие детали 6. Головка способна осуществлять контролируемый поворот детали относительно оси X по команде УП и ее фиксацию в заданных положениях относительно углового положения 0° . Это позволяет программировать обработку различных поверхностей детали с одного установа. Внешний вид рабочей зоны станка с поворотной головкой приведен на рис.1.7. Пример командного кадра УП: фиксация поворотной головки в угловом положении 90° относительно оси X осуществляется по команде $A=90$ (табл.1.1).

Для производства особо сложных изделий за один установ применяются поворотные головки с дополнительной осью вращения, способные осуществлять автоматическую смену углового положения детали относительно шпинделя в двух взаимно перпендикулярных плоскостях: с поворотом относительно осей X и Y (рис.1.8). Пример командного кадра УП: фиксация поворотной головки в угловом положении 45° относительно оси Y осуществляется по команде $B=45$ (табл.1.1).

Наиболее широко применяемая структурная схема горизонтального ОЦ изображена на рис.1.9. Движение инструмента вдоль оси X обеспечивается перемещениями подвижного элемента 4 станка вдоль направляющих 7. Движение инструмента вдоль оси Y обеспечивается перемещениями подвижного элемента 3 со шпинделем 1 вдоль направляющих 6. Движение инструмента вдоль оси Z обеспечивается перемещениями подвижного элемента 5 станка вдоль направляющих 8. В качестве элемента крепления шпинделя во многих станках используется телескопическое устройство 11, дающее дополнительные возможности перемещения шпинделя вдоль оси Z .

Рабочий стол 2 в большинстве современных станков устанавливается на подвижном элементе 4 с применением поворотного механизма 9. Конструкция станка позволяет осуществлять контролируемый поворот рабочего стола относительно оси Y по команде УП и его фиксацию в различных заданных угловых положениях. Ось поворота рабочего стола располагается в его центре симметрии. Пример командного кадра УП: фиксация рабочего стола в угловом положении 180° относительно оси Y осуществляется по команде $B=180$ (табл.1.1). Такая конструкция позволяет программировать обработку различных расположенных боковых поверхностей крупногабаритных деталей с одного установа.

На поворотном рабочем столе 2 горизонтального ОЦ (рис.1.9) может быть дополнительно установлена поворотная головка (рис.1.5), осуществляющая поворот детали относительно оси X (пример командного кадра на фиксацию поворотной головки см. выше).

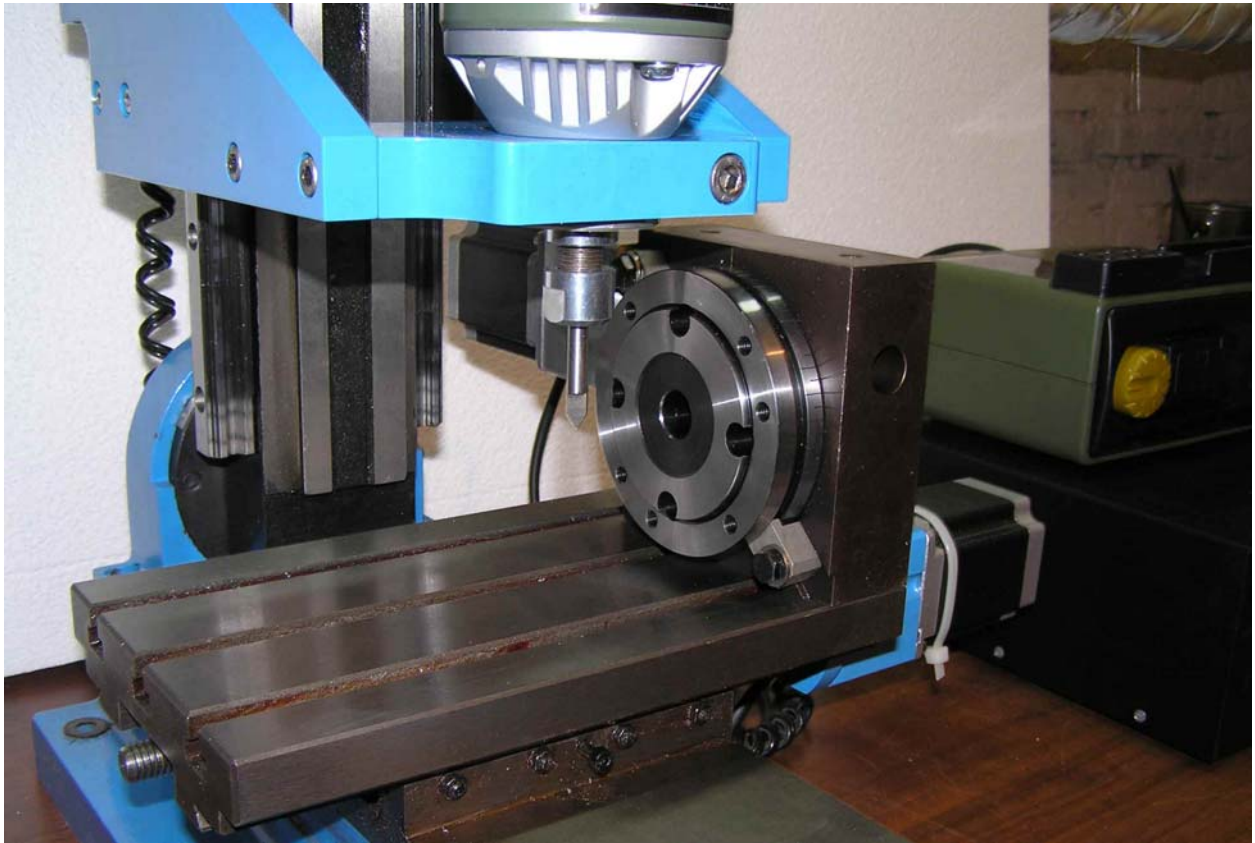


Рис.1.7. Поворотная головка



Рис.1.8. Поворотная головка с дополнительной осью вращения

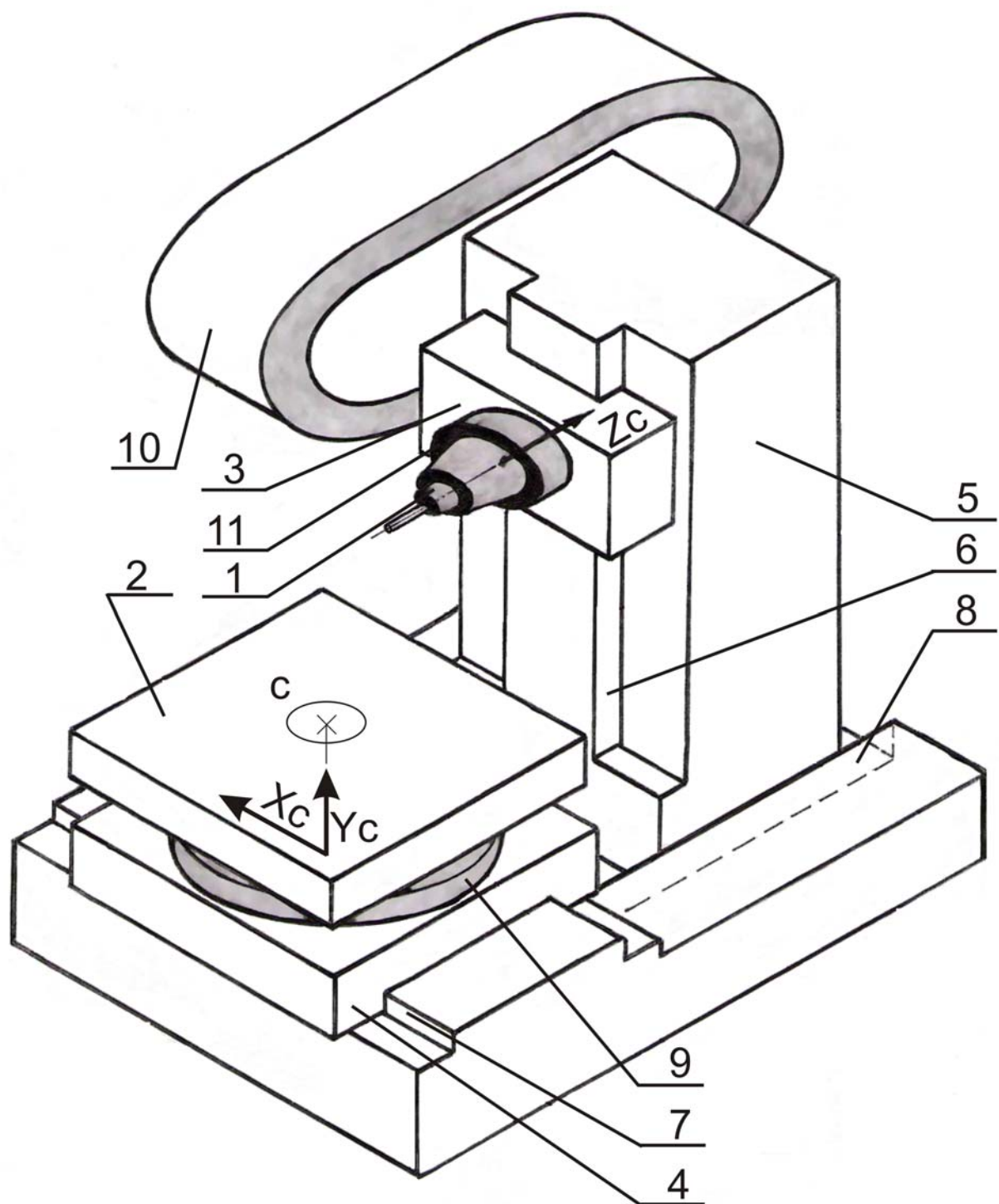


Рис.1.9. Структурная схема горизонтального ОЦ:

1 – шпиндель; 2 – рабочий стол; 3,4,5 – подвижные элементы; 6,7,8 – направляющие; 9 – поворотный механизм; 10 – инструментальный магазин; 11 – телескопическое устройство крепления шпинделя; C – обозначение поворота детали; X_c, Y_c, Z_c – координатные оси системы координат станка

1.3. Механизмы автоматической смены инструментов в шпинделе

Как уже отмечалось, структурные схемы станков типа ОЦ имеют в своем составе *ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ МАГАЗИН* и устройство автоматической смены инструментов в шпинделе. Инструментальные магазины вертикальных ОЦ можно разделить на три типа. Выбор применяемой конструкции обычно бывает обусловлен задачами, стоящими перед оборудованием, и его стоимостью.

Магазин *РЕВОЛЬВЕРНОГО* типа жестко скреплен со шпинделем и выполнен в виде револьверной головки (рис.1.1). Во время работы станка магазин перемещается вместе со шпинделем. Конструкция магазина проста и надежна, однако его емкость невелика и обычно составляет не более 12 единиц. Смена инструмента производится простым поворотом револьверной головки и может осуществляться в любой точке на линии движения шпинделя.

Другие типы механизмов смены инструментов представляют собой отдельно расположенные устройства. Механизмы производят заданные манипуляции при фиксации шпинделя в строго установленной точке. Эта точка часто совпадает с крайней точкой его перемещения.

Магазин типа «*ЗОНТИК*» (рис.1.10,а) представляет собой барабан с инструментами, емкость (количество мест для установки инструментов) которого составляет 20...30 позиций. Положение магазина – горизонтальное, над рабочим столом, в стороне от шпинделя. Передача инструментов между магазином и шпинделем осуществляется в процессе взаимных перемещений шпинделя и барабана. Время смены инструментов **8...15 с**.

Механизмы смены инструментов типа «*АРМ (ПУКА)*» представляют собой манипулятор, действующий совместно с барабаном (рис.1.10,б), диском (рис.1.11) или цепным конвейером (рис.1.5). Емкость барабана и диска обычно составляет 20...40 позиций; емкость цепного конвейера не ограничена и может достигать 200 единиц.

На рис.1.12 приведена фотография механизма типа «*ПУКА*» со стороны манипулятора, осуществляющего передачу инструментов между магазином и шпинделем. С целью вызова в шпиндель инструмент приходит на подготовительную позицию 2 и встает в вертикальное положение. Далее манипулятор 3 осуществляет одновременный захват двух инструментов: из шпинделя 5 и с подготовительной позиции 2. Затем следует разворот манипулятора и смена инструментов местами. Описанные устройства способны осуществлять поиск инструмента в магазине одновременно с обработкой детали другим инструментом. Это позволяет снизить время смены инструмента в шпинделе до **2...5 с**.



а)



б)

Рис.1.10. Механизмы смены инструментов вертикальных станков:
а – инструментальный магазин типа «ЗОНТИК»;
б – механизм типа «РУКА» с инструментальным магазином барабанного типа

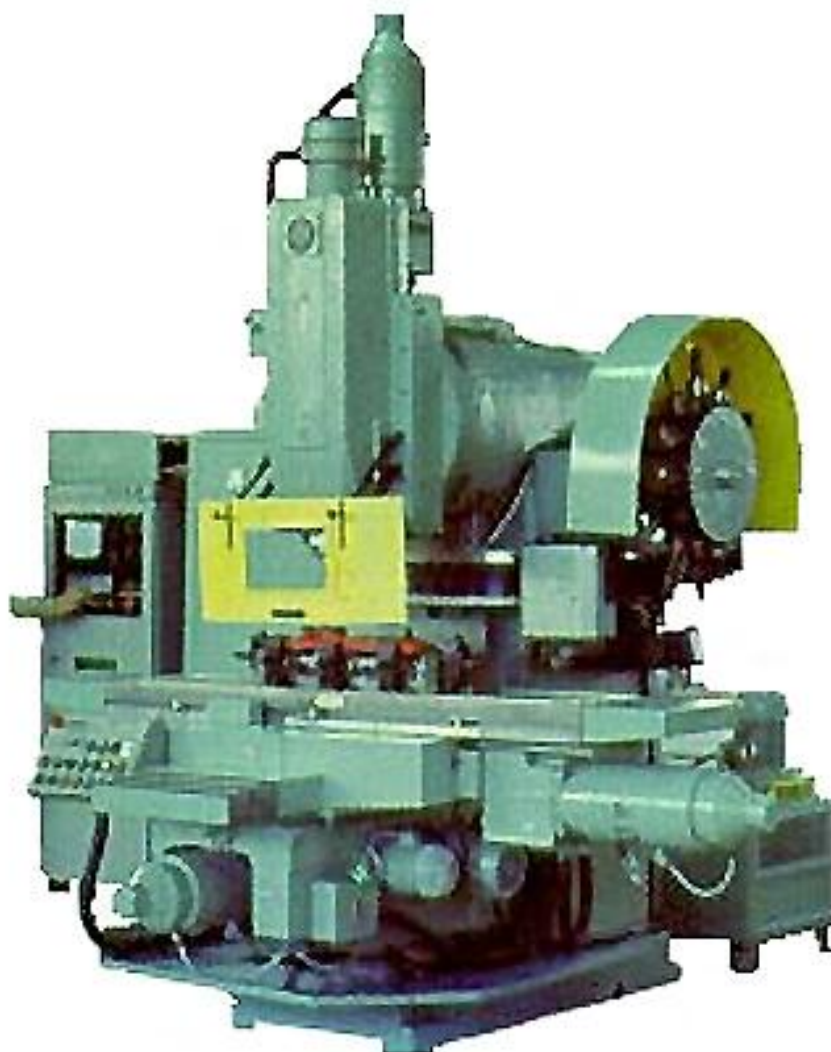


Рис.1.11. Вертикальный станок с магазином типа «РУКА» и диском с инструментами

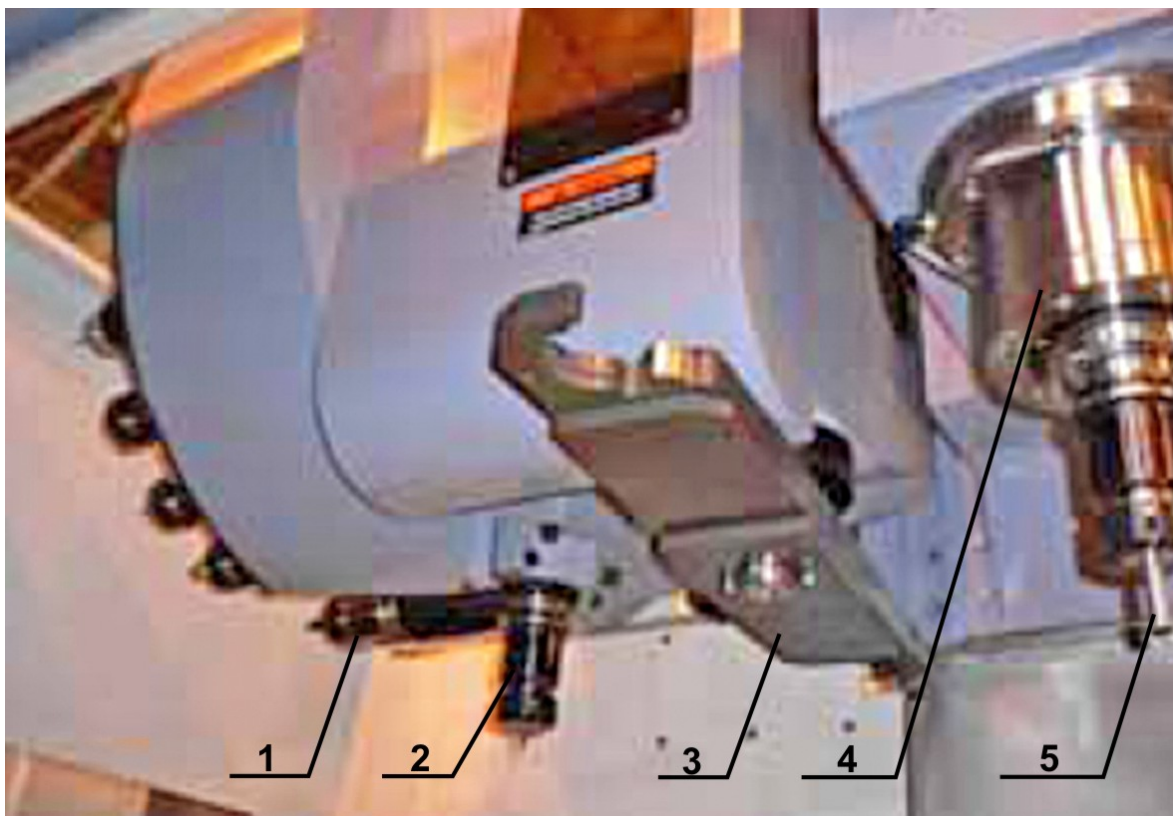


Рис.1.12. Инструментальный магазин типа «*ПУКА*» (вид со стороны манипулятора):
1 – инструмент в магазине в штатном положении; *2* – инструмент на подготовительной позиции; *3* – манипулятор в штатном положении; *4* – шпиндель; *5* – инструмент в шпинделе

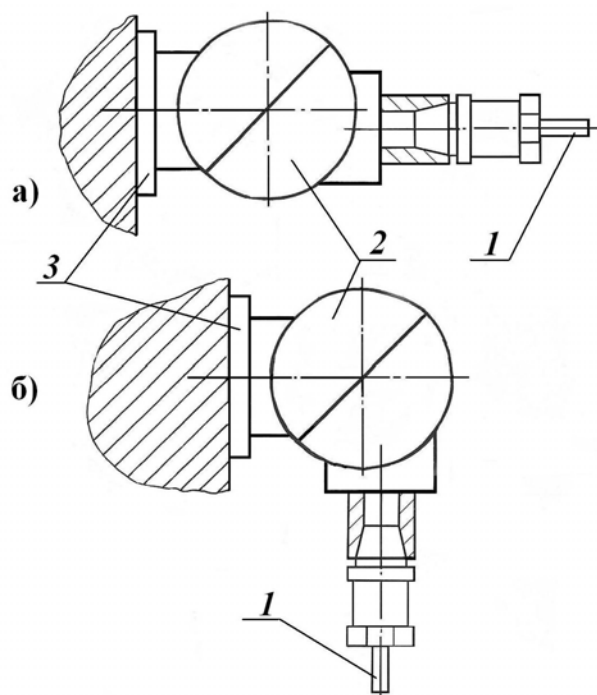


Рис.1.13. Угловая шпиндельная головка горизонтального ОЦ:
1 – инструмент; *2* – поворотный механизм; *3* – телескопическое устройство крепления

В горизонтальных ОЦ применяются исключительно механизмы смены инструментов типа «РУКА». Магазины относительно небольших станков обычно выполняются в виде барабанов (рис.1.6). В крупных станках инструменты содержатся в цепных конвейерах (рис.1.5). Их большая емкость позволяет постоянно хранить в станке широкий спектр инструментов, настроенных на обработку сразу нескольких деталей. Наличие инструментов на подготовленных позициях позволяет существенно снизить время наладки технологического оснащения для выполнения операций.

1.4. Угловые шпиндельные головки

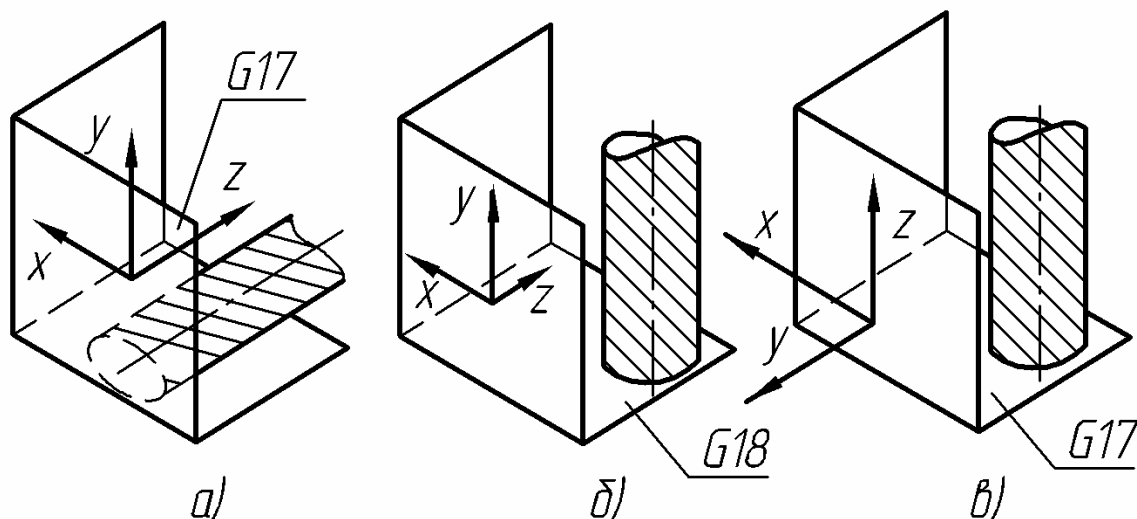
Многие современные горизонтальные ОЦ имеют усовершенствованную конструкцию шпинделя, который выполнен в виде *УГЛОВОЙ ШПИНДЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ* (рис.1.13). Их конструкции позволяют изменять рабочее положение инструмента в пространстве, причем шпиндель может разворачиваться как по команде УП, так и с пульта станка. Горизонтальное положение шпинделя (*а*) считается основным; его часто обозначают *1*. Вертикальное положение (*б*) считается вспомогательным; его часто обозначают *2*.

В положении *1* станок осуществляет обычную для горизонтальных ОЦ обработку деталей в плане *X-Y*. Этот план, как уже отмечалось, лежит в плоскости перпендикулярной рабочему столу (рис.1.14,*а*) и в международной системе кодирования *ISO-7bit* обозначается функцией *G17*. В положении *2* обработка деталей производится в плане плоскости рабочего стола *X-Z* (рис.1.14,*б*), который кодируется функцией *G18*.

Вертикальные ОЦ (рис.1.1, 1.11) своим штатным инструментом способны осуществлять обработку деталей только в плане рабочего стола *X-Y* (рис.1.14,*в*). С целью расширения технологических возможностей станков в них могут использоваться съемные угловые шпиндельные головки с изменяемым углом расположения шпиндельной части с рабочим инструментом (рис.1.15,*а*). Съемные головки крепятся к шпиндельному узлу станка; заданное угловое положение в них обычно устанавливается вручную.

Отметим, что в процессе обработки детали замена инструментов в съемной головке может производиться только вручную. Вследствие этого головки не могут участвовать в комбинированной операции, выполняемой станком; обработка деталей с их использованием составляет отдельную процедуру. Пример применения съемной угловой шпиндельной головки для обработки внутренней цилиндрической поверхности детали приведен на рис.1.15,*б*. Очевидно, что без применения головки осуществить обработку этой поверхности было бы невозможно.

Описанные выше элементы станков, а именно: механизм поворота рабочего стола *9* (рис.1.9), поворотные головки (рис.1.7, рис.1.8), угловые шпиндельные головки (рис.1.13, рис.1.15) – существенно расширяют технологические возможности станков, увеличивая число различных расположенных поверхностей детали, которые могут быть обработаны с одного установа.



План X-Y (горизонт.) План X-Z (горизонт.) План X-Y (вертикальн.)

Рис.1.14. Планы обработки станков типа «Обрабатывающий центр»:
a – основной план обработки горизонтального ОЦ (Положение 1);
б – вспомогательный план обработки горизонтального ОЦ (Положение 2);
в – план обработки вертикального станка штатным инструментом

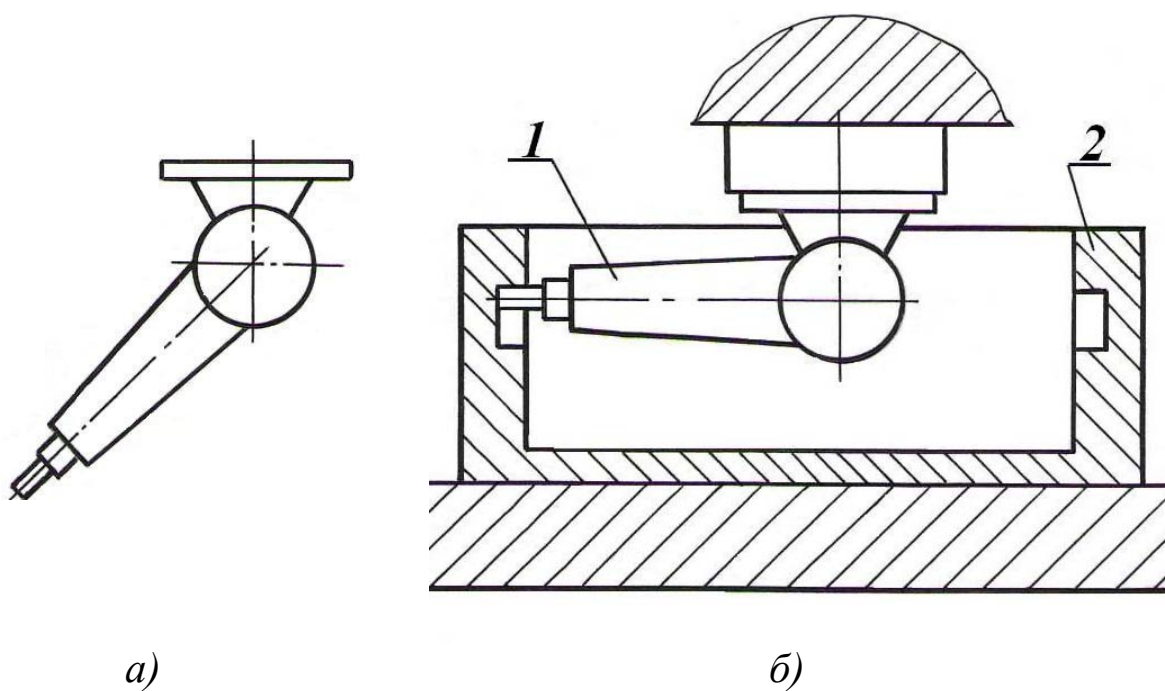


Рис.1.15. Съемная угловая шпиндельная головка:
a – головка как конструктивный элемент; *б* – головка в рабочем положении;
1 – шпиндельная часть головки; *2* – обрабатываемая деталь

1.5. Токарное оборудование с ЧПУ

Токарное оборудование с ЧПУ реализует комбинированную обработку тел вращения, закрепленных в шпинделе. Автоматизированное оборудование для токарной обработки деталей выпускается с очень широким спектром вариантов комплектации. В зависимости от требований Заказчика станки могут выпускаться в одно- или двухшпиндельном варианте; с автоматической задней бабкой, с автоматическим люнетом или без таковых; с одним или двумя инструментальными магазинами revolverного типа и т.д.

В своей базовой комплектации токарный станок с ЧПУ обычно содержит шпиндель, расположенный слева от оператора, и одну revolverную головку с инструментами, размещенную напротив шпинделя. Формирование контура обработки в таких станках осуществляется в процессе перемещения инструментов в плане *X-Z* прямоугольной системы координат. Ось *Z* совпадает с осью вращения детали и направлена *ОТ ШПИНДЕЛЯ*; ось *X* направлена *ОТ ДЕТАЛИ*. Значение координат по оси *X* обычно задается в диаметральном выражении.

С целью повышения уровня автоматизации токарного оборудования в современном массовом производстве широкое применение находят загрузочные устройства автоматической подачи прутка – *БАРФИДЕРЫ*. Устройства относятся к вспомогательным приспособлениям токарных станков с ЧПУ. Они легко совмещаются практически с любым токарным оборудованием и могут приобретаться в качестве дополнительных опций. Совместно с токарным станком барфидер образует автоматизированный модуль. Работа модуля обычно осуществляется по единой совмещенной УП.

Описываемые устройства размещаются с задней стороны станка соосно шпинделю (рис.1.16, левая часть фотографии). Рабочий процесс выполнения детали в автоматическом режиме проиллюстрирован на рис.1.17. Перед началом работы комплекса в барфидер загружаются прутки длиной до **5 м**. В начале цикла обработки прутки 2 подаются в рабочую зону станка (рис.1.17,*а*) и проталкиваются толкателем 1 до приходящего упора 5 (рис.1.17,*б*). Далее начинается обработка детали (рис.1.17,*в*) по УП контурными резцами 6 и другими инструментами. После окончания обработки происходит отрезка готовой детали 8 отрезным резцом 7 от прутка (рис.1.17,*г*) и ее отвод из рабочей зоны станка с помощью ловителя 10; затем цикл обработки детали возобновляется (рис.1.17,*д*). В конце полного цикла обработки прутка его остаток 9 выталкивается из кулачков 4 патрона 3 и также отводится из рабочей зоны ловителем (рис.1.17,*е*).



Рис.1.16. Токарный станок с устройством автоматической подачи прутка - барфидером

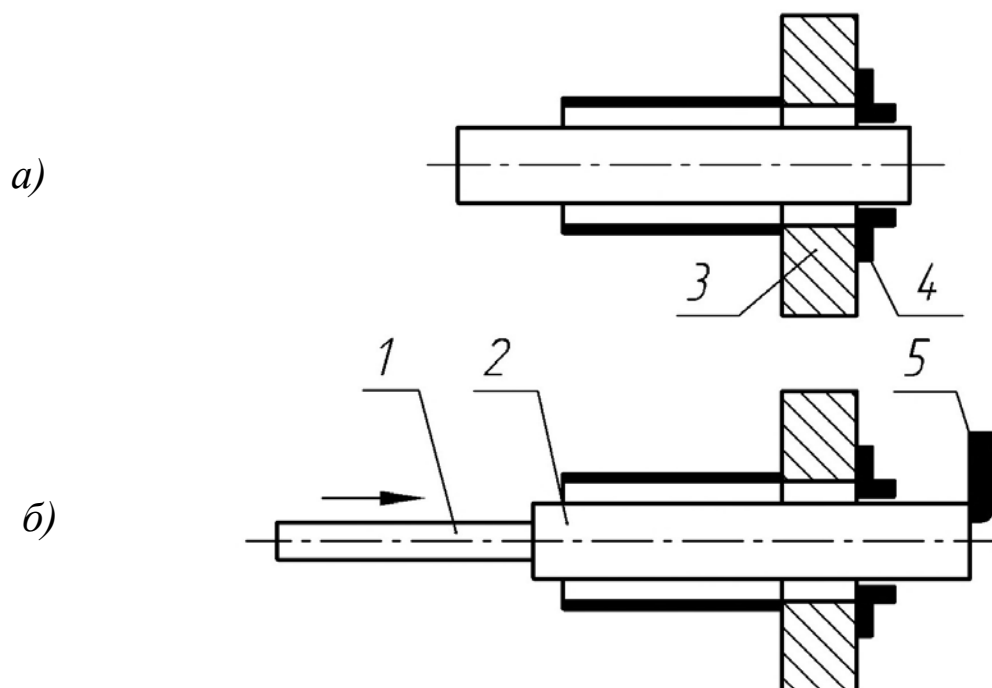


Рис.1.17 (начало). Цикл автоматической работы токарного станка с барфидером:
 1 – толкатель; 2 – пруток; 3 – патрон станка; 4 – кулачки; 5 – упор;
 а – установка прутка в начале обработки; б – проталкивание прутка до упора

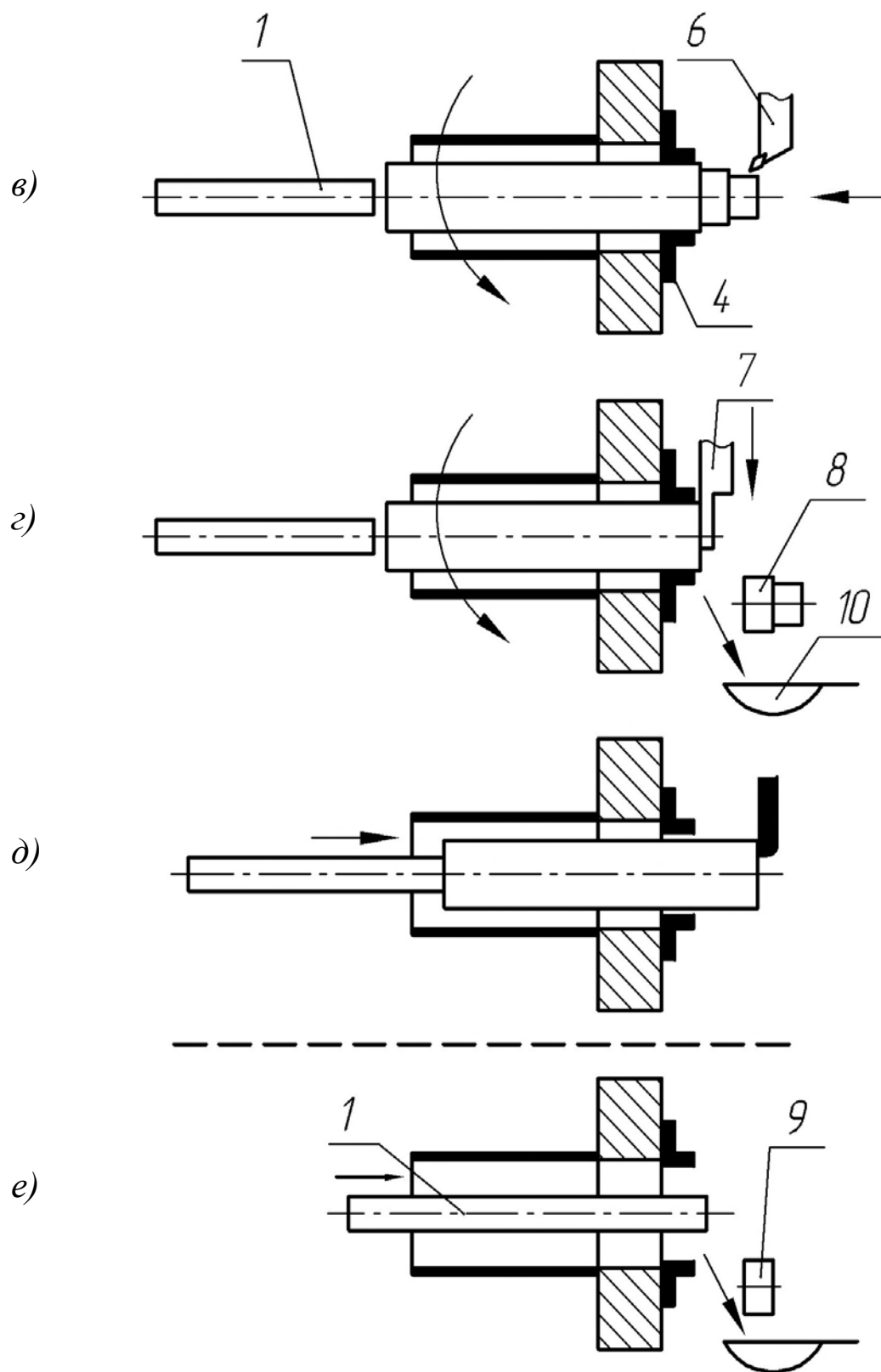


Рис.1.17 (продолжение). Цикл автоматической работы токарного станка с барфидером:
 б – контурный резец; 7 – отрезной резец; 8 – готовая деталь; 9 – остаток прутка;
 10 – ловитель;
 в – обработка заготовки очередным инструментом; г – отрезка готовой детали;
 д – проталкивание прутка до упора; е – выемка обрезка прутка в конце обработки

1.6. Токарно-фрезерный многофункциональный центр

Современный уровень развития техники позволяет создавать станки, способные совмещать различные виды обработки детали. Применение оборудования с высокой концентрацией разнообразных операций позволяет существенно повысить производительность труда и качество выпускаемой продукции. В настоящее время все более широкое применение находят многофункциональные обрабатывающие центры, выполненные на базе токарных станков с ЧПУ. Их основное назначение – комбинированная токарно-фрезерная обработка тел вращения, закрепленных в шпинделе.

Токарно-фрезерные многофункциональные центры внешне и по компоновке практически не отличаются от обычных токарных станков с ЧПУ. При этом с целью выполнения фрезерных процедур они содержат три дополнительных модуля, которые осуществляют:

- перемещение обрабатывающего инструмента вдоль координатной оси Y , перпендикулярной осям плана токарной обработки $X-Z$;
- привод вращения обрабатывающего инструмента;
- контролируемый поворот шпинделя и его фиксацию в заданных угловых положениях.

Рассмотрим схему построения токарно-фрезерных многофункциональных центров на примере станка **INDEX**, работающего совместно с системой ЧПУ **Siemens**. Эти станки выполняются в различных комплектациях, как правило, с возможностью фрезерной обработки деталей. В своем базовом исполнении (рис.1.18) токарно-фрезерный станок содержит инструментальный магазин 7, выполненный в виде револьверной головки и предназначенный для выполнения токарных и фрезерных процедур. Магазин установлен на подвижном элементе 6 с возможностью перемещения вдоль третьей координатной оси Y . Направление оси $Y+$ согласно правилу правой руки (рис.1.2) определено в сторону оператора. Фотография револьверной головки токарно-фрезерного станка с инструментами приведена на рис.1.19.

В процессе токарных операций инструменты станка перемещаются в плоскости $X-Z$; по оси Y он зафиксирован в положении $Y=0$. При выполнении фрезерных операций шпиндель с закрепленной деталью остановлен и зафиксирован в заданном угловом положении, а инструменты перемещаются в пространстве вдоль трех координатных осей.

На схеме (рис.1.18) изображен станок с тремя задействованными инструментами. На позиции 1 в рабочем положении установлен токарный резец 5. На позиции 4 установлен блок 4 с фрезой 3, которая предназначена для обработки детали в плане $Y-Z$. Этот план кодируется функцией **G19** (рис.1.21). Блок 4 имеет прямую передачу вращения.

На позиции 7 установлен блок 8 с фрезой 9, которая предназначена для обработки детали в плане $X-Y$. Этот план кодируется функцией **G17** (рис.1.20). Блок 8 имеет угловую передачу. Поэтому для обеспечения вращения инструмента по часовой стрелке привод станка должен вращаться против часовой стрелки (кодируется командой **M4**, см. табл.1.2).

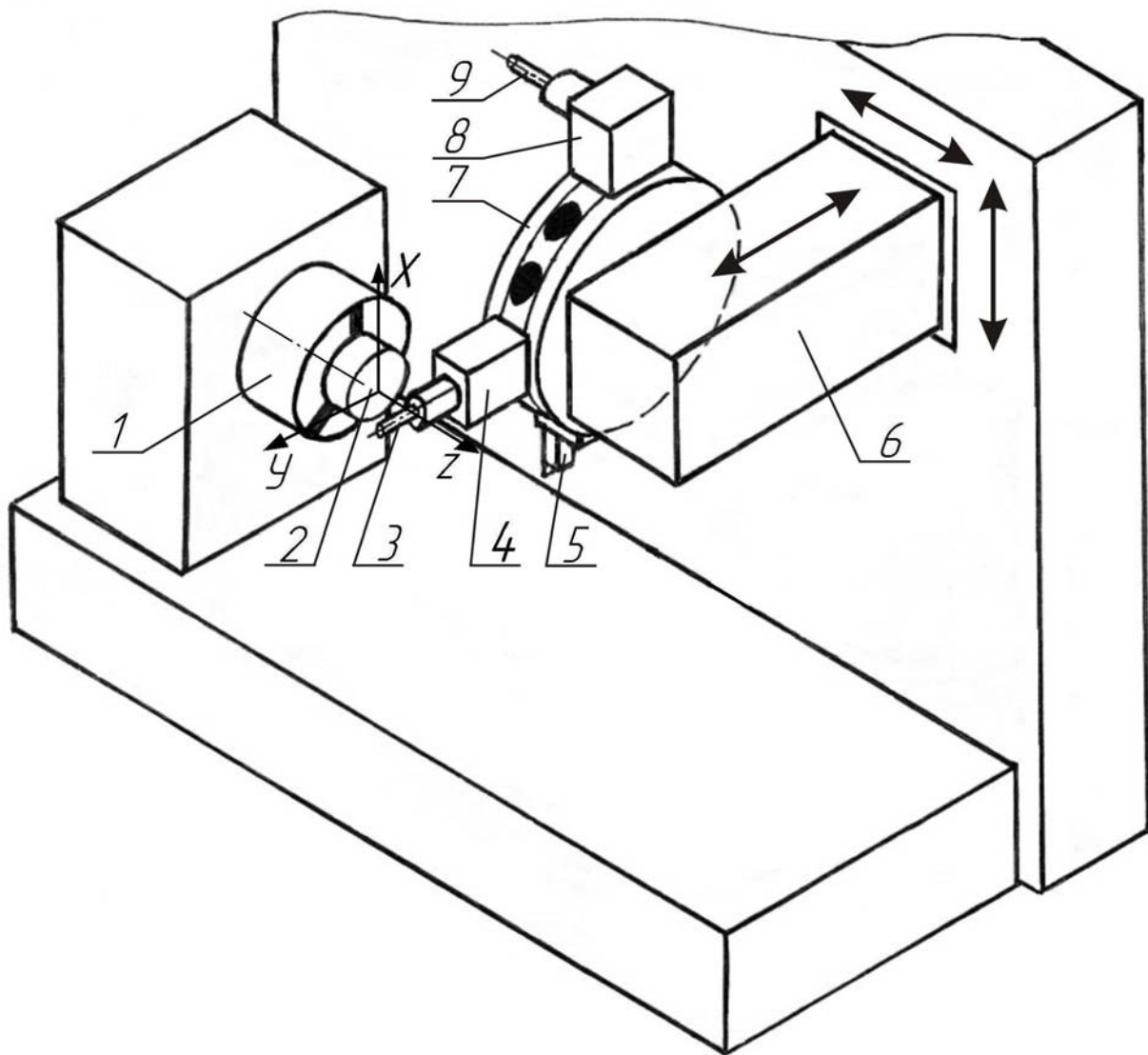


Рис.1.18. Структурная схема токарно-фрезерного многофункционального центра:
 1 – шпиндель; 2 – деталь; 3, 9 – фрезы; 4 – фрезерный блок обработки детали в плане $Y-Z$; 5 – токарный резец; 6 – элемент крепления инструментального магазина;
 7 – инструментальный магазин типа «револьверная головка»; 8 – фрезерный блок обработки детали в плане $X-Y$



Рис.1.19. Инструментальный магазин револьверного типа токарно-фрезерного центра

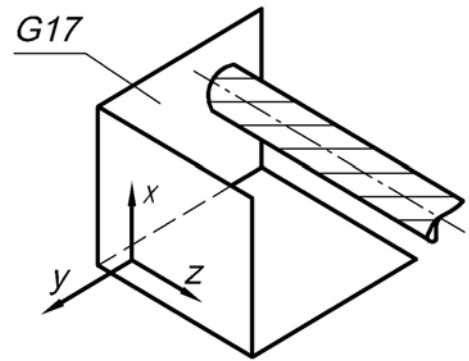
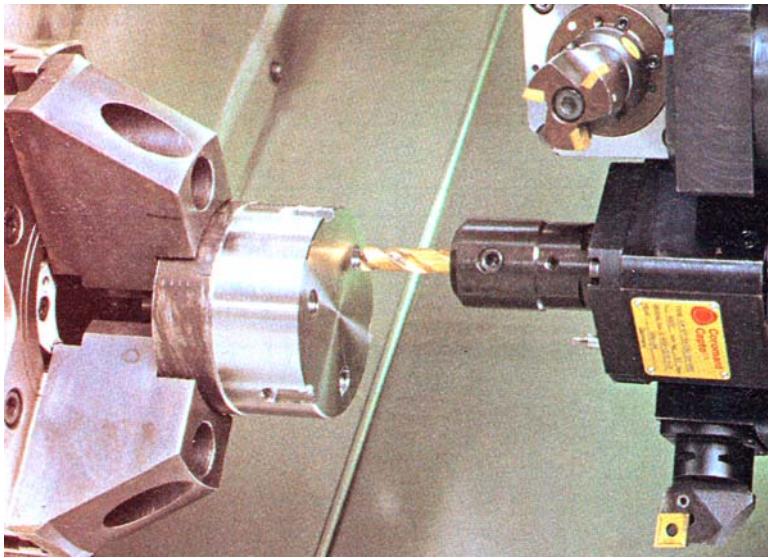


Рис.1.20. Фрезерный инструмент в плане обработки X - Y на многофункциональном центре: рабочая зона станка и схема плана фрезерной обработки детали

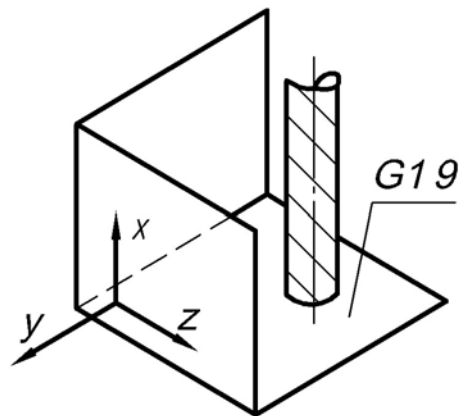
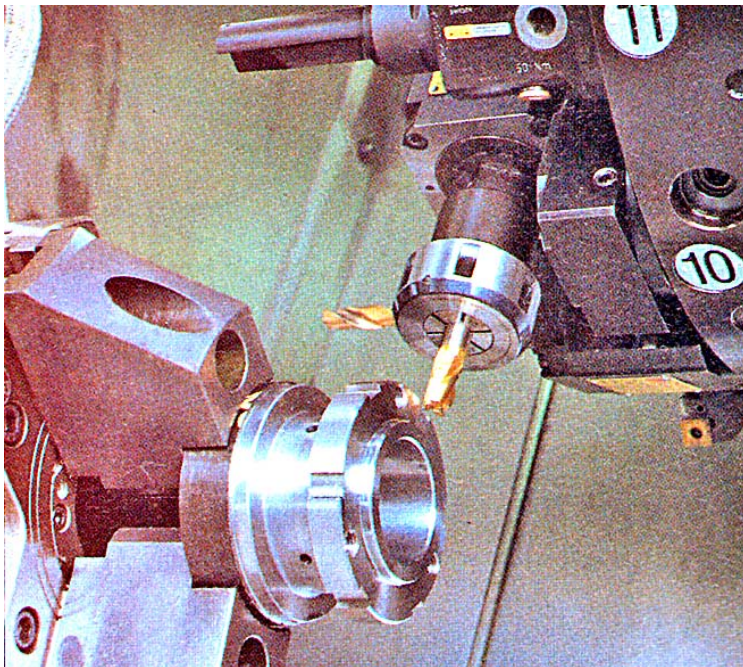


Рис.1.21. Фрезерный инструмент в плане обработки Y - Z на многофункциональном центре: рабочая зона станка и схема плана фрезерной обработки детали

1.7. Совершенствование токарно-фрезерного оборудования

В настоящее время многофункциональные центры выпускаются в широком спектре структурных схем, модификаций и исполнений. В частности, в базовую схему многофункционального центра (рис.1.18) могут быть введены дополнительные конструктивные элементы, которые существенно расширяют ее технологические возможности. Рассмотрим структурную схему станка **INDEX**, имеющего в своем составе две револьверные головки (рис.1.22).

Револьверная головка №1 (**РГ1**) 3, предназначенная для выполнения токарных и фрезерных переходов, установлена в верхней части рабочей зоны станка. Дополнительный инструментальный блок 4 – револьверная головка №2 (**РГ2**) – размещен в нижней части рабочей зоны. **РГ2** предназначена исключительно для токарной обработки деталей, поэтому возможность ее перемещения в направлении оси **Y** не предусмотрена. Фотография рабочей зоны станка приведена на рис.1.23. Отметим, что рассматриваемый станок работает совместно с системой ЧПУ **Siemens** (рис.1.24).

Наличие дополнительной револьверной головки дает станку следующие технологические преимущества:

- увеличение числа инструментов, задействованных в обработке детали по одной операции;
- возможность совмещения во времени переходов для инструментов, установленных в разных револьверных головках;
- возможность рационального выбора позиций для установки токарных инструментов в револьверных головках.

Как уже отмечалось, ось **X** токарного оборудования направлена от детали в плоскости перемещения токарных инструментов (рис.1.22,а,б). В рассматриваемом станке **INDEX** ось **X** по отношению к инструментам **РГ1** (рис.1.22,а) считается направленной вверх, а по отношению к инструментам **РГ2** (рис.1.22,б) – направленной вниз (см. также соответствующие обозначения **X(1)** и **X(2)** на структурной схеме). Направление оси **Y** по отношению к **РГ1** – **Y(1)** – соответствует базовой схеме станка (рис.1.18) и определено в сторону оператора. Направление оси **Y** по отношению к **РГ2** – **Y(2)** – в соответствии правилу правой руки (рис.1.2) определено *ВНУТРЬ СТАНКА*.

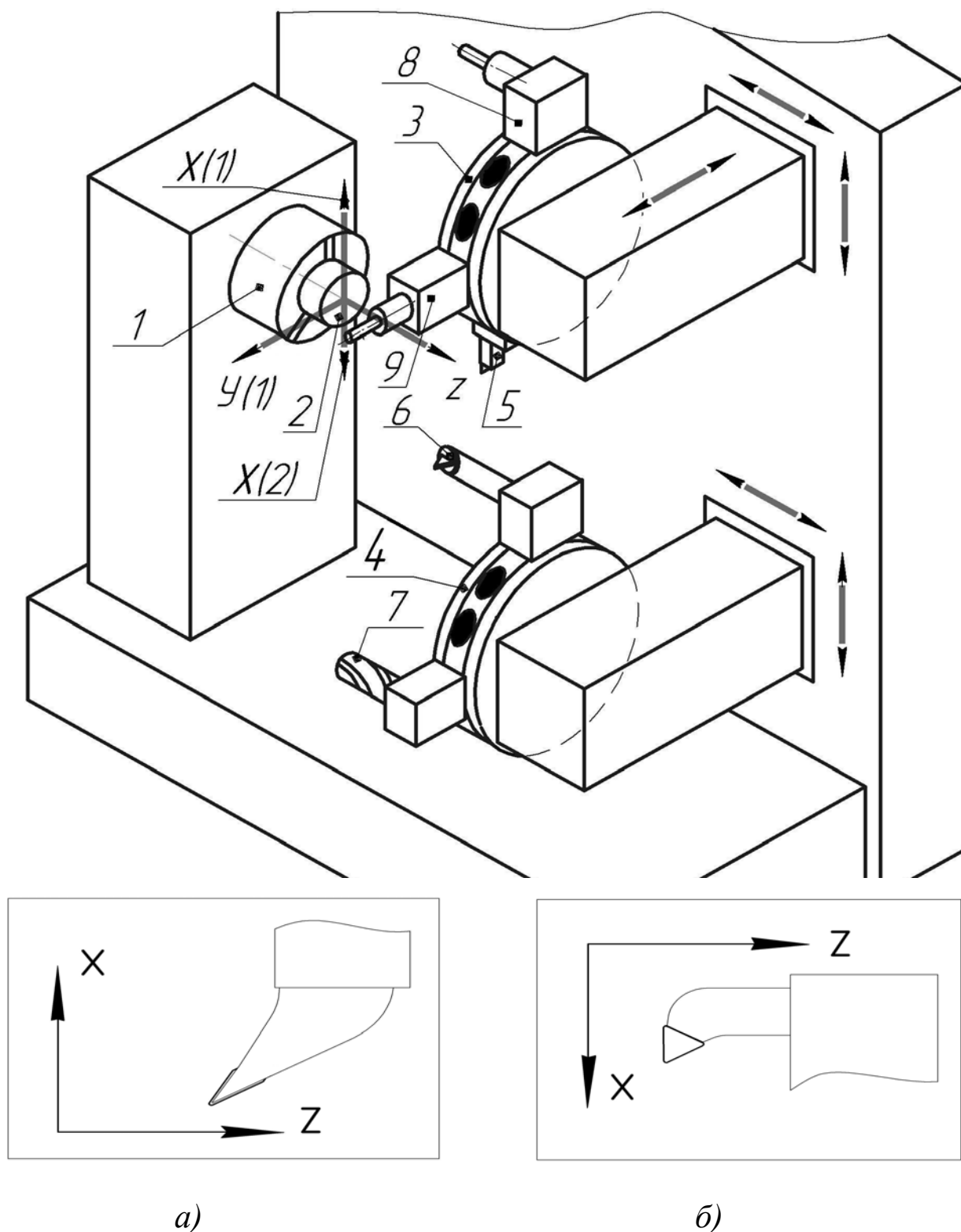


Рис.1.22. Структурная схема токарно-фрезерного многофункционального центра с двумя инструментальными блоками:

1 – шпиндель; 2 – деталь; 3 – револьверная головка №1 (РГ1); 4 – револьверная головка №2 (РГ2); 5 – токарный обточный резец; 6 – токарный расточной резец; 7 – сверло для выполнения центрального отверстия; 8 – фрезерный блок для обработки детали в плане X - Y с закрепленным инструментом; 9 – фрезерный блок для обработки детали в плане Y - Z с закрепленным инструментом; X , Y , Z – обозначения координатных осей:

a – расположение осей по отношению к РГ1; $б$ – расположение осей по отношению к РГ2

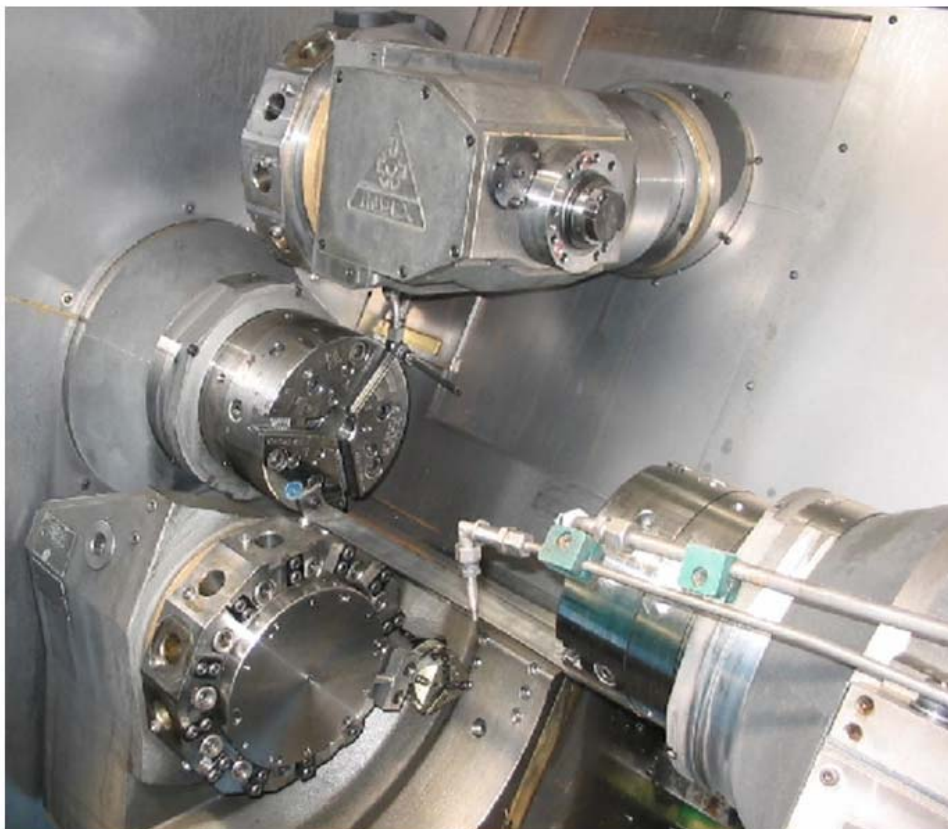


Рис.1.23. Рабочая зона многофункционального токарно-фрезерного центра **INDEX** с двумя инструментальными блоками



Рис.1.24. Пульт системы ЧПУ **Siemens** токарно-фрезерного центра **INDEX**

1.8. Системы автоматизированного активного контроля

Первоначальные условия выполнения операции (положение нулевой точки системы координат детали, геометрические параметры инструментов и др.), которые вводятся в систему ЧПУ на этапе пуско-наладочных работ, в процессе выполнения партии деталей могут изменяться от заготовки к заготовке. Это приводит к отклонению исполнительных размеров от номинальных значений, снижению качества продукции и возникновению брака. В современных станках с ЧПУ широко применяются системы активного контроля, которые отслеживают и автоматически корректируют условия выполнения операций (рис.1.25). Рассматриваемая система включает в себя устройство отслеживания перемещений 4, а также электронный датчик контакта (*touch probe*), производящий измерения в рабочей зоне станка. В состав датчика входят щуп 5, сигнальное устройство 6 и источник питания 7. Каналы передачи информации обозначены на эскизе линиями со стрелками.

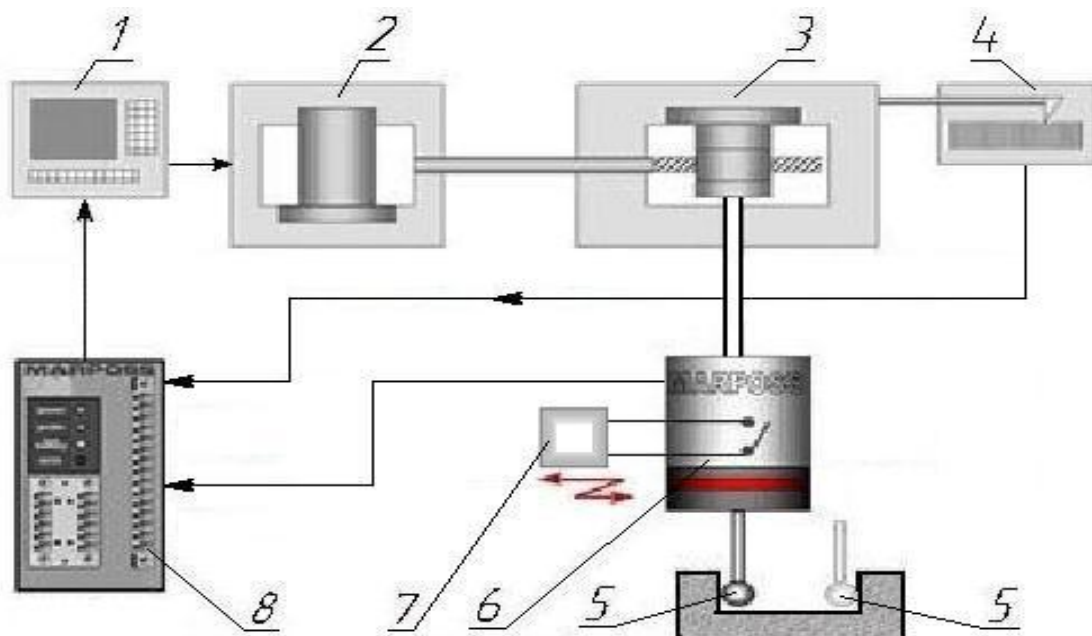


Рис.1.25. Структурная схема системы автоматизированного активного контроля:
1 – система ЧПУ; 2 – привод движения; 3 – механизм перемещений; 4 – устройство отслеживания перемещений; 5 – щуп датчика контакта; 6 – сигнальное устройство датчика контакта; 7 – автономный источник питания; 8 – преобразователь сигналов

Щуп электронного датчика контакта (рис.1.26) представляет собой твердосплавный или рубиновый шарик, закрепленный на оконечности валика. Датчик обычно хранится в инструментальном магазине станка, его геометрические параметры вносятся в систему ЧПУ при пуско-наладке технологического процесса. Действуя по принципу замыкания-размыкания электрической цепи, сигнальное устройство датчика реагирует на любой контакт щупа. На рис.1.27 приведены схемы замыкания электрических цепей, применяемые в сигнальных устройствах датчиков.

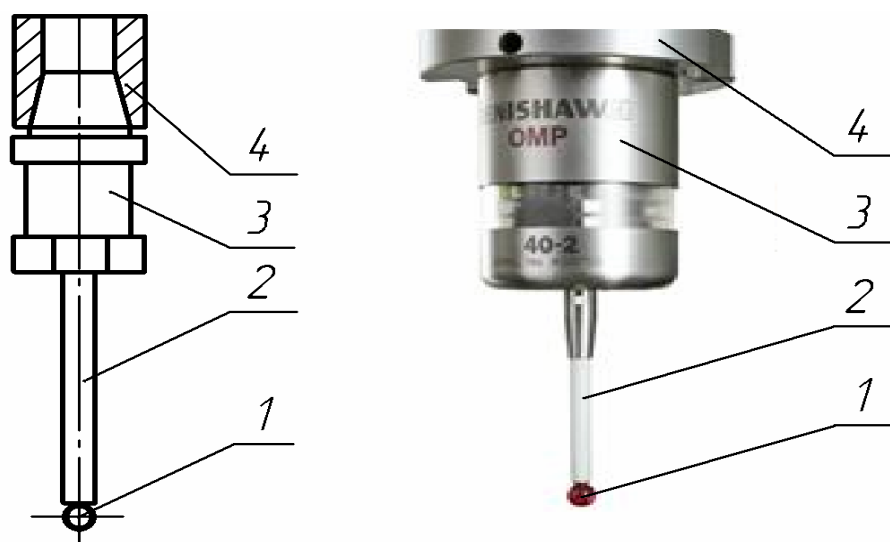


Рис.1.26. Электронный датчик контакта:

1 – щуп; 2 – валик; 3 – сигнальное устройство; 4 – шпиндель

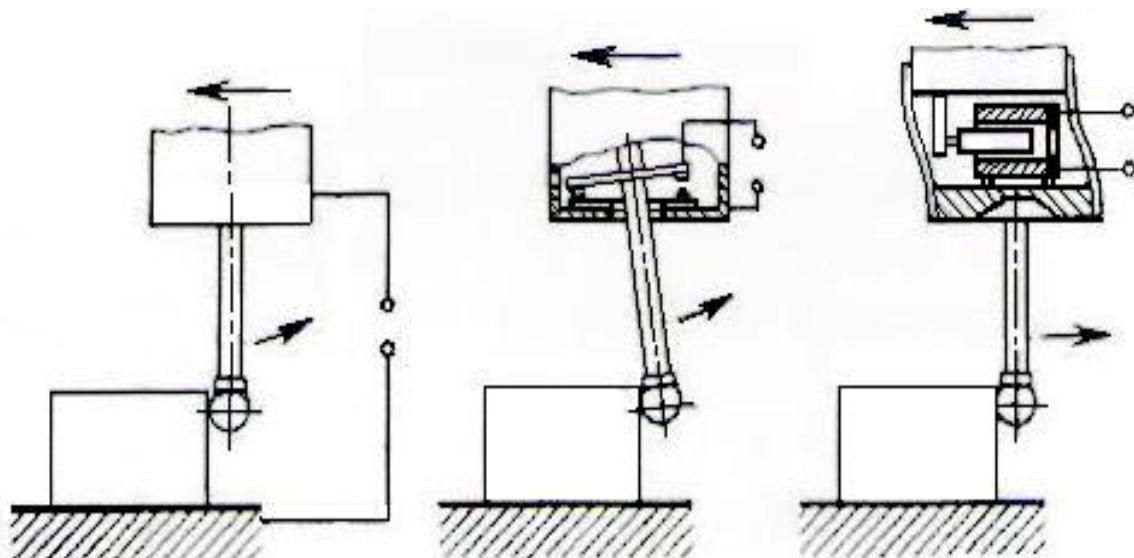


Рис.1.27. Схемы замыкания электрических цепей в сигнальном устройстве датчика:

а – схема с внешним контактом; *б* – схема с внутренним контактом; *в* – схема индуктивного типа

Система активного контроля работает следующим образом. В рамках автоматического производственного процесса в систему ЧПУ поступает команда вызова датчика контакта на рабочую позицию. Далее система ЧПУ осуществляет специальный цикл измерений (рис.1.25): производит «обход» детали датчиком и касание щупом заданных поверхностей. В моменты касания происходит срабатывание сигнального устройства *б* с последующей регистрацией положения датчика отслеживающим устройством *4*. Результаты выполненных измерений (рис.1.28, рис.1.29) передаются через преобразователь *8* в систему ЧПУ для автоматической корректировки условий выполнения операции. Вносимые поправки могут касаться заданных величин длины L и диаметра D фрезерного инструмента; заданных величин вылетов W_X и W_Z токарного инструмента; констант смещения нулевой точки системы координат детали X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i} .



Рис.1.28. Осуществление цикла измерения на станке с ЧПУ токарной группы



Рис.1.29. Осуществление цикла измерения на станке с ЧПУ фрезерной группы

2. НАЛАДКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ

2.1. Системы координат фрезерного оборудования

Пуско-наладка технологического процесса обработки детали на станке с ЧПУ в общем случае включает в себя комплекс следующих процедур:

- установка станочного приспособления, крепление заготовки;
- вызов УП из блока памяти в блок оперативного управления системы ЧПУ станка;
- определение констант смещения системы координат детали (см. ниже) вдоль осей X и Y (в плане обработки); ввод данных в систему ЧПУ станка;
- определение геометрических параметров задействованных инструментов; ввод данных в систему ЧПУ станка;
- определение константы смещения системы координат детали вдоль оси Z ; ввод данных в систему ЧПУ станка.

При разработке УП обработки детали на станке с ЧПУ программист принимает за точку отсчета перемещений инструментов какую-то реальную или мнимую точку детали. В процессе наладки технологического оснащения для выполнения операций на станке наладчик должен сообщить системе ЧПУ станка, где физически расположена эта точка. Таким образом, задается локальная система координат $X_i-Y_i-Z_i$, называемая *СИСТЕМОЙ КООРДИНАТ ДЕТАЛИ*. На рабочем столе ОЦ возможно размещение двух и более обрабатываемых деталей. Для каждой из них задается своя, независимая от других, система координат. Пример компоновки рабочей зоны вертикального ОЦ приведен на рис.2.1.

Положение *НУЛЕВОЙ ТОЧКИ* системы координат детали $X_i-Y_i-Z_i$ фиксируется *КОНСТАНТАМИ СМЕЩЕНИЯ НУЛЕВОЙ ТОЧКИ* X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i} относительно нулевой точки системы координат станка $X_c-Y_c-Z_c$ (рис.1.4). Константы смещения X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i} обозначают расстояние от нулевой точки системы координат станка до нулевой точки системы координат детали по соответствующим осям. Константы определяются и вводятся в систему ЧПУ станка раздельно для каждой из обрабатываемых деталей в процессе проведения наладки технологического оснащения.

Системы ЧПУ станков фрезерной группы, работающие с языком программирования **FANUC**, допускают (в своем базовом варианте) одновременное кодирование шести систем координат детали $X_i-Y_i-Z_i$. Системы координат детали вызываются функциями **G54...G59**. Константы смещения нулевых точек X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i} для различных систем координат детали вносятся в соответствующие параметрические ячейки *ТАБЛИЦЫ СМЕЩЕНИЯ НУЛЕВЫХ ТОЧЕК*. В примере (табл.2.1) задействованы ячейки с вызовом систем координат детали по функциям **G54**, **G55** и **G56** для трех деталей, установленных на рабочем столе ОЦ (рис.2.1).

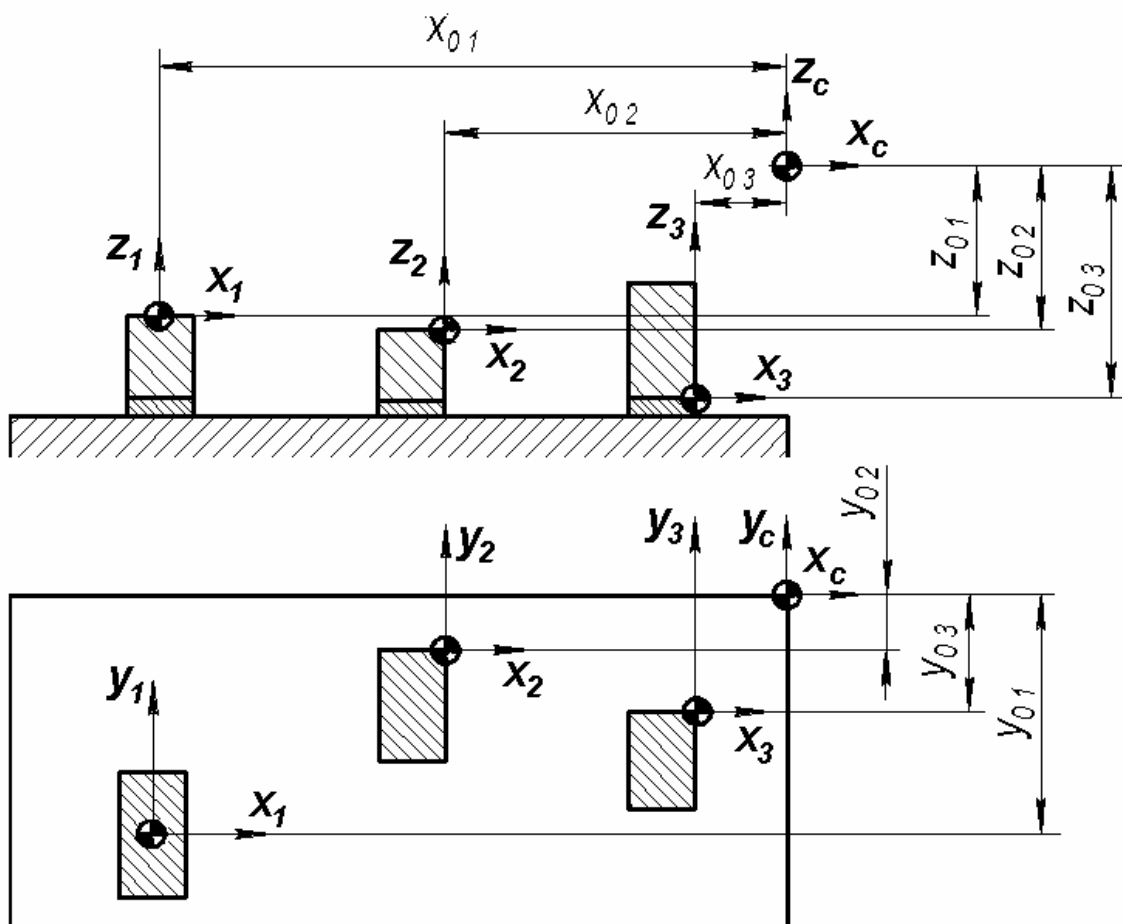


Рис.2.1. Пример схемы компоновки рабочей зоны вертикального ОЦ

Т а б л и ц а 2.1

Конст. смещения Функции вызова	X_{0i}	Y_{0i}	Z_{0i}
G54	-654.42	-381.51	-377.08
G55	-498.72	-220.18	-409.47
G56	-231.97	-189.64	-301.86
G57	0	0	0
G58	0	0	0
G59	0	0	0

Т а б л и ц а 2.2

Конст. смещения Функции вызова	X_{0i}	Y_{0i}	Z_{0i}	A_i
G54	-310.32	-147.56	-207.65	0
G55	-378.62	-147.56	-159.47	90
G56	366.78	-147.56	-166.89	180
G57	-423.43	-147.56	-168.65	270
G58	0	0	0	0
G59	0	0	0	0

При работе станка по УП командный кадр вызова системы координат детали $X_1-Y_1-Z_1$ (например, по **G54**) осуществляет считывание констант X_{01}, Y_{01}, Z_{01} из таблицы смещения нулевых точек. Все дальнейшие перемещения рабочих органов станка относительно детали производятся с учетом смещений на величину этих констант по соответствующим осям. Отметим, что функции вызова системы координат детали **G54...G59** являются модальными, т.е. действуют на все последующие кадры УП вплоть до отмены вызовом другой системы координат (например, ввод системы координат детали $X_2-Y_2-Z_2$ функцией **G55** отменяет действие функции **G54**).

Как отмечалось выше, ряд конструкций станков фрезерной группы позволяют автоматически разворачивать деталь относительно шпинделя и фиксировать ее в различных угловых положениях. Угловое положение обрабатываемой детали отсчитывается от заданного начального положения поворотного устройства (7, рис.1.4), которое принято за 0° . Угловое положение детали при ее повороте относительно оси X обозначается A ; при ее повороте относительно оси Y обозначается B .

При обработке детали по разным плоскостям параметр текущего углового положения A_i или B_i добавляется в таблицу смещения нулевых точек. В примере (табл.2.2) задействованы ячейки (**G54**, **G55**, **G56** и **G57**) для четырех систем координат детали $X_i-Y_i-Z_i$. Они соответствуют обработке детали по четырем плоскостям при повороте детали относительно оси X (рис.1.4): $A=0^\circ; 90^\circ; 180^\circ; 270^\circ$. Константы смещения нулевых точек задействованных координатных систем X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i} определяются отдельно для каждого углового положения детали.

2.2. Ориентация деталей на рабочем столе обрабатывающего центра

Позиция нулевой точки системы координат детали $X_i-Y_i-Z_i$ задается разработчиком УП из соображений удобства расчетов траекторий инструментов. Привязка осуществляется в ручном режиме на этапе выполнения пуско-наладочных работ. Рассмотрим различные варианты задания позиции нулевой точки в плоскости обработки детали $X-Y$. Отметим, что от местоположения нулевой точки на реальной детали зависит и применяемые наладчиком методы привязки.

Если нулевая точка задана на оси цилиндрической поверхности (внутренней или наружной), которая расположена перпендикулярно плану $X-Y$, определение ее позиции осуществляется с помощью индикатора часового типа 3, который устанавливается в свободно вращающийся шпиндель 4 (рис.2.2). Определение позиции нулевой точки производится при перемещении шпинделя относительно рабочего стола в плоскости $X-Y$. Одновременно с перемещениями шпинделя производится ручной поворот индикатора. Касание заданной цилиндрической поверхности в различных поперечных сечениях осуществляется рычагом 5 индикатора.

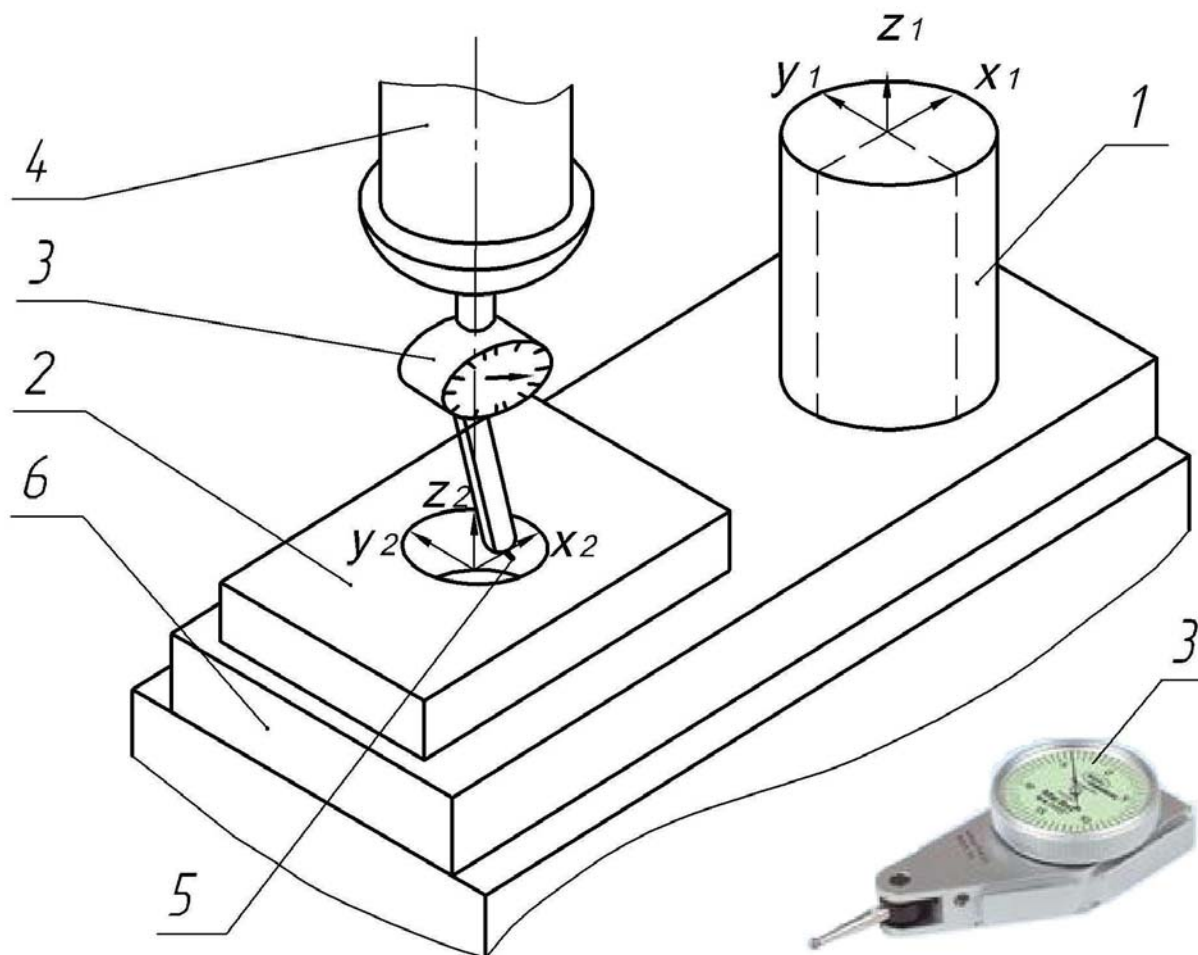


Рис.2.2. Определение нулевой точки системы координат детали с помощью индикатора:

1 – деталь «тело вращения»; 2 – корпусная деталь; 3 – индикатор часового типа; 4 – шпиндель; 5 – рычаг; 6 – рабочий стол

Перемещая шпиндель вдоль осей X и Y , наладчик станка ищет такое положение, в котором показания индикатора в различных угловых сечениях остается неизменными. Это означает, что найдена точка, в которой ось вращения шпинделя 4 совпадает с осью цилиндрической поверхности – тела вращения 1 или отверстия детали 2 (рис.2.2). В этой точке с помощью устройства отслеживания перемещений 4 (рис.1.25) фиксируется положение шпинделя в плоскости $X-Y$ относительно нулевой точки системы координат станка $X_c-Y_c-Z_c$. Полученные значения являются константами смещения нулевой точки системы координат детали X_{0i} и Y_{0i} . Для двух изображенных на рис.2.2 деталей константами являются, соответственно, X_{01} и Y_{01} , а также X_{02} и Y_{02} . Значения констант вносятся в соответствующие параметрические ячейки (например, **G54** и **G55**) таблицы смещения нулевых точек (табл.2.1).

Два других метода определения нулевой точки в плане $X-Y$ обычно осуществляются с помощью электронного датчика контакта (рис.1.26). Перемещая датчик (рис.2.3), наладчик фиксирует координаты точек контакта шупа с заданными поверхностями детали в системе координат станка. Далее (после необходимых пересчетов) полученные величины X_{0i} и Y_{0i} передаются системе ЧПУ станка.



Рис.2.3. Поиск позиции нулевой точки системы координат детали

Если нулевая точка задается в центре симметрии прямоугольной детали (рис.2.4), то определение констант смещения X_{0i} и Y_{0i} нулевой точки системы координат детали осуществляется с помощью поочередного касания щупом всех ее боковых плоскостей. В моменты контакта фиксируются значения координат шпинделя в системе координат станка $X'_{0i}, X''_{0i}, Y'_{0i}, Y''_{0i}$. Константы X_{0i}, Y_{0i} определяются из выражений:

$$X_{0i} = (X'_{0i} + X''_{0i}) / 2;$$

$$Y_{0i} = (Y'_{0i} + Y''_{0i}) / 2.$$

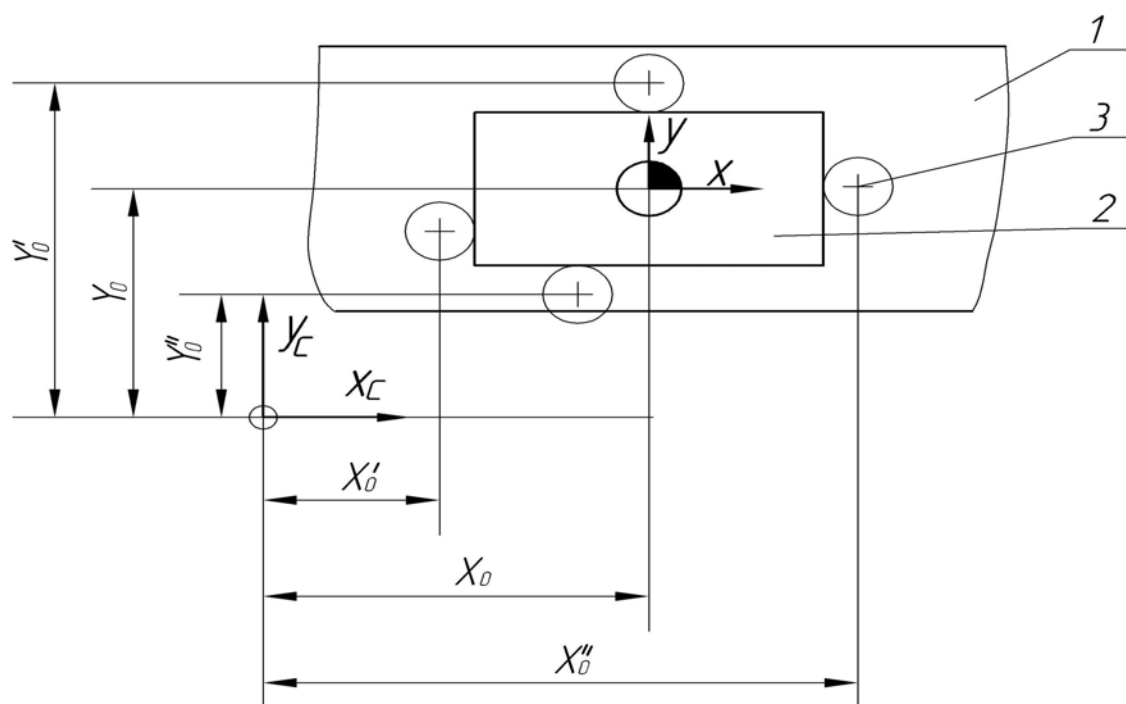


Рис.2.4. Определение нулевой точки системы координат детали в центре симметрии прямоугольной заготовки:
1 – рабочий стол; 2 – деталь; 3 – датчик контакта

При обработке несимметричной детали нулевая точка системы координат детали $X_i\text{-}Y_i\text{-}Z_i$ обычно задается на одной из ее оконечностей (рис.2.5). В этом случае определение констант X_{0i}, Y_{0i} осуществляется с помощью поочередного касания щупом двух взаимно перпендикулярных поверхностей детали. В моменты контакта фиксируются координаты шпинделя в системе координат станка X'_{0i}, Y'_{0i} . Нулевая точка системы координат детали располагается на расстоянии половины диаметра щупа $D/2$ от точки контакта вдоль каждой из осей: X и Y . В приведенном примере константы X_{0i} и Y_{0i} определяются из выражений:

$$X_{0i} = X'_{0i} + D/2;$$

$$Y_{0i} = Y'_{0i} + D/2.$$

Отметим, что многие современные системы ЧПУ позволяют осуществлять расчеты по указанным выше зависимостям автоматически.

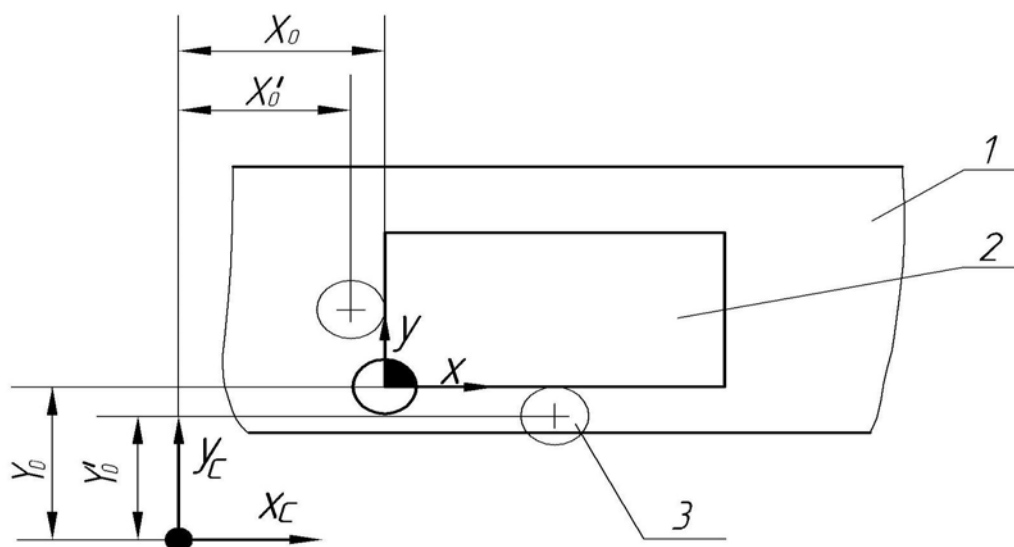


Рис.2.5. Определение нулевой точки системы координат детали на оконечности прямоугольной заготовки:

1 – рабочий стол; 2 – деталь; 3 – датчик контакта

2.3. Устранение погрешности базирования серийных деталей

Очевидно, что описанные выше методы позволяют гарантировать точность определения места расположения нулевой точки системы координат только для детали, на которой осуществляется пуско-наладка технологического процесса. При серийном производстве все последующие детали выпускаемой партии устанавливаются в станочное приспособление с некоторой погрешностью, которую называют **ПОГРЕШНОСТЬЮ БАЗИРОВАНИЯ**. Если выполняемая деталь имеет высокие требования по допускам расположения поверхностей, разработчику технологического процесса необходимо задавать высокие требования к выполнению поверхностей базирования детали в приспособлении. При этом технологическая оснастка получается сложной, а время на установку серийных деталей и запуск операции оказывается чрезмерно большим.

Станки с ЧПУ позволяют разрешить указанную проблему путем применения системы автоматизированного активного контроля (рис.1.25). Для этого в УП вводится специальный цикл корректировки позиции нулевой точки. Этот цикл задает системе ЧПУ команду на автоматический поиск положения нулевой точки для каждой из выполняемых деталей.

Процедура корректировки работает следующим образом. При выполнении первой детали серии наладчик определяет место расположения нулевой точки вручную. Полученные данные вводятся в таблицу смещения нулевых точек (табл.2.1); затем производится изготовление детали. Далее перед началом обработки каждой серийной детали электронный датчик контакта (рис.1.26) вызывается из инструментального магазина по команде УП. Датчик в автоматическом режиме «обходит» деталь, производя касание заданных поверхностей (рис.2.6). Затем система ЧПУ автоматически вводит обновленные данные в табл.2.1 и дает команду на начало обработки детали. Корректируемая таким образом позиция нулевой точки системы координат детали получила название ПЛАВАЮЩИЙ НОЛЬ.

Описанная процедура позволяет существенно упростить конструкцию технологической оснастки и снизить требования к точности изготовления посадочных поверхностей детали. При этом снижение времени на переустановку серийных деталей полностью перекрывает небольшое увеличение машинного времени работы станка по УП.



Рис.2.6. Положение электронного датчика контакта в процессе автоматической корректировки позиции «плавающего нуля»

2.4. Коррекция длины инструментов фрезерной группы

Для каждого обрабатывающего инструмента все траектории движения задаются относительно его *ПРОГРАММНОЙ ТОЧКИ* P_i . В качестве программной точки инструмента может быть выбрана его вершина, как для сверл, либо центр закругления, как для сферических фрез, либо точка пересечения торца с осью вращения, как для концевых и дисковых фрез (рис.2.7). Система ЧПУ воспринимает все перемещения инструментов относительно фиксированной точки, расположенной в основании шпинделя ОЦ. Эта точка называется *БАЗОВОЙ ТОЧКОЙ СТАНКА* F_i .

Комбинированная обработка деталей на ОЦ осуществляется последовательно несколькими инструментами, обозначаемыми в УП кодированными номерами: T_1, T_2, \dots, T_i . Номер каждого инструмента T_i соответствует его позиции в инструментальном магазине. Закрепленные в шпинделе инструменты имеют различные величины вылета L_1, L_2, \dots, L_i : от базовой точки F_i до программной точки инструмента P_i (рис.2.8). Величины L_1, L_2, \dots, L_i чаще всего определяются в снаряженном состоянии инструментов на специальных измерительных устройствах. Эти устройства могут быть выполнены в виде отдельных приборов либо встроены в станок.

При отсутствии измерительных устройств величины вылетов инструментов, задействованных в операции, могут определяться непосредственно по обрабатываемой детали. С этой целью на детали выполняется специальная плоскость. Желательно, чтобы она соответствовала технологической базе, от которой отсчитываются выполняемые размеры. Далее производится последовательное касание этой плоскости всеми задействованными инструментами T_1, T_2, \dots, T_i . Полученные координаты программных точек P_i по оси движения шпинделя Z являются расчетными значениями величин вылета этих инструментов L_1, L_2, \dots, L_i .

Величины вылета L_i и диаметра D_i инструментов, задействованных в операции, вносятся в соответствующие параметрические ячейки системы ЧПУ станка, которые сведены в *ТАБЛИЦУ ПАРАМЕТРОВ ИНСТРУМЕНТОВ*. В примере приведена таблица параметров четырех инструментов, изображенных на рис.2.8, при емкости инструментального магазина 12 позиций (табл.2.3). В таблице также предусмотрены ячейки для внесения уточняющих поправок на отклонения измеренных значений вылета δL_i и диаметра δD_i инструментов. Эти отклонения могут быть вызваны погрешностью измерений и износом инструментов; они уточняются в процессе наладки и проведения операции. Расстояние от базовой точки станка F_i до его программной точки P_i , обозначаемое L'_i , называют *КОРРЕКТОРОМ ДЛИНЫ ИНСТРУМЕНТА*. Величина корректора определяется для каждого инструмента по формуле

$$L'_i = L_i \pm \delta L_i.$$

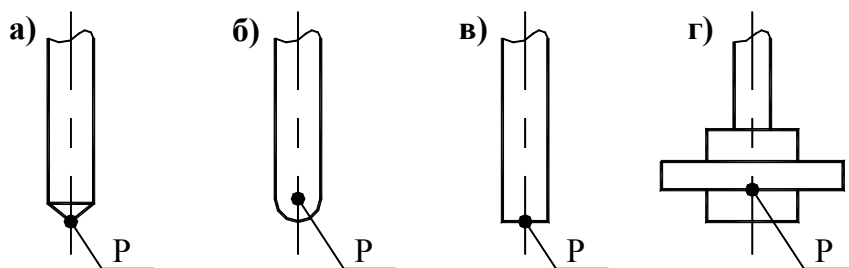


Рис.2.7. Расположение программных точек инструментов

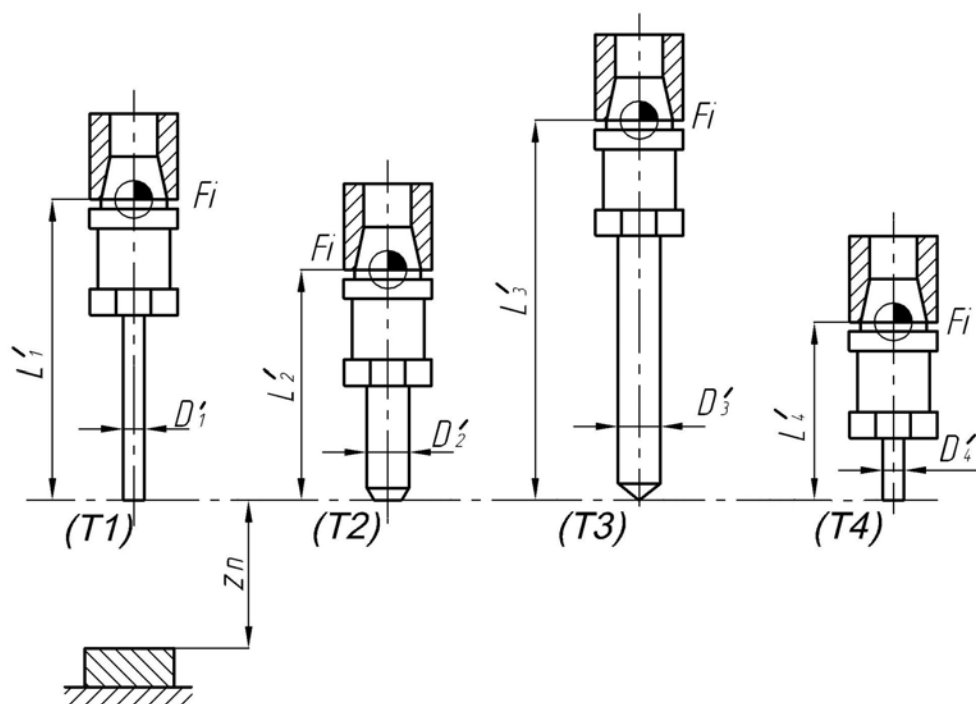


Рис.2.8. Определение корректора длины инструментов;
выход инструментов в исходную точку управляющей программы

Т а б л и ц а 2.3

T_i	L_i	D_i	δL_i	δD_i
1	112.34	10	0.14	-0.09
2	94.36	16	-0.11	-0.12
3	126.78	20	-0.05	0.03
4	65.77	8	0	-0.04
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-

При автоматической работе станка по командному кадру УП $M6_T_i$ осуществляется вызов очередного инструмента; далее производится приближение шпинделя к детали. В командный кадр, задающий это приближение, вносится функция $G43...H_i$, осуществляющая считывание величины корректора длины инструмента L'_i из таблицы параметров инструментов. При проведении операций точка P_i двигается по заданному контуру обработки. При этом точка F_i перемещается со смещением относительно точки P_i вдоль оси Z на величину L'_i .

Константа Z_{0i} , задающая смещение нулевой точки системы координат детали $X_i-Y_i-Z_i$ относительно нулевой точки системы координат станка $X_c-Y_c-Z_c$, обычно определяется путем касания плоскости заготовки одним из инструментов, который принимается как образцовый. Эту плоскость называют *НАСТРОЕЧНОЙ БАЗОЙ*. Она, по возможности, должна совпадать с технологической базой, от которой задан отсчет большинства размеров детали по оси Z . Величина константы Z_{0i} рассчитывается по формуле

$$Z_{0i} = Z_c - L'_i,$$

где L'_i – корректор длины образцового инструмента.

2.5. Наладка токарного оборудования

Как уже отмечалось, в большинстве станков шпиндель располагается слева от оператора, а револьверная головка с инструментами размещена напротив шпинделя. Нулевая точка системы координат станка X_c-Z_c располагается в основании шпинделя (рис.2.9). Система координат детали X_i-Z_i при токарной обработке имеет смещение относительно системы координат станка X_c-Z_c вдоль оси Z . Расстояние от нулевой точки системы координат детали X_i-Z_i до нулевой точки системы координат станка X_c-Z_c фиксируется константой смещения нулевой точки; ее принято обозначать ZMW_i [2]. Величина ZMW_i определяется в процессе проведения наладки технологического оснащения и вносится в соответствующую параметрическую ячейку таблицы смещения нулевых точек.

На практике нулевую точку системы координат детали X_i-Z_i чаще всего располагают на плоскости детали, перпендикулярной координатной оси Z и обращенной к инструментальному магазину. Константа ZMW_i обычно определяется путем касания этой плоскости, называемой настроечной базой, одним из инструментов. Этот инструмент принимается как образцовый. Настроечная база, по возможности, должна совпадать с технологической базой, от которой задан отсчет большинства размеров вдоль оси детали.

Как и в ОЦ, системы ЧПУ в большинстве токарных станков с ЧПУ допускают (в своем базовом варианте) одновременное кодирование шести систем координат детали X_i-Z_i . Такая возможность, в частности, облегчает программирование обработки изделий сложной формы, геометрические размеры которых заданы от разных технологических баз.

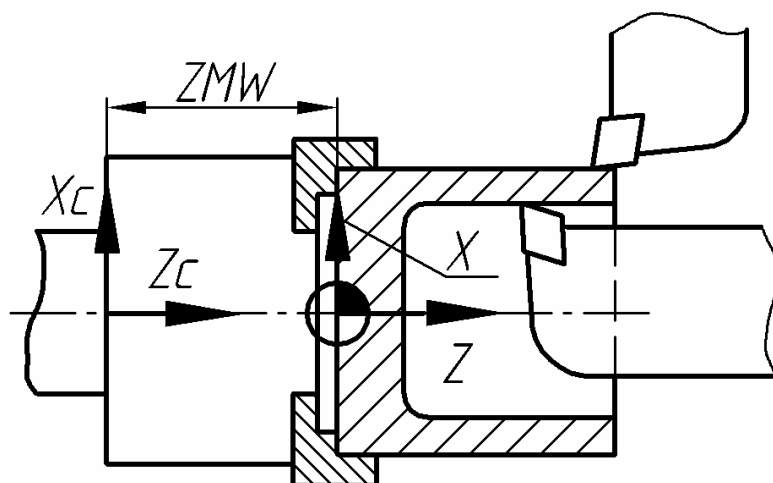


Рис.2.9. Смещение нулевой точки системы координат обрабатываемой детали

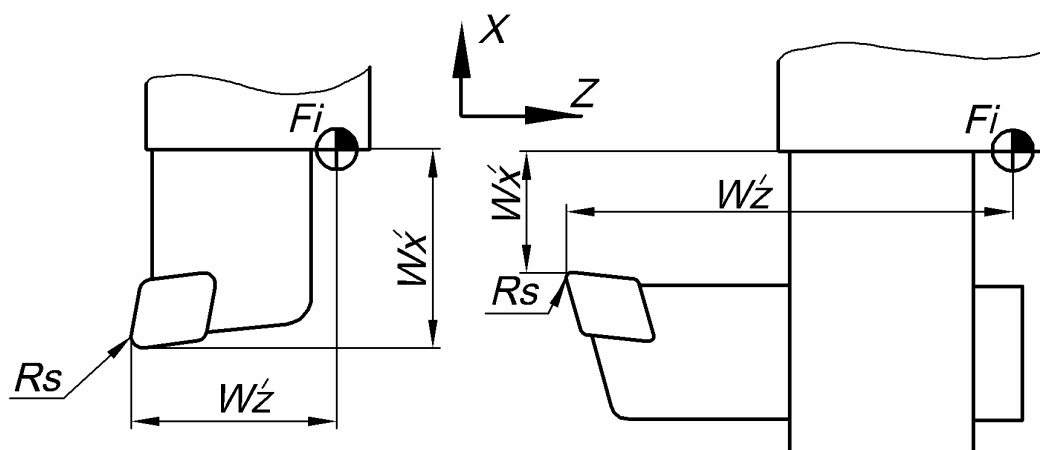


Рис.2.10. Геометрические параметры токарных резцов

Т а б л и ц а 2.4

T	D	W_{Xi}	W_{Zi}	δW_{Xi}	δW_{Zi}	R_s	A
1	101	105.64	49.56	0.14	-0.09	1.2	3
2	102	74.15	113.87	-0.11	-0.12	0.8	2
3	103	90	134.7	0	-0.1	0	7
4	104	100.48	49.32	-0.05	0.21	0.5	3
	124	100.48	44.32	-0.05	0.14	0.5	4
5	105	65.42	128.56	0.32	-0.04	0.5	2
	125	65.42	128.56	0.32	-0.09	0.5	1
6	106	77.36	98.31	0.43	0.05	0.2	3
	126	73.36	98.31	0.36	0.05	0.2	2
7	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-

В рассматриваемом языке программирования **SINUMERIK-840D** шесть независимых систем координат детали вводятся функциями

$$G59_Z=ZMW_1, G59_Z=ZMW_2, \dots, G59_Z=ZMW_6.$$

2.6. Таблица параметров инструментов токарных станков с ЧПУ

Комбинированная обработка деталей на токарных станках с ЧПУ осуществляется, как правило, несколькими инструментами, обозначаемыми в УП соответственно их позициям в инструментальном магазине: T_1, T_2, \dots, T_i . Каждый инструмент имеет набор геометрических параметров, на базе которых система ЧПУ станка производит автоматический пересчет контура обработки в траекторию движения базовой точки станка; эту точку обозначают F_i (рис.2.10). В токарных станках с ЧПУ эта точка располагается в основании крепления инструментов к револьверной головке.

Параметры задействованных инструментов вносятся в соответствующие ячейки системы ЧПУ станка, которые сведены в таблицу параметров инструментов. В представленном примере (табл.2.4) приведена таблица параметров шести инструментов при емкости инструментального магазина 8 позиций. В таблице предусмотрены ячейки для величин вылета инструментов по осям X и Z : W_{Xi} и W_{Zi} , а также для уточняющих поправок δW_{Xi} и δW_{Zi} на отклонения измеренных значений вылетов. Эти отклонения могут быть вызваны погрешностью измерений и износом инструментов; они уточняются в процессе наладки и проведения операции. В таблицу также вносятся значения радиусов *РАБОЧИХ ВЕРШИН РЕЗЦОВ*, обозначаемые R_S (рис.2.10).

Расположение рабочих вершин резцов в плане X - Z кодируется цифровыми значениями от **1** до **9**. Код расположения рабочей вершины каждого инструмента вносится в ячейку **A** таблицы параметров инструментов. На рис.2.11 приведена графическая интерпретация кодирования различно расположенных рабочих вершин токарных инструментов.

Имена ячеек в табл.2.4 обозначают следующее:

T – номер инструмента;

D – обозначение рабочей вершины инструмента;

W_{Xi} – вылет инструмента в направлении оси X ;

W_{Zi} – вылет инструмента в направлении оси Z ;

δW_{Xi} – поправка на вылет инструмента в направлении оси X ;

δW_{Zi} – поправка на вылет инструмента в направлении оси Z ;

R_S – радиус рабочей вершины инструмента;

A – код расположения рабочей вершины инструмента в плане X - Z .

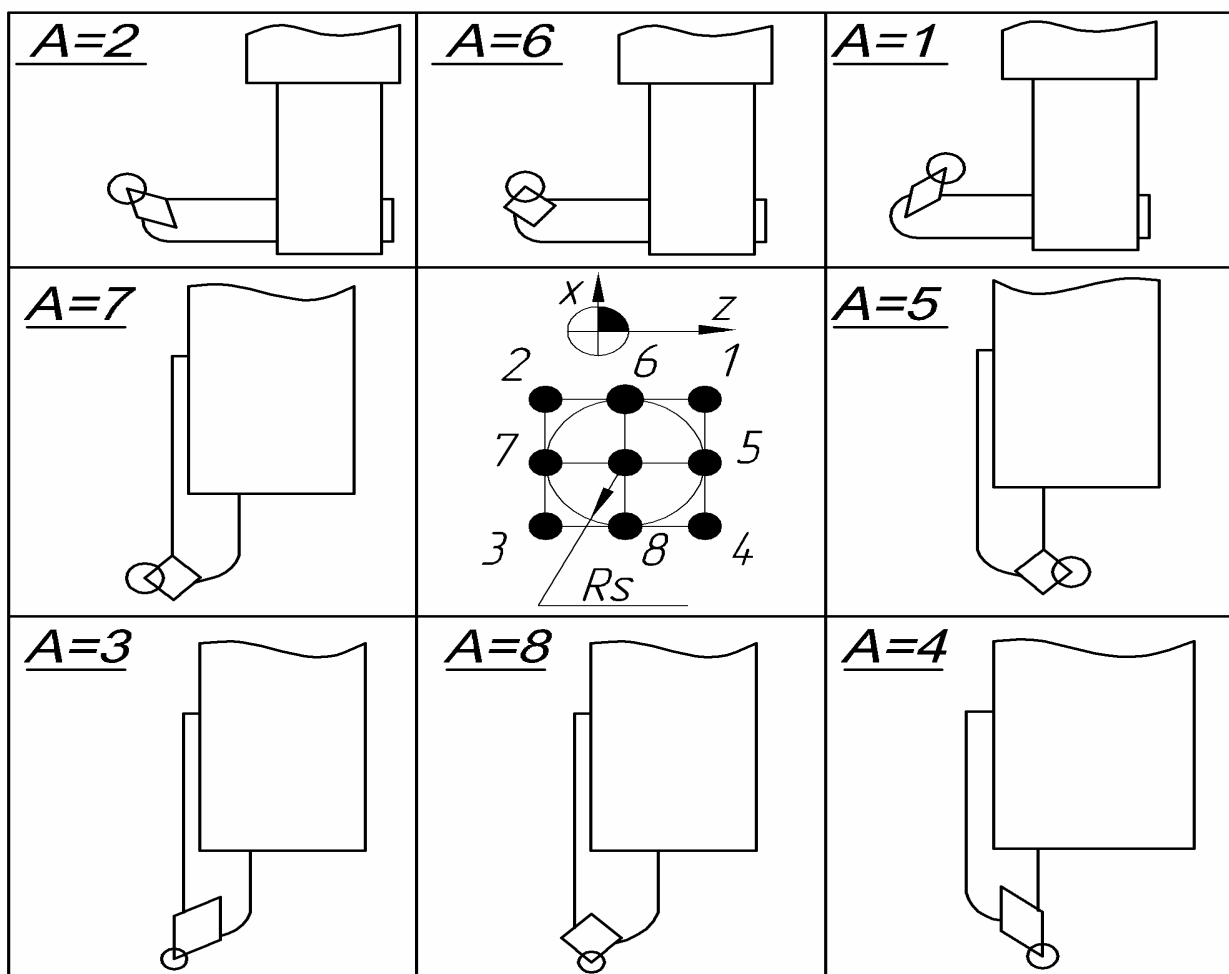


Рис.2.11. Кодирование рабочих вершин токарных инструментов

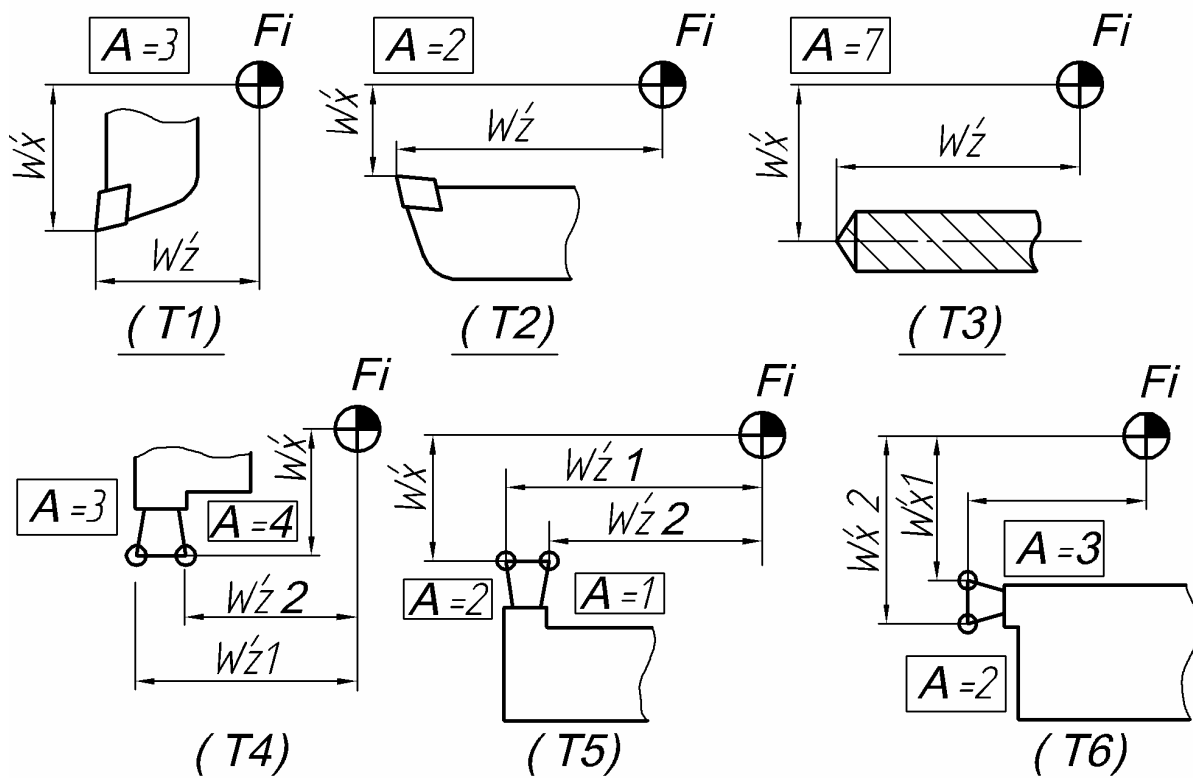


Рис.2.12. Изображения инструментов, параметры которых внесены в табл.2.4

Рабочие вершины инструментов обозначаются в языке **SINUMERIK-840D** символом D_i . Их обозначения соответствуют позициям инструментов в инструментальном магазине, например: D_{101} для T_1 , D_{102} для T_2 и т.д. Исключением являются канавочные резцы, производящие токарную обработку детали поочередно двумя рабочими вершинами. В таблице параметров инструментов (табл.2.4) каждая из двух рабочих вершин канавочных резцов занимает независимую параметрическую ячейку

D_{104} и D_{124} для T_4 ; D_{105} и D_{125} для T_5 ; D_{106} и D_{126} для T_6 .

Система ЧПУ станка воспринимает две рабочие вершины одного канавочного резца как отдельные инструменты.

2.7. Коррекция длины инструментов токарной группы

Как уже отмечалось, траектория движения инструмента задается в УП относительно его программной точки P_i . При этом система ЧПУ воспринимает эти перемещения относительно базовой точки станка F_i . В качестве программной точки P_i обычно выбирается рабочая вершина резца или сверла. Закрепленные в станке инструменты имеют различные величины вылетов от базовой точки станка F_i до их программной точки P_i . Величины вылетов в направлении каждой из координатных осей обозначаются соответственно W_{Xi} и W_{Zi} . Их геометрические значения обычно определяют в снаряженном состоянии на специальных измерительных устройствах. В таблице параметров инструментов (табл.2.4) предусмотрены ячейки для величин вылетов инструментов W_{Xi} и W_{Zi} , а также для уточняющих поправок δW_{Xi} и δW_{Zi} .

Реальные расстояния от базовой точки станка F_i до программной точки инструмента P_i вдоль каждой из координатных осей X и Z обозначаются W'_{Xi} и W'_{Zi} и называются корректорами длины инструмента. При осуществлении обработки детали программная точка P_i перемещается вдоль заданного контура; при этом базовая точка станка F_i перемещается по тому же контуру со смещением вдоль осей X и Z на величины соответственно W'_{Xi} и W'_{Zi} . Значения корректоров длины инструментов (рис.2.10) определяются из выражений

$$\begin{aligned} W'_{Xi} &= W_{Xi} \pm \delta W_{Xi}, \\ W'_{Zi} &= W_{Zi} \pm \delta W_{Zi}. \end{aligned}$$

На рис.2.12 изображены инструменты, параметры которых внесены в табл.2.4. На эскизе обозначены корректоры длины W'_{Xi} и W'_{Zi} , а также коды расположения рабочих вершин инструментов A_i . На позициях 4...6 инструментального магазина размещены канавочные резцы с различным расположенными рабочими вершинами.

Параметры рабочих вершин канавочных резцов различаются между собой кодом расположения A , а также величиной корректора длины по одной из координатных осей: W'_{Xi} или W'_{Zi} .

2.8. Наладка токарно-фрезерных многофункциональных центров

Рассмотрим особенности наладки оснащения токарно-фрезерного оборудования на примере многофункционального центра марки **INDEX**. На рис.1.17 изображена схема станка, работающего с двумя задействованными фрезами; в табл.2.5 изображена его таблица параметров инструментов. Фреза 3 в блоке 4 установлена на позиции 4 инструментального магазина 7 и предназначена для обработки детали в плане $Y-Z$. Фреза 9 в блоке 8 установлена на позиции 7 и предназначена для обработки детали в плане $X-Y$. Параметрические ячейки таблицы, содержащие геометрические параметры фрез, обозначены меткой (*). Ячейка для кода расположения рабочей вершины A (см. выше), предназначенная для токарных резцов, при внесении данных по фрезерным инструментам остается незаполненной. Величины радиусов (половины диаметров) фрез вносятся в ячейку R_s .

Как и в другом оборудовании токарной группы, в описываемом станке базовая точка F_i лежит в основании крепления инструментов. На рис.1.17 видно, что вылет фрезы 3 в направлении оси Z равен нулю ($W_{Zi}=0$). Вылет фрезы 9 в направлении оси X имеет строго фиксированную величину и определяется размерами блока 8 ($W_{Xi}=90$). Соответственно величины W_{Xi} для фрезы 3 и W_{Zi} для фрезы 9 определяются на специальном измерительном оборудовании по той же методике, что и геометрические параметры инструментов для станков фрезерной группы.

Т а б л и ц а 2.5

T_i	D_i	W_{Xi}	W_{Zi}	δW_{Xi}	δW_{Zi}	R_s	A
1	101	105.64	49.56	0.14	-0.09	1.2	3
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4*	104	100.48	0	-0.05	0.21	8	-
5	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-
7*	107	90	128.56	0.32	-0.09	9.76	-
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-

3. ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ НА СТАНКАХ ТИПА «ОБРАБАТЫВАЮЩИЙ ЦЕНТР»

3.1. Общие положения

Обрабатывающие центры, как и другие станки с ЧПУ, управляются компьютером, преобразующим дискретные сигналы информации в дискретные сигналы управления. УП обработки детали на станке с ЧПУ представляют собой набор кодированных команд органам станка. В международном коде *ISO-7bit*, в частности в языке **FANUC**, команды программирования станков включают в себя совокупность подготовительных (обозначаемых *G*) и вспомогательных (обозначаемых *M*) функций (табл.1.1). Команды УП разбиваются на кадры. *КОМАНДНЫЙ КАДР* – это набор команд, задающих элементарные отрезки траектории движения и технологические параметры инструмента при выполнении перехода (частота вращения и подача). Кадр УП обрабатывается станком как единое целое.

Отрезки траектории движения инструмента кодируются *АДРЕСНЫМ МЕТОДОМ*, при котором задаются координаты конечных точек элементарных отрезков перемещений, называемых *ОПОРНЫМИ ТОЧКАМИ*. Также задается вид перемещения – прямолинейный или циркуляционный. Как уже отмечалось, координаты опорных точек перемещения инструмента задаются в системе координат детали $X_i-Y_i-Z_i$. Совокупность отрезков перемещений инструмента образует траекторию его движения, которая рассчитывается относительно *ПРОГРАММНОЙ ТОЧКИ ИНСТРУМЕНТА* P_i (рис.2.7).

Такой вид отображения траектории инструмента на операционных эскизах называется *ЦИКЛОГРАММОЙ*. Вспомогательные перемещения инструмента (позиционирование) наносятся на эскиз пунктирными линиями, рабочие (контурные) перемещения – сплошными линиями. При отображении фрезерной обработки на ОЦ циклограммы наносятся в двух проекциях на графическом поле соответствующих проекций детали либо на свободном поле эскиза. Опорные точки траекторий инструментов на циклограммах должны быть пронумерованы.

Циклограммы используются совместно с *КАРТАМИ КОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ* [2] для детализации записи текста УП и ее анализа. Карта кодирования информации оформляется в виде таблицы, соответствующей определенному операционному эскизу. Карта включает в себя фрагмент УП, а также номера опорных точек траектории инструмента и их координаты по осям *X, Y, Z*. Координаты каждой опорной точки отображаются напротив соответствующего кадра УП.

3.2. Программирование отрезков перемещений

Как уже отмечалось, при программировании движения инструмента каждый командный кадр УП содержит координаты конечной точки элементарного отрезка перемещения. Отрезки перемещений могут задаваться в прямоугольной системе координат $X-Y$ либо в полярной системе координат $R-C$. Отсчет координат конечной точки перемещения может вводиться двумя различными функциями:

- **G90** – в абсолютной системе, когда отсчет производится относительно нулевой точки системы координат детали $X_i-Y_i-Z_i$;
- **G91** – в относительной системе, когда отсчет производится по приращениям координат относительно начальной точки текущего отрезка перемещения.

Начало технологического перехода и отвод инструмента от детали обычно кодируются в абсолютной системе отсчета. Ввод относительной системы функцией **G91** обычно производится на ограниченных участках траектории из соображений удобства расчета перемещений инструмента.

Если в УП отсутствует функция, вводящая тип системы отсчета, то система станка по умолчанию принимает абсолютную систему (по **G90**). Отметим, что расчет перемещений инструмента в приращениях может быть введен и без выхода из абсолютной системы отсчета. В этом случае приращение координат вдоль оси X задается символом U ; вдоль оси Y – символом V ; вдоль оси Z – символом W (табл.1.1) без ввода в действие функции **G91**.

На рис.3.1 изображен контур линейных перемещений, разбитый на элементарные отрезки, а в табл.3.1...3.3 – номера конечных точек перемещения и их координаты, заданные следующим образом:

- в табл.3.1 – в прямоугольной системе координат совместно с абсолютной системой отсчета (по координатам опорных точек X, Y, Z);
- в табл.3.2 – в прямоугольной системе координат совместно с относительной системой отсчета (два варианта кодирования перемещений по приращениям координат опорных точек $\delta X, \delta Y, \delta Z$);
- в табл.3.3 – в полярной системе координат совместно с относительной системой отсчета (по приращениям координат опорных точек R под углом C в плане $X-Y$; расчеты углов производятся относительно положительного направления оси X , причем положительный отсчет угла производится против часовой стрелки).

Прямолинейное движение инструмента (линейная интерполяция) вводится одной из следующих функций:

- **G0** – перемещение к точке, координаты которой заданы в прямоугольной системе, на ускоренной подаче (позиционирование);
- **G1** – перемещение к точке, координаты которой заданы в прямоугольной системе, на рабочей подаче F (мм/мин);

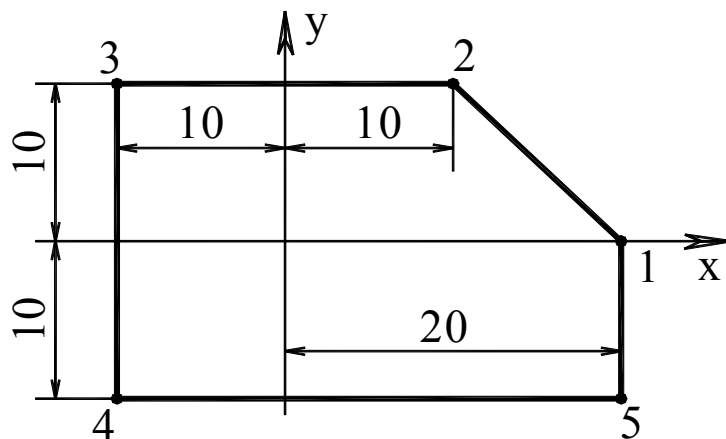


Рис.3.1. Контур линейных перемещений инструмента

Т а б л и ц а 3.1

	 <i>G90</i>
(1-2)	$X=10 \quad Y=10$	<i>G1 X10 Y10 F100</i>
(2-3)	$X=-10 \quad Y=10$	<i>X-10</i>
(3-4)	$X=-10 \quad Y=-10$	<i>Y-10</i>
(4-5)	$X=20 \quad Y=-10$	<i>X20</i>
(5-1)	$X=20 \quad Y=0$	<i>Y0</i>
	

Т а б л и ц а 3.2

	 <i>G91</i> <i>G90</i>
(1-2)	$\delta X=-10 \quad \delta Y=10$	<i>G1 X-10 Y10 F100</i>	<i>G1 U-10 V10 F100</i>
(2-3)	$\delta X=-20 \quad \delta Y=0$	<i>X-20</i>	<i>U-20</i>
(3-4)	$\delta X=0 \quad \delta Y=-20$	<i>Y-20</i>	<i>V-20</i>
(4-5)	$\delta X=30 \quad \delta Y=0$	<i>X30</i>	<i>U30</i>
(5-1)	$\delta X=0 \quad \delta Y=10$	<i>Y10</i>	<i>V10</i>
	

Т а б л и ц а 3.3

	 <i>G91;</i>
(1-2)	$R=14.14 \quad C=135$	<i>G11 R14.14 C135 F100</i>
(2-3)	$R=20 \quad C=180$	<i>R20 C180</i>
(3-4)	$R=20 \quad C=-90$	<i>C-90</i>
(4-5)	$R=30 \quad C=0$	<i>R30 C0</i>
(5-1)	$R=10 \quad C=90$	<i>R10 C90</i>
	

- **G10** – перемещение к точке, координаты которой заданы в полярной системе, на ускоренной подаче (позиционирование);
- **G11** – перемещение к точке, координаты которой заданы в полярной системе, на рабочей подаче **F** (мм/мин).

В табл.3.1...3.3 кадры УП, выполненные в различных системах расчета, приведены напротив соответствующих координат опорных точек перемещения.

Циркуляционное перемещение инструмента (круговая интерполяция) с рабочей подачей **F** по дуге или окружности в плане **X-Y** задается функциями:

- **G2** – круговая интерполяция по часовой стрелке;
- **G3** – круговая интерполяция против часовой стрелки.

Координаты центра интерполяции задаются относительно координат точки начала вращения (табл.1.1):

- $\pm I$ – приращение координаты по оси **X**;
- $\pm J$ – приращение координаты по оси **Y**.

Если конечная точка перемещения в кадре с функциями **G2** или **G3** не указана, то инструмент совершает полный оборот. На рис.3.2 изображены различные варианты траекторий циркуляционного движения инструмента.

В языке программирования **FANUC** имеет место и более удобная структура командного кадра УП круговой интерполяции по дуге, угловая величина которой менее 180° . В таком кадре указываются только координаты конечной точки перемещения (**X,Y**), направление вращения (**G2** или **G3**) и радиус дуги **R**.

На рис.3.3 приведен пример замкнутого контура, разбитого на элементарные отрезки опорными точками. В табл.3.4 приведен фрагмент УП на перемещение инструмента вдоль этого контура. Представлены различные варианты структуры командных кадров, задающих циркуляцию инструмента. Напротив каждого кадра УП в таблице обозначен номер опорной точки – адреса перемещения, а также ее координаты в абсолютной системе отсчета.

Отметим, что описанные в разделе функции имеют модальный характер, т.е. сохраняют свое действие на все последующие кадры УП (вплоть до их отмены вызовом другой функции). Так, функция **G90** отменяет действие функции **G91**; функция **G1** отменяет действие функции **G0**; функция **G2** отменяет действие функции **G1** и т.д.

3.3. Коррекция диаметра инструмента

Обработка детали по контуру в плоскости **X-Y** обычно осуществляется цилиндрической поверхностью концевой фрезы. Траектория центра ее вращения эквидистантна контуру обработки; при этом центр вращения отстоит от контура на расстоянии равном половине диаметра фрезы. Процесс пересчета технологических размеров детали в координаты опорных точек траектории движения инструментов весьма трудоемок. Осуществляя этот пересчет, разработчик УП может совершать большое число немотивированных ошибок.

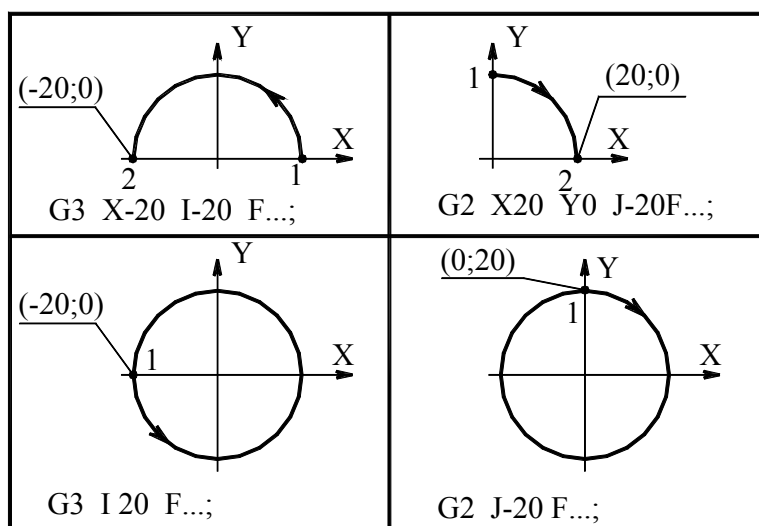


Рис.3.2. Циркуляционное движение инструмента по дуге и окружности

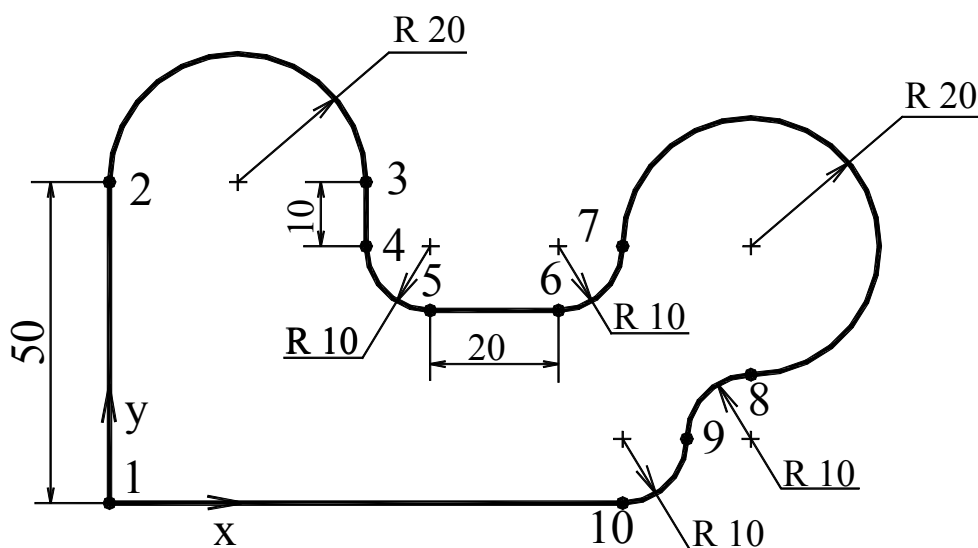


Рис.3.3. Контур линейных и циркуляционных перемещений

Т а б л и ц а 3.4

N	Координата	Фрагмент УП	N	Координата	Фрагмент УП
---		<i>G90</i>	8	<i>X100 Y20</i>	<i>G2 X100 Y20 I20</i>
2	<i>X0 Y50</i>	<i>G1 Y50 F100</i>	9	<i>X90 Y10</i>	<i>G3 X90 Y10 J-10</i>
3	<i>X40 Y50</i>	<i>G2 X40 I20</i>			(или)
4	<i>X40 Y40</i>	<i>G1 Y40</i>			<i>G3 X90 Y10 R10</i>
5	<i>X50 Y30</i>	<i>G3 X50 Y30 I10</i>	10	<i>X80 Y0</i>	<i>G2 X80 Y0 I-10</i>
		(или)			(или)
		<i>G3 X50 Y30 R10</i>			<i>G2 X80 Y0 R10</i>
6	<i>X70 Y30</i>	<i>G1 X70</i>	1	<i>X0 Y0</i>	<i>G1 X0</i>
7	<i>X80 Y40</i>	<i>G3 X80 Y40 J10</i>	---		
		(или)			
		<i>G3 X80 Y40 R10</i>			

Системы ЧПУ современных станков позволяют вводить коррекцию диаметра инструмента, т.е. осуществлять смещение программной точки с центра вращения инструмента на его цилиндрическую образующую в направлении контура. Величина смещения, называемая *КОРРЕКТОРОМ ДИАМЕТРА ИНСТРУМЕНТА*, равна $[(D_i + \delta D_i)/2]$; значения D_i и δD_i вносятся в таблицу параметров инструментов (табл.2.3) перед началом обработки детали по УП. Коррекция диаметра инструмента позволяет описывать траекторию его движения, пользуясь непосредственно параметрами контура обработки.

Различные варианты коррекции диаметра инструмента приведены на рис.3.4. Коррекция вызывается функцией **G41**, когда обрабатываемый контур расположен справа от фрезы; функцией **G42** – когда контур слева от фрезы. Указанные функции действуют на последующие кадры УП; отмена коррекции и возвращение программной точки инструмента на линию оси вращения осуществляется функцией **G40**.

Коррекция диаметра инструмента обычно вводится во время его прямолинейного перемещения в направлении контура обработки (в плоскости *X-Y*) и отменяется при отходе от него. По командам **G41** и **G42** система ЧПУ станка вызывает величины D_i и δD_i из соответствующих ячеек таблицы параметров инструментов (табл.2.3), которые обозначены в кадре вызова корректора диаметра функцией **D**. Например, ячейка D_2 относится к фрезе T_2 (табл.1.1). Одновременно с этим система ЧПУ производит расчет смещения программной точки фрезы относительно центра ее вращения. Величина смещения рассчитывается по формуле

$$D'_i/2 = [(D_i \pm \delta D_i)/2].$$

Приведем в качестве примера кадр УП:

G1_G41(G42)_X80_Y20_D2_F100,

который обозначает следующее:

- линейная интерполяция центра вращения инструмента со скоростью **100 мм/мин** эквидистантно контуру обработки на расстоянии половины диаметра фрезы;
- контур обработки расположен справа (по **G41**) или слева (по **G42**) от траектории движения центра фрезы;
- точка-адрес перемещения имеет координату: **X=80, Y=20**;
- величина диаметра инструмента D_2 и соответствующая поправка δD_2 считывается станком по функции **D2** из ячейки таблицы параметров инструментов для фрезы T_2 (табл.2.3);
- величина смещения центра вращения фрезы T_2 относительно обрабатываемого контура равна $[(D_2 \pm \delta D_2)/2]$ и рассчитывается системой ЧПУ станка автоматически.

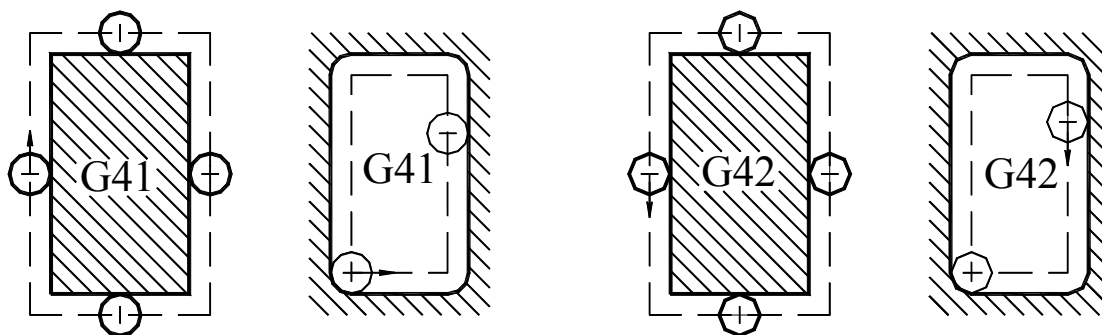
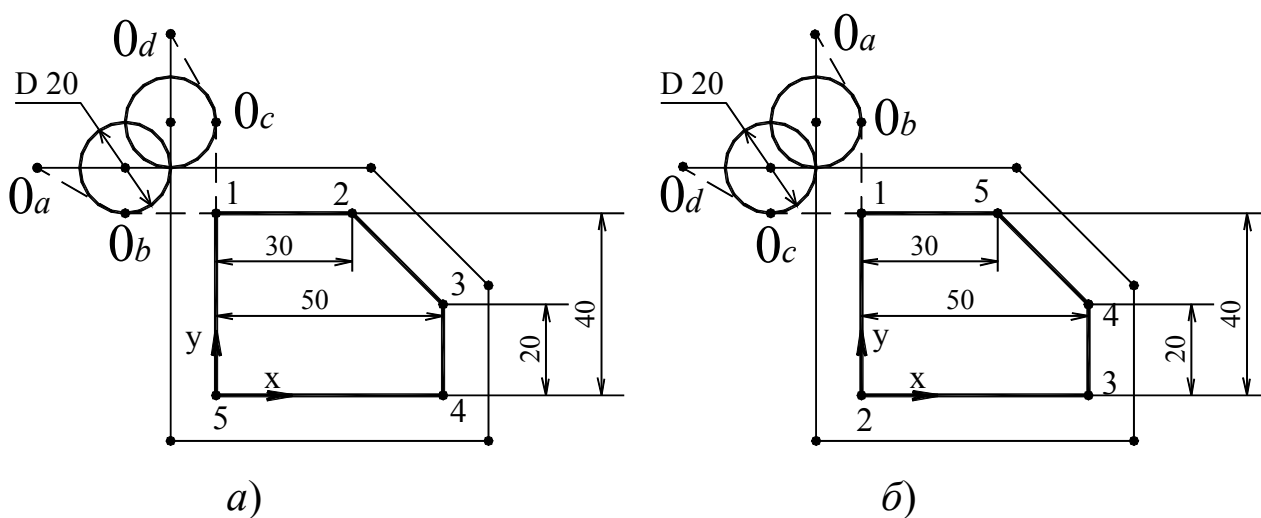


Рис.3.4. Различные варианты применения корректоров диаметра



--- G90
(0 _a -0 _b)	G1 G41 X-20 Y40 F100 D1
(0 _b -2)	X30
(2-3)	X50 Y20
(3-4)	Y0
(4-5)	X0
(5-0 _c)	Y60
(0 _c -0 _d)	G40 X-10 Y80

--- G90
(0 _a -0 _b)	G1 G42 X0 Y60 F100 D1
(0 _b -2)	Y0
(2-3)	X50
(3-4)	Y20
(4-5)	X30 Y40
(5-0 _c)	X-20
(0 _c -0 _d)	G40 X-40 Y50

Рис.3.5. Циклограммы движения фрезы с включенным корректором диаметра:
а – для **G41**; б – для **G42**

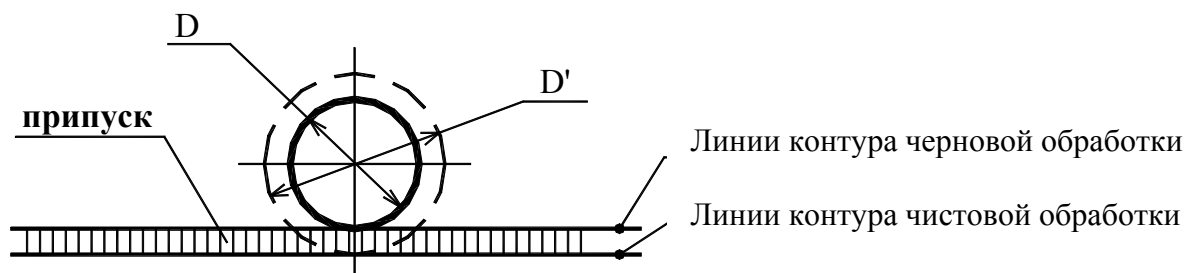


Рис.3.6. Фрезерная обработка контура с технологическим припуском

На рис.3.5 представлен контур обработки, варианты циклограмм и таблицы расчета траекторий, который был выполнен с применением коррекции диаметра: по **G41** (рис.3.5,а) и по **G42** (рис.3.5,б). Как видно из рисунка, корректор диаметра включается на отрезке ($\theta_a - \theta_b$) и отменяется на отрезке ($\theta_c - \theta_d$) при перемещении инструмента за пределы детали; при этом фреза подходит к контуру с угла заготовки по касательной.

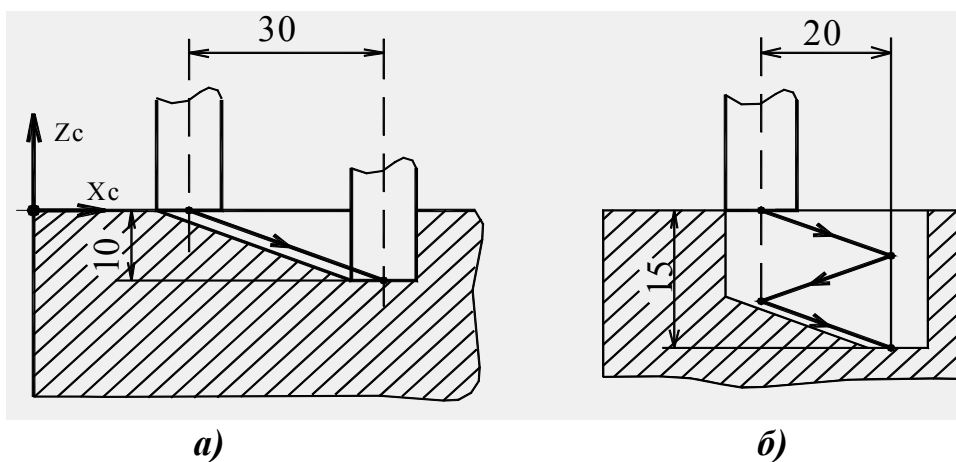
Применение коррекции диаметра также позволяет упрощать расчет траектории инструмента при обработке боковых поверхностей детали с технологическим припуском материала (черновую обработку). Программировать траекторию возможно непосредственно по технологическим размерам детали, без перерасчета координат опорных точек. С целью выполнения контура с припуском заданной величины в ячейку δD таблицы параметров инструментов (табл.2.3) вносится поправка, «увеличивающая» реальный диаметр фрезы: $D'_i = [D_i + \delta D_i]$. Так, если в систему ЧПУ станка ввести поправку $\delta D = +0.4$ для фрезы диаметром **20 мм**, то по команде **G41** или **G42** траектория центра вращения инструмента пройдет эквидистантно заданной боковой поверхности на расстоянии не **10 мм**, как для чистовой обработки, а **10,2 мм** (рис.3.6). Это обеспечит заданный припуск на сторону, равный **0,2 мм**.

3.4. Внутренняя расточка

Программирование внутренней расточки, в частности выполнение карманов, требует применения специальных правил врезания фрезы в материал. Наиболее простой способ врезания – вход инструмента вдоль оси **Z** на пониженной рабочей подаче **F**. Этот метод неэффективен, а для фрез с центральным отверстием технологически неприемлем. Поэтому при выполнении глубоких карманов вход фрезы в тело заготовки обычно выполняется через предварительно просверленное технологическое отверстие.

Станки с ЧПУ позволяют заменить эту процедуру более производительным входом фрезы в материал под углом **10-20°** к плоскости **X-Y**. Врезание рекомендуется производить на рабочей подаче **F**, величина которой на **20-30%** ниже расчетной. Относительно неглубокое врезание производится при движении инструмента в одном направлении (рис.3.7,а). При относительно глубоком врезании для достижения заданной глубины применяется несколько отрезков перемещения фрезы. В примере (рис.3.7,б) вход в материал на глубину **15 мм** осуществляется равномерно тремя отрезками по **5 мм**. Отметим, что процедуру врезания удобнее рассчитывать, применяя относительную систему отсчета по **G91**.

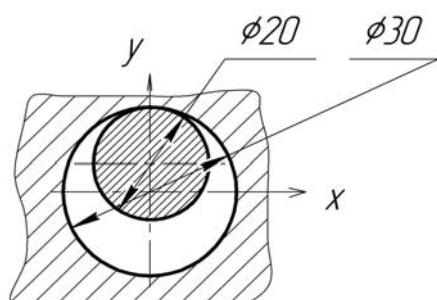
При обработке глухих отверстий наиболее эффективным и безопасным для фрезы является врезание в материал по спирали, когда к описанному выше циркуляционному движению (рис.3.2) добавляется поступательное перемещение вдоль оси **Z**.



...
G91
G1 X30 Z-10 F...
 ...

...
G91
G1 X20 Z-5 F...
X-20 Z-5
X20 Z-5
 ...

Рис.3.7. Траектория движения фрезы при диагональном входе в материал



... *G90* ...
 1) *G1 X0 Y0 Z1 F100*
 2) *G41 Y15 D1* (для *T1*)
 3) *G3 J-15 W-1.5*
 4) *G3 J-15 W-1.5*
 5) *G3 J-15 W-1.5*
 6) *G3 J-15 W-1.5*
 7) *G3 J-15*
 8) *G1 G40 Y0*
 ...

Рис.3.8. Траектория движения фрезы при входе в материал по спирали

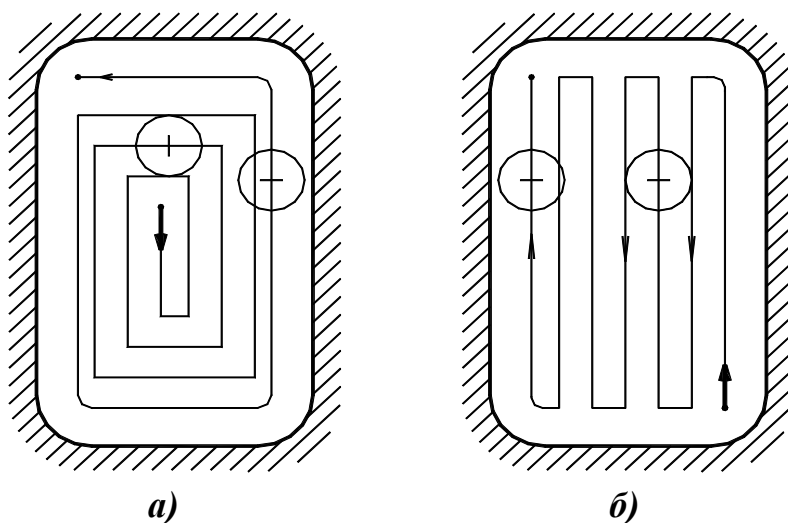


Рис.3.9. Траектория движения фрезы при формировании карманов:
 а) черновая обработка; б) чистовая обработка

На рис.3.8 приведен пример выполнения отверстия диаметром **30 мм** и глубиной **5 мм**. На первоначальном участке траектории фреза подходит к точке центра отверстия, имеющей координаты: $X=0$, $Y=0$, $Z=1$. Далее производится приближение фрезы к заданному размеру с одновременным включением коррекции ее диаметра (например, **G41...D1** для фрезы **T1**). Смещение фрезы на величину **1.5 мм** ($Z=-1.5$ мм в кадре УП) при осуществлении одного полного витка циркуляции радиусом **15 мм** ($J=-15$) задано в относительной системе отсчета ($W=-1.5$). Начало процедуры врезания осуществляется с высоты **1 мм** над деталью ($Z=1$). Таким образом, при выполнении четырех витков спирали происходит врезание фрезы в материал на глубину **5 мм** ($Z=-5$ в абсолютной системе отсчета). Последний (пятый) виток циркуляции производится без смещения фрезы вдоль оси Z и предназначен для получения плоскости дна глухого отверстия в плане $X-Y$. Далее производится отвод фрезы от материала с одновременным отключением коррекции.

Обработка карманов включает в себя, как правило, черновую и чистовую расточку. Обработка обычно производится фрезами, радиус которых меньше радиуса скругления кармана. Черновая расточка должна обеспечивать величины заданных технологических припусков для окончательной обработки плоскости дна кармана и его боковых поверхностей. При тяжелых режимах резания, применяемых при черновой обработке, предпочтительно задавать движение фрезы в плане $X-Y$ с общим направлением спирали. Такой вид перемещения задает неизменное положение инструмента относительно снимаемого материала (рис.3.9,а) и поддерживает постоянную нагрузку на фрезу в течение всего черногового перехода. Чистовая обработка плоскости дна кармана обычно формируется фрезой при ее движении в двух встречных направлениях (рис.3.9,б). Отметим, что для процедур, изображенных на рис.3.9, траектория фрезы рассчитывается для ее центра вращения (без включения корректора диаметра инструмента).

Рассмотрим один из наиболее широко применяемых подходов к чистовой расточке боковой поверхности кармана на примере, изображенном на рис.3.10. Фрагмент УП обработки кармана фрезой **T1** с корректором диаметра **D1** приведен в табл.3.5. Как видно из эскиза, подход фрезы к материалу и отход от него обычно осуществляется по дуге окружности, касательной к контуру. Это обеспечивает плавное изменение сил резания и высокую чистоту поверхности в районе точки касания контура инструментом. При программировании перемещения фрезы корректор диаметра включается и выключается за пределами контура обработки на прямолинейных отрезках $\theta_a-\theta_b$ и $\theta_c-\theta_d$.

На станках с ЧПУ возможно выполнение расточки резьб больших диаметров, нарезание которых метчиком технологически невозможно. На рис.3.11 представлен способ нарезания резьбы, при котором ее формирование производится при движении специальной фрезы по спирали вдоль заранее подготовленной цилиндрической поверхности. Траектория движения инструмента задается по принципу, представленному на рис.3.8.

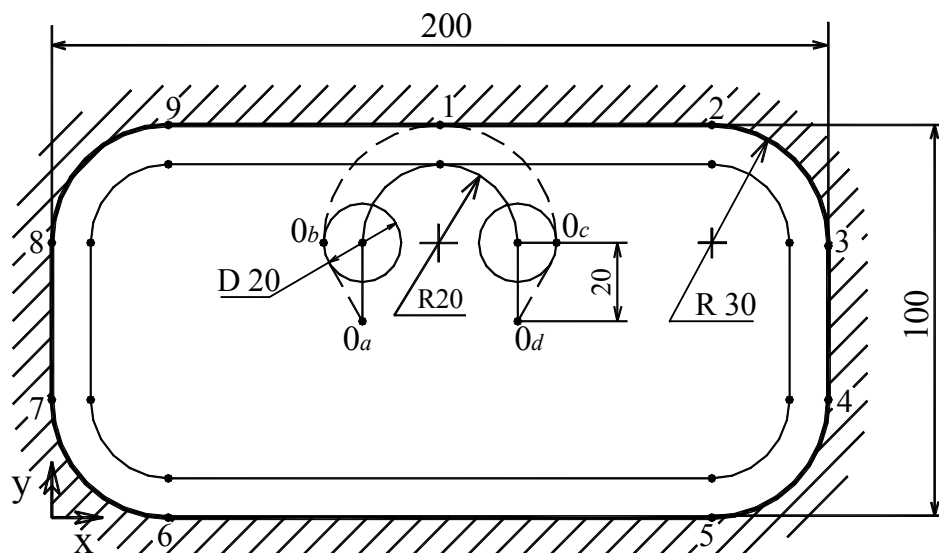


Рис.3.10. Фрагмент циклограммы при внутренней расточке кармана

Т а б л и ц а 3.5

 <i>G90</i>
(0 _a -0 _b)	<i>G1 G42 X70 Y70 D1 F100</i>
(0 _b -1)	<i>G2 X100 Y100 I 30</i>
(1-2)	<i>G1 X170</i>
(2-3)	<i>G2 X200 Y70 J-30</i>
(3-4)	<i>G1 Y30</i>
(4-5)	<i>G2 Y0 X170 I-30</i>
(5-6)	<i>G1 X30</i>
(6-7)	<i>G2 X0 Y30 J30</i>
(7-8)	<i>G1 Y70</i>
(8-9)	<i>G2 X30 Y100 I 30</i>
(9-1)	<i>G1 X100</i>
(1-0 _c)	<i>G2 X130 Y70 J-30</i>
(0 _c -0 _d)	<i>G1 G40 X120 Y50</i>

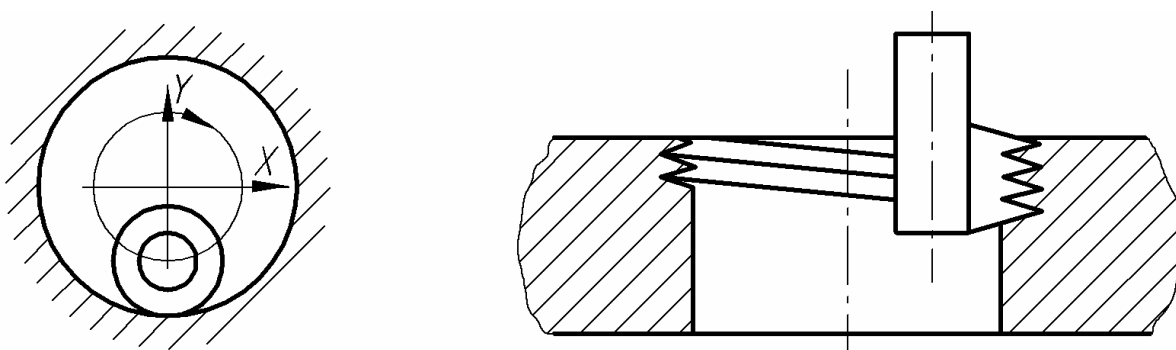


Рис.3.11. Фрезерование резьб больших диаметров

Перемещение шпинделя вдоль оси цилиндра (в направлении **Z-**) на один виток циркуляции равно величине шага резьбы. Включение корректора диаметра фрезы производится при ее приближении к стенке цилиндра, а выключение – при отводе от нее.

3.5. Основы построения управляющих программ

Управляющие программы, разрабатываемые для группы однородного оборудования, должны быть максимально типизированы, а также иметь общую структуру. Это существенно снижает риск ошибок в процессе наладки технологического оснащения для выполнения операций. Рассмотрим основы формирования траекторий и разработки УП на примере простейшего фрезерного перехода – выполнения паза в поверхности детали концевой фрезой (рис.3.12). Обработку осуществляет фреза **T2** диаметром **16 мм**. Заготовка закреплена в патроне, установленном горизонтально на рабочем столе. Нулевая точка системы координат детали **X_i-Y_i-Z_i** расположена на пересечении оси детали с ее свободной боковой плоскостью. В табл.3.6 приведена карта кодирования информации, включающая в себя последовательную запись программы, а также соответствующие каждому кадру УП опорные точки – адреса перемещений инструмента. Расчет траектории фрезы выполнен с применением коррекции ее диаметра непосредственно по технологическим размерам детали. Точки включения и отключения корректора диаметра обозначены в карте символом (*).

Как видно из циклограммы (рис.3.12), движение инструментов от **ИСХОДНОЙ ТОЧКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ 0** к детали осуществляется через **ИСХОДНУЮ ТОЧКУ УП 1**, которая располагается на **ПЛОСКОСТИ БЕЗОПАСНОСТИ**. Перемещение из точки **0** в точку **1** осуществляется отрезком позиционирования (на ускоренной подаче) одновременно по трем координатным осям на ускоренной подаче. Плоскость безопасности обычно располагается на расстоянии от наивысшей точки детали (вдоль оси **Z**), равном: **Z_n=50...100 мм**. Приближение к детали через плоскость безопасности осуществляется всеми без исключения инструментами, участвующими в обработке. При прохождении инструментами плоскости безопасности обычно производится запуск вращения шпинделя и его останов, а также включение и отключение подачи охлаждающей жидкости.

Перемещение инструментов от плоскости безопасности непосредственно к зоне обработки осуществляется на ускоренной подаче в направлении **Z-**. После окончания перехода отвод инструментов к плоскости безопасности осуществляется аналогичным образом – на ускоренной подаче в направлении **Z+**. Все перемещения инструментов в зоне обработки, включая холостые ходы, осуществляются на рабочей подаче с заданной скоростью.

Начало УП на языке **FANUC** обозначается **%**; в следующем кадре УП записывается ее имя, включающее букву **o**, и цифровое обозначение, например **o4318** (табл.3.6).

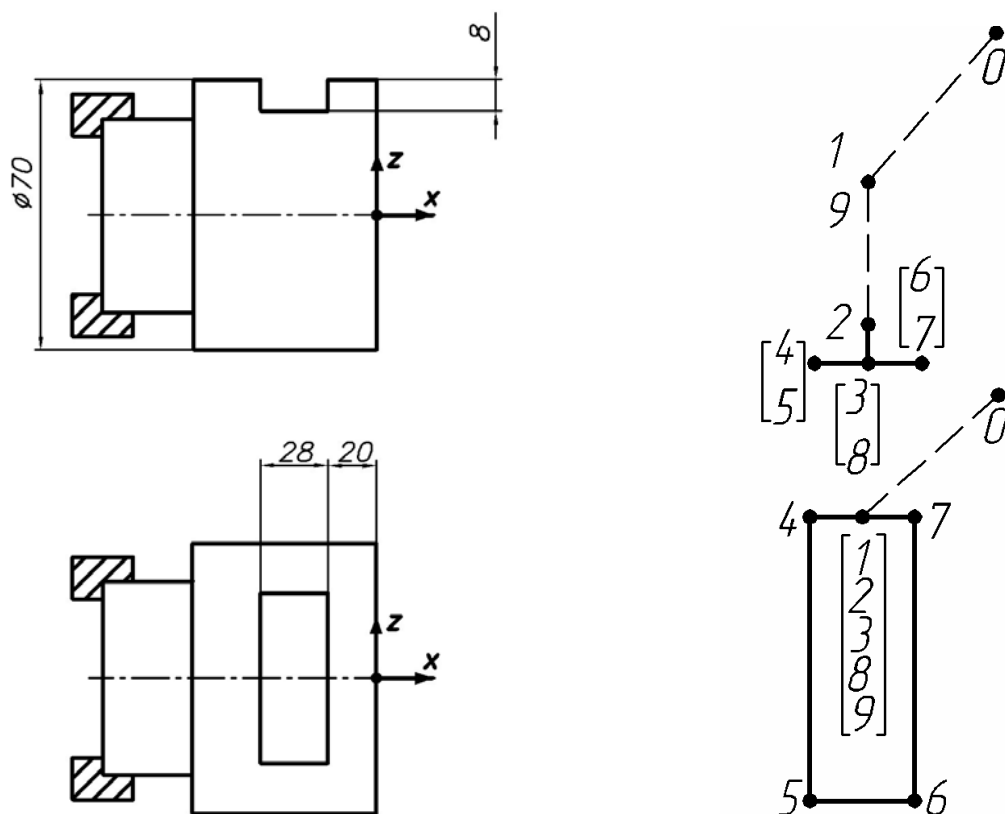


Рис.3.12. Эскиз выполнения паза в поверхности детали

Т а б л и ц а 3.6

Номера опорных точек	X	Y	Z	% о4318 N105 G17 N110 G91 G28 G0 X0 Y0 Z0 N115 G54 N120 M6 T2 (фреза Ø16) N125 G90 G43 X-34 Y45 Z85 H2 N130 M3 S600 M8 N135 Z37 N140 G1 Z27 F1000 N145 G41 X-48 N150 Y-45 F80 N155 X-20 N160 Y45 N165 G40 X-34 F1000 N170 G0 Z85 M5 M9 N175 G91 G28 X0 Y0 Z0 M2 [конец программы] или M6 Ti [продолжение программы]
0	---	---	---	
1	-34	45	85	
2	-34	45	37	
3	-34	45	27	
4*	-48	45	27	
5	-48	-45	27	
6	-20	-45	27	
7	-20	45	27	
8*	-34	45	27	
9	-34	45	85	
0	---	---	---	

* — точки включения и отключения корректора диаметра инструмента

Кадры УП обычно нумеруются с заданным интервалом порядковых номеров, например: *N105, N110, N115,....* В первых кадрах УП указывается план обработки детали: функцией **G17** для плана *X-Y*; функцией **G18** для плана *X-Z* (рис.1.14). Отметим, что во многих современных ОЦ план *X-Y* вводится по умолчанию; вводить его функцией **G17** в начале каждой УП необязательно.

В кадре вызова очередного инструмента желательно давать его краткое описание, например: (*фреза Ø16*). Данная информация, записанная в скобках, предназначена только для оператора (см. табл.3.6) и не считывается системой ЧПУ станка. Для вызова инструмента шпиндель приходит в *ИСХОДНУЮ ТОЧКУ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ 0*, часто совпадающую с нулевой точкой системы координат станка. Движение в точку **0** осуществляется командой: **G91_G28_X0_Y0_Z0**. Затем по функции **G54** осуществляется вход в систему координат детали *X-Y-Z*, с которой увязаны все дальнейшие перемещения инструмента. Вызов инструмента **T2** производится по функции **M6**: **M6 T2**.

После вызова инструмента производится включение в действие абсолютной системы отсчета (функция **G90**) и движение фрезы на ускоренной подаче (функция **G0**) в исходную точку УП **1**. Одновременно с этим командой **G43...H2** (табл.3.6) включается корректор длины инструмента. Исходная точка расположена:

- в направлении оси **Z** – на расстоянии **50 мм** над деталью;
- в направлении оси **X** – напротив центра симметрии прорези;
- в направлении **Y** – в стороне от детали.

Следующим кадром программы осуществляется запуск вращения шпинделя по часовой стрелке (функция **M3**) с заданной частотой **S=600 об/мин** (табл.3.6), а также включение подачи охлаждающей жидкости (функция **M8**). Далее инструмент приближается к зоне обработки до высоты равной **2 мм** над деталью (точка **2**). Затем включается рабочая подача (функции **G1**), на которой со скоростью **F=1000 мм/мин** следует выход фрезы на заданную глубину обработки (точка **3**).

Последующие рабочие перемещения фрезы связаны непосредственно с изготовлением прорези. Вначале фреза подходит к одной из стенок прорези (точка **4**) с одновременным включением корректора диаметра инструмента (функция **G41**). Далее на рабочей подаче **F=80 мм/мин** происходит непосредственно съём металла (точки **5,6,7**). Выйдя из тела заготовки, фреза перемещается к центру симметрии прорези (точка **8**) с одновременным отключением корректора диаметра инструмента (функция **G40**).

Отвод инструмента от детали к плоскости безопасности (точка **9**) производится на ускоренной подаче. Одновременно с этим осуществляется останов шпинделя (функция **M5**) и отключение подачи охлаждающей жидкости (функция **M9**). Затем командой: **G91_G28_X0_Y0_Z0** шпиндель возвращается в исходную точку перемещений (**0**). Далее следует вызов очередного инструмента (**M6_Ti**) для продолжения обработки детали. Если переход, осуществляемый данным инструментом, является последним в процессе проведения операции, то вместо вызова следующего инструмента следует команда на окончание УП и останов станка: **M2** или **M30**.

3.6. Постоянные циклы сверления

В рассматриваемой системе кодирования ряд перемещений инструментов могут задаваться *ПОСТОЯННЫМИ ЦИКЛАМИ*, задающими общие параметры обработки. К таким циклам относятся, прежде всего, циклы процедур сверления. Циклы задаются функциями **G81...G86**, **G76** и некоторыми другими. В циклах задаются следующие перемещения инструмента: быстрый подвод к детали, рабочие перемещения вдоль оси **Z**, быстрый отвод от детали, быстрое перемещение между отверстиями. Осуществление цикла начинается с той точки, к которой инструмент подведен к детали по предшествующей команде. Цикл действует в кадре, в котором записана соответствующая команда, а также во всех последующих кадрах, в которых указываются изменения параметров цикла, например, координат выполняемых отверстий. Отмена цикла производится функцией **G80**. Представленный в качестве примера фрагмент УП

... G90...	N115 X60
N105 G43 X20 Y0 Z50 H4 M8	N120 X100
N110 G81 G98(G99) R2 Z-5 F100	N125 G80 ...

задает сверление отверстий с координатами: (**X=20**, **Y=0**), (**X=60**, **Y=0**), (**X=100**, **Y=0**) с высоты **Z=2 мм** на глубину **Z=-5 мм** (в абсолютной системе отсчета). Перемещение инструментов между отверстиями, возможно, задавать:

- на высоте исходной точки УП либо иной точки подвода инструмента к обрабатываемым отверстиям – функцией **G98**;
- на высоте точки начала сверления **R** – функцией **G99**.

Графическая интерпретация основных циклов сверления приведена на рис.3.13: перемещения на рабочей подаче обозначены сплошными линиями, ускоренные перемещения – пунктирными линиями. Цикл короткого сверления по функции **G81** (*a*) включает в себя команды на подачу инструмента в материал с высоты **R** на рабочей подаче **F** до точки окончания сверления **Z** и далее его быстрое возвращение на высоту **R**. Циклы по функциям **G85** и **G86** (расточка отверстия разверткой), а также по **G84** (нарезание резьбы метчиком) имеют запись в кадре, абсолютно идентичную записи по **G81**, при этом каждая из команд задает свои, отличные от других, параметры движения инструмента. Цикл движения развертки по **G85** (*б*) задает вход и выход в отверстие инструмента, вращающегося в одном направлении, с рабочей подачей **F**. Цикл по **G86** (*в*) задает другой тип движения развертки: инструмент входит в материал с рабочей скоростью, затем происходит остановка вращения и далее быстрый выход из отверстия.

Цикл по **G83** (*д*) задает многозаходное (ступенчатое) сверление глубоких отверстий, которое невозможно выполнить за 1 проход. По сравнению с другими циклами здесь появляется дополнительный параметр, обозначенный **Q**, задающий шаг подачи инструмента, т.е. величину его последовательных углублений до конечной точки сверления.

Цикл по **G84** (з) задает нарезание резьбы метчиком, когда рабочая подача F и частота вращения инструмента n жестко связаны между собой: их отношение (F/n) соответствует шагу резьбы. При выходе метчика из отверстия обеспечивается реверсивное вращение шпинделя. Отметим, что при нарезании резьбы метчик следует крепить в специальный патрон с компенсатором.

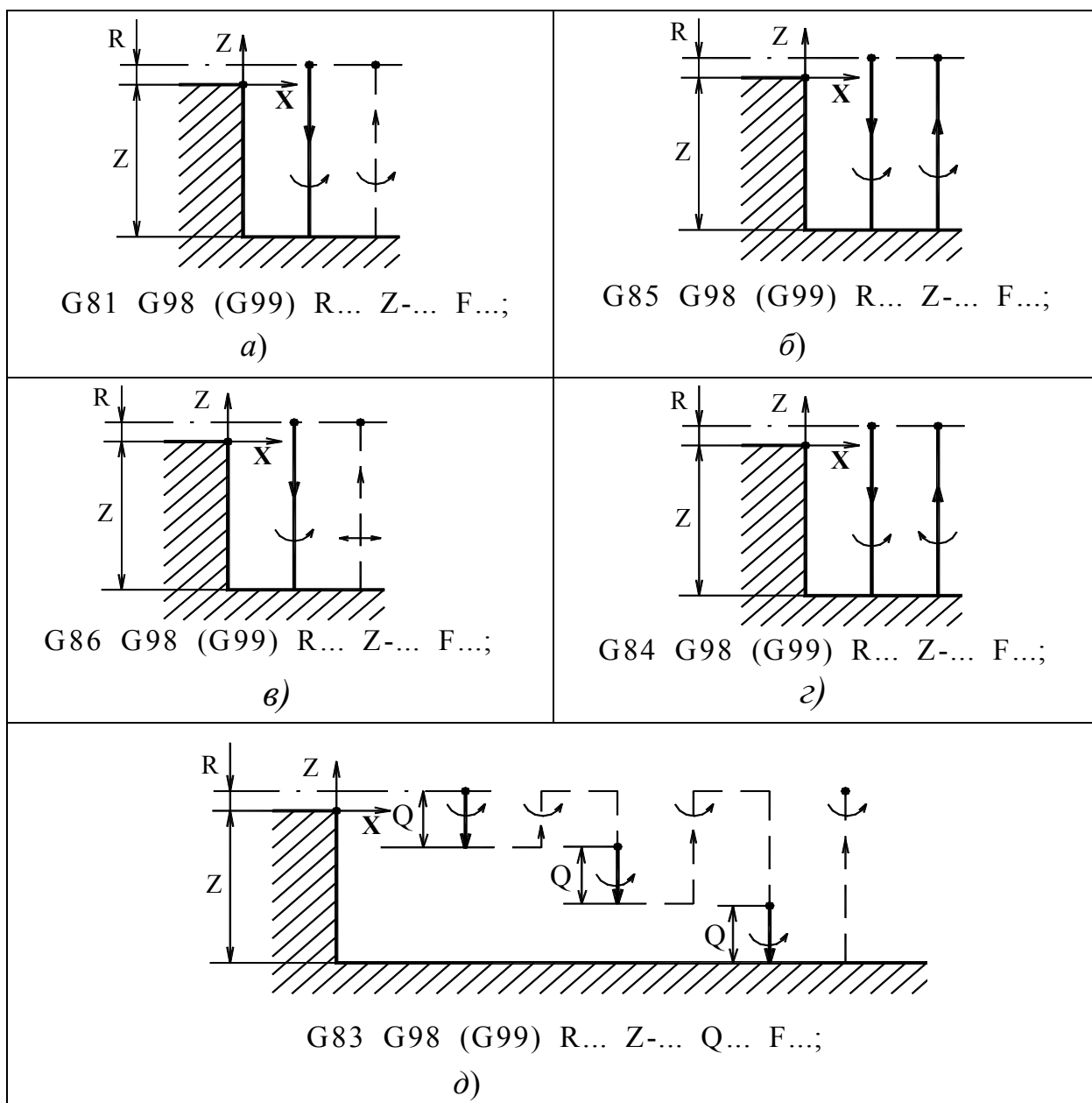


Рис.3.13. Графическая интерпретация циклов сверления:

а – цикл короткого сверления; б, в – циклы развёртывания;

з – цикл нарезания резьбы метчиком; д – цикл ступенчатого сверления

Цикл по **G76** задает цикл чистовой расточки, которая выполняется специальными расточными головками (рис.3.14). Цикл включает в себя подвод инструмента (а), подачу инструмента в отверстие на рабочем ходу (б), останов вращения шпинделя и отвод резца от обработанной поверхности

(в), быстрый выход инструмента из отверстия (г). При программировании чистовой расточки в стандартный кадр цикла сверления вводится дополнительный параметр, определяющий величину и направления отвода резца от обработанной поверхности (смещения) в приращениях:

- $\pm I$ – смещение резца в направлении оси X ;
- $\pm J$ – смещение резца в направлении оси Y .

В некоторых версиях языка *FANUC* направление смещения резца определяется системой ЧПУ по умолчанию, а величина смещения (см. обозначение размера отрезка на рис.3.14,в) задается параметром Q .

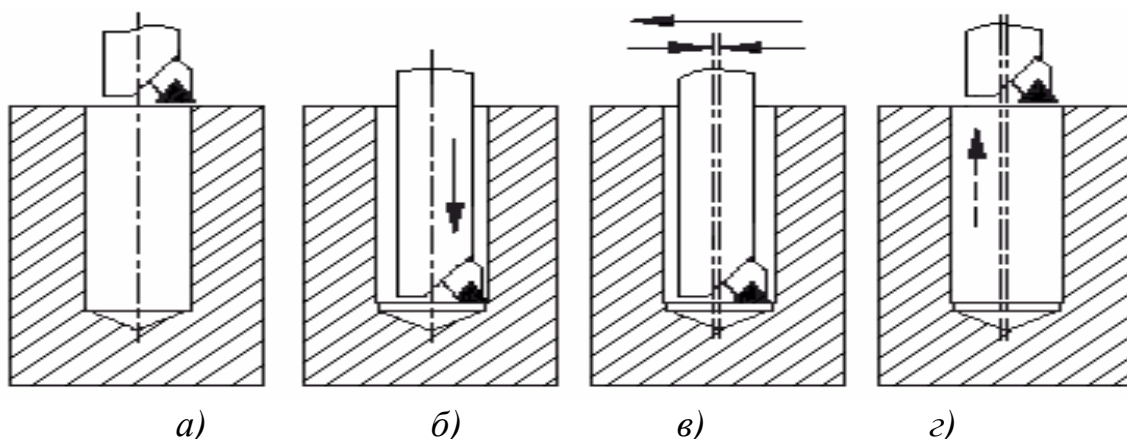


Рис.3.14. Графическая интерпретация цикла чистовой расточки:
 а – подвод инструмента; б – подачу инструмента; в – отвод резца от поверхности; г – выход инструмента

Рассмотрим программирование выполнения группы резьбовых отверстий на примере, представленном на рис.3.15. Отверстия выполняются по УП *o3341* (табл.3.7) в заранее подготовленных карманах глубиной **10 мм** ($Z=-10$). В операции участвуют три инструмента, осуществляющие следующие переходы:

- выполнение заходных отверстий центровым сверлом **T4** с углом при вершине **90°** и диаметром **16 мм**;
- сверление отверстий глубиной **26 мм** ($Z=-26$) сверлом **T5** диаметром **8,8 мм**;
- нарезание резьбы **M10x1,25** глубиной **20 мм** ($Z=-20$) метчиком **T6**.

Отметим, что координаты точки начала сверления **R** и точки окончания сверления **Z** задаются в абсолютной системе отсчета. Глубина входа центрового сверла в материал рассчитана таким образом, что после выполнения отверстий под резьбу диаметром **8,8 мм** на плоскости остаются следы от метчика, которые служат заходными фасками для метчика. При расчете перемещений метчика учитывается сбеги резьбы – предусмотрен его вход в материал на глубину **22 мм** при заданной глубине резьбы **20 мм**. Все перемещения инструментов между отверстиями выполняются по команде **G98** на высоте исходной точки УП равной **50 мм**: $Z=50$. Как видно из эскиза, перемещения инструментов между отверстиями по **G99** (на координате точки начала сверления $Z=-9$) были бы невозможны из-за наличия препятствий на их пути в виде стенок карманов.

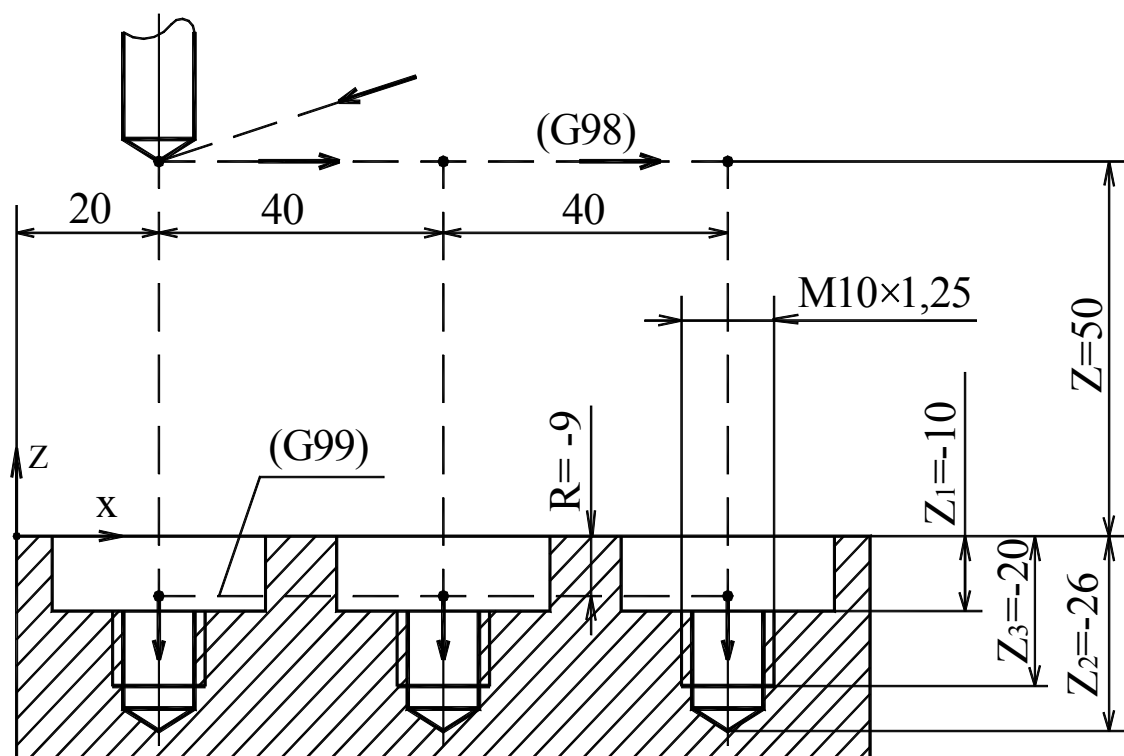


Рис.3.14. Пример выполнения группы резьбовых отверстий

Таблица 3.7

<p>% o3341 (T4 центровка d16) (T5 сверло d8.8) (T6 метчик M10x1,25)</p> <p>G91 G28 G0 X0 Y0 Z0 G55</p> <p>M6 T4 G90 G43 X20 Y0 Z50 H4 M3 S800 M8 G81 G98 R-9 Z-15.5 F100 X60 X100 G80 G0 Z50 M5 M9 G91 G28 X0 Y0 Z0</p>	<p>M6 T5 G90 G43 X20 Y0 Z50 H5 M3 S600 M8 G83 G98 R-9 Z-26 Q3 F70 X60 X100 G80 G0 Z50 M5 M9 G91 G28 X0 Y0 Z0</p> <p>M6 T6 G90 G43 X20 Y0 Z50 H6 M3 S100 M8 G84 G98 R-9 Z-22 F125 X60 X100 G80 G0 Z50 M5 M9 G91 G28 X0 Y0 Z0 M2</p>
---	--

4. СОКРАЩЕННОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕДУР

4.1. Модульное построение управляющих программ. Подпрограммы

Как уже отмечалось, гибкость автоматизированного производства обеспечивается возможностью быстрой переналадки технологического оборудования. При этом не менее важна возможность быстрой разработки либо доработки управляющих программ. При внедрении в производство нового изделия разработчики программ крайне редко работают «с чистого листа». На производстве почти всегда есть возможность найти необходимые шаблоны и прототипы среди ранее выполненных УП. Одновременно с этим, широкое применение находят специальные методы разработки программ для групп однотипных деталей.

При разработке программ следует уделять отдельное внимание их логическому построению. Структура программ не должна создавать проблем при их доработке и модернизации. В частности, УП должны иметь небольшой размер, легко читаться и разбиваться на отдельные независимые компоненты.

Анализ большинства операций, выполняемых на станках с ЧПУ, позволяет выделить повторяющиеся циклы командных кадров, кодирующие идентичные переходы инструментов. Эти циклы целесообразно оформлять в виде отдельных *ПОДПРОГРАММ*, структурно независимых от УП. Выделим некоторые случаи эффективного применения подпрограмм:

- групповая обработка идентичных элементов детали или идентичных деталей;
- групповая обработка отверстий;
- обработка одного контура несколькими проходами фрезы с последовательным изменением глубины фрезерования;
- последовательная обработка одного контура несколькими фрезами.

При работе станка в автоматическом режиме подпрограммы вызываются из текста УП функцией *M98* с обозначением ее номера буквой *P*. Например, подпрограмма *o9901* вызывается командным кадром *M98_P9901*. Подпрограммы завершаются кадром с функцией *M99*, которая переводит считывающее устройство системы ЧПУ станка в кадр УП, следующий непосредственно за кадром вызова подпрограммы.

В примере (рис.4.1, табл.4.1, 4.2) рассматривается процедура групповой обработки идентичных участков детали. УП *o2516* (табл.4.1) задает приближение фрезы к обрабатываемым поверхностям (рис.4.1). Непосредственно в зоне обработки включается подпрограмма *o9910* (табл.4.2), которая в относительной системе отсчета задает все рабочие перемещения инструмента.

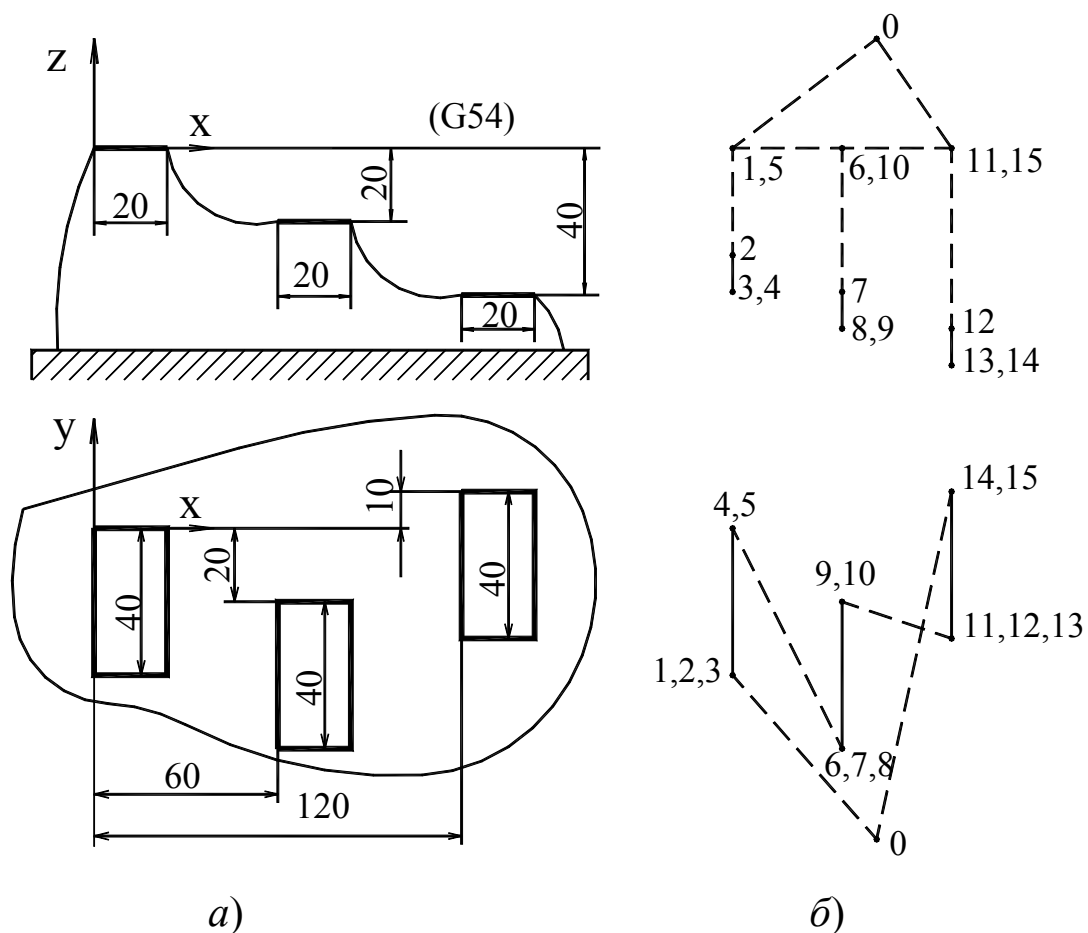


Рис.4.1. Эскиз обработки детали с применением подпрограммы:
 а – деталь с идентичными элементами; б – циклограмма движения инструмента

Т а б л и ц а 4.1

% o2516 (T1 фреза d30) G91 G28 G0 X0 Y0 Z0 M6 T1 G54 G90 G43 X10 Y-60 Z50 H1 M3 S600 M8 Z2	M98 P9910 X70 Y-80 Z-18 M98 P9910 X130 Y-50 Z-38 M98 P9910 M5 M9 G91 G28 X0 Y0 Z0 M2
--	---

Т а б л и ц а 4.2

% o 9910 G91 G1 Z-2 F100	Y80 G90 G0 Z50 M99
-----------------------------------	-----------------------------

Назначение независимых систем координат для каждого из идентичных элементов во многих случаях групповой обработки представляется более рациональным. Такой метод позволяет использовать в подпрограммах абсолютную систему отсчета. Если эти элементы принадлежат различным деталям (рис.4.2), то их системы координат взаимно независимы. Если эти элементы являются идентичными участками одной детали, как на рис.4.1, то их системы координат взаимно увязаны ее чертежными размерами.

Рассмотрим пример групповой обработки деталей, установленных на рабочем столе (рис.4.2, 4.3, табл.4.3...табл.4.6). Для каждой детали функциями **G54**, **G55**, **G56** назначена индивидуальная система координат (рис.4.2). В обработке задействованы две фрезы: **T7** для черновой обработки контура (за несколько проходов) и **T8** для чистовой обработки (за один проход). На рис.4.3 приведен эскиз черновой обработки детали. В УП **o3185** (табл.4.3) черновая и чистовая обработки деталей задаются путем последовательного запуска соответствующих подпрограмм. Приближение и отвод фрезы **T7** осуществляется по подпрограмме **o9901** (табл.4.4); приближение и отвод фрезы **T8** осуществляется по подпрограмме **o9902** (табл.4.5). В свою очередь, подпрограммы **o9901** и **o9902** запускают подпрограмму **o9903** (табл.4.6) на обработку непосредственно контура детали в плане **X-Y**. Все перемещения инструментов в подпрограммах задаются в абсолютной системе отсчета.

Припуск на чистовую обработку обеспечивается внесением в ячейку **D7** таблицы параметров инструментов величины диаметра, превышающей его истинное значение на δD_7 :

$$D'_7 = [D_7 + \delta D_7].$$

При этом значение δD_7 равно общей величине припуска по периметру контура (см. выше).

Рассмотрим еще один пример применения подпрограммы. Выполняемая операция – фрезерование четырех пазов в детали (рис.4.4). Программа обработки **o3445** приведена в табл.4.7; подпрограмма **o9960** приведена в табл.4.8. Программирование операции выполняется с помощью функции **G68**, задающей временное угловое положение координатных осей **X** и **Y** системы координат детали – их поворот относительно заданной точки. По кадру программы **G68_X0_Y0_R...** оси **X** и **Y** занимают угловое положение, обозначенное **R**, относительно нулевой точки системы координат детали. Далее следует вызов подпрограммы, в которой кодируется непосредственно движение инструмента в зоне обработки. После четырех последовательных вызовов УП поворот осей координат отменяется функцией **G69**. Таким образом, фреза выполняет обработку четырех пазов с взаимным угловым смещением **90°**.

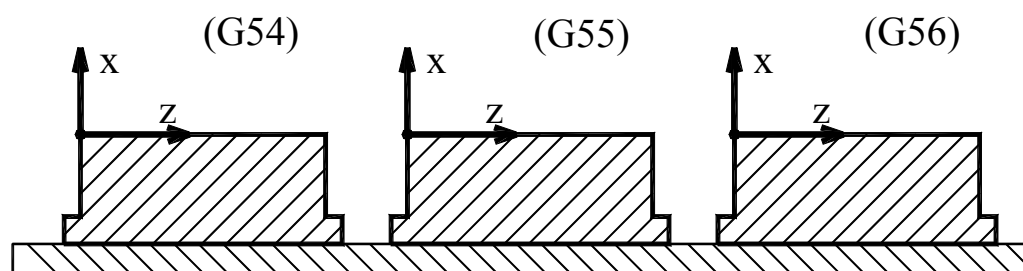


Рис.4.2. Системы координат обрабатываемых деталей

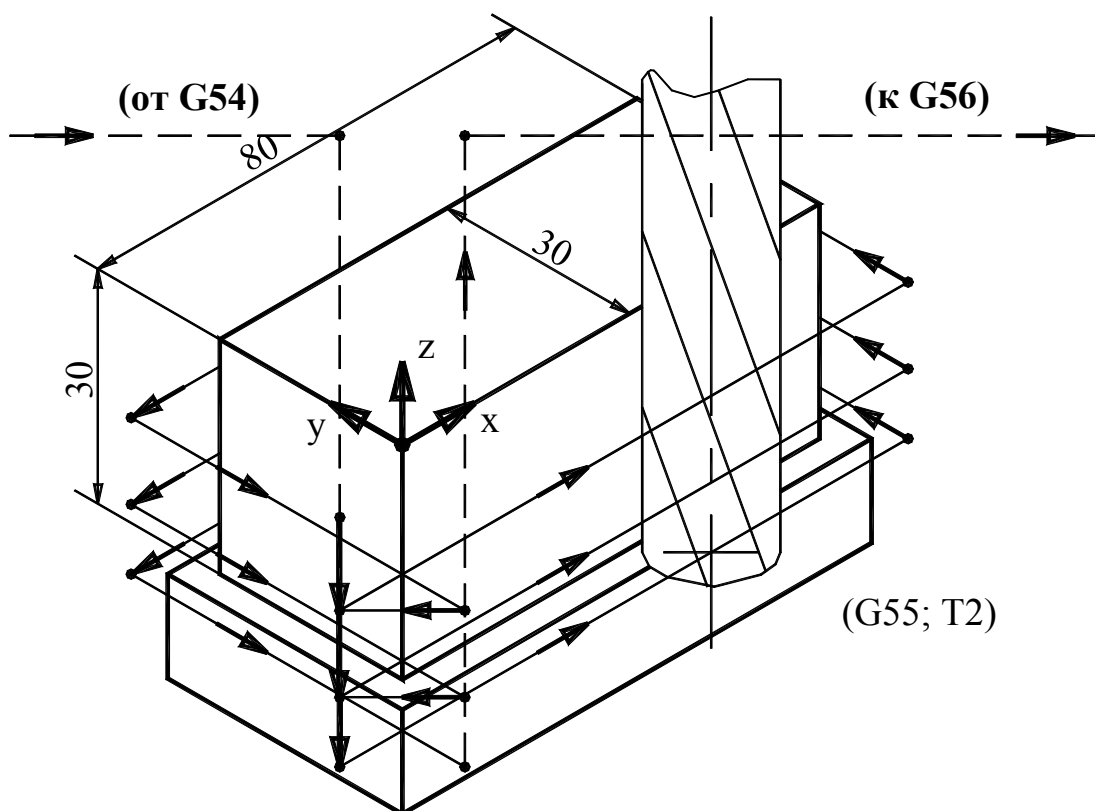


Рис.4.3. Траектория движения фрезы при обработке детали по контуру

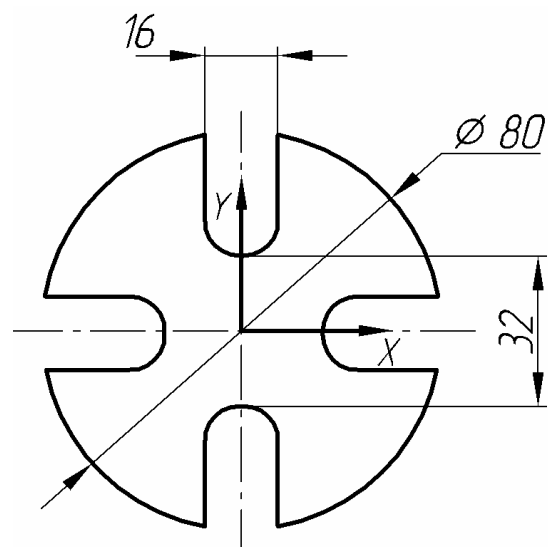


Рис.4.4. Деталь с симметрично расположенными прорезями

Т а б л и ц а 4.3

% o3185 (T7 фреза d20) (T8 фреза d18) G91 G28 G0 X0 Y0 Z0 M6 T7 G54 G90 G43 G90 X-20 Y-10 Z50 H7 M3 S400 M8 M98 P9901 G55	X-20 Y-10 M98 P9901 G56 X- 20 Y - 10 M98 P9901 M5M9 G91 G28 X0 Y0 Z0 M6 T8 G54 G90 G43 X-20 Y-10 Z50 H8	M3 S600 M8 M98 P9902 G55 X-20 Y-10 M98 P9902 G56 X-20 Y-10 M98 P9902 M5 M9 G91 G28 X0 Y0 Z0 M2
--	---	--

Т а б л и ц а 4.4

% o9901 Z2 G1 Z-10 F500 G42 X-15 Y0 D7 F100 M98 P9903	X-20 Y-10 F500 Z-20 G42 X-15 Y0 F100 M98 P9903 X-20 Y-10 F500 Z-30	G42 X-15 Y0 F100 M98 P9903 G0 Z50 M99
--	---	--

Т а б л и ц а 4.5

% o9902	Z2 G1 Z-30 F500 G42 X-15 Y0 D8 F120	P9903 G0 Z50 M99
------------	---	------------------------

Т а б л и ц а 4.6

% o9903 X80	Y30 X0 Y – 15	G40 Y-20 X-10 M99
-------------------	---------------------	----------------------

Т а б л и ц а 4.7

% o3445 (T7 фреза d12) G91 G28 G0 X0 Y0 Z0 M6 T7 G54	G90 G43 X-2 Y55 Z50 H7 M3 S400 M8 M98 P9960 G68 X0 Y0 R90 M98 P9960 G68 X0 Y0 R180 M98 P9960	G68 X0 Y0 R270 M98 P9960 G69 M5 M9 G91 G28 X0 Y0 Z0 M2
---	--	---

Т а б л и ц а 4.8

% o9960 X-2 Y55 Z50	Z2 G1 Z-3 F100 G41 X-8 Y48 D7	Y16 X8 Y48	G40 X2 Y55 G0 Z50 M99
---------------------------	-------------------------------------	------------------	-----------------------------

4.2. Переменные параметры и операторы программирования

Современные станки с ЧПУ позволяют применять программирование однотипных видов обработки при помощи общей УП, выполненной с использованием *ПЕРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ*. Переменные представляют собой цифровые значения, которые могут обозначать различные параметры обработки: координаты программной точки инструментов, технологические параметры обработки и др. Переменные могут быть использованы в УП совместно с логическими функциями или без таковых. Ячейки памяти обозначаются символом *#*. Внесенные в них параметры действуют при их вызове из командного кадра, например: *X#14*. Это означает, что значение координаты *X* некоторой точки равно величине параметра, заложенной в ячейку памяти *#14*. В системе ЧПУ станка предусмотрено две группы ячеек для переменных параметров:

1. В ячейках однократного использования *#1...#33* содержатся параметры, которые вносятся в текст УП и изменяются оператором станка в процессе наладки технологического оснащения для выполнения операций на станке. Для внесения переменных в УП применяется запись типа: *#14=60*, где *#14* – номер ячейки памяти; *60* – значение переменной.

2. В ячейках многократного использования *#100...#149* содержатся параметры, которые способны изменять свое значение по заданному в тексте УП закону. Этот закон является основным элементом *ЛОГИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ*, осуществляющей сравнение переменного параметра с заданным цифровым значением или другим параметром.

В логических функциях применяются следующие *ОПЕРАТОРЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ*:

- знаки равенства и неравенства – *EQ* (равно), *NE* (не равно), *GT* (больше), *LT* (меньше), *GE* (больше или равно), *LE* (меньше или равно);
- условия сравнения *IF* (если) и *WHILE* (в то время как), задающие условие, в зависимости от выполнения или невыполнения которого система ЧПУ станка осуществляет некоторое программное действие;
- метки *DO(i) END(i)*, обозначающие соответственно начало и конец тела цикла; для одного цикла метки должны быть объединены общим цифровым значением *i*;
- оператор *GOTO(j)*, направляющий считывающее устройство системы ЧПУ к кадру, обозначенному номером *j*.

4.3. Программирование стандартных видов обработки

В практике часто встречаются случаи обработки сходных элементов детали, различающихся по отдельным размерам. Для каждой такой процедуры в общем случае требуется разработка отдельной УП. Применение переменных позволяет создавать стандартизованные УП, в которых

изменяемые параметры заложены в виде переменных. Использование переменных в ячейках памяти первой группы **#1...#33** позволяет изменять отдельные участки траектории инструментов, а также параметры обработки без корректировки структуры УП. Для внесения изменения в значение какого-либо параметра оператору станка достаточно заменить соответствующую величину переменной. Такой метод корректировки УП значительно ускоряет проведение наладки технологического оснащения.

В качестве примера использования переменных рассмотрим выполнение отверстий в детали (рис.3.14). Программа общего вида **o3341** приведена в табл.3.7. УП обработки этой детали **o3342**, выполненная с применением переменных параметров, приведена в табл.4.9. Задействованные в программе переменные обозначают следующие величины:

- #9** – координата отверстий по оси **Y**;
- #10...#12** – координаты отверстий по оси **X**;
- #13** – вид цикла (**G81**, **G83**, **G84**);
- #14** – координата точки начала сверления **R**;
- #15** – координата точки окончания сверления **Z**;
- #16** – рабочая подача **F**;
- #17** – величина последовательных углублений сверла **Q** (для цикла **G83**).
- #18** – частота вращения шпинделя.

УП **o3342** выполнена таким образом, что для изменения переменных (координат и глубины отверстий, частоты вращения и рабочей подачи инструментов и т.д.) в ней достаточно лишь поменять цифровые значения в соответствующих ячейках памяти. Дополнительно в УП предусмотрена возможность изменения цикла обработки. Так, если в ячейке **#13** существующую запись **#13=84** заменить записью **#13=85**, то по УП будет осуществляться не нарезание резьбы (цикл по **G84**), а развертывание отверстия (цикл по **G85**).

4.4. Программирование на базе закона изменения переменных

Переменные второй группы, размещаемые в ячейках памяти **#100...#149**, способны изменять свое значение по закону, установленному в тексте УП. Отсчет переменных при программировании закона начинается от некоторой исходной величины, которая фиксируется в ячейке памяти системы ЧПУ станка. Например, **#100=0** и **#105=-20** означают, что исходная величина переменной в ячейке **#100** равна **0**, а в ячейке **#105** равна **-20**. Закон изменения переменных может выглядеть следующим образом: **#100=#100+90** или **#105=#105-10**. Это означает, что величины переменных в ячейках **#100** и **#105** получают приращения соответственно **+90** и **-10** по отношению к предыдущему значению.

Таблица 4.9

<p>% o3342 G91 G28 G0 X0 Y0 Z0 G55 #9=0 #10=20 #11=60 #12=100</p> <p>M6 T4 #13=81 #14= - 9 #15= - 15.5 #16=100 #18=800 G90 G43 X#10 Y#9 Z50 H4 M3 S#18 M8 G#13 G98 R#14 Z#15 F#16 X#11 X#12 G80 G0 Z50 M5 M9 G91 G28 X0 Y0 Z0</p> <p>M6 T5 #13=83 #14= - 9 #15= - 26</p>	<p>#16=70 #17=3 #18=600 G90 G43 X#10 Y#9 Z50 H5 M3 S#18 M8 G#13 G98 R#14 Z#15 F#16 Q#17 X#11 X#12 G80 G0 Z50 M5 M9 G91 G28 X0 Y0 Z0</p> <p>M6 T6 #13=84 #14= - 9 #15= - 22 #16=125 #18=100 G90 G43 X#10 Y#9 Z50 H6 M3 S#18 M8 G#13 G98 R#14 Z#15 F#16 X#11 X#12 G80 G0 Z50 M5 M9 G91 G28 X0 Y0 Z0</p> <p>M2</p>
--	---

Таблица 4.10

<p>% o3446 (T7 фреза d12) G91 G28 G0 X0 Y0 Z0</p>	<p>M6 T7 G54 G90 G43 X - 2 Y55 Z50 H7 M3 S400 M8 #100=0</p>	<p>M98 P9961 L4 G69 M5 M9 G91 G28 X0 Y0 Z0 M2</p>
---	---	---

Таблица 4.11

<p>% o9960 X-2 Y55 Z50 Z2 G1 Z-3 F100</p>	<p>G41 X-8 Y48 D7 Y16 X8 Y48 G40 X2 Y55</p>	<p>G0 Z50 #100=#100+90 G68 X0 Y0 R#100 M99</p>
---	---	--

Покажем действие закона изменения переменных на примере выполнения четырех пазов в детали (рис.4.4). В рассмотренной выше программе общего вида *o3445*, поворот координатных осей *X* и *Y*, а также вызов подпрограммы *o9960* осуществляется четыре раза. Более рациональной является структура УП *o3446* (табл.4.10), при которой четырехкратный вызов подпрограммы *o9961* (табл.4.11) осуществляется в одном командном кадре: *M98_P9961_L4*, где *L4* – число вызовов подпрограммы (табл.1.1). В качестве переменной величины принимается временное угловое положение осей *X* и *Y*; его значение заложено в ячейку памяти *#100*. Исходная величина переменной *#100=0* зафиксирована непосредственно перед вызовом подпрограммы с циклом обработки *o9961*.

В тексте подпрограммы *o9961* после команд на перемещение инструмента задан закон изменения переменной: *#100=#100+90*. Далее следует команда на изменение углового положения координатных осей *X* и *Y*. Оно становится равным *90°* по кадру: *G68_X0_Y0_R#100*. Затем считывающее устройство системы ЧПУ смещается к кадру начала подпрограммы. После второго прохода подпрограммы угловое положение осей *X* и *Y* становится равным *180°*; после третьего – *270°*; после четвертого – *360°*. После четырехкратного прочтения подпрограммы считывающее устройство возвращается в текст УП *o3446* к кадру отмены поворота осей *G69*. Затем следует окончание УП. Таким образом, фреза выполняет обработку четырех пазов с взаимным угловым смещением *90°*.

4.5. Применение логических функций

Рассмотрим основы применения наиболее часто встречающихся логических функций с операторами *IF* и *WHILE*. Оператор *IF* применяется в функции, задающей условие и адрес перемещения считывающего устройства системы ЧПУ станка. Оператор *WHILE* применяется в функции, задающей условие работы помеченного в УП цикла командных кадров. Рассмотрим действие этих операторов на примере фрезерования четырех пазов в детали (рис.4.4). В программах с обоими операторами в качестве переменной величины принимается временное угловое положение координатных осей *X* и *Y*; ее значение заложено в ячейку памяти *#100*. В УП зафиксирована исходная величина переменной: *#100=0*.

Рассмотрим действие оператора *IF* на примере УП *o3447* (табл.4.12). Программа содержит цикл обработки одного паза; по окончании первого прочтения цикла по команде УП значение переменной в ячейке памяти *#100* изменяется по закону *#100=#100+90* и становится равной *90*. В следующем кадре УП записана функция, задающая условие выполнения операции: *IF_#100GT270_GOTO2*. Это условие при первом прочтении цикла обработки (*90<270*) не выполняется. Соответственно система ЧПУ его игнорирует и направляет считывающее устройство к очередному кадру *G68_X0_Y0_R#100*.

Т а б л и ц а 4.12

% o3447 (T7 фреза d12) G91 G28 G0 X0 Y0 Z0 M6 T7 M3 S400 M8 G54 #100=0	N1 G43 G90 X-2 Y55 Z50 H7 Z2 G1 Z-3 F100 G41 X-8 Y48 D7 Y16 X8 Y48 G40 X2 Y55 G0 Z50	#100=#100+90 IF #100GT270 GOTO2 G68 X0 Y0 R#100 GOTO1 N2 G69 M5 M9 G91 G28 X0 Y0 Z0 M2
---	--	---

Т а б л и ц а 4.13

% o3448 (T7 фреза d12) G91 G28 G0 X0 Y0 Z0 M6 T7 M3 S400 M8 G54 #100=0	WHILE #100LE270 DO1 DO1 G43 G90 X-2 Y55 Z50 H7 Z2 G1 Z-3 F100 G41 X-8 Y48 D7 Y16 X8 Y48	G40 X2 Y55 G0 Z50 #100=#100+90 G68 X0 Y0 R#100 END1 G69 M3 M8 G91 G28 X0 Y0 Z0 M2
---	---	---

Т а б л и ц а 4.14

% o3449 (T7 фреза d12) G91 G28 G0 X0 Y0 Z0 M6 T7 G54 #100=0 #101=1 N1 G43 G90 X-2 Y55 Z50 H7	M3 S400 M8 Z2 G1 Z-3 F100 G41 X-8 Y48 D7 Y16 X8 Y48 G40 X2 Y55 G0 Z50	#100=#100+90 #101=#101+1 IF #101GT4 GOTO2 G68 X0 Y0 R#100 GOTO1 N2 G69 M5 M9 G91 G28 X0 Y0 Z0 M2
--	---	--

Т а б л и ц а 4.15

% o3450 (T7 фреза d12) G91 G28 G0 X0 Y0 Z0 M6 T7 G54 #100=0 #101=1 WHILE #101LE4 DO1	DO1 G43 G90 X-2 Y55 Z50 H7 M3 S400 M8 Z2 G1 Z-3 F100 G41 X-8 Y48 D7 Y16 X8 Y48 G40 X2 Y55	G0 Z50 #100=#100+90 #101=#101+1 G68 X0 Y0 R#100 END1 G69 M3 M8 G91 G28 X0 Y0 Z0 M2
--	--	--

Следуя этой команде, координатные оси *X* и *Y* занимают новое угловое положение 90° . Далее считывающее устройство по команде **GOTO1** возвращается к кадру начала цикла, обозначенному *N1* с целью возобновление обработки.

Цикл фрезерования выполняется станком четыре раза с последовательным поворотом осей *X* и *Y*. При пятом прочтении цикла система ЧПУ фиксирует, что текущее значение переменной в ячейке памяти **#100** становится равным 360. Условие неравенства **#100>270**, заложенное в логической функции **IF_#100GT270_GOTO2**, впервые оказывается выполненным (**360>270**). Поэтому система ЧПУ, следуя команде **GOTO2**, направляет считывающее устройство к кадру за пределами цикла, обозначенному *N2*.

Рассмотрим действие оператора **WHILE** на примере УП *o3448* (табл.4.13). Тело цикла обработки образовано кадрами, которые размещены между метками **DO1** и **END1**. Программа содержит цикл обработки одного паз; по окончании первого прочтения цикла по команде УП значение переменной в ячейке памяти **#100** изменяется по закону **#100=#100+90** и становится равным 90. Далее, следуя команде **G68_X0_Y0_R#100**, координатные оси *X* и *Y* занимают новое угловое положение 90° . Затем считывающее устройство возвращается к кадру начала цикла с меткой, помеченному меткой **DO1**.

Цикл фрезерования выполняется станком четыре раза с последовательными угловым поворотом осей *X* и *Y*. Параллельно с отработкой командных кадров система ЧПУ осуществляет постоянный контроль соответствия величины переменной в ячейке **#100** условию функции: **WHILE_#100LE270_DO1**. При пятом прочтении цикла система ЧПУ фиксирует, что текущее значение переменной в ячейке **#100** становится равным 360. Неравенство **#100≤270** впервые оказывается невыполненным (**360>270**). Вследствие этого считывающее устройство не возвращается к метке **DO1**, а выходит за пределы метки **END1**, т.е. за пределы цикла.

В обеих рассмотренных УП (*o3447* и *o3448*) фреза выполняет обработку четырех пазов с взаимным угловым смещением 90° . После окончания работы по циклу считывающее устройство выходит за его пределы и следует к кадру отмены поворота координатных осей *X* и *Y* по функции **G69**. Далее следует окончание УП.

4.6. Логические функции с использованием счетчика

В рассмотренных выше логических функциях переменный технологический параметр, внесенный в ячейку **#100**, выполняет две функции:

- задает временное угловое положение координатных осей *X* и *Y*:
G68_X0_Y0_R#100;
- является аргументом логических функций:

- ***IF_#100GT270_GOTO2*** в УП *o3447* при заданном условии ***#100>270***;
- ***WHILE_#100LE270_DO1*** в УП *o3448* при заданном условии ***#100≤270***.

При подготовке сложных процедур программирование логической функции по технологическому параметру может быть проблематичным для разработки и трудным для восприятия. Как альтернатива аргументом функции может быть принята другая переменная, например, число повторений цикла обработки. Назовем этот переменный параметр **СЧЕТЧИКОМ**. Рассмотрим методы применения *счетчика* на примере фрезерования четырех пазов в детали (рис.4.4) в программах, выполненных с операторами ***IF*** и ***WHILE***. В программах *o3449* (табл.4.14) и *o3450* (табл.4.15) введены две переменные:

- значение временного углового положения координатных осей *X* и *Y* , заложенное в ячейку ***#100***;
- «показания» счетчика числа выполненных циклов, заложенные в ячейку ***#101***.

Исходным значением переменной для счетчика принята цифровая величина ***1***: ***#101=1***. В процессе работы по программе система ЧПУ станка считывает исходные значения обеих переменных: ***#100=0*** и ***#101=1***. Затем производится обработка первого паза. Далее осуществляется изменение величин переменных: ***#100=#100+90***, ***#101=#101+1***; при этом значение «показаний» счетчика становится равным ***2***. После завершения первого прочтения цикла система ЧПУ возвращается к его началу и дает команду на обработку второго паза. В логических функциях заданы следующие условия сравнения:

#101>4 в функции: ***IF_#101GT4_GOTO2***;
#101≤4 в функции: ***WHILE_#101LE4_DO1***.

Это означает, что «показания» счетчика являются аргументом этих функций: система ЧПУ сравнивает их с требуемым числом повторений цикла ***4***. Такая структура логических функций удобна как для разработчика, так и для пользователей программ комбинированной обработки деталей.

5. РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

5.1. Общие положения

Большинство элементов УП обработки деталей на станках с ЧПУ токарной группы соответствует элементам программ, разработанных для станков типа ОЦ. Рассматриваемый язык **SINUMERIK-840D** имеет сходные с языком **FANUC**, описанным выше, структуру кадров и принципы программирования. В частности, они имеют идентичные функции, кодирующие перемещения инструментов **G0...G3** и вспомогательные функции **M0...M5, M8, M9, M30**.

Командные кадры, осуществляющие запуск УП, кодирование системы отсчета (абсолютной или относительной), вызов подпрограмм, вызов и отвод инструментов, а также ряд других команд организованы в языке **SINUMERIK-840D** несколько иначе (см. табл.5.1). Так, запуск УП обеспечивается функцией **L100** и дальнейшей командой (**START_:**). Функции **G90** и **G91** в языке **SINUMERIK-840D** не применяются, а абсолютная система отсчета вводится по умолчанию. Относительная система отсчета при необходимости вводится на отдельных участках траектории с помощью приращений координат **U** и **W**.

Подпрограмма вызывается из текста УП кадром с обозначением ее имени. Число вызовов подпрограмм обозначается **P**. Подпрограммы завершаются кадром с функцией **M17**. Так, четырехкратный вызов подпрограммы **6588** осуществляется командным кадром **6588_P4**.

Вызов инструмента **T_i** совместно с его корректорами длины и другими геометрическими характеристиками осуществляется по командному кадру вида **T_i_D10_i** (например, **T2_D102**). Комментарии к программе и инструментам, предназначенные для информации оператора, отсекаются от текста УП символом (;), например

T2_D102_ ;_черновая обработка.

В станках **INDEX** применяются инструментальные магазины револьверного типа, которые перемещаются вместе с обрабатывающими инструментами. Смена инструмента может осуществляться в любой точке перемещения поворотом револьверной головки; останов шпинделя для этого в большинстве случаев не требуется. Для осуществления процедуры смены инструмента магазин отводится в точку смены инструмента, положение которой в системе координат станка **X_c-Z_c** устанавливается в процессе выполнения наладки технологического оснащения. Перемещение револьверной головки по УП в точку смены инструмента обычно производится одновременно по двум координатным осям и задается командой **GXZ73**.

Таблица 5.1

Команда	Назначение
<i>GXZ73</i>	Перемещение револьверной головки к точке смены инструментов по координатным осям <i>X, Z</i>
<i>GXYZ73</i>	Перемещение револьверной головки к точке смены инструментов по координатным осям <i>X, Y, Z</i>
<i>G59</i> <i>Z=ZMW_i</i>	Вызов <i>i</i> -ой системы координат детали, где <i>i=1...6</i>
<i>G40</i>	Отмена коррекции диаметра инструмента
<i>G41</i>	Ввод коррекции радиуса режущей кромки – контур справа от инструмента
<i>G42</i>	Ввод коррекции радиуса режущей кромки – контур слева от инструмента
<i>G63</i>	Нарезание резьбы в центральном отверстии метчиком
<i>G92</i>	Предельная частота вращения шпинделя (об/мин)
<i>G94</i>	Подача резца задается в мм/мин
<i>G95</i>	Подача резца задается в мм/об
<i>G96</i>	Обработка деталей при постоянной скорости резания (подача резца задается в мм/об по умолчанию)
<i>G97</i>	Обработка деталей при постоянной частоте вращения шпинделя, задается в об/мин
<i>L100</i>	Старт управляющей программы
<i>START_:</i>	
<i>L140</i>	Задание углового положения патрона при фрезерной обработке
<i>L235</i>	Токарная обработка
<i>L237</i>	Фрезерная обработка
<i>CYCLE95</i>	Типовой цикл обработки детали по замкнутому контуру
<i>CYCLE97</i>	Типовой цикл нарезания резьбы токарным резцом
<i>SETMS(1)</i>	Переадресовка команд <i>M3</i> и <i>M5</i> (запуск и останов шпинделя) на приводы инструментов
<i>SETMS(4)</i>	Переадресовка команд <i>M3</i> и <i>M5</i> на привод шпинделя
<i>M12</i>	Угловая фиксация шпинделя
<i>M13</i>	Снятие угловой фиксации шпинделя
<i>CR=</i>	Величина радиуса дуги циркуляции
<i>ANG=</i>	Угловое положение отрезка перемещения к направлению <i>Z+</i>
<i>RND=</i>	Величина радиуса притупления острой кромки
<i>CHR=</i>	Величина симметричной фаски притупления острой кромки
<i>D</i>	Ячейка корректоров вылетов режущей кромки <i>W_x</i> и <i>W_z</i> в таблице параметров инструментов (<i>D_i</i> для <i>T_i</i>)
<i>C</i>	Угловое смещение патрона при фрезерной обработке
<i>P</i>	Число вызовов подпрограмм
<i>;</i>...	Информация для оператора

5.2. Программирование режимов резания

Одним из важнейших особенностей программирования токарных операций на станках с ЧПУ токарной группы являются специфические методы кодирования скорости резания и подачи обрабатываемого инструмента. Основными параметрами расчета являются подача инструмента вглубь заготовки F , а также скорость перемещения обрабатываемой поверхности относительно рабочей вершины инструмента – *СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ* V . Для фрезерной обработки скорость резания – это окружная скорость цилиндрической поверхности инструмента; для токарной обработки – это окружная скорость в текущей точке соприкосновения детали с рабочей вершиной резца.

Скорость резания, рассчитывается по формуле:

$$V = \pi D n / 1000 \text{ (м/мин)},$$

где D – диаметр резания, **мм**; n – частота вращения, **об/мин**.

В большинстве случаев фрезерной обработки скорость резания является постоянной при вращении инструмента с заданной частотой. При токарной обработке рабочая вершина резца может смещаться с одного вращающегося диаметра обрабатываемого контура на другой. В этом случае, если частота вращения n постоянна, то скорость резания – переменная величина. С целью обеспечения оптимальных режимов резания по всему контуру токарной обработки в станках с ЧПУ предусмотрен механизм обеспечения заданной постоянной скорости резания V . Подача инструмента F может быть определена в расчете **мм/об** или **мм/мин**.

Параметры обработки обычно вносятся в УП непосредственно после вызова очередного инструмента. Приведем описание этих методов и соответствующих им подготовительных функций:

- **G94** задает подачу инструмента F в **мм/мин**; постоянная частота вращения шпинделя задается символом S , **об/мин**. Метод характерен для фрезерной обработки (в ОЦ он обычно применяется по умолчанию). При программировании токарных операций метод применяется, в частности, при сверлении в детали центральных отверстий;
- **G95** задает подачу резца F в **мм/об**; постоянная частота вращения шпинделя задается символом S (**об/мин**). В этом случае скорость резания является переменной на различных диаметрах обрабатываемой поверхности и на отдельных участках может отличаться от расчетной. Метод, хотя и не является оптимальным, может применяться в некоторых случаях токарной обработки на станках с ЧПУ, в частности, при выполнении деталей, не обладающих достаточной жесткостью и динамической устойчивостью;
- **G96** задает постоянную скорость резания; подача резца F , **мм/об** задается по умолчанию. Отметим, что, хотя в расчетных формулах

скорость резания обозначается символом V , в УП, совместно с функцией, она обозначается S . Например, командный кадр **G96_S120** задает скорость резания **120 м/мин**. Такой метод задания режимов резания наиболее эффективен и применяется в большинстве случаев токарной обработки на станках с ЧПУ;

- очевидно, что при токарной обработке с постоянной скоростью резания (по функции **G96**) частота вращения шпинделя увеличивается при движении резца от периферии к центру. Это требует ввода в систему ЧПУ станка дополнительного параметра – предельной частоты вращения шпинделя S_{\max} , **об/мин**. Она устанавливается функцией **G92**, например: **G92_S2000**;
- **G97** задает обработку деталей при постоянной частоте вращения шпинделя S , **об/мин**. Метод применяется, в частности, при выполнении резьб.

Отметим, что любая из функций **G94**, **G95** или **G97** отменяет обработку с постоянной скоростью резания по функции **G96**.

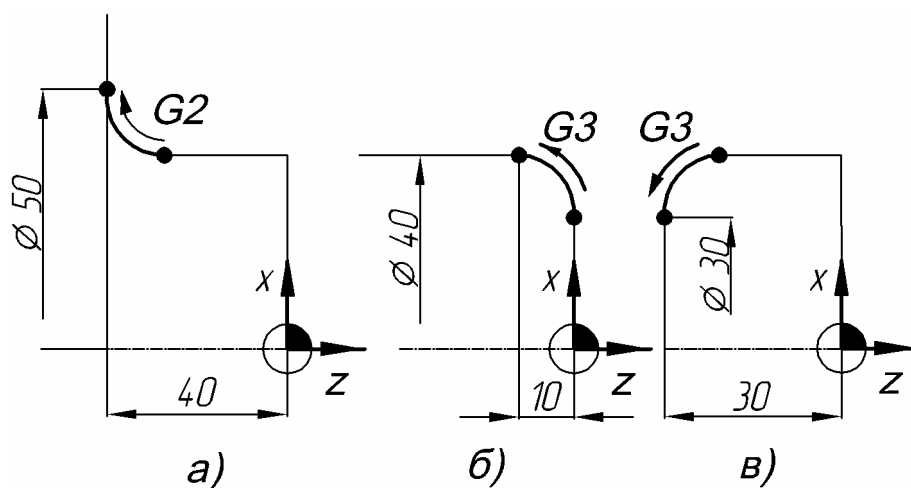
5.3. Программирование траекторий инструментов

Кадр на прямолинейное перемещение включает в себя функции, задающие вид перемещения, а также координаты точки-адреса и подачу инструмента F (для **G1**), например:

G0_X50_Z8_F...; G1_X20_W-20_F...; G1_U20_W-5_F....

Циркуляционные перемещения резцов **по часовой стрелке** задаются функцией **G2**; **против часовой стрелки** – функцией **G3**. Угловая величина дуги не должна превышать **90°**. Радиус дуги циркуляции кодируется символом **CR=...**. Системы ЧПУ большинства станков настроены таким образом, что направление циркуляции (**G2** или **G3**) в плоскости **X-Z** определяются с положительного направления координатной оси Y . Как уже отмечалось, у станков традиционных конструктивных схем инструментальные блоки размещаются в их верхней части, а шпиндель установлен слева от оператора (рис.1.18). Соответственно, по правилу правой руки (рис.1.2) ось Y направлена на оператора. Поэтому направление циркуляции – **по** или **против** часовой стрелки – определяется с точки взгляда оператора на деталь. Примеры кодирования циркуляции приведены на рис.5.1.

Как уже отмечалось, расположение (ориентация) рабочей вершины резца в плане обработки **X-Z** кодируется буквой A с численными значениями **1...9** (рис.2.11). Канавочные резцы, в отличие от остальных типов резцов, имеют две рабочие вершины. Система ЧПУ станка воспринимает эти вершины как два отдельных инструмента. Каждая из вершин имеет свое значение ориентации в плане обработки A , а также свои значения вылетов W'_{xi} и W'_{zi} по отношению к базовой точке станка F_i (рис.2.12).



	FANUK	SINUMERIK
a)	G2 X50 Z-40 R10	G2 X50 Z-40 CR=10
б)	G3 X40 Z-10 R10	G3 X40 Z-10 CR=10
в)	G3 X30 Z-30 R10	G3 X30 Z-30 CR=10

Рис.5.1. Циркуляционные перемещения при токарной обработке

	...D(H)104	X44 F1
	G96 S160	Z-10
	G1 X44 Z-17.5 F10	(контур справа)
	(врезание)	X32 F0.1
	X32.2 F0.05	Z-11
	X44 F1	X44 F1
	Z-19.8	D(H)104 Z-20
	X32.2 F0.1	(контур слева)
	X44 F1	X32 F0.1
	D(H)124 Z-10.2	D(H)124 Z-10
	X32.2 F0.1	X44...

Рис.5.2. Пример применения канавочного резца

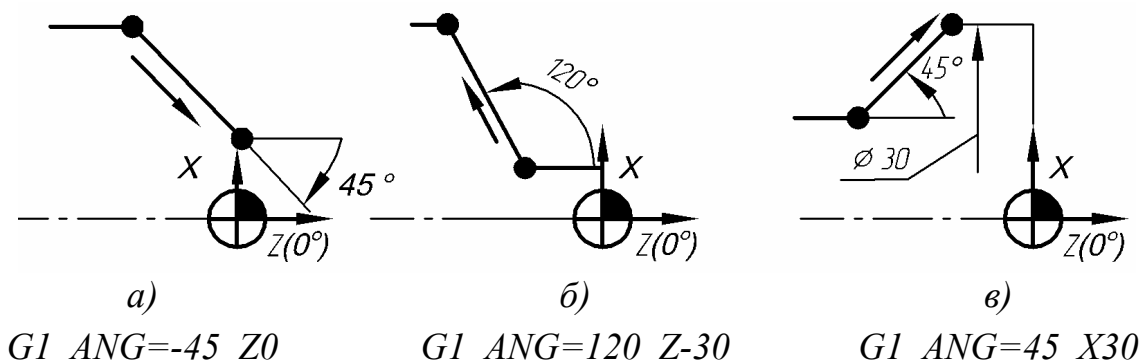


Рис.5.3. Применение полярной системы координат (SINUMERIK)

Язык **SINUMERIK-840D** позволяет активизировать параметры любой из вершин резца непосредственно в процессе движения по УП. Активизация параметров вершины резца осуществляется добавлением в командный кадр УП, задающий перемещение инструмента, обозначения заданной ячейки таблицы параметров инструментов D_i . В момент активизации параметров вершины резца происходит смещение на нее программной точки P_i .

На рис.5.2 приведен пример применения канавочного резца. Канавка шириной **10 мм** выполняется резцом шириной **5 мм**. Сначала резец осуществляет врезание в тело заготовки с обеспечением припуска на чистовую обработку. Чистовая обработка производится в два этапа: обработка правой стороны канавки и далее обработка всего контура канавки слева направо. Параметрическая ячейка **D124** включается в момент приближения правой вершины резца, код расположения которой $A=4$ (рис.2.12), к правой стенке канавки; ячейка **D104** включается в момент приближения левой вершины резца, код расположения которой $A=3$, к левой стенке канавки.

Полярная система координат представляет собой кодирование движения инструмента по отрезкам, выполненным под углом α до некоторой фиксированной координаты по одной из осей: X или Z . Угол 0° соответствует направлению $Z+$. Положительным для отсчета угла α является направление *ПРОТИВ ЧАСОВОЙ СТРЕЛКИ*, отрицательным – *ПО ЧАСОВОЙ СТРЕЛКЕ* с точки взгляда оператора на деталь. Угловое положение отрезка кодируется $ANG=...$. Примеры применения полярной системы координат приведены на рис.5.3.

5.4. Сокращенное описание контуров обработки

Принцип сокращенного описания контуров обработки в языке **SINUMERIK-840D** основан на том, что система ЧПУ станка определяет недостающие координаты опорных точек по заданным параметрам контура. Имеется возможность сопрягать отрезки, расположенные под разными углами к оси Z . Кроме того, допускается сокращенное кодирование притупления острых кромок фаской или скруглением. При программировании применяются следующие обозначения дополнительных параметров контура:

$ANG=...$ – угловое положение отрезка к направлению $Z+$ (рис.5.3);

$RND=...$ – радиус скругления острой кромки;

$CHR=...$ – величина симметричной фаски, выполняемой на острой кромке.

Рассмотрим характерные случаи сокращенного описания контура.

1. Притупление острой кромки. Сокращенное описание притупления возможно как в прямоугольной, так и в полярной системе координат. Радиус скругления или величина симметричной фаски записывается совместно с координатами точки-адреса, например:

$$X20_RND=1; \quad Z-40_CHR=1; \quad X20_Z-40_RND=1;$$

$$ANG=135_X70_RND=1; \quad ANG=-45_Z0_CHR=1.$$

Пример описания контура приведен на (рис.5.4).

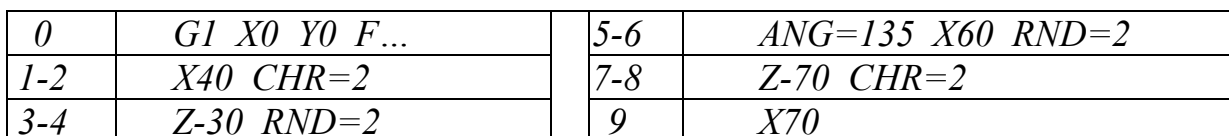
2. Совмещение отрезков, расположенных в разных угловых положениях. В языке **SINUMERIK-840D** перемещение резца по контуру обработки может быть определено не отрезком с заданной точкой-адресом, а лучом, расположенным под заданным углом α_1 к направлению **Z+**. В этом случае перемещение инструмента осуществляется до пересечения луча со вторым лучом, следующим по ходу движения резца. Для второго луча должны быть заданы угловое положение α_2 и координаты точки-адреса перемещения. В этом случае система ЧПУ станка рассчитывает координаты точки пересечения этих лучей автоматически. Такое описание контура может быть совмещено с сокращенным описанием притупления кромок. Пример описания контура приведен на (рис.5.5).

5.5. Коррекция радиуса рабочей вершины резца

Как уже отмечалось, рабочая вершина токарного резца P_i является его программной точкой. Однако реальная рабочая вершина резца не может быть абсолютно острой; она может быть выполнена с некоторым радиусом скругления. При движении резца параллельно осям **X** и **Z** обработка детали осуществляется точками на рабочей вершине, координаты которых определены значениями W'_{xi} и W'_{zi} . Однако при обработке поверхностей, расположенных под некоторыми углами к осям **X** и **Z**, резец осуществляет касание контура некоторой плавающей точкой, лежащей на скруглении его рабочей вершины. Таким образом, возникает погрешность между теоретической траекторией и реальным контуром обработки.

С целью устранения геометрических погрешностей при обработке контурных поверхностей в систему ЧПУ станка вводится поправка, переносящая программную точку P_i непосредственно на скругленную поверхность вершины резца. Эта поправка называется **КОРРЕКТОРОМ РАДИУСА РАБОЧЕЙ ВЕРШИНЫ РЕЗЦА** или (сокращенно) **КОРРЕКТОРОМ РАДИУСА**. Корректировка делает точку P_i «плавающей», перемещающейся вдоль радиуса рабочей вершины резца. Эта точка располагается непосредственно напротив контура обработки (в плане **X-Z**) в каждый текущий момент времени. Величина радиуса скругления обозначается R_S и вносится в таблицу параметров инструментов.

На рис.5.7 приведена графическая интерпретация механизма возникновения этой погрешности. Как видно из приведенной схемы обработки наружного и внутреннего сегментов окружности, геометрическая погрешность при обработке контура может быть весьма существенной. Погрешность эта тем больше, чем больше радиус скругления рабочей вершины резца R_S .



0	<i>G1 X0 Y0 F...</i>	5-6	<i>ANG=120 X80 Z-50 RND=2</i>
1	<i>ANG=90</i>	7-8	<i>ANG=180 RND=2</i>
2	<i>ANG=150 X40 Z-2</i>	9	<i>ANG=-150 X60 Z-90</i>
3	<i>Z-30</i>	10	<i>Z-100</i>
4	<i>ANG=150</i>		

84

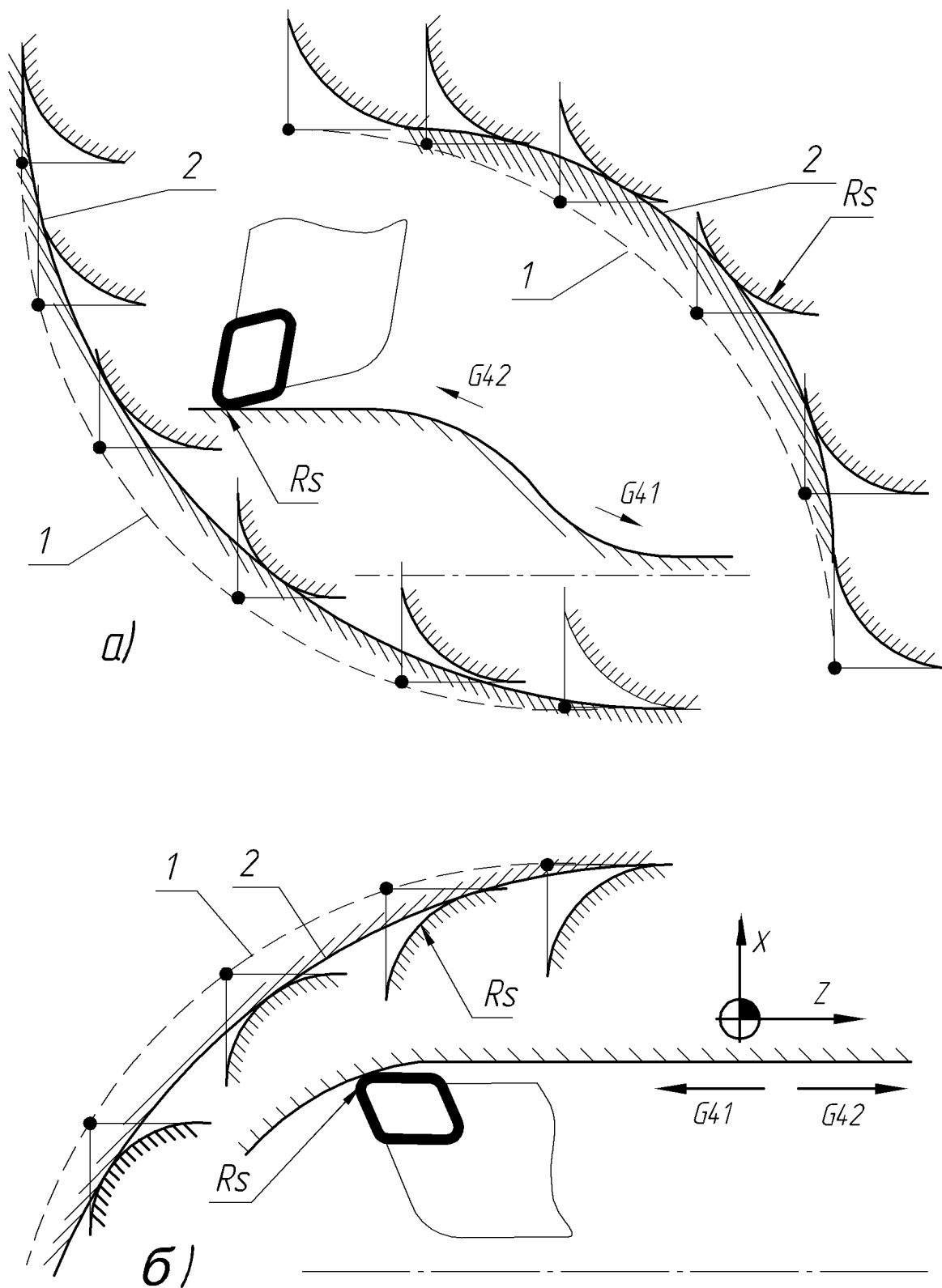


Рис.5.7. Погрешность при токарной обработке контура:
 а – обработка контура обточным резцом; б – обработка контура расточным резцом;
 пунктирные линии – теоретические контуры обработки;
 сплошные утолщенные линии – реально выполняемые контуры

Корректор радиуса обычно вводится в действие командой УП в момент подвода резца к контуру обработки. Для этого применяются функции:

- **G41**, когда контур обработки расположен **справа** от резца;
- **G42**, когда контур обработки расположен **слева** от резца.

Отключение корректора радиуса производится функцией **G40** в момент отвода инструмента от контура обработки.

При программировании станков традиционных конструктивных схем (рис.1.18) сторона обработки детали – справа или слева – определяется с точки взгляда оператора на деталь (принцип определения стороны обработки аналогичен описанному выше принципу определения направления циркуляции). Варианты кодирования стороны обработки приведены на рис.5.6. Ввод в действие корректора радиуса осуществляется системой ЧПУ станка по следующим параметрам резца:

- радиус скругления рабочей вершины резца R_s ;
- сторона обработки контура (справа по **G41** или слева по **G42**);
- код A расположения рабочей вершины резца в плане $X-Z$ (см. выше).

В станках с двумя инструментальными блоками (рис.1.22) координатные оси X разнонаправлены. Как уже отмечалось, координатная ось X станка токарной группы направлена от детали. Соответственно ось X считается направленной вверх по отношению к инструментам револьверной головки **РГ1** (рис.1.22,а); обозначим ее $X(1)$. Одновременно с этим, ось X считается направленной вниз по отношению к инструментам револьверной головки **РГ2** (рис.1.22,б); обозначим ее $X(2)$. По правилу правой руки (рис.1.2) ось Y для **РГ1** [обозначим ее $Y(1)$] направлена на оператора, а для **РГ2** [обозначим ее $Y(2)$] – внутрь станка.

Таким образом, в процессе программирования станков с двумя инструментальными блоками имеет место проблема в определении стороны обработки контура и направления циркуляции для каждого из блоков. Поэтому при расчете траекторий движения инструментов, размещенных в **РГ2**, ее координатную систему целесообразно совместить с координатной системой **РГ1**. Это достигается условным разворотом координатной системы **РГ2** на 180° относительно оси вращения шпинделя Z .

5.6. Циклы обработки детали по замкнутому контуру

Для большинства деталей, изготавливаемых с применением станков токарной группы, заготовками являются прутки с заданным диаметром. В этом случае черновая обработка деталей обычно производится с помощью многопроходных перемещений резца – продольных или поперечных. В процессе обработки происходит удаление материала из замкнутого контура,

расположенного (в плане $X-Z$) между цилиндрической поверхностью прутка и контуром детали. Такой вид обработки целесообразно проводить по типовым циклам, которые задают вид перемещений резца, геометрическое описание контура и режимы резания.

БАЗОВАЯ ТОЧКА НАЧАЛА ЦИКЛА обычно располагается на небольшом расстоянии в направлении $Z+$ от среза поверхности детали. При черновой обработке координата X базовой точки должна совпадать с координатой X последней по ходу движения инструмента точки контура. Эта точка должна лежать на диаметре, немного превышающем диаметр прутка заготовки. При чистовой обработке координата X базовой точки должна совпадать с координатой X первой по ходу движения инструмента точки контура.

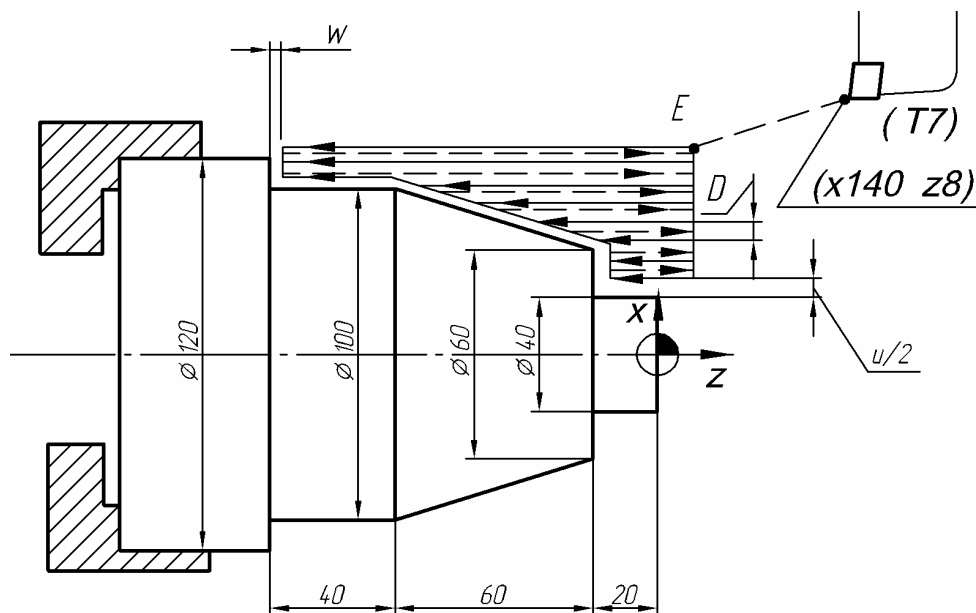
Геометрическое описание контура обработки производится аналогично описанию движения токарного резца по этому контуру от базовой точки начала цикла в направлении $Z-$. Прямолинейные участки контура кодируются **G1** с обозначением координат точки-адреса отрезка. Участки циркуляции кодируются **G2** или **G3** с обозначением координат точки-адреса и радиуса циркуляции $CR=....$ Корректор радиуса резца при кодировании обработки по типовому циклу на языке **SINUMERIK-840D** вводится в действие по умолчанию, без обязательного применения функций **G41** и **G42**.

В языке **SINUMERIK-840D** типовые циклы обработки детали по замкнутому контуру обозначаются **CYCLE95**. Параметры обработки вносятся в **CYCLE95** в виде группы обезличенных цифр. Ввод параметров обработки в систему ЧПУ станка осуществляется с применением отдельной **ТАБЛИЦЫ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛА**, которая вызывается на экран стойки ЧПУ виртуальной клавишей «**ПЕРЕТРАНСЛИРОВАТЬ**». Таблица помещена на экране дисплея станка совместно с **ГРАФИЧЕСКИМ ОТОБРАЖЕНИЕМ ЦИКЛА**. Графические отображения циклов различаются между собой в зависимости от вида обработки (наружная или внутренняя, продольная или поперечная, черновая или чистовая). Отображения дают зрительное восприятие вида и параметров обработки.

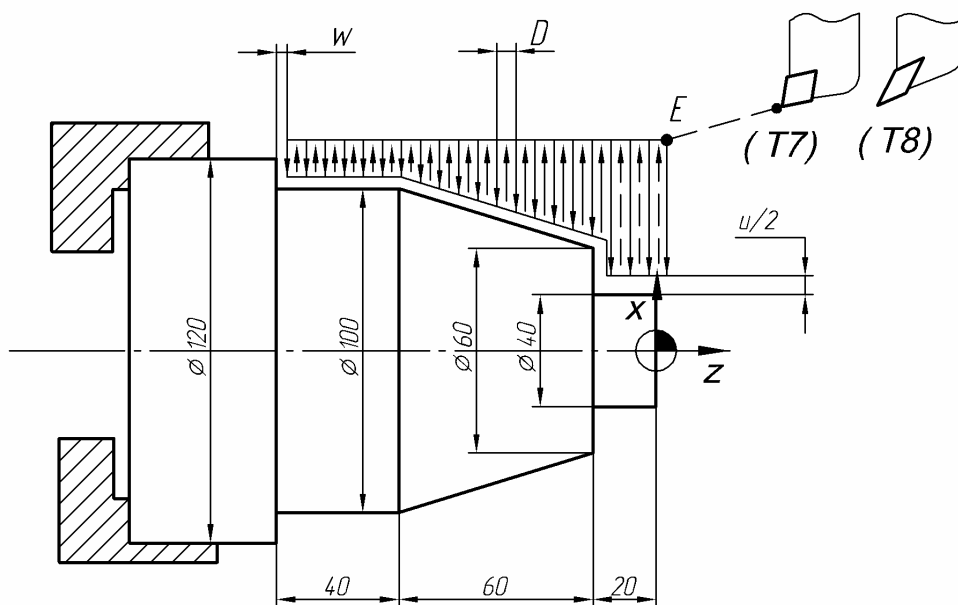
В качестве примеров применения типовых циклов рассмотрим три операции обработки деталей по замкнутому контуру. Операции включают в себя движения резца по черновому и чистовому циклам. Эскизы с циклограммами черновых циклов приведены на рис.5.8,а-в. Базовая точка начала цикла на эскизах обозначена **E**; припуск на чистовую обработку по оси X обозначен **U**, припуск на чистовую обработку по оси Z обозначен **W**; толщина стружки обозначена **D**.

На рис.5.8,а приведено графическое отображение многопроходного чернового продольного цикла обработки прутка диаметром **120 мм**. Черновой и чистовой циклы выполняются одним резцом **T7**. Координаты опорных точек по оси X заданы в УП в абсолютной системе отсчета, а по оси Z – в приращениях.

a)



б)



в)

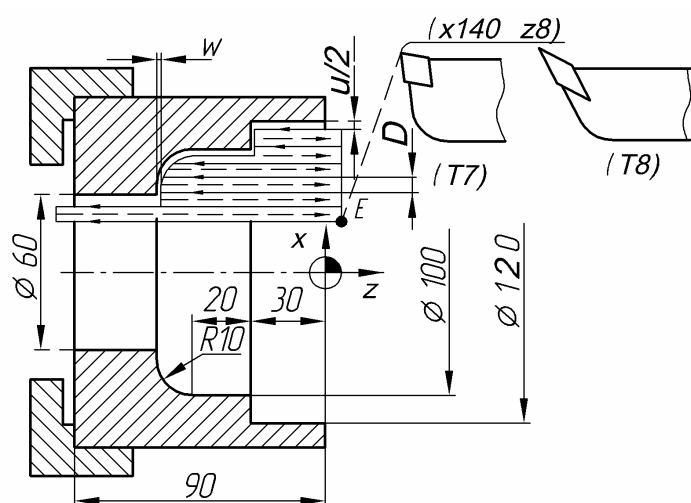


Рис.5.8. Циклограммы обработки деталей с применением многопроходных замкнутых циклов:
а – обточка продольная; б – обточка поперечная; в – расточка продольная

На рис.5.8,б приведено графическое отображение многопроходного чернового поперечного цикла обработки прутка диаметром **120 мм**. Черновой цикл и чистовой циклы выполняются разными резцами **T7** и **T8**. Координаты опорных точек по осям **X** и **Z** даны в абсолютной системе отсчета.

На рис.5.8,в приведено графическое отображение внутренней расточки с применением многопроходного продольного чернового цикла. Черновой и чистовой циклы выполняются разными резцами **T7** и **T8**. Предполагается, что предварительно выполненное отверстие в заготовке имеет диаметр **50 мм**. Координаты опорных точек по оси **X** заданы в УП в абсолютной системе отсчета, а по оси **Z** – в приращениях.

Приведем примеры заполнения таблиц параметров цикла. В табл.5.2 и 5.3 введены параметры чернового и чистового циклов обработки детали (рис.5.8,а); в табл.5.5 и 5.6 – параметры чернового и чистового циклов обработки детали (рис.5.8,б); в табл.5.8 и 5.9 – параметры чернового и чистового циклов обработки детали (рис.5.8,в). В табл.5.4, 5.7, 5.10 приведены УП обработки этих деталей. В системе ЧПУ станка предусмотрено два способа ввода данных в таблице параметров цикла:

- клавишей «~» осуществляется выбор из предложенных вариантов;
- клавишей «↵» - ввод данных с клавиатуры.

В первую строку таблицы параметров цикла вводятся имена меток, ограничивающих описание контура обработки сверху и снизу. В трех последующих строках таблицы задаются виды выполняемой обработки: (наружная или внутренняя, продольная или поперечная, черновая или чистовая). В таблице предусмотрена возможность раздельного ввода параметров для величин подачи резца на врезание F_1 и вдоль контура F_2 . На практике их значения различаются крайне редко.

Различные сочетания видов обработки кодируются цифровыми значениями (**1...8**), которые вводятся в **CYCLE95**. Цифровые коды, обозначающие вид обработки (**1...8**), размещены после остальных параметров. Приведем кодирование основных применяемых видов обработки:

- 1 – наружная черновая обработка, продольные ходы резца (рис.5.8,а);
- 2 – наружная черновая обработка, поперечные ходы резца (рис.5.8,б);
- 3 – внутренняя черновая обработка, продольные ходы резца (рис.5.8,в);
- 4 – внутренняя черновая обработка, поперечные ходы резца;
- 5 – наружная чистовая обработка, контур слева от резца;
- 6 – наружная чистовая обработка, контур справа от резца;
- 7 – внутренняя чистовая обработка, контур справа от резца;
- 8 – внутренняя чистовая обработка, контур слева от резца.

После записи командного кадра на выполнение цикла **CYCLE95** производится переадресовка считывающего устройства к кадру с меткой окончания описания контура (команда **GOTOF...**) для продолжения считывания программы.

Таблица 5.2

1	Границы описания контура	"NACH1:END1"	←
2	Вид обработки	Черновая/Чистовая	~
3	Направление обработки	Вдоль/Поперек	~
4	Сторона обработки	Снаружи/Изнутри	~
5	Толщина стружки	3	←
6	Припуск на чистовую обработку по оси Z	0.15	←
7	Припуск на чистовую обработку по оси X	0.4	←
8	Подача на врезание F₁	0.3	←
9	Подача вдоль контура обработки F₂	0.3	←

CYCLE95("NACH1:END1",3,0.15,0.4,0.3,0.3,1)
(черновая обработка)

Таблица 5.3

1	Границы описания контура	"NACH1:END1"	←
2	Вид обработки	Черновая/Чистовая	~
3	Направление обработки	Вдоль/Поперек	~
4	Сторона обработки	Снаружи/Изнутри	~
6	Припуск на чистовую обработку по оси Z	0	←
7	Припуск на чистовую обработку по оси X	0	←
8	Подача F₁	0.15	←

CYCLE95("NACH1:END1",0,0,0.15,5)
(чистовая обработка)

Таблица 5.4

L100 START_: GXZ73 G59 Z=ZMW_1 G92=1500 T7 D107 G96 S120 ; черновая обработка G0 X140 Z8 M3 M8 X124 Z2 CYCLE95("NACH1:END1",==> ==>3,0.15,0.4,0.3,0.3,1) GOTOF END1 NACH1: G1 X40	Z-20 X60 CHR=0.2 X100 W-60 CHR=0.2 W-40 X124 END1: G0 Z2 X40 G96 S160 ; чистовая обработка CYCLE95("NACH1:END1",==> ==>0,0,0.15,5) G0 X140 Z8 M5 M9 GXZ73 M30
--	--

==> - перенос строки

Т а б л и ц а 5.5

1	Границы описания контура	“NACHI:END1”	←
2	Вид обработки	Черновая/Чистовая	~
3	Направление обработки	Вдоль/Поперек	~
4	Сторона обработки	Снаружи/Изнутри	~
5	Толщина стружки	3	←
6	Припуск на чистовую обработку по оси Z	0.15	←
7	Припуск на чистовую обработку по оси X	0.4	←
8	Подача на врезание F₁	0.3	←
9	Подача вдоль контура обработки F₂	0.3	←

CYCLE95(“NACHI:END1”,3,0.15,0.4,0.3,0.3,2)
(черновая обработка)

Т а б л и ц а 5.6

1	Границы описания контура	“NACHI:END1”	←
2	Вид обработки	Черновая/Чистовая	~
3	Направление обработки	Вдоль/Поперек	~
4	Сторона обработки	Снаружи/Изнутри	~
6	Припуск на чистовую обработку по оси Z	0	←
7	Припуск на чистовую обработку по оси X	0	←
8	Подача F₁	0.15	←

CYCLE95(“NACHI:END1”,0,0,0.15,5)
(чистовая обработка)

Т а б л и ц а 5.7

L100 START_: GXZ73 G59 Z=ZMW_1 G92=1500 T7 D107 ; черновая обработка G96 S120 G0 X140 Z8 M3 M8 X124 Z2 CYCLE95(“NACHI:END1”,==> ==>3,0.15,0.4,0.3,0.3,2) GOTOF END1 NACHI: G1 X40 Z-20 X60 CHR=0.2	X100 Z-80 CHR=0.2 Z-120 X124 END1: G0 X140 Z8 M9 GXZ73 T8 D108 ; чистовая обработка G96 S160 G0 X140 Z8 M8 X40 Z2 CYCLE95(“NACHI:END1”,==> ==>0,0,0.15,5) G0 X140 Z8 M5 M9 GXZ73 M30
---	---

==> - перенос строки

Т а б л и ц а 5.8

1	Границы описания контура	“NACHI:END1”	↩
2	Вид обработки	Черновая/Чистовая	~
3	Направление обработки	Вдоль/Поперек	~
4	Сторона обработки	Снаружи/Изнутри	~
5	Толщина стружки	3	↩
6	Припуск на чистовую обработку по оси Z	0.15	↩
7	Припуск на чистовую обработку по оси X	0.4	↩
8	Подача на врезание F₁	0.3	↩
9	Подача вдоль контура обработки F₂	0.3	↩

CYCLE95(“NACHI:END1”,3,0.15,0.4,0.3,0.3,2)
(черновая обработка)

Т а б л и ц а 5.9

1	Границы описания контура	“NACHI:END1”	↩
2	Вид обработки	Черновая/Чистовая	~
3	Направление обработки	Вдоль/Поперек	~
4	Сторона обработки	Снаружи/Изнутри	~
6	Припуск на чистовую обработку по оси Z	0	↩
7	Припуск на чистовую обработку по оси X	0	↩
8	Подача F₁	0.15	↩

CYCLE95(“NACHI:END1”,0,0,0.15,5)
(чистовая обработка)

Т а б л и ц а 5.10

L100 START_: GXZ73 G59 Z=ZMW_1 G92=1500 T7 D107 ; черновая обработка G96 S120 G0 X140 Z8 M3 M8 X48 Z2 CYCLE95(“NACHI:END1”,==> ==>3,0.15,0.4,0.3,0.3,3) GOTOF END1 NACHI: G1 X120 Z-30 X100 CHR=0.2	W-30 RND=10 X60 CHR=0.2 Z-95 X48 END1: G0 X140 Z8 M9 GXZ73 T8 D108 ; чистовая обработка G96 S160 X140 Z8 M8 X40 Z2 CYCLE95(“NACHI:END1”,==> ==>0,0,0.15,7) G0 X140 Z8 M5 M9 GXZ73 M30
--	--

==> - перенос строки

Структура описания типового цикла обработки детали по замкнутому контуру имеет вид:

```
CYCLE95_ ("NACHI:END1",...,2)
GOTOF_ END1
NACHI:
[описание контура обработки]
END1:
```

В таблице параметров цикла на чистовую обработку ячейка для ввода значения толщины стружки отсутствует. Если контур перемещения резца при чистовой обработке совпадает с геометрическим контуром детали, то в параметрические ячейки для величин припусков на чистовую обработку следует вводить ноль. При описании циклов сохраняется возможность применения элементов сокращенного описания контуров обработки.

5.7. Нарезание цилиндрической резьбы

При нарезании резьбы на станках токарной группы рабочая подача F и частота вращения шпинделя n жестко связаны между собой: их отношение (F/n) соответствует шагу резьбы. Применяются два метода выполнения резьбы:

- нарезание метчиком, применяемое при обработке центральных отверстий небольшого диаметра; отметим, что метчик следует крепить в специальном патроне с компенсатором смещений;
- нарезание токарным резцом, применяемое при обработке центральных отверстий большого диаметра и наружных поверхностей.

В рассматриваемых станках для обеспечения возможности нарезания резьбы метчиком предусмотрено специальное кодирование перемещений инструмента по функции **G63**. Эта функция позволяет программировать вход метчика в отверстие; синхронный останов подачи и вращения в точке-адресе; дальнейшее включение реверса и выход метчика из отверстия. В качестве примера рассмотрим нарезание резьбы с шагом **1,5 мм** и глубиной **40 мм** (табл.5.11).

Нарезание резьбы токарным резцом на языке **SINUMERIK-840D** кодируется по типовому циклу **CYCLE97**. Параметры обработки вносятся в систему ЧПУ в виде группы обезличенных цифр так же, как и в **CYCLE95**. Ввод параметров обработки осуществляется с применением таблицы параметров цикла, которая вызывается на экран стойки ЧПУ виртуальной клавишей «**ПЕРЕТРАНСЛИРОВАТЬ**». Таблица помещается на экран дисплея станка совместно с графическим отображением цикла. Графическое отображение (рис.5.9) дает зрительное восприятие характера и параметров обработки.

Т а б л и ц а 5.11

... G0 X0 Z8	Подвод метчика к исходной точке УП
G97 S100 => => G95 F1.5	Подтверждение постоянной частоты вращения; задание подачи инструмента в мм/об
Z2	Приближение метчика к детали
G63 Z-40 M3	Вход в отверстие с вращением шпинделя по часовой стрелке
G63 Z2 M4	Выход из отверстия с реверсивным вращением шпинделя
G0 Z8 ...	Отвод метчика к исходной точке УП

Т а б л и ц а 5.12

1	Шаг резьбы	1.5	←
2	Координата Z начальной точки резьбы	0	←
3	Координата Z конечной точки резьбы	-30	←
4	Начальный диаметр резьбы D_1	15.8	←
5	Конечный диаметр резьбы D_2	15.8	←
6	Глубина резьбы	0.8	←
7	Количество проходов резца	4	←
8	Длина отрезка захода	2	←
9	Длина отрезка выбега	2	←
10	Сторона обработки детали	Снаружи/Изнутри	~
11	Тип проходов резца	С пост. сеч. Стружки / /С постоянной подачей	~

Таблица 5.13

... G0 X20 Z8 G97 S800 M3	CYCLE97(1.5,0,-30,15.8,15.8,0.8,4,2,2,3) G0 X20 Z8 ...
------------------------------	---

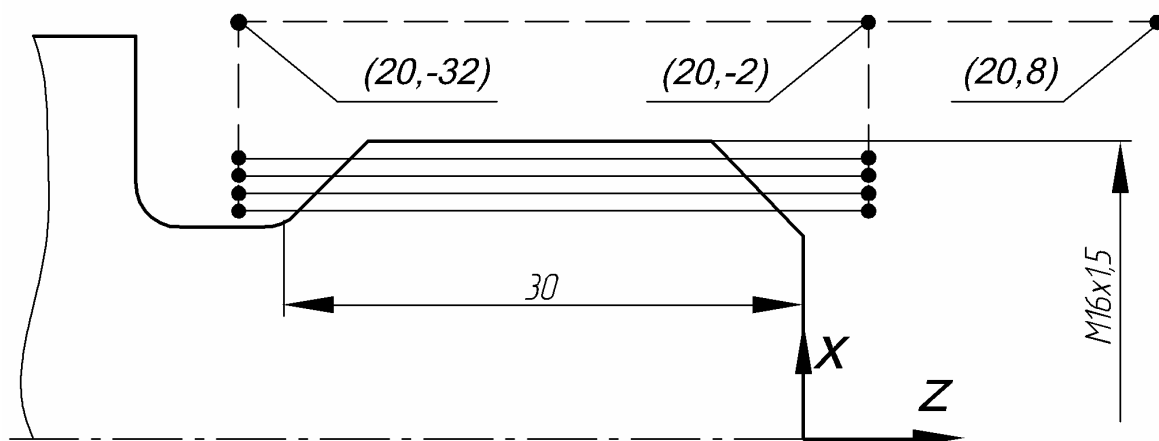


Рис.5.9. Циклограмма нарезания резьбы резцом на станке с ЧПУ токарной группы

Пример заполнения таблицы параметров цикла **CYCLE97** приведен в табл.5.12. Как и в **CYCLE95**, в **CYCLE97** предусмотрено два способа ввода данных:

- клавишей «~» осуществляется выбор из предложенных вариантов;
- клавишей «**↔**» - ввод данных с клавиатуры.

Клавиша «~» позволяет осуществить выбор из четырех видов обработки: резьба наружная или внутренняя, проходы резца с постоянной подачей на глубину или с постоянным сечением стружки.

Различные сочетания видов обработки кодируются цифровыми значениями (1...4), которые размещены в таблице **CYCLE97** после остальных параметров:

- 1 – наружная резьба; постоянная подача на глубину;
- 2 – внутренняя резьба; постоянная подача на глубину;
- 3 – наружная резьба; постоянное сечение стружки;
- 4 – внутренняя резьба; постоянное сечение стружки;

Координаты точек начала и окончания резьбы по оси **Z** берутся непосредственно с эскиза обработки. В таблице предусмотрены отдельные ячейки для длин отрезков захода и выбега. В табл. 5.13 приведен фрагмент УП обработки детали.

5.8. Программирование фрезерных операций на многофункциональных центрах

В многофункциональных центрах **INDEX** (рис.1.23) переходы токарных и фрезерных инструментов при комбинированной обработке деталей обычно задаются в единой УП. На первоначальном этапе выполнения операции обычно осуществляется полный цикл токарной обработки. Далее по команде УП производится останов шпинделя, его фиксация в заданном угловом положении и начало обработки фрезерными инструментами. Изменение углового положения шпинделя в процессе проведения фрезерной части операции обеспечивает возможность многосторонней обработки детали. Токарная обработка детали может быть возобновлена и после окончания фрезерных переходов.

Токарно-фрезерные операции имеют ряд специфических особенностей; их подготовка требует применения в УП нескольких дополнительных команд. Приведем основные отличительные особенности программирования таких операций на языке **SINUMERIK-840D**.

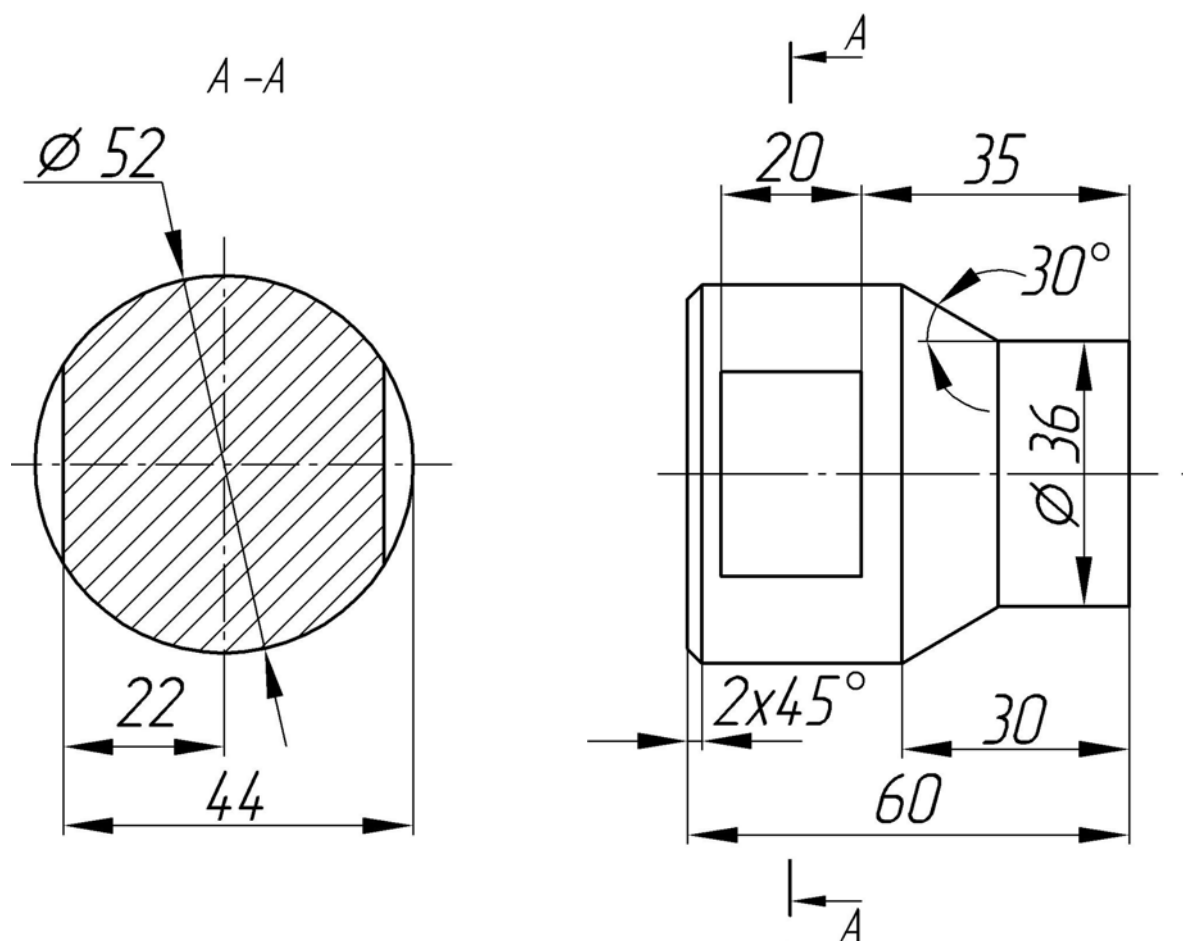
- Перемещение револьверной головки из зоны обработки к точке смены инструмента может осуществляться одновременно по трем координатным осям командой **GXYZ73**. Координата точки смены инструмента по оси **Y** обычно устанавливается: **Y=0**.
- Непосредственно перед началом обработки детали в УП следует кодировать вид проводимой процедуры: токарная или фрезерная. Токарная обработка задается командой **L235**; фрезерная – командой

L237. При осуществлении одной только токарной обработки команду **L235** в УП вводить необязательно, так как она вводится по умолчанию.

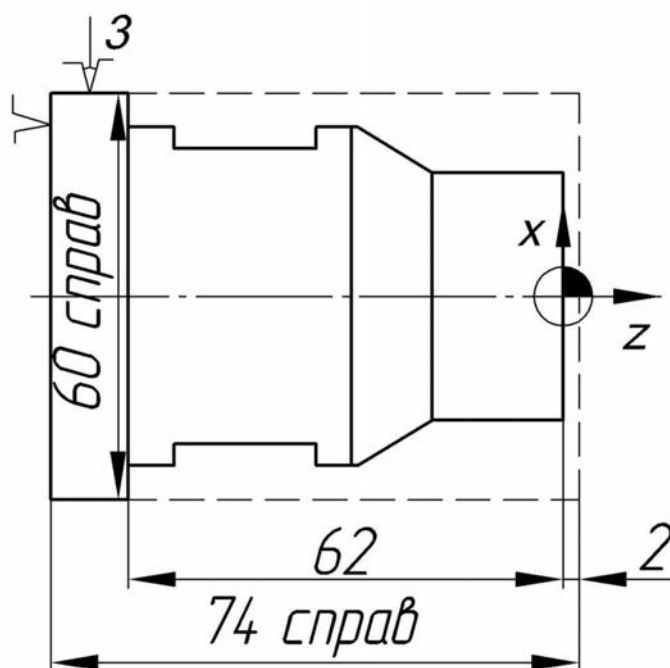
- Перед началом токарной обработки в УП вводится метка **SETMS(4)**, адресующая команды **M3** и **M5** (запуск и останов) на шпиндель. Перед началом фрезерной обработки в программу вводится новая метка **SETMS(1)**, переадресовывающая команды **M3** и **M5** на приводы инструментов, размещенных в револьверной головке. В программах, осуществляющих только токарную обработку, метку **SETMS(4)** вводить необязательно, так как она вводится по умолчанию.
- Частота вращения **S** фрезерных инструментов устанавливается по функции **G94 (об/мин)**; соответственно, подача **F** задается в **мм/мин**.
- Начальное угловое положение шпинделя задается в УП функцией **L140**; при этом командный кадр УП имеет следующий вид: **L140(-60,4,0)**. Цифра **4** обозначает, что команда касается шпинделя. Цифра **-60** обозначает угловое положение **-60°** относительно точки начала отсчета угловых координат шпинделя. Его поворот осуществляется командным кадром УП с обозначением нового углового положения **C...**. Так, кадр УП **C120** задает поворот шпинделя и его фиксацию в угловом положении **+120°**.
- Непосредственно перед началом фрезерной обработки (после фиксации шпинделя в заданном угловом положении) следует произвести механическую фиксацию шпинделя функцией **M12**. После окончания фрезерной обработки следует снять фиксацию шпинделя функцией **M13**.
- Как уже отмечалось, рабочие органы станка позволяют производить фрезерную обработку в планах **X-Y** и **Y-Z**. Обозначение плана обработки вводится в УП непосредственно перед командами на перемещение фрезерного инструмента (функция **G17** обозначает план **X-Y**, а функция **G19** – план **Y-Z**).
- Корректоры диаметров фрезерных инструментов вводятся и отменяются в УП функциями **G41**, **G42** и **G40** по общей методике кодирования фрезерной обработки контура (так же, как на рассмотренных выше станках типа ОЦ).

5.9. Пример комбинированной обработки детали

В качестве объекта выберем деталь, изображенную на рис.5.10,а. Деталь выполняется на двух установках: установе **А** и установе **Б**. Рассмотрим программирование комбинированной операции токарно-фрезерной обработки детали на установе **А**. Заготовка – пруток диаметром **60 мм** и длиной **74 мм**. Эскиз выполнения детали приведен на рис.5.10,б (контур заготовки обозначен пунктирными линиями).



a)



б)

Рис.5.10. Токарно-фрезерная обработка детали на многофункциональном станке:
а – чертеж детали; б – эскиз выполнения детали на установке А

Операция включает в себя переходы двумя токарными резцами **T7** (черновой) и **T8** (чистовой), а также фрезой **T9** диаметром **16 мм**. Токарная обработка осуществляется при постоянной скорости резания **S** при подаче резца **F** в **мм/об** (функция **G96**). Предельная частота вращения шпинделя **S_{max}** установлена **2000 об/мин** из соображений обеспечения безопасной работы станка. Исходная точка УП имеет координаты: **X=80, Z=8**. Величины отрезков перемещения вдоль оси **X** при программировании операции задаются в диаметральной выражении как для токарной, так и для фрезерной обработки. Текст УП обработки детали на установе **A** приведен в табл.5.14.

На первом этапе операции резец **T7** выполняет черновые переходы: обработку торца детали и далее обработку наружной поверхности по многопроходному продольному черновому циклу. Предусмотрены припуски на чистовую обработку равные: **0,15 мм** по оси **Z** и **0,4 мм** (на диаметр) по оси **X**. Базовая точка начала цикла имеет координаты: **X=62, Z=2**. Таблица параметров цикла черновой обработки приведена в табл.5.15.

На втором этапе операции резец **T8** выполняет совместную чистовую обработку торцевой поверхности и наружного контура детали. Траектория движения резца **T8** несколько отличается от чернового контура, поэтому она требует отдельного описания (табл.5.14). Отметим, что в процессе чистовой обработки осуществляется притупление острых кромок.

После окончания токарных переходов, кодируемых **L235**, станок кодируется на процедуру фрезерной обработки командой **L237**; затем вводится метка **SETMS(1)**, переадресовывающая команды запуска и останова вращения на инструменты, размещенные в револьверной головке. Далее шпиндель устанавливается в угловое положение **0°** по кадру **L140(0,4,0)** и фиксируется командой **M12**. Обработка фрезой **T9** осуществляется в плане **Y-Z**, который кодируется функцией **G19**. Паз выполняется в два этапа. Сначала фреза проходит по центру симметрии паза с припуском по оси **X** на чистовую обработку. Далее (за пределами детали) фреза входит на глубину паза (**X=44**), соответствующую его чертежному размеру, и приближается к стенке паза с одновременным включением корректора диаметра инструмента по **G41**.

Выполнив первый переход, фреза отходит от детали в исходную точку УП; фиксация шпинделя отменяется командой **M13**. Затем по команде **C180** шпиндель поворачивается в новое угловое положение **180°**. Далее шпиндель фиксируется, и переход фрезы повторяется. Описание двух идентичных переходов фрезы, выполняющей обработку паза, выделено из основного текста УП в подпрограмму с именем **SUB-PROGRAM_1** (см. нижний раздел табл.5.14).

После окончания фрезерной обработки фиксация шпинделя отменяется, инструментальный магазин отводится в точку смены инструмента, а рабочие органы станка по команде **L235** вновь занимают положение токарной обработки. На этом действие УП по выполнению обработки детали на установе **A** заканчивается.

Таблица 5.14

<i>L100</i> <i>START_:</i> <i>GXYZ73</i> <i>L235</i> <i>SETMS(4)</i> <i>G59 Z=ZMW_1</i> <i>G92=2000 ; -----</i> <i>T7 D107 ; ЧЕРНОВАЯ ОБРАБОТКА</i> <i>G96 S120</i> <i>G0 X80 Z8 M3 M8</i> <i>X62 Z0.1</i> <i>G1 X-1 F0.3</i> <i>G0 Z2</i> <i>X62</i> <i>CYCLE95("NACHI:END1",==></i> <i>==>3,0.15,0.4,0.3,0.3,,2)</i> <i>GOTOF END1</i> <i>NACHI:</i> <i>G1 X36</i> <i>ANG=180</i> <i>ANG=150 X52 Z-30</i> <i>Z-64</i> <i>X62</i> <i>END1:</i> <i>G0 X80 Z8 M9</i> <i>GXYZ73 ; -----</i> <i>T8 D108 ; ЧИСТОВАЯ ОБРАБОТКА</i> <i>G96 S180</i>		<i>X140 Z8 M8</i> <i>X-1 Z2</i> <i>G1 G42 Z0 F0.15</i> <i>X36 RND=0.2</i> <i>ANG=180</i> <i>ANG=150 X52 Z-30 RND=0.2</i> <i>Z-64</i> <i>X62</i> <i>G0 G40 X140 Z8 M5 M9</i> <i>GXYZ73 ; -----</i> <i>L237</i> <i>SETMS(1)</i> <i>T9 D109 ; ФРЕЗА D=16</i> <i>L140(0,4,0)</i> <i>G94 S700</i> <i>G19 G0 X80 Y0 Z8 M3 M8</i> <i>M12</i> <i>SUB-PROGRAM_1</i> <i>G0 X80 Y0 Z8</i> <i>M13</i> <i>C180</i> <i>M12</i> <i>SUB-PROGRAM_1</i> <i>G0 X80 Y0 Z8 M5 M9</i> <i>M13 ; -----</i> <i>L235</i> <i>GXYZ73</i> <i>M30</i>	
<i>; SUB-PROGRAM_1</i> <i>G1 X54 Y-25 Z-45 F1000</i> <i>X44.6</i>	<i>Y25 F80</i> <i>X44</i> <i>G41 Z-35 F120</i>	<i>Y-35</i> <i>Z-55</i> <i>Y25</i>	<i>G40 Z-45</i> <i>X54 F1000</i> <i>M17</i>

==> - перенос строки

Таблица 5.15

1	Границы описания контура	"NACHI:END1"	←
2	Вид обработки	Черновая/Чистовая	~
3	Направление обработки	Вдоль/Поперек	~
4	Сторона обработки	Снаружи/Изнутри	~
5	Толщина стружки	3	←
6	Припуск на чистовую обработку по оси Z	0.15	←
7	Припуск на чистовую обработку по оси X	0.4	←
8	Подача на врезание F₁	0.3	←
9	Подача вдоль контура обработки F₂	0.3	←

CYCLE95("NACHI:END1",3,0.15,0.4,0.3,0.3,,1) - черновая обработка

5.10. Программирование станков с двумя инструментальными блоками

Системы управления рабочими органами станков с двумя инструментальными блоками могут выполняться в одно- и двухканальном исполнении. Управление рабочими органами станка с одноканальными системами ЧПУ осуществляется по единой управляющей программе (УП), задающей последовательные переходы инструментов. Каждая команда на вызов очередного инструмента должна содержать номер его позиции в инструментальном блоке, а также прямое или косвенное указание на номер самого блока. Так инструменты, размещенные в **РГ1** (рис.1.22,а), могут быть закодированы «*T101...T112*», а инструменты в **РГ2** (рис.1.22,б) – «*T201...T212*».

В станках **INDEX** с системой ЧПУ **Siemens** применена двухканальная система управления рабочими органами станка. При этом каждый канал станка предназначен для передачи команд соответствующей револьверной головке, а управление револьверными головками осуществляется отдельно с помощью двух независимых УП. На применяемом в станках языке программирования **SINUMERIK-840D** согласование действий револьверных головок осуществляется кадрами УП, содержащими специальные *МЕТКИ*.

В указанной системе метки имеют вид: *WAITM (5,1,2)*, *WAITM (10,1,2)*, *WAITM (15,1,2)* и т.д., где 5, 10, 15,... – их порядковые номера. Примем условное укороченное обозначение меток: *W5*, *W10*, *W15* и т.д. Метка является сигналом системе ЧПУ станка на приостановку работы соответствующей револьверной головки в заданной точке УП. Револьверная головка, остановленная меткой, может быть запущена только системой управления другой револьверной головки по второму каналу управления. Сигналом является одноименная метка. Допустим, система управления **РГ1** достигла кадра с меткой *W10* и приостановила работу. Одновременно с этим, **РГ2** остается «активной» и продолжает работать по второй УП. После выполнения заданных процедур УП «активной» **РГ2** достигает одноименной метки *W10*. Это является сигналом для **РГ1** на возобновление работы.

Рассмотрим принцип раздельного программирования инструментальных блоков в станке с двухканальной системой управления на примере выполнения детали (рис.5.11). Операция включает в себя подрезку торца, сверление центрального отверстия, черновую и чистовую обработку детали, а также обработку повышенной точности. Подрезной и обточные инструменты установлены в **РГ1**; инструменты, участвующие в обработке внутренних поверхностей, — в **РГ2**.

Для анализа работы системы ЧПУ станка используем принципы имитационного моделирования [3]. Переход каждого инструмента отображен в модели в виде *СОБЫТИЯ П_г*. Алгоритм работы станка воспроизводится в виде циклограммы [4], содержащей отображения событий, а также точек расположения в согласующих меток *W_г*.

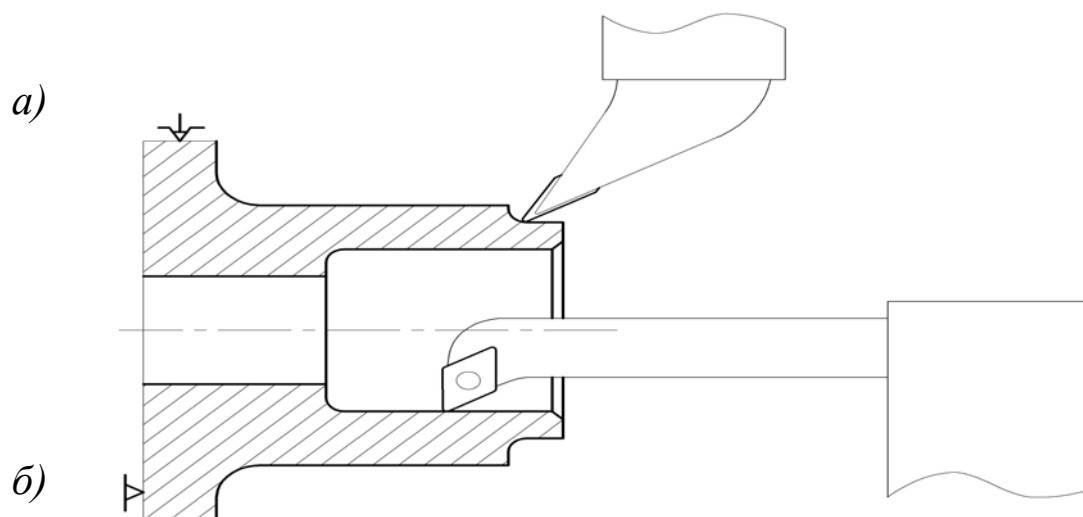


Рис.5.11. Совмещение выполнения обточного и расточного переходов:
 а – инструмент в **РГ1**; б – инструмент в **РГ2**

Таблица 5.16

Структура управляющей программы для револьверной головки №1 (РГ1)	Структура управляющей программы для револьверной головки №2 (РГ2)
СТАРТ ПЕРЕХОД П1 : подрезка ПЕРЕХОД П2 : обточка черновая WAITM (5,1,2) (или W5) WAITM (10,1,2) (или W10) ПЕРЕХОД П6 : обточка чистовая ПЕРЕХОД П7 : обточка повышенной точности WAITM (15,1,2) (или W15) WAITM (20,1,2) (или W20) ФИНИШ	СТАРТ WAITM (5,1,2) (или W5) ПЕРЕХОД П3 : сверление ПЕРЕХОД П4 : расточка черновая ПЕРЕХОД П5 : расточка чистовая WAITM (10,1,2) (или W10) WAITM (15,1,2) (или W15) ПЕРЕХОД П8 : расточка повышенной точности WAITM (20,1,2) (или W20) ФИНИШ

Таблица 5.17

Структура управляющей программы для револьверной головки №1 (РГ1)	Структура управляющей программы для револьверной головки №2 (РГ2)
СТАРТ ПЕРЕХОД П1 : подрезка WAITM (5,1,2) (или W5) ПЕРЕХОД П2 : обточка черновая WAITM (10,1,2) (или W10) ПЕРЕХОД П6 : обточка чистовая WAITM (15,1,2) (или W15) ПЕРЕХОД П7 : обточка повышенной точности WAITM (20,1,2) (или W20) WAITM (25,1,2) (или W25) ФИНИШ	СТАРТ WAITM (5,1,2) (или W5) ПЕРЕХОД П3 : сверление ПЕРЕХОД П4 : расточка черновая WAITM (10,1,2) (или W10) ПЕРЕХОД П5 : расточка чистовая WAITM (15,1,2) (или W15) WAITM (20,1,2) (или W20) ПЕРЕХОД П8 : расточка повышенной точности WAITM (25,1,2) (или W25) ФИНИШ

Проведем построение циклограммы последовательной обработки детали различными инструментами (рис.5.12,*а*). Запуск обеих УП осуществляется общей командой «ПУСК». При этом РГ1 станка приступает к работе, а РГ2 остается в положении ожидания по сигналу метки *W5*. После выполнения переходов *П1* и *П2* система управления РГ1 достигает одноименной метки *W5*; это – сигнал для запуска работы РГ2. Далее РГ1 приостанавливает работу по сигналу метки *W10*. РГ2 выполняет переходы *П3...П5*; после их окончания система управления РГ2 достигает одноименной метки *W10*. Это – сигнал для запуска работы РГ1. Сама РГ2 приостанавливает работу по сигналу метки *W15*. И так далее. Структура программного управления последовательного цикла выполнения операции приведена в табл.5.16.

5.11. Повышение производительности токарных операций

В станках с двухканальной системой управления производительность комбинированных операций может быть существенно повышена за счет совмещения во времени действий инструментов, размещенных в разных revolverных головках станка. При совмещении переходов инструментов следует учитывать технологические особенности выполнения детали. Условия задачи обработки детали (рис.5.11) на станке (рис.1.22) включали в себя следующие ограничения:

- подрезка торца, а также обработка поверхностей повышенной точности должны выполняться отдельно от других переходов;
- черновые переходы не могут быть совмещены во времени с чистовыми. Была отмечена технологическая возможность совмещения во времени:
- черновой обработки внутренних и наружных поверхностей детали;
- чистовой обработки внутренних и наружных поверхностей детали.

Алгоритм действий системы ЧПУ станка разрабатывался на базе имитационного моделирования взаимодействий рабочих органов станка с помощью сети Петри [3]. Моделирование осуществлялось с целью определения условий P_i , выполнение которых обеспечивает возможность протекания событий – переходов Π_i . Принцип построения сети Петри заключается в следующем: после выполнения очередного события – перехода Π_i в системе возникает УСЛОВИЕ P_i ; это условие открывает возможность для выполнения последующего события – перехода Π_{i+1} .

Сеть Петри для последовательной обработки детали (рис.5.12,*б*) представляет собой цепочку чередующихся событий Π_i и условий P_i . При выполнении последовательно-параллельного цикла взаимодействия элементов системы имеют более сложный характер (рис.5.12,*в*). В частности, некоторые события могут быть выполнены только при одновременном выполнении системой нескольких условий. При этом некоторые события могут приводить к возникновению сразу нескольких новых условий. Отметим, что при построении сети Петри нумерация событий Π_i может не соответствовать очередности переходов инструментов.

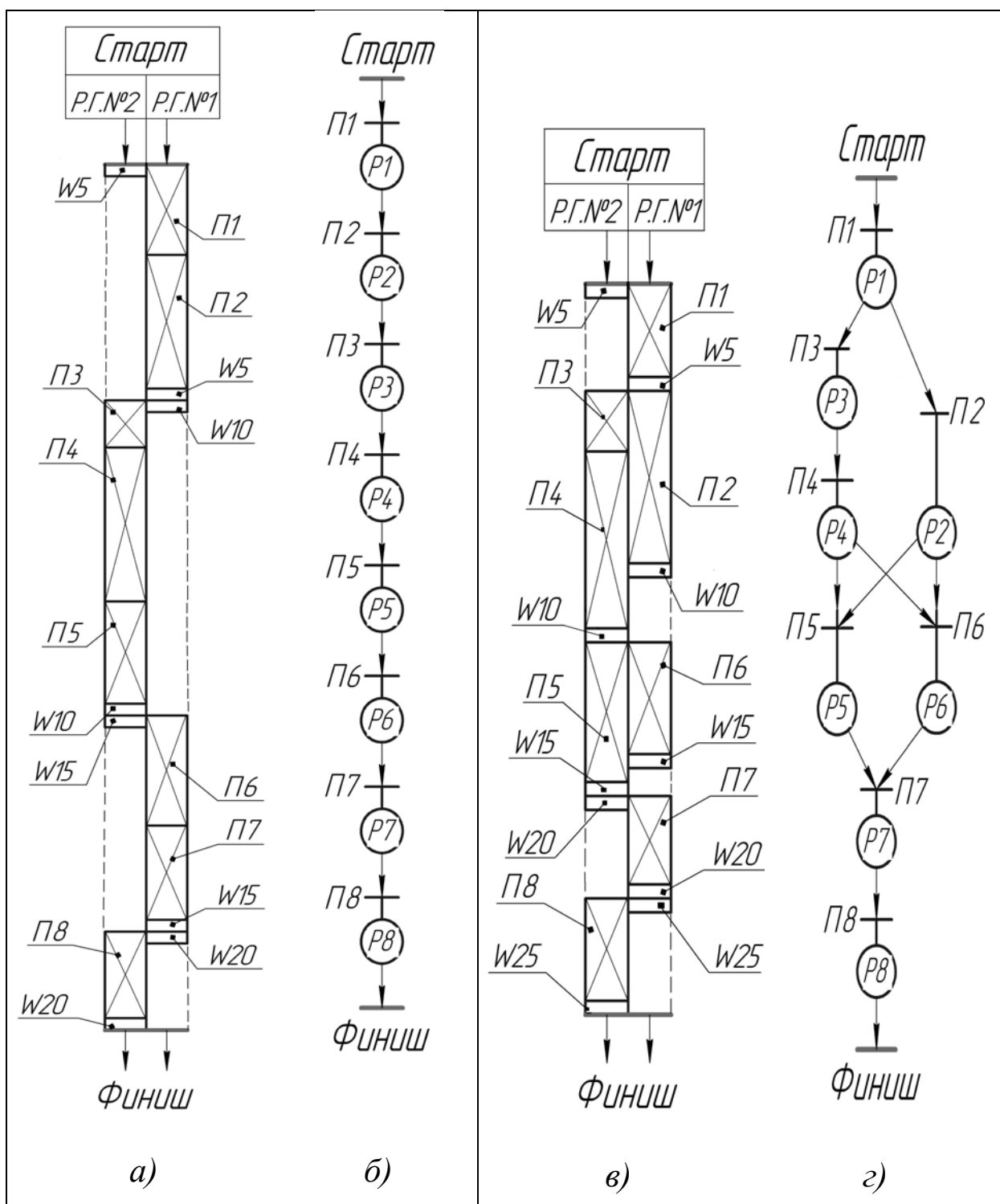


Рис.5.12. Моделирование последовательного и последовательно-параллельного цикла обработки детали на станке INDEX с двумя револьверными головками:
а, б – циклограмма и сеть Петри при последовательной организации переходов (табл.5.16);
в, з – циклограмма и сеть Петри при последовательно-параллельной организации переходов (табл.5.17); РГ1 - револьверная головка №1; РГ2 - револьверная головка №2; P_i - условия модели; W_j - метки согласования действий программ во времени; Π_i – события модели: $\Pi 1$ - подрезка; $\Pi 2$ - точение черновое; $\Pi 3$ - сверление; $\Pi 4$ - расточка черновая; $\Pi 5$ - расточка чистовая; $\Pi 6$ - точение чистовое; $\Pi 7$ - точение повышенной точности; $\Pi 8$ - расточка повышенной точности

Цикл обработки детали начинается с подрезки торца **П1**. Выполнение этого перехода – необходимое условие **Р1** для начала работы черновых инструментов. Сверление центрального отверстия **П3** и черновая расточка **П4** выполняются последовательно; параллельно с ними осуществляется черновая обточка **П2**. Сеть Петри отображает условие модели, согласно которому продолжение операции возможно только при одновременном выполнении условий **Р2** и **Р4**, т.е. при условии окончания обоих переходов черновых резцов. Чистовые переходы инструментов **П5** и **П6** также производятся в параллельном режиме. После выполнения чистовых переходов (**Р5** и **Р6** на сети Петри) система приступает к обработке детали повышенной точности – последовательному выполнению переходов **П7** и **П8**.

Структура программного управления последовательно-параллельного цикла выполнения операции приведена в табл.5.17; циклограмма обработки детали изображена на рис.5.12,з. Как следует из циклограммы, первой к работе приступает **РГ1** (переход **П1**), а **РГ2** задерживается в положении ожидания по сигналу метки **W5**. После окончания перехода **П1** система управления **РГ1** по сигналу метки **W5** запускает работу **РГ2**. При этом сама **РГ1** не прерывает работу, а приступает к выполнению перехода следующего инструмента – обточного чернового резца **П2**. Такая структура программирования позволяет осуществлять переход **П2** в параллельном режиме с другими черновыми переходами **П3** и **П4**. После «встречи» двух систем управления по метке **W10** револьверные головки станка возобновляют работу в параллельном режиме (чистовые переходы **П5** и **П6**). После новой «встречи» револьверных головок (по метке **W15**) **РГ1** продолжает работу (обработка повышенной точности – переход **П7**), а **РГ2** переводится в положение ожидания сигналом метки **W20**. Таким образом, обеспечивается последовательное выполнение переходов **П7** и **П8**.

6. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

6.1. Принципы моделирования производственного процесса

Современные системы управления позволяют объединять разнородное автоматизированное оборудование (станки с ЧПУ, промышленные роботы, устройства транспортного и складского обеспечения и др.) в интегрированные производственные системы (ИПС), предназначенные для выполнения совместных согласованных действий. В рамках ИПС агрегаты, устройства либо их отдельные приводы рассматриваются как исполнительные элементы. В процессе подготовки производственных процессов, выполняемых с применением ИПС, широко используются принципы рассмотренного выше имитационного моделирования [3]. Они предназначены для решения следующих задач:

- определение последовательности действий исполнительных элементов ИПС;
- определение причинно-следственных взаимодействий исполнительных элементов ИПС;
- совершенствование производственного процесса.

Рассмотрим три этапа имитационного моделирования работы ИПС.

На ПЕРВОМ ЭТАПЕ моделирования осуществляется определение последовательности действий исполнительных элементов ИПС в рамках выполнения технологического цикла. Действия исполнительных элементов ИПС считаются событиями модели. Производственный процесс отображается в виде графического пошагового описания событий – циклограммы. Циклограмма состоит из *ТАКТОВ* [4], каждый из которых отображает событие модели. По оси *X* циклограммы производится отсчет отрезков времени протекания событий. На оси *Y* наносятся обозначения исполнительных элементов ИПС. За начало циклограммы обычно принимается момент запуска производственного процесса по команде «Старт».

Имитационное моделирование можно производить на разных уровнях иерархии ИПС, причем уровень детализации имитационной модели зависит от поставленных перед разработчиком задач. В частности, технологический **цикл** на ИПС низшего уровня может быть **тактом** технологического цикла производственного процесса ИПС высшего уровня, имеющего более низкую детализацию. Одновременно с этим в процессе моделирования ИПС высшего уровня могут быть выделены группы исполнительных элементов ИПС низшего уровня, выполняющих совместные действия. Эти группы могут рассматриваться в модели, разрабатываемой для ИПС высшего уровня, как условный «**совмещенный**» исполнительный элемент. Ниже будут рассмотрены вопросы моделирование работы двух уровней ИПС: гибкого автоматизированного участка (ГАУ) и гибкого производственного модуля (ГПМ).

На ВТОРОМ ЭТАПЕ моделирования производится определение причинно-следственных взаимодействий исполнительных элементов ИПС. Как известно, большинство ИПС программируется и действует по «**рефлекторному**» принципу на множестве «**события-условия**», при котором условия, возникающие в процессе работы, автоматически приводят к началу выполнения последующих действий исполнительных элементов ИПС (событий модели). Причинно-следственные взаимодействия исполнительных элементов ИПС отображаются в имитационной модели с помощью сети Петри [3], которая является элементом схемы управления ИПС. Сеть Петри автоматически работающего производственного модуля должна быть замкнутой, т.е. все условия модели должны периодически возобновляться. Если замкнутый характер сети Петри не будет обеспечен, то ИПС, сделав один полный технологический цикл, неминуемо остановится.

Для удобства дальнейшего использования сеть Петри может быть воспроизведена в виде *МАТРИЦ ВХОДНЫХ* и *ВЫХОДНЫХ ИНЦИДЕНЦИЙ* [3]. В матрицу входных инцидентов F сводится множество условий $\{P_i\}$, каждое из которых является необходимым для выполнения последующего действия или нескольких действий. В матрицу выходных инцидентов H сводятся данные об условиях, к которым приводит выполнение каждого очередного действия исполнительного элемента ИПС из множества $\{t_i\}$.

ТРЕТИЙ (дополнительный) ЭТАП моделирования предназначен для повышения эффективности производственного процесса. Совершенствование модели может осуществляться, в частности, за счет снижения простоев исполнительных элементов ИПС. В зависимости от структуры ИПС могут быть выбраны следующие методы повышения эффективности производственного процесса.

- Совмещение во времени циклов выполнения различных деталей, находящихся в разной степени готовности. Эффективность модели оценивается по величине соотношения времени цикла выполнения детали в ИПС $T_{\text{ИПС}}$ и времени полного цикла выполнения детали T_d . Метод будет рассмотрен ниже в разделе 6.2.
- Совмещение во времени действий исполнительных элементов, решающих отдельные задачи в процессе одного технологического цикла. Эффективность модели оценивается по величине соотношения времени полного цикла выполнения детали T_d и суммарного времени работы исполнительных элементов ИПС $\sum t_i$. Метод будет рассмотрен ниже в разделе 6.3.

В процессе совершенствования модели структура производственного процесса усложняется, поэтому на разных стадиях его разработки необходимо проводить тестирование имитационной модели на предмет общей работоспособности системы. Процедура тестирования включает в себя пошаговую проверку циклограммы действий исполнительных элементов

ИПС на предмет соответствия событий модели необходимым условиям их выполнения. Анализ циклограммы производится на базе полученных ранее матриц входных и выходных инцидентов.

6.2. Совершенствование работы гибкого автоматизированного участка

6.2.1. Разработка модели технологического цикла

Рассмотрим общие принципы разработки и совершенствования автоматического производственного процесса на примере выполнения детали (рис.6.1) на ГАУ.

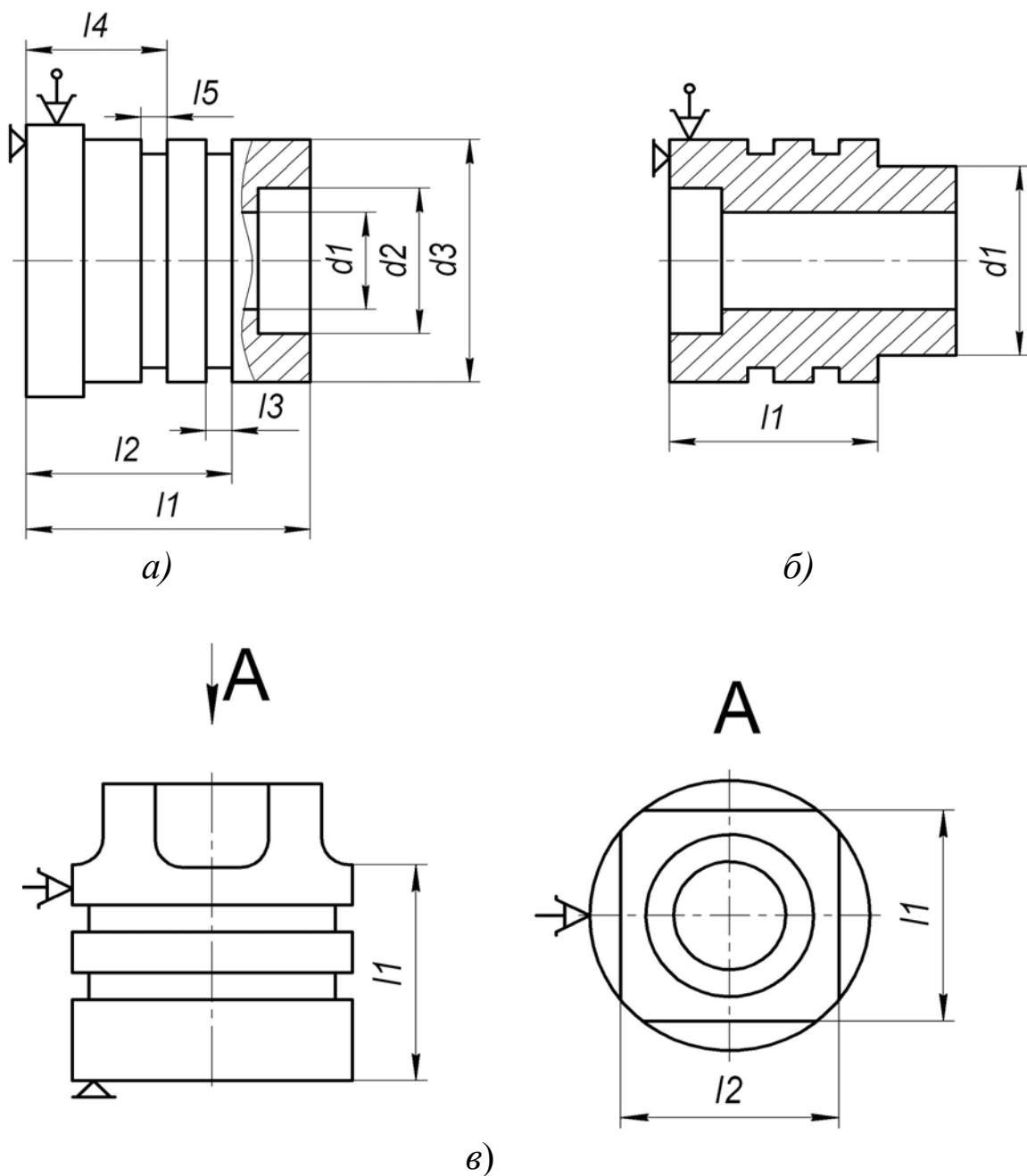


Рис.6.1. Эскизы выполнения детали:

а) – операция 005; б) – операция 010; в) – операция 015

Участок, задействованный в выполнении детали, включает в себя четыре производственных модуля (рис.6.2,а): склад заготовок **А**; ГПМ токарной обработки **Б**; ГПМ фрезерной обработки **В**; склад готовых деталей **Г**. ГПМ **Б** имеет в своем составе токарные станки с ЧПУ 3, 4 и обслуживающий их промышленный робот (ПР) 2. ГПМ **В** имеет в своем составе станок типа ОЦ 6 и обслуживающий его ПР 5. В состав ГАУ входит также автоматически управляемая тележка с кассетой 1.

Деталь выполняется по трем операциям, причем каждая операция выполняется на одном установе. Комбинированная токарная операция **005** выполняется на станке 3. Комбинированная токарная операция **010** выполняется на станке 4. Комбинированная фрезерная операция **015** выполняется на ОЦ 6. Полный цикл обработки детали включает в себя:

- комбинированную обработку на станках 3, 4, 6;
- перемещение заготовок между производственными модулями с помощью тележки с кассетой 1;
- загрузку заготовок в рабочие зоны станков с помощью манипуляторов ПР 2 и 5.

Необработанную заготовку обозначим «Заготовка_0 (**З_0**)»; заготовку, обработанную по операции №1 – «Заготовка_1 (**З_1**)»; заготовку, обработанную по операции №2 – «Заготовка_2 (**З_2**)»; полностью обработанную (готовую) деталь – «Готовая деталь (**ГД**)». В кассете 1 предусмотрено три ячейки: ячейка **Я_1** для **З_0**, ячейка **Я_2** для **З_2** и ячейка **Я_3** для **ГД**. Заготовка **З_1** перемещается между станками 3 и 4 непосредственно манипулятором. Промежуточные межоперационные накопители заготовок в структуре ГАУ не предусмотрены.

Система работает следующим образом. Тележка перемещается на склад **А**, где происходит загрузка **З_0** в ячейку **Я_1** кассеты 1. Далее кассета прибывает в зону ГПМ **Б**, где ПР 2 перемещает **З_0** в рабочую зону токарного станка 3. Далее происходит комбинированная обработка по операции **005**, после которой ПР 2 перемещает **З_1** в рабочую зону токарного станка 4. Затем производится обработка по комбинированной операции **010**, после которой ПР 2 перемещает **З_2** в ячейку **Я_2**. Далее кассета с **З_2** прибывает в зону ГПМ **В**, и ПР 5 перемещает **З_2** в рабочую зону ОЦ 6. Последний выполняет комбинированную операцию **015**, после окончания которой ПР 5 перемещает **ГД** в ячейку **Я_3**. Кассета с **ГД** прибывает на склад **Г**, где производится освобождение ячейки **Я_3**. Далее тележка с кассетой возвращается на склад заготовок **А**, и технологический цикл повторяется.

На первоначальной стадии разработки производственного процесса был сформирован технологический цикл, отображающий последовательное выполнение действий исполнительными элементами. Циклограмма производственного процесса приведена на рис.6.3, кодированные обозначения исполнительных элементов ГАУ на циклограмме – в табл.6.1, детальное описание и хронометраж событий модели технологического цикла – в табл.6.2. Отметим, что построение циклограммы осуществлялось методом последовательного отображения событий с момента запуска ГАУ по команде «Старт».

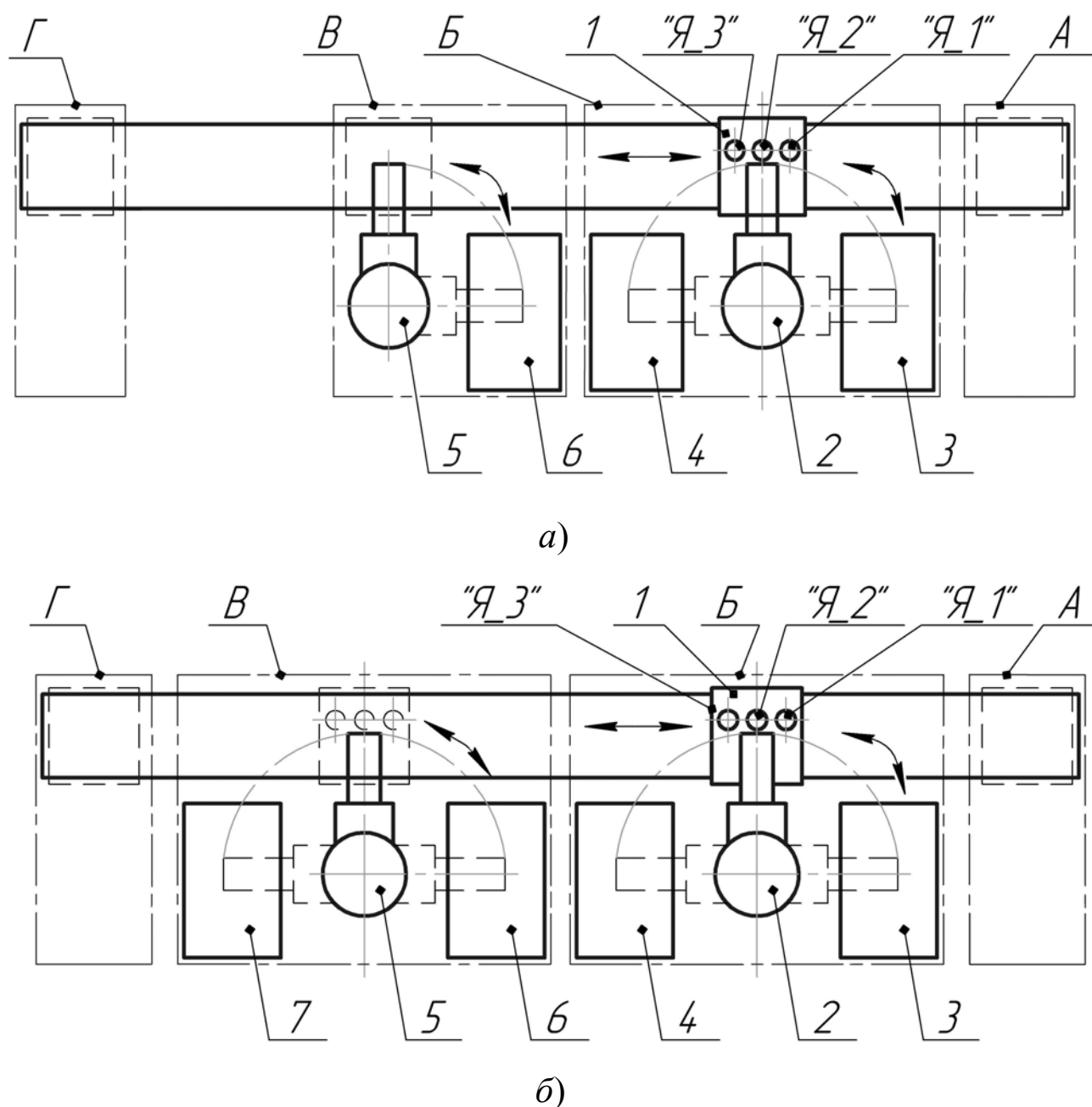


Рис.6.2. Структурная схема гибкого автоматизированного модуля:

а) базовый вариант; б) доработанный вариант;

А – склад заготовок; Б – ГПМ токарной обработки; В – ГПМ фрезерной обработки;

Г – склад готовых деталей; 1 – кассета; 2,5 – ПР; 3,4 – токарные станки с ЧПУ;

6,7 – фрезерные станки с ЧПУ типа ОЦ

Таблица 6.1

1	Кассета	4	Токарный станок с ЧПУ
2	ПР модуля токарных станков с ЧПУ	5	ПР модуля фрезерных станков типа ОЦ
3	Токарный станок с ЧПУ	6	Обрабатывающий центр
7	Обрабатывающий центр (дополнительный)		

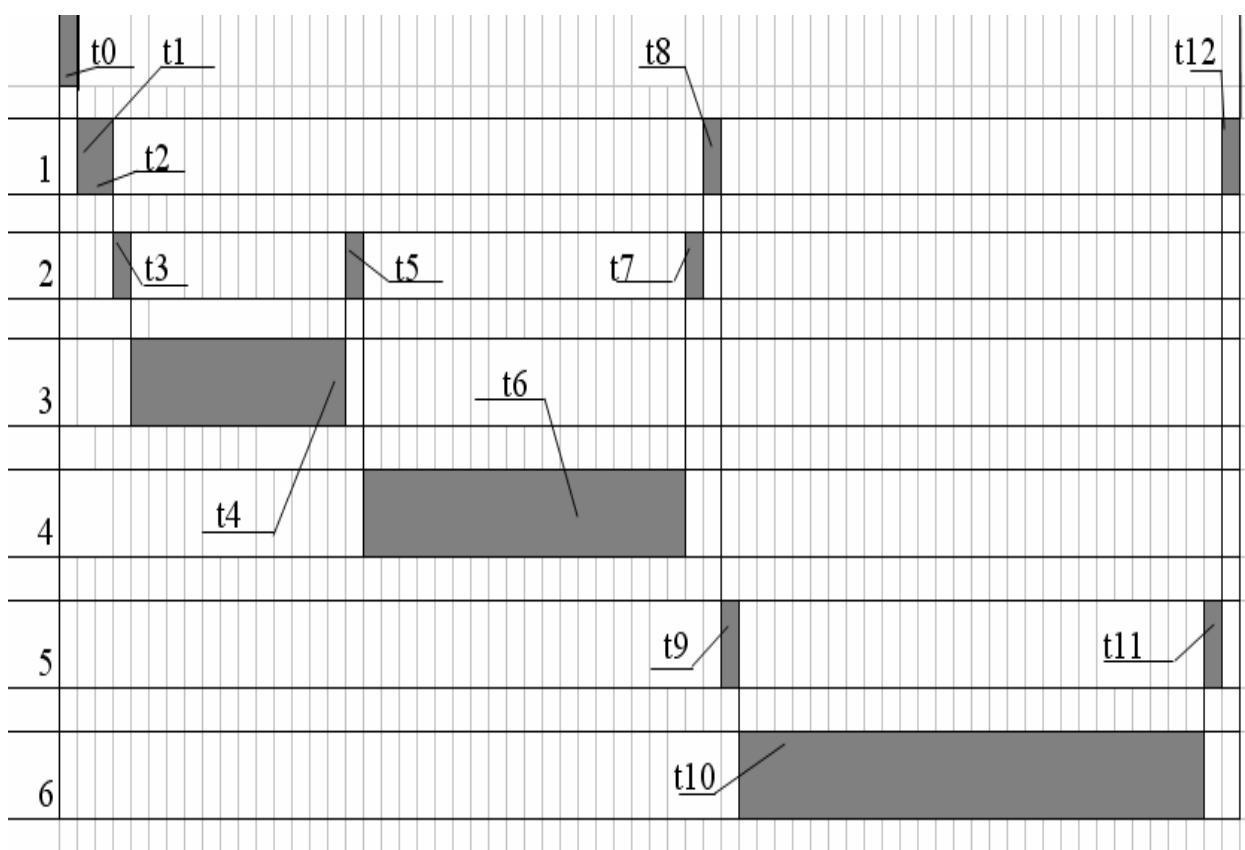


Рис.6.3. Структурная схема базового цикла обработки детали на ГАУ

Таблица 6.2

Исполни- тельный элемент	СОБЫТИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ		
	Символ события	Продолжи- тельность, с.	ОПИСАНИЕ СОБЫТИЯ
---	<i>t0</i>	---	Старт
Тележка с кассетой 1	<i>t1</i>	10	Перемещение на склад заготовок и загрузка З_0 в кассету 1
Тележка с кассетой 1	<i>t2</i>	10	Перемещение З_0 в зону ГПМ токарной обработки
ПР 2	<i>t3</i>	5	Перемещение З_0 из кассеты 1 на станок 3
Станок 3	<i>t4</i>	300	Выполнение операции 005
ПР 2	<i>t5</i>	5	Перемещение З_1 со станка 3 на станок 4
Станок 4	<i>t6</i>	400	Выполнение операции 010
ПР 2	<i>t7</i>	5	Перемещение З_2 со станка 4 в кассету 1
Тележка с кассетой 1	<i>t8</i>	10	Перемещение З_2 в зону ГПМ фрезерной обработки
ПР 5	<i>t9</i>	5	Перемещение З_2 из кассеты 1 на ОЦ 6
ОЦ 6	<i>t10</i>	650	Выполнение операции 015
ПР 5	<i>t11</i>	5	Перемещение ГД с ОЦ 6 в кассету 1
Тележка с кассетой 1	<i>t12</i>	10	Перемещение ГД на склад готовых деталей и ее выгрузка

Как видно из циклограммы, время цикла выполнения детали на ГАУ $T_{\text{ГАУ}}$ равно времени полного цикла выполнения детали $T_{\text{д}}$ и также равно суммарному времени работы исполнительных элементов ГАУ $\sum t_i$:

$$T_{\text{ГАУ}} = T_{\text{д}} = \sum t_i = 1415 \text{ с.}$$

На последующем этапе моделирования была проведена отработка причинно-следственных взаимодействий исполнительных элементов ГАУ на множестве «события-условия». Эти взаимодействия были воспроизведены в виде сети Петри (рис.6.4). На начальной стадии построения сети Петри были определены условия начала технологического цикла, ($P1...P6$, выделены штрихпунктирным контуром), означающие, что все места для загрузки объектов свободны. Затем в модель была введена команда на начало автоматического производственного процесса «Старт».

Построение сети Петри осуществлялось путем пошаговых переходов от событий к условиям и от условий к событиям. Для иллюстрации построения сети Петри, рассмотрим одно из текущих действий ГАУ в процессе технологического цикла: перенос $З_0$ из кассеты на токарный станок 3 (рис.6.2,а). Необходимые условия выполнения данной процедуры следующие:

- $З_0$ находится в ячейке $Я_1$;
- тележка с кассетой находится в зоне ГПМ Б;
- рабочая зона токарного станка 3 свободна.

Очевидно, что если не выполнено хотя бы одного из этих условий, заготовка не может быть перенесена на станок 3. Выполнение указанного действия приводит к следующим изменениям состояния исполнительных элементов ГАУ:

- $З_0$ находится в зоне обработки станка 3;
- ячейка $Я_1$ свободна.

Таким образом, выполнено условие начала следующего действия – обработки детали на станке 3 по операции 005. Выполнение второго условия «ячейка $Я_1$ свободна» понадобится нам для осуществления последующих действий исполнительных элементов ГАУ.

На базе построения сети Петри были определены условия, влияющие на действия исполнительных элементов ГАУ в процессе выполнения технологического цикла (табл.6.3). Далее сеть Петри была воспроизведена в виде матриц входных и выходных инцидентов (табл.6.4, табл.6.5).

6.2.2. Применение параллельного режима работы оборудования

Как видно из полученного результата, продолжительность технологического цикла ГАУ оказалась непропорционально высокой. С целью повышения производительности производственного процесса было решено совместить во времени циклы выполнения различных деталей, находящихся в разной степени готовности.

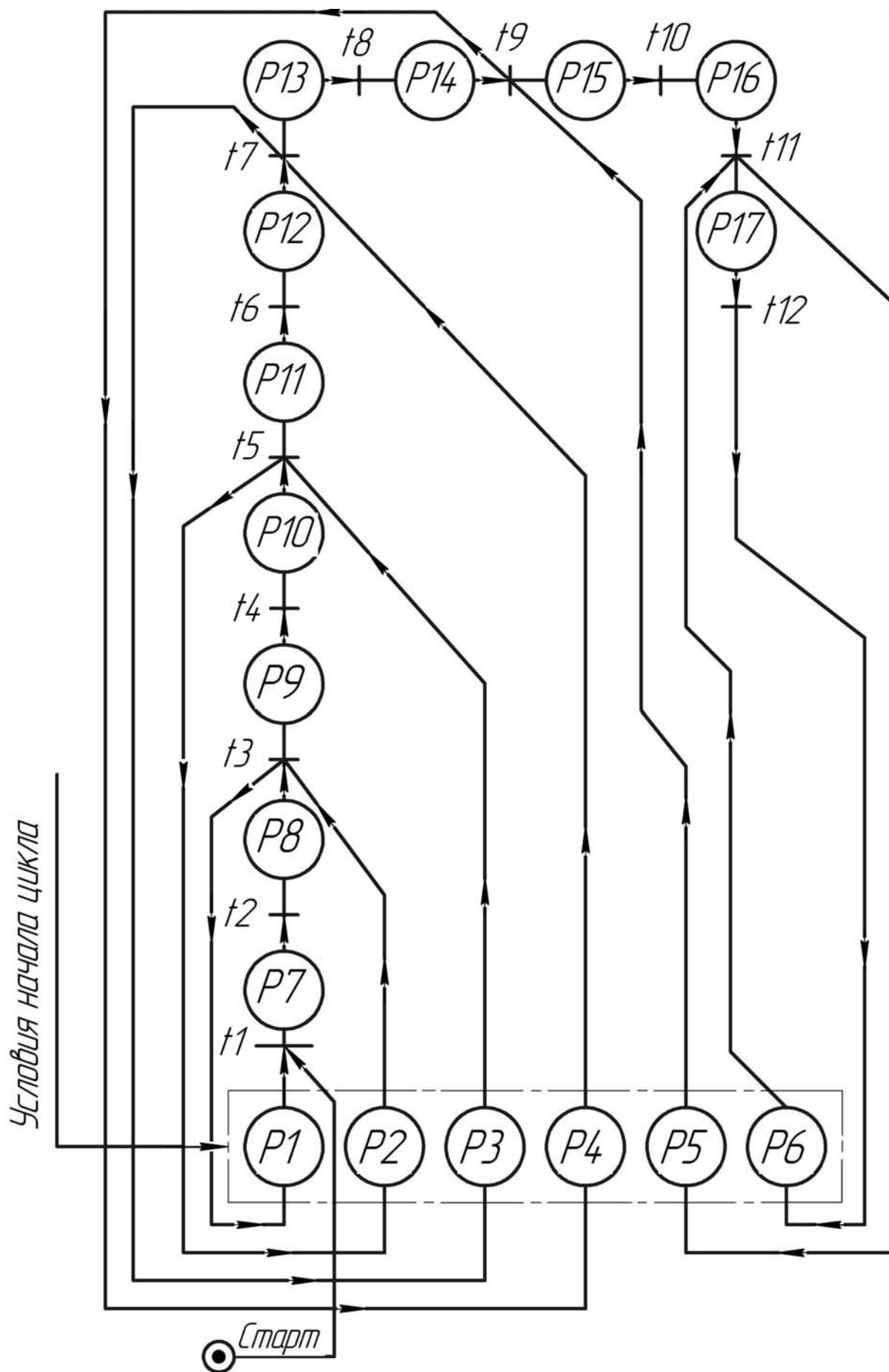


Рис.6.4. Сеть Петри для цикла выполнения партии деталей на ГАУ

Таблица 6.3

<i>P1</i>	Ячейка Я_1 (для заготовки З_0) кассеты свободно
<i>P2</i>	Зона обработки токарного станка №1 свободна
<i>P3</i>	Зона обработки токарного станка №2 свободна
<i>P4</i>	Ячейка Я_2 (для заготовки З_2) кассеты свободно
<i>P5</i>	Зона обработки ОЦ №1 свободна
<i>P6</i>	Ячейка Я_3 (для ГД) кассеты свободно
<i>P7</i>	Заготовка З_0 находится в ячейке Я_1 кассеты
<i>P8</i>	Тележка с кассетой находится в зоне ГПМ токарной обработки
<i>P9</i>	Заготовка З_0 находится в зоне обработки токарного станка №1
<i>P10</i>	Заготовка З_0 обработана и приняла состояние заготовки З_1
<i>P11</i>	Заготовка З_1 находится в зоне обработки токарного станка №2
<i>P12</i>	Заготовка З_1 обработана и приняла состояние заготовки З_2
<i>P13</i>	Заготовка З_2 находится в ячейке Я_2 кассеты
<i>P14</i>	Тележка с кассетой находится в зоне ГПМ фрезерной обработки
<i>P15</i>	Заготовка З_2 находится в зоне обработки ОЦ №1
<i>P16</i>	Заготовка З_2 обработана и приняла состояние готовой детали (ГД)
<i>P17</i>	ГД находится в ячейке Я_3 кассеты

Таблица 6.4

	<i>t1</i>	<i>t2</i>	<i>t3</i>	<i>t4</i>	<i>t5</i>	<i>t6</i>	<i>t7</i>	<i>t8</i>	<i>t9</i>	<i>t10</i>	<i>t11</i>	<i>t12</i>
<i>P1</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>P2</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>P3</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>P4</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>P5</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>P6</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>P7</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>P8</i>	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>P9</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>P10</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>P11</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>P12</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>P13</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>P14</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-
<i>P15</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>P16</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>P17</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+

Таблица 6.5

	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>	<i>P6</i>	<i>P7</i>	<i>P8</i>	<i>P9</i>	<i>P10</i>	<i>P11</i>	<i>P12</i>	<i>P13</i>	<i>P14</i>	<i>P15</i>	<i>P16</i>	<i>P17</i>
<i>t1</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>t2</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>t3</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>t4</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>t5</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>t6</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>t7</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>t8</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>t9</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>t10</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>t11</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>t12</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Сокращение технологического цикла ГАУ планировалось осуществить за счет использования задействованных исполнительных элементов в параллельном режиме. С учетом промежутков времени выполнения событий (табл.6.2) было принято решение о выполнении операций **005** (продолжительность 300 с.) и **010** (продолжительность 400 с.) параллельно с операцией **015** (продолжительность 650 с.) Циклограмма доработанного производственного процесса приведена на рис.6.5. Как видно из циклограммы, фрезерная обработка (операция **015**) детали «*i*» выполнялась параллельно токарной обработке (операции **005** и **010**) следующей по ходу выполнения производственной партии детали «*i+1*». Поэтому время технологического цикла выполнения детали на ГАУ $T_{ГАУ}$ оказалось примерно вдвое ниже полного цикла выполнения детали T_D :

$$T_{ГАУ} = \sum[t1... t9] = 750 \text{ с.}$$

Соответствие каждого действия (такта) доработанного технологического цикла условиям его выполнения было проверено путем пошаговой проверки циклограммы (рис.6.5). Отметим, что причинно-следственные взаимодействия исполнительных элементов остались неизменными по сравнению с первоначально разработанным технологическим циклом (см. раздел 6.2.1). Это позволило произвести тестирование циклограммы с применением полученных ранее матриц входных и выходных инцидентов (табл.6.4, табл.6.5).

6.2.3. Привлечение дополнительного оборудования

Анализ производственного процесса показал, что эффективность работы ГАУ также может быть повышена путем привлечения в технологический цикл дополнительного оборудования. Поэтому в разработанную ранее структуру ГАУ (рис.6.2,а) был привлечен дополнительный исполнительный элемент: ОЦ 7 табл.6.1), который был встроен в ГПМ **В** (рис.6.2,б). В усовершенствованный технологический цикл были введены дополнительные события **t13, t14, t15**, связанные с обработкой заготовок на ОЦ 7.

Детальное описание и хронометраж дополнительных событий, происходящих в процессе работы усовершенствованного цикла, приведены в табл.6.6. Циклограмма усовершенствованного производственного процесса приведена на рис.6.6. Процесс выполнения деталей был скомпонован таким образом, что токарные станки выполняли операции **005** и **010** в параллельном режиме, причем токарный станок 4 и поочередно «передавал» заготовку для выполнения операции **015** на два разных станка: ОЦ 6 и ОЦ 7. Такая структура технологического цикла позволила дополнительно снизить время выполнения детали на ГАУ $T_{ГАУ}$ еще почти в два раза:

$$T_{ГАУ} = \sum[t5, t6, t7] = 410 \text{ с.}$$

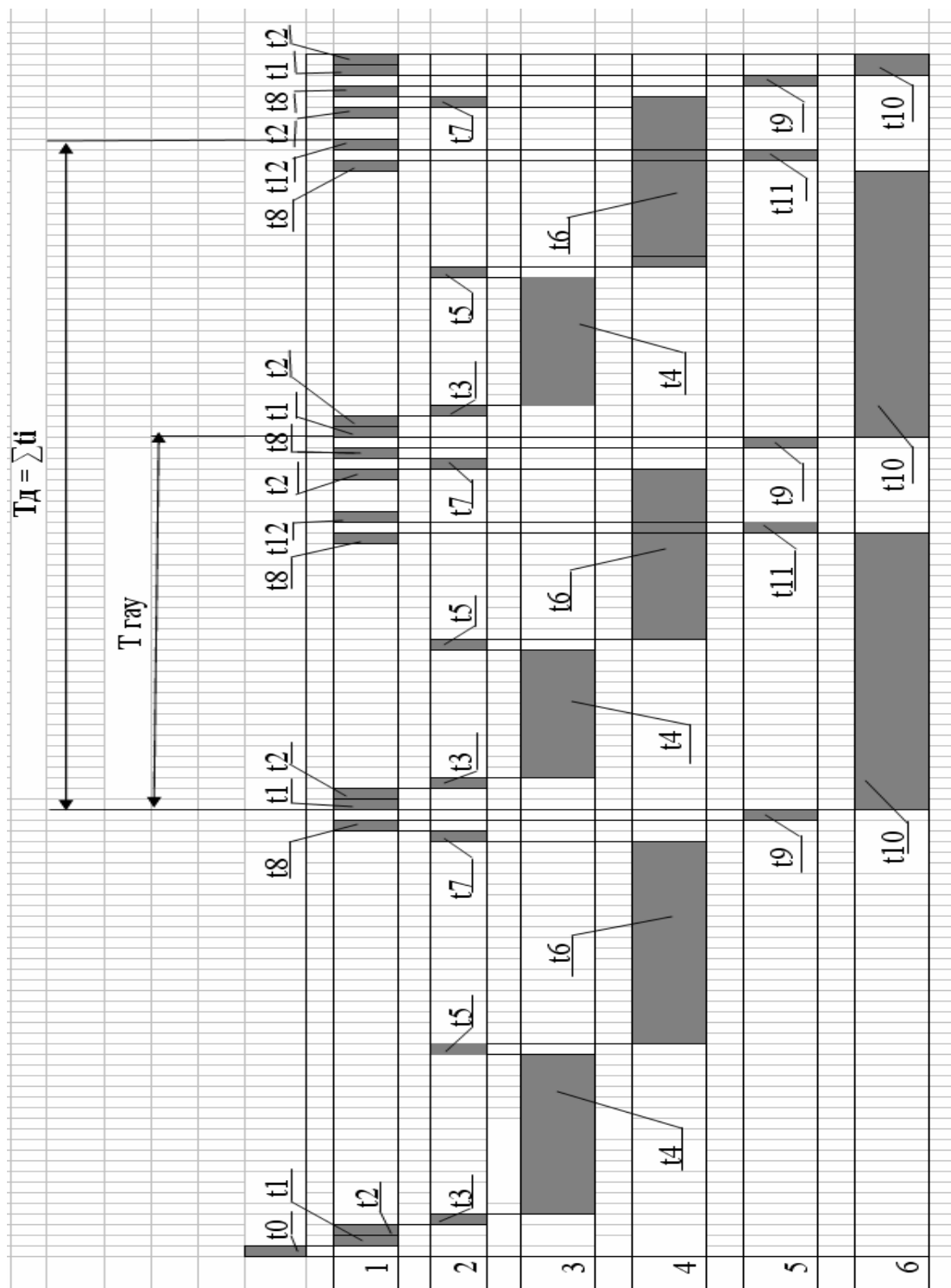


Рис.6.5. Структурная схема оптимизированного цикла ГАУ

Таблица 6.6

Исполнительный элемент	События системы с привлечением дополнительного станка		
	Символ события	Время, с.	Описание события
ПР 5	<i>t13</i>	5	Перемещение Заготовки З_2 из кассеты <i>1</i> на ОЦ 7
ОЦ 7	<i>t14</i>	650	Выполнение операции 015
ПР 5	<i>t15</i>	5	Перемещение ГД с ОЦ 7 в кассету <i>1</i>

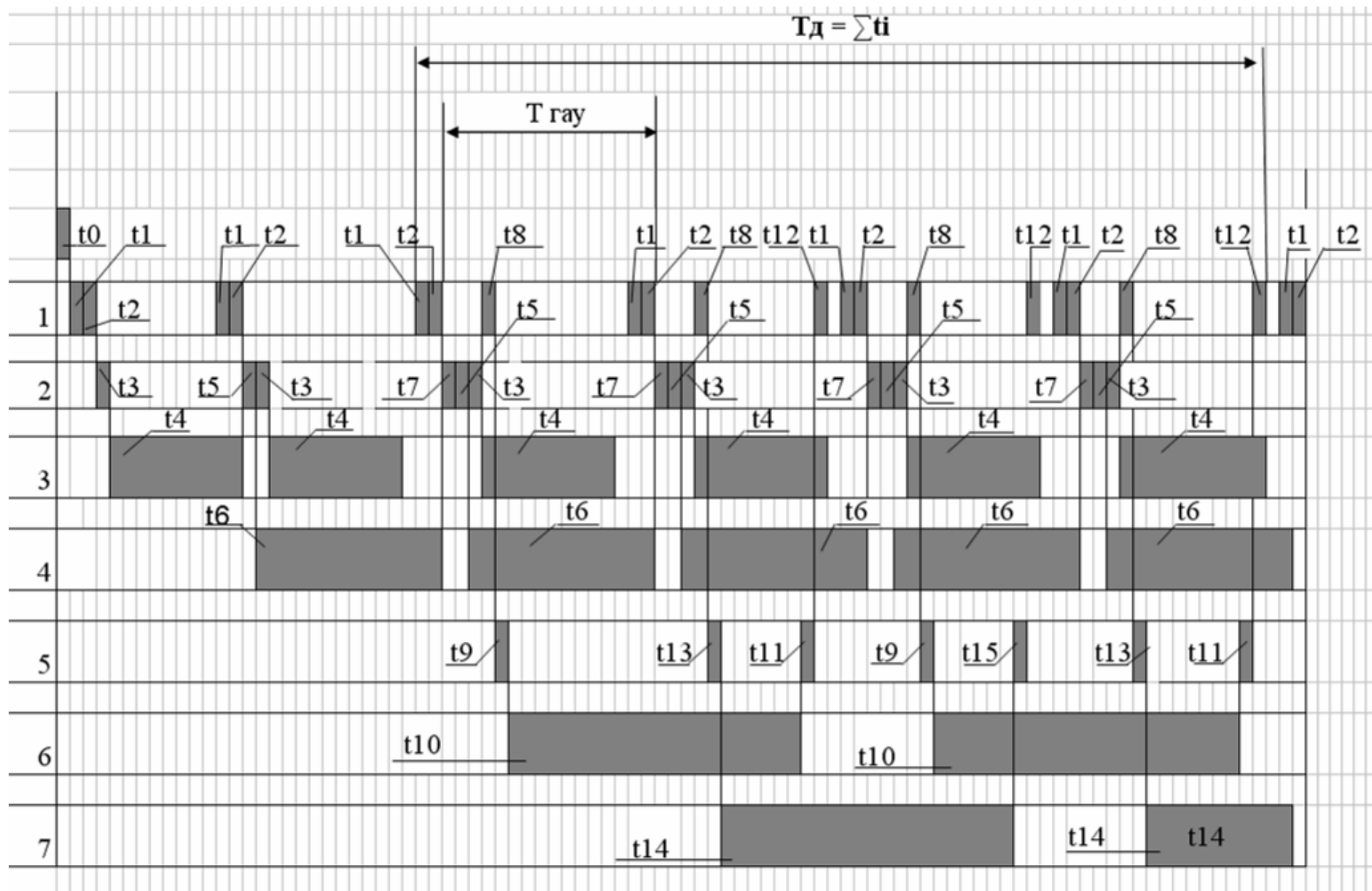


Рис.6.6. Совершенствование цикла ГАУ на базе привлечения дополнительного станка

Соответствие каждого действия (такта) технологического цикла условиям его выполнения было проверено путем пошаговой проверки циклограммы (рис.6.6) с применением разработанных ранее матриц входных и выходных инцидентов (табл.6.4, табл.6.5).

6.3. Совершенствование работы гибкого производственного модуля

В качестве примера технологического цикла работы ГПМ рассмотрим операцию выполнения детали с применением токарного станка с ЧПУ, ПР с манипулятором и кассеты накопителя (рис.6.7). Токарный станок выполняет комбинированную обработку детали; ПР перемещает заготовку и готовую деталь между станком и кассетой накопителя.

На рис.6.7,*а* манипулятор изображен в момент установки заготовки в патрон токарного станка; на рис.6.7,*б* манипулятор изображен в промежуточной позиции. Инструменты станка установлены в револьверной головке 2; смена инструмента осуществляется поворотом револьверной головки относительно оси O_4-O_4 в стороне от зоны обработки. Крепление заготовки в токарном патроне 1 осуществляется захватным устройством 6. Перемещение заготовки 8 и готовой детали 9 между кассетой 7 и патроном 1 станка осуществляется с помощью ПР, который имеет в своем составе манипулятор 3 с двумя захватными устройствами (захватами) 4 и 5. Захватное устройство №1 4 предназначено для фиксации заготовок; захватное устройство №2 5 – для фиксации готовых деталей. Смена пространственного положения захватов №1 и №2 осуществляется с помощью разворота манипулятора 3 относительно оси O_2-O_2 на 180°. Разворот манипулятора осуществляется в промежуточной позиции ПР (рис.6.7,*б*).

Исполнительными элементами ГПМ являются *ПРИВОДЫ* токарного станка и ПР. В процессе моделирования технологического цикла две группы приводов, выполняющие совместные действия, были условно объединены в «совмещенный» исполнительный элемент. Это:

- группа приводов токарного станка, участвующих непосредственно в процессе комбинированной обработки детали;
- группа приводов ПР, осуществляющих перемещение и ориентацию манипулятора в пространстве.

Список и кодированные обозначения исполнительных элементов ГПМ на циклограммах приведены в табл.6.7.

В рассматриваемом примере последовательность действия исполнительных элементов ГПМ в период загрузки технологического цикла и в процессе штатной работы оборудования несколько отличаются между собой. Поэтому было принято решение начать разработку имитационной модели производственного процесса с построения циклограммы штатной автоматической работы ГПМ. Детальное описание и хронометраж событий модели приведены в табл.6.8.

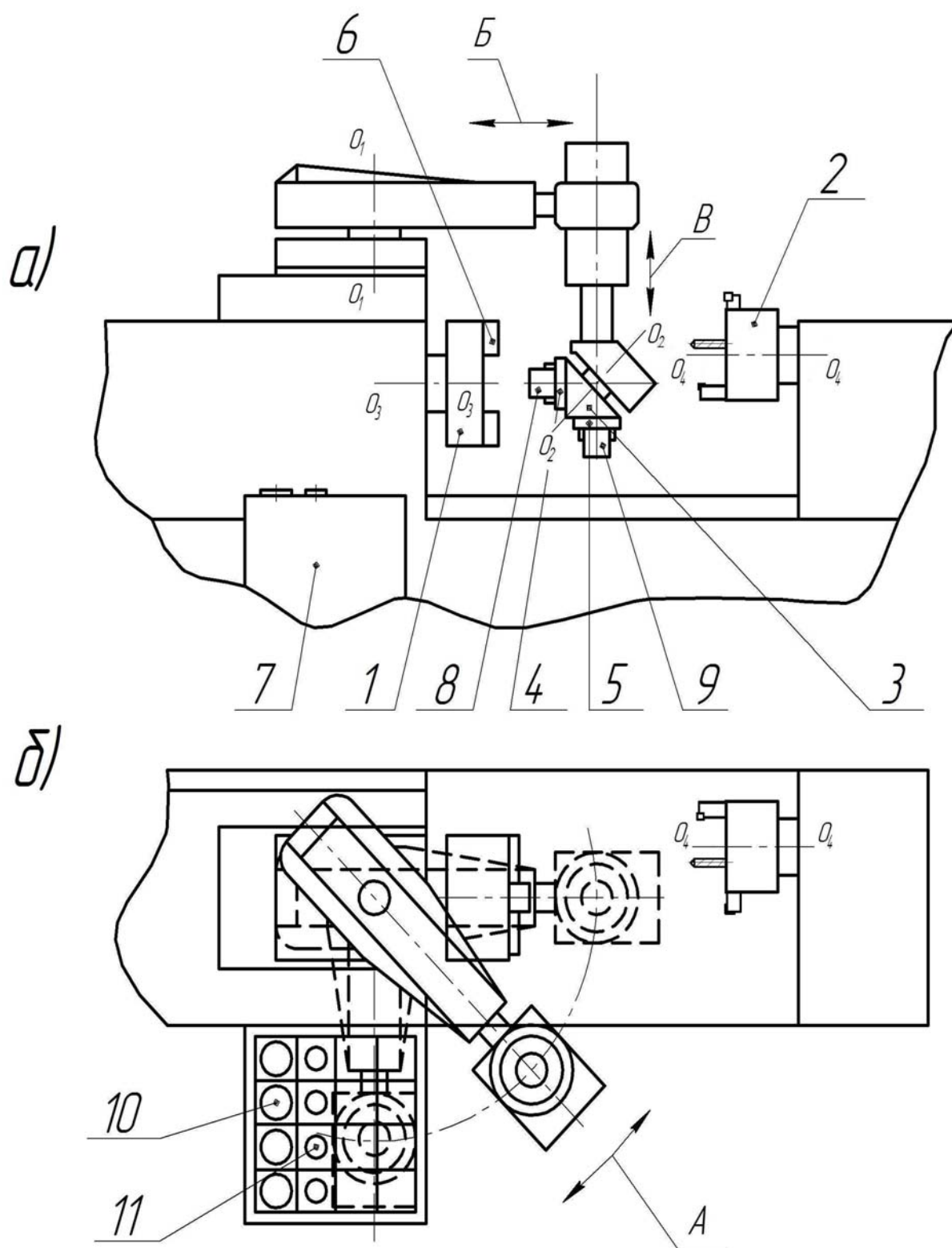


Рис.6.7. Структурная схема гибкого производственного модуля:

а) манипулятор в рабочей зоне токарного станка; б) манипулятор в промежуточной позиции;

1 – токарный патрон; 2 – револьверная головка; 3 – манипулятор; 4 – захватное устройство (захваты) №1 для фиксации заготовок; 5 – захватное устройство (захваты) №2 для фиксации готовых деталей; 6 – захватное устройство токарного патрона; 7 – кассета накопителя; 8 – заготовка; 9 – готовая деталь; А, Б, В – направления движений манипулятора

Таблица 6.7

Модуль	Код и наименование исполнительного элемента	
Токарный станок с ЧПУ	1	Исполнительный элемент обработки детали (совмещенный)
	2	Захватное устройство токарного патрона (захват заготовок)
Промышленный робот (ПР)	3	Исполнительный элемент перемещения манипулятора в пространстве (совмещенный)
	4	Привод разворота манипулятора
	5	Захватное устройство №1 манипулятора (захват заготовок)
	6	Захватное устройство №2 манипулятора (захват готовых деталей)

Таблица 6.8

Код исполнительного элемента	СОБЫТИЯ МОДЕЛИ – штатная работа системы		
	Символ события	Продолжительность, с.	ОПИСАНИЕ СОБЫТИЯ
3	<i>t1</i>	10	Перемещение к токарному патрону
6	<i>t2</i>	5	Захват готовой детали устройством №2
2	<i>t3</i>	5	Захватное устройство патрона разжато
3	<i>t4</i>	10	Отвод в промежуточную позицию
4	<i>t5</i>	5	Разворот: захваты №1 горизонтально, захваты №2 вертикально
3	<i>t6</i>	10	Перемещение к токарному патрону
2	<i>t7</i>	5	Захват заготовки устройством патрона
5	<i>t8</i>	5	Захватное устройство №1 разжато
3	<i>t9</i>	10	Отвод в промежуточную позицию
3	<i>t10</i>	10	Перемещение к свободной ячейке кассеты
6	<i>t11</i>	5	Захватное устройство №2 разжато
3	<i>t12</i>	10	Отвод в промежуточную позицию
4	<i>t13</i>	5	Разворот: захваты №1 вертикально, захваты №2 горизонтально
3	<i>t14</i>	10	Перемещение к заготовке в кассете
5	<i>t15</i>	5	Захват заготовки устройством №1
3	<i>t16</i>	10	Отвод в промежуточную позицию
1	<i>t17</i>	300	Выполнение обработки детали на станке

Таблица 6.9

Код исполнительного элемента	СОБЫТИЯ МОДЕЛИ – период загрузки системы		
	Символ события	Продолжительность, с.	ОПИСАНИЕ СОБЫТИЯ
---	<i>t0</i>	---	Старт
3	<i>t01</i>	10	Отвод в промежуточную позицию
4	<i>t02</i>	5	Разворот: захваты №1 вертикально, захваты №2 горизонтально
2	<i>t03</i>	5	Захватное устройство патрона разжато
6	<i>t04</i>	5	Захватное устройство №2 разжато
5	<i>t05</i>	5	Захватное устройство №1 разжато

Как отмечалось выше, все циклы автоматической обработки деталей замкнуты. Поэтому их построение может быть начато с любого действия любого исполнительного элемента ГПМ. Выберем в качестве условной точки начала технологического цикла момент окончания токарной обработки детали. В этой точке исполнительные элементы ГПМ имеют следующие позиции:

- **ПАТРОН ТОКАРНОГО СТАНКА** остановлен; его захватное устройство удерживает готовую деталь « i »;
- **МАНИПУЛЯТОР** находится в промежуточной позиции; его захватное устройство №2 установлено горизонтально в положении «РАЗЖАТО»; захватное устройство №1 установлено вертикально и удерживает следующую по ходу выполнения производственной партии заготовку « $i+1$ ».

На первом этапе моделирования был разработан технологический цикл, включающий в себя последовательные действия исполнительных элементов. ГПМ работает следующим образом. После окончания токарной обработки манипулятор подъезжает к патрону токарного станка; и захваты №2 зажимают готовую деталь « i », а захваты патрона ее разжимают. Затем манипулятор с готовой деталью отъезжает в промежуточную позицию и разворачивается относительно оси O_2-O_2 на 180° . В результате разворота заготовка « $i+1$ » в захватном устройстве №1 оказывается в горизонтальном положении. После этого манипулятор подъезжает к патрону токарного станка, «передает» ему заготовку « $i+1$ » и отъезжает в промежуточную позицию.

Далее манипулятор приближается к кассете, помещает готовую деталь « i » в свободную ячейку, отъезжает в промежуточную позицию, разворачивается относительно оси O_2-O_2 на 180° , вновь подъезжает к кассете и фиксирует новую заготовку « $i+2$ » в захватах №1. Затем манипулятор возвращается в промежуточную позицию и останавливается в режиме ожидания.

После этого начинается операция обработки заготовки « $i+1$ » на токарном станке. Циклограмма производственного процесса приведена на рис.6.8. Из циклограммы следует, что время цикла выполнения детали на ГПМ $T_{ГПМ}$ равно суммарному времени работы его исполнительных элементов $\sum t_i$:

$$T_{ГПМ} = \sum t_i.$$

Повышение эффективности технологического цикла осуществлялось за счет совмещения во времени действий исполнительных элементов, решающих отдельные задачи в процессе одного технологического цикла.

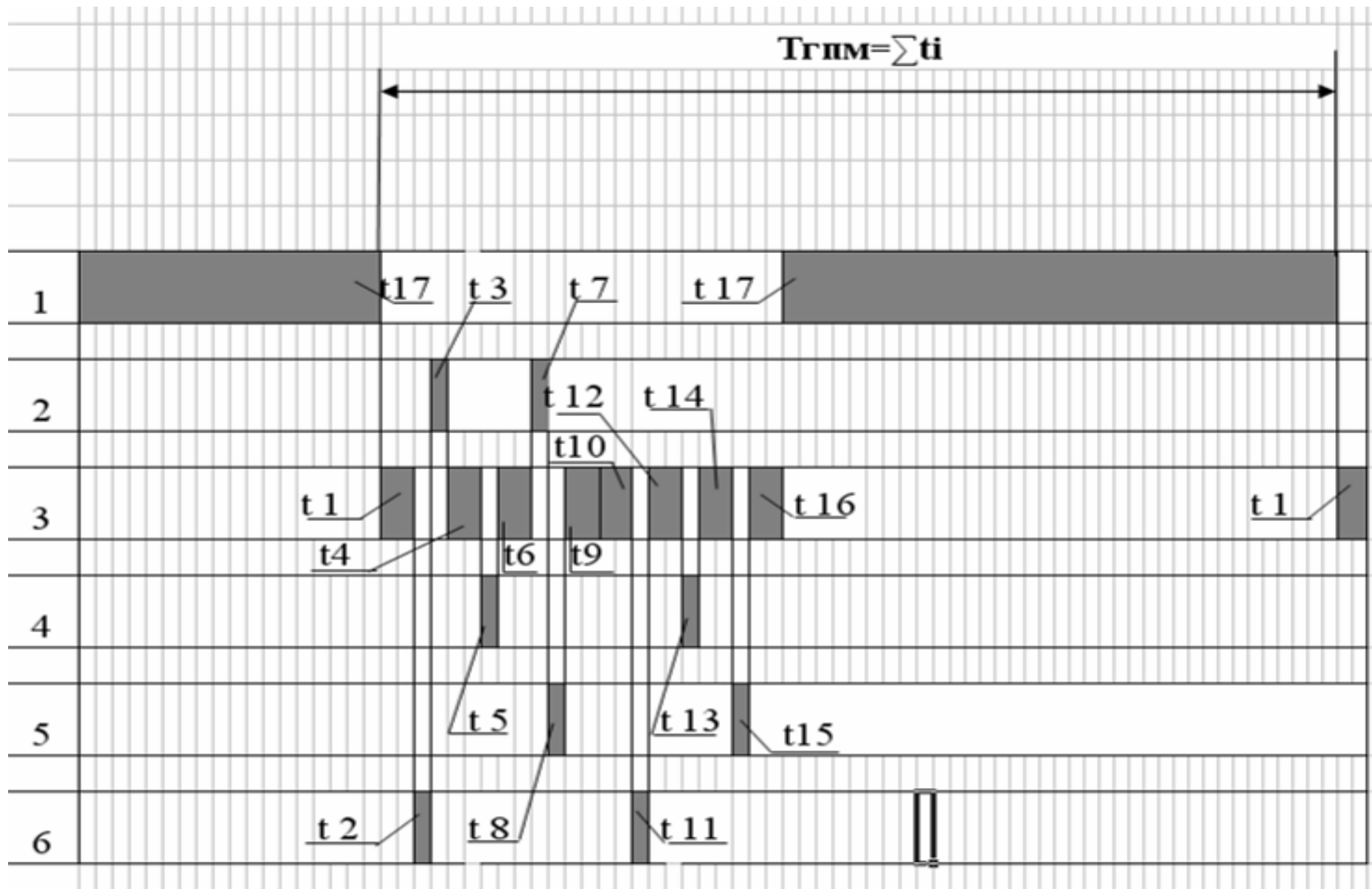


Рис.6.8. Структурная схема базового цикла обработки детали на ГПМ

Было отмечено, что часть перемещений манипулятора 3 (рис.6.7) может производиться одновременно с процедурой обработки детали на токарном станке. Станок может начинать обработку заготовки « $i+1$ » сразу после того, как манипулятор с готовой деталью « i » отъехал от патрона в промежуточную позицию. В усовершенствованном технологическом цикле (рис.6.9) все перемещения манипулятора, направленные на складирование готовой детали « i » в кассету и подготовку новой заготовки « $i+2$ » выполнялись параллельно с обработкой заготовки « $i+1$ » в токарном станке. Как видно из циклограммы, комбинированная обработка детали на токарном станке продолжительнее действий манипулятора, поэтому часть времени до окончания работы станка манипулятор находился в режиме ожидания с подготовленной заготовкой « $i+2$ », зафиксированной в захватах №1.

Сравним суммарное время работы исполнительных элементов ГАУ $\sum t_i$ и время цикла выполнения детали на ГПМ $T_{\text{ГПМ}}$. Расчет показал, что проведенное нами совершенствование технологического цикла позволила сократить его продолжительность примерно на 15%:

$$\sum t_i = 420 \text{ с.}; T_{\text{ГПМ}} = 365 \text{ с.}$$

На последнем этапе разработки модели штатный технологический цикл был экстраполирован на период загрузки ГПМ (рис.6.9). Цикл был дополнен событием t_0 (команда «Старт») и последующими действиями $t_0...t_{05}$ (табл.6.9), предназначенными для вывода исполнительных элементов ГПМ в положение, обеспечивающее ее запуск.

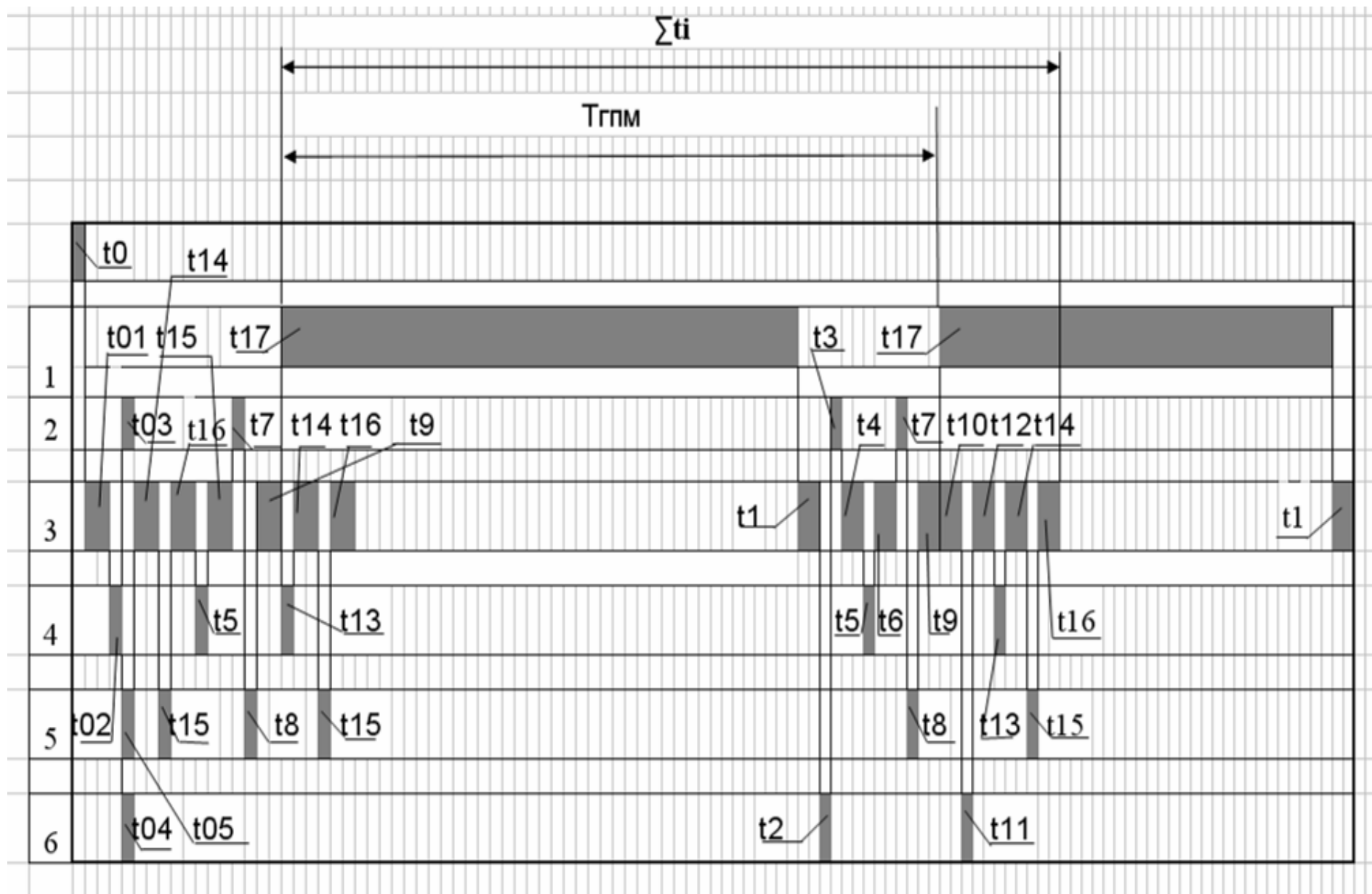


Рис.6.9. Структурная схема оптимизированного цикла ГАУ

7. ОРГАНИЗАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

7.1. Классификация деталей

Система обеспечения качества выпускаемой продукции на большинстве предприятий разрабатывается заводским Отделом главного технолога (ОГТ) и согласуется с Заказчиком. Рассмотрим систему, широко применяемую в производстве изделий высшего уровня ответственности и сложности. Для эффективного управления качеством все детали, выполняемые на станках с ЧПУ, разделяют на классы в зависимости от эксплуатационной важности, а также конструктивно-технологических признаков. Методика определения КЛАССА ДЕТАЛИ разрабатывается в ОГТ и оформляется в виде Стандарта предприятия. Детали разделяются на три и более класса.

КЛАСС 1 включает в себя:

- **по согласованию с Заказчиком** – детали особой эксплуатационной важности, от качества выполнения которых зависит жизнь людей; это могут быть, например, детали систем управления подводных лодок, шасси самолетов и т.д.
- **если согласование не требуется** – детали высшей категории сложности с большим числом высокоточных размеров, обработка которых требует проведения нескольких разнородных операций на многофункциональном технологическом оборудовании с ЧПУ.

КЛАСС 2 включает в себя:

- **по согласованию с Заказчиком** – детали повышенной эксплуатационной важности, от качества выполнения которых зависит бесперебойная работа сложных систем, таких как автоматизированные производственные комплексы, навигационное оборудование и т.д.
- **если согласование не требуется** – детали повышенной сложности, содержащие высокоточные размеры, обработка которых требует, в частности, выполнения комплексных операций на станках с ЧПУ.

КЛАСС 3 и ниже – детали общемашиностроительной сложности.

Каждой детали Класса 1 присваивается индивидуальное имя, например «**14894-0032 07_18**». Имя обычно включает в себя номер чертежа (**14894-0032**), а также индивидуальный шифр детали, содержащий порядковый номер партии (**07**) и номер детали в партии (**18**). Данное имя фигурирует во всех сопроводительных документах детали, включая эксплуатационные.

Деталям Класса 2 индивидуальное имя не присваивается; при этом имя присваивается партии в целом, например «**16694-0007 76**». Имя включает в себя номер чертежа (**16694-0007**) и порядковый номер партии (**76**). Имя партии фигурирует во всех сопроводительных документах детали.

Нелицензионное копирование и изготовление контрафактных деталей Классов 1 и 2 на отраслевых ремонтно-эксплуатационных предприятиях категорически запрещено. Очевидно, что детали Класса 1 с выгравированным именем подделать практически невозможно. Для исключения возможности контрафактного изготовления деталей Класса 2, не имеющих гравировки, на них наносится специальное клеймо завода-изготовителя, содержащее определенный буквенно-цифровой код. Нанесение клейма либо гравировки производится на свободных малоответственных местах детали по отдельной технологической операции. Место расположения, текст и общий вид клейма либо гравировки указывается на отдельном маршрутном эскизе.

7.2. Контроль качества выпускаемой продукции

Выполнение деталей Класса 2 сопровождается оформлением ГРУППОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПАСПОРТА (табл.7.1). В основную надпись паспорта вносятся номер чертежа и порядковый номер партии, а также первоначальное количество деталей в партии. В паспорте перечислены все технологические операции в строгом соответствии с комплектом технологической документации (ТД). Напротив обозначения очередной операции записывается количество деталей, которые передаются для дальнейшей обработки. Очевидно, что по мере выполнения деталей их количество из-за возникающих отбраковок немного снижается. Напротив обозначения каждой операции в паспорте проставляются личные подписи лиц, ответственных за ее выполнение (обычно это Исполнитель и Контролер БТК), а также делаются записи о выявленных производственных дефектах.

Выполнение деталей Класса 1 сопровождается оформлением ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПАСПОРТА (табл.7.2). В основную надпись паспорта вносятся номер чертежа и шифр детали. Как и в предыдущем документе, в паспорте перечислены все технологические операции; напротив их обозначений предусматриваются личные подписи ответственных лиц, а также записи о выявленных дефектах.

Контролер БТК осуществляет проверку первой (наладочной) детали партии, а также проверку серийных деталей в соответствии с техническими условиями, содержащими, например, требования: **«При выполнении операции БТК контролировать каждую пятую деталь»**. Для отдельных операций технологи могут задавать требования по специальным условиям проведения измерений, например: **«Биение поверхности (1) относительно поверхности (4) – $[0.025]_{\max}$ контролировать в станке без снятия детали**.

Часто для проведения особо сложных измерений в процессе выполнения детали задействуется автоматизированное оборудование с ЧПУ, такое как координатно-измерительные машины (КИМ). Эти машины обычно образуют отдельный участок, обслуживающий весь производственный комплекс.

Таблица 7.1

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ ГРУППОВОЙ			10668-0102 Цанга		Класс детали: 2	Порядковый № партии: 76	Кол-во деталей в партии: 150	
№ цеха	№ операции	Наименование операции	Кол-во деталей	Исполнитель	Дата и подпись	Контролер БТК	Дата и подпись	Выявленные дефекты
03	000	КОНТРОЛЬ МАТЕРИАЛА	—	Иванова	17.05.99	—		
07	005	ЗАГОТОВИТЕЛЬНАЯ	150	Петров	18.5.99	Сидорова	18.5.99	
20	010	ТЕРМИЧЕСКАЯ	150	Мамонтов	21.5.99	Мусеева	21.5.99	
20	015	ТОКАРНАЯ	149	Ваннин	25.9.99	Федин	26.9.99	ф23+0,035 провален
06	020	ТОКАРНАЯ С ЧПУ	149	Иванов	31.5.99	Икрева	01.06.99	
12	025	КОНТРОЛЬНАЯ	147	—		Канюва Л.	03.06.99	11-0,02-А не выдержан
06	030	ТОКАРНАЯ С ЧПУ	147	Васин	11.6.99	Оглова	11.6.99	
06	035	КОНТРОЛЬНАЯ	147	—		Ганина	14.6.99	

Таблица П.7.2

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ			14894-0032 КЛАПАН		Класс детали: 1		Индивидуальный шифр детали:	
№ цеха	№ операц.	Наименование операции	Исполнитель	Дата и подпись	Контролер БТК	Дата и подпись	Выявленные дефекты	
03	000	КОНТРОЛЬ МАТЕРИАЛА						
		(и т.д.)						

Измерения на КИМ регламентируются отдельной технологической операцией. Пример операционного описания: **«Контрольная операция. КИМ: контролировать размеры 3, 6, 9, а также “□ (плоскостность) – 0.03” (эскиз 4). Измерительное приспособление: XXXX»**. Запись в технологическом паспорте, устанавливающая требование на промежуточную контрольную операцию, приведена в табл.7.1, операция 025.

Текущий и выходной контроль деталей Классов 1 и 2 осуществляется на базе КАРТ ОПЕРАЦИОННОГО / ВЫХОДНОГО КОНТРОЛЯ (табл.7.3), содержащих полные списки контролируемых размеров. Карты разрабатываются в ОГТ и являются обязательным приложением к комплекту ТД. Карта включает в себя две части:

- лист 1 карты содержит описание общетехнических требований к выполнению проверки детали;
- последующие листы карты содержат полный перечень контролируемых параметров.

Карта операционного / выходного контроля составляется на базе соответствующего технологического описания процесса изготовления детали. Карта разрабатывается на базе требований, заданных общими техническими условиями выполнения операции. Перечень контролируемых параметров составляется методом «кругового обхода» всех элементов эскиза на данную операцию: общих технических условий, проекций, видов и сечений. На основании операционного описания в карту контроля вносятся указания на применение соответствующих измерительных инструментов и оборудования.

Также как измерения на КИМ (см. выше), заключительный контроль детали регламентируются отдельной технологической операцией. Пример: запись **«Контрольная операция»** в технологическом паспорте (табл.7.1, операция 035). Приемка-сдача готовой детали осуществляется на базе КАРТЫ ВЫХОДНОГО КОНТРОЛЯ, которая обычно согласуется с Заказчиком. Методика ее разработки аналогична методике для карт операционного контроля (см. выше). В частности, перечень контролируемых размеров составляется методом «кругового обхода» чертежа детали.

Для деталей Класа 1 предусматривается сквозной контроль деталей БТК и Заказчиком. Для деталей Класа 2 обычно предусматривается выборочный контроль. При этом процент контролируемых деталей определяется Регламентом проведения заключительной контрольной операции. При обнаружении отклонений от чертежа вся партия деталей возвращается в производство для проведения сквозного контроля и устранения причин возникновения брака.

Контролер БТК в обязательном порядке вносит результаты проверки детали в КАРТУ КОНТРОЛЯ БТК под свою подпись и персональную ответственность (табл.7.4). Полный перечень контролируемых размеров переносится в карту контроля БТК из карты операционного контроля либо из карты выходного контроля (в зависимости от стадии выполнения детали). При заполнении карт Контролер БТК вносит в соответствующие разделы документа фактические размеры и записи о выявленных дефектах.

Таблица 7.3

Инв. № подл.		Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подпись и дата		На основании ГОСТ 3.1502-74			
Бланк О.Г.Т.	№ цеха	№ уч-ка	№ операции	№ эскиза	Карта операционного / выходного контроля					Контроль деталей: процент / периодичность			
	12	4	040	4						20% / контролировать каждую пятую			
Наименование операции			№ чертежа		Шифр детали / партии					Наименование детали		Класс детали	
Комплексная с ЧПУ			14894-0032		14894-0032 07_18					Корпус фильтров		1	
Номер	ИЗМЕРЕНИЯ					Приспособление (код, наименов.)		Измерительный инструмент (код, наименов.)		ОСОБЫЕ УКАЗАНИЯ			
1	Проверить деталь на отсутствие заусенцев, забоин, нарушение покрытия, трещин									Внешний осмотр			
2	Проверить отсутствие в отверстиях, полостях и на поверхностях детали стружки, загрязнений, коррозии и т.д.									Внешний осмотр			
3	Проверить соответствие шероховатости поверхностей эскизу сравнением с эталонами шероховатости									Согласно типовой карте контроля шероховатости			
4	Проверить притупление острых кромок, наличие фасок									Согласно типовой карте проверки кромок			
5	Проверить притупление сходной и заходной ниток и отсутствие заусенцев на резьбе									Внешний осмотр			
6	Проверить отметки БТК в технологическом паспорте о выполнении требований предыдущих операций									Наличие клейм или подписей ответственных лиц БТК			
7	Проверить твердость по ТУ маршрутного описания									Наличие отпечатка твердости			
8	Проверить правильность соединений каналов и отверстий									Согласно эскизу			
9	Проверить наличие и правильность нанесения маркировок									Согласно эскизу			
10	Проверить геометрические размеры детали (см. след. листы)									Согласно эскизу			
									Разраб.	Иванов И.И.			Лист
									Нач. ТБ ОГТ	Сидоров С.С.			1
									Нач. БТК	Васин В.В.			Листов
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Н. контр	Иванова А.А.		3

Инв. № подл.		Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата		На основании ГОСТ 3.1502-74						
Карта операционного / выходного контроля									№ операции	№ эскиза	№ чертежа			Шифр детали / партии		
									040	4	14894-0032			14894-0032 07_18		
Номер измерения		ИЗМЕРЕНИЯ				Приспособление (код, наименование)				Измерительный инструмент (код, наименование)				ОСОБЫЕ УКАЗАНИЯ		
		ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ:														
11		R=0.5...1								Шаблоны радиусные				8 мест		
		ГЛАВНЫЙ ВИД:														
12		L=80 ^{+0,3}								ШЦ-II-250-0,1						
13		R12±0,2								Шаблоны радиусные				4 места		
14		L=185 _{-0,4}								ШЦ-II-250-0,1						
15-18		140±0,05; 55±0,05; 110±0,05; 70±0,05								Мастер плита						
19		L=18 ^{+1,0} _{-0,5}								ШЦ-II-250-0,1						
20		□ (плоскостность) - 0.03				18-6535-00-2										
21		// (параллельность) - 0.05 - Г				18-6535-00-7										
		СЕЧЕНИЕ А-А:														
22		Ø12H7 ^(+0,018)								Калибр-пробка				2 отв.		
23		L=14 _{-0,1}								ШГ-160-0,05				2 места		
24		4x45° (зенковка)				1671-5100-76								2 места		
															Лист	
															2	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Инв. № подл.		Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата		На основании ГОСТ 3.1502-74					
Карта операционного / выходного контроля									№ операции	№ эскиза	№ чертежа		Шифр детали / партии		
									040	4	14894-0032		14894-0032 07_18		
Номер измерения	ИЗМЕРЕНИЯ						Приспособление (код, наименование)			Измерительный инструмент (код, наименование)			ОСОБЫЕ УКАЗАНИЯ		
	ВИД СЛЕВА:														
25	L=80 _{-0,15}									ШГ-160-0,05					
26	B=14 ^{+0,43}						1671-5100-54								
27	M8-7H									Резьбовая пробка			4 отв.		
28	L=12min (по резьбе)									Резьбовая пробка			4 отв.		
29	L=15min (по отверстию)									ШЦ-I-125-0,1			4 отв.		
30	// (параллельность) - 0.05 - В						1671-5100-36								
	СЕЧЕНИЕ Б-Б														
31	Ø14H14 ^(+0,43)									Калибр-пробка Ø14H14					
32	L=8 _{-0,3}									ШЦ-I-125-0,1					
33	H=6±0,2									ШЦ-I-125-0,1					
															Лист
															3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Таблица 7.4

КАРТА КОНТРОЛЯ БТК		Лист: 1	Листов: 1
№ чертежа: 14894-0032		Шифр детали/партии: 14894-0032 07_18	№ операции: 040
Контролер БТК:		Подпись и дата:	№ эскиза: 4
Заданные признаки	Фактические признаки	Выявленные дефекты	
Требования разделов 1-9 карты операционного/выходного контроля	<i>в напике</i>		
$L=80^{+0,3}$	<i>80.1</i>		
$R12\pm0,2$	<i>в допуске</i>		
$L=185_{-0,4}$	<i>184.9</i>		
$140\pm0,05$	<i>140.07</i>	<i>Отклонение</i>	
$55\pm0,05$	<i>55.05</i>		
$70\pm0,05$	<i>70.04</i>		
$L=18^{+1,0}_{-0,5}$	<i>17.9</i>		
□ (плоскостность) - 0.03	<i>0.01</i>		
// (параллельность) - 0.05 - Г	<i>0.04</i>		
$\varnothing 12H7^{(+0,018)}$	<i>в допуске</i>		
$L=14_{-0,1}$	<i>13.91</i>		
4x45° (зенковка)	<i>в допуске</i>		
$L=80_{-0,1}$	<i>80</i>		
$B=14^{+0,43}$	<i>14.2</i>		
M8-7H	<i>в допуске</i>		
$L=12\text{min}$ (по резьбе)	<i>11.5</i>	<i>Недорез резьбы</i>	
$L=15\text{min}$ (по отверстию)	<i>15</i>		
// (параллельность) - 0.05 - В	<i>0.05</i>		
$\varnothing 14H14^{(+0,43)}$	<i>14.1</i>		
$L=8_{-0,3}$	<i>7.95</i>		
$H=6\pm0,2$	<i>6.05</i>		

Таблица 7.5

КАРТА САМОКОНТРОЛЯ		Лист: 1	Листов: 1
№ чертежа: 14894-0032		Шифр детали/партии: 14894-0032 07_18	№ операции: 040
Исполнитель:		Подпись и дата:	№ эскиза: 4
Заданные признаки	Фактические признаки	Выявленные дефекты	
$70\pm0,05$	<i>70.04</i>		
□ (плоскостность) - 0.03	<i>0.01</i>		
// (параллельность) - 0.05 - Г	<i>0.04</i>		

Отметим, что техническое условие в операционном описании: **«Контроль Исполнителем и БТК»** означает сквозной контроль деталей Исполнителем и его персональную ответственность за невыявленный брак. Наиболее ответственные размеры подлежат контролю Исполнителем с обязательным заполнением КАРТЫ САМОКОНТРОЛЯ (табл.7.5). Указание Исполнителю заполнять карту самоконтроля и перечень контролируемых размеров задаются технологом путем введения соответствующих условий в операционное описание процесса, например: **«Исполнителю контролировать размеры 3, 6, 7, а также “// (параллельность) – 0.05 – Г” (эскиз 4). Заполнять карту самоконтроля».**

В случае выявления производственных дефектов на заводе-изготовителе принимаются специальные решения, преследующие три основные цели:

- свести к минимуму возможный ущерб от некачественной работы;
- проанализировать причины возникновения отклонений;
- выявление и наказание лиц, ответственных за брак.

Решения по деталям, выполненным с производственными дефектами, оформляются на специальном бланке **«Лист разрешений»**; их можно разделить на четыре группы.

- **ЕСЛИ ДЕФЕКТЫ ПОЛНОСТЬЮ УСТРАНИМЫ** – разрешение на доработку детали / деталей (табл.7.6); согласование с Разработчиком и Заказчиком не требуется.
- **ЕСЛИ ДЕФЕКТЫ ЧАСТИЧНО УСТРАНИМЫ** – определение границ применимости и условий эксплуатации детали / деталей; в ряде случаев требуется доработка деталей и изготовление индивидуальных сборочных комплектов (табл.7.7); разрешение следует согласовывать с Разработчиком и Заказчиком; на детали / деталях следует наносить специальную маркировку.
- **ЕСЛИ ДЕФЕКТЫ НОСЯТ НЕСУЩЕСТВЕННЫЙ ХАРАКТЕР** – разрешение на штатное использование детали / деталей, выполненных с отклонениями (табл.7.8); разрешение следует согласовывать с Разработчиком и Заказчиком; специальная маркировка не требуется.
- **ЕСЛИ ДЕФЕКТЫ НЕУСТРАНИМЫ** – решение об отбраковке детали / деталей (табл.7.9), оформление карты брака.

После сдачи детали Заказчику, КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДЕТАЛИ (совместно с соответствующей КАРТОЙ КОНТРОЛЯ БТК) становится неотъемлемой частью ПАСПОРТА ДЕТАЛИ. Паспорт сопровождает деталь вплоть до ее выхода из строя или списания. Для детали, выпущенной с отклонениями, ЛИСТ РАЗРЕШЕНИЯ также становится частью ПАСПОРТА. Одновременно с этим КАРТЫ КОНТРОЛЯ по всем операциям хранятся на заводе-изготовителе в течение полного срока службы изделия. Их наличие может потребоваться для разрешения конфликтных ситуаций, возможных в процессе эксплуатации.

Таблица 7.6

Форма 2а СТП 75-01

		Лист разрешения		№ ЛР			
Изделие	№ цеха	Разослать: ОГТ, ОГК		Лист	Листов		
	15			1	1		
Чертежный номер и наименование: 1671-2811А Крышка клапана				Количество (шт.) 8			
Производственный №							
Содержание отклонения (описание дефекта):				Шифр дефекта:			
Не выполнено требование по допуску параллельности поверхностей "С" и "D". Требования чертежа: $11 \ 0.03$. Фактически: $11 \ 0.05 \dots 0.07$ поверхности "С" относительно поверхности "D".							
Причина:				Шифр причины:			
Небрежная установка станочного приспособления							
Винновник отклонения (фамилия, И.О.)		Должность		Подпись	Дата		
Иванов А.И.		Фрезеровщик ЧПУ 5разряда		<i>Иванов</i>	07.04.2010		
Принятые меры: Лишить личного клейма до особого распоряжения. Лишить премии за 2 квартал на 30%							
Технолог	Нач. техбюро	Мастер	Ст. мастер	Нач. БТК	Нач. цеха		
<i>Борис</i> 8.04	<i>Касьян</i> 8.04	<i>Минин</i> 9.04	<i>Мур</i> 9.04	<i>Синица</i> 9.04	<i>Борис</i> 9.04		
подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата		
Заключение КБ Дефект устраним. Возможно шлифовать поверхность "С" с выполнением требований чертежа. Рекомендуем проверить предыдущую партию деталей.							
Особые отметки Работу оплатить за счет виновника.							
Заключение дано с учетом ранее выпущенных листов разрешения № —							
Должность	Фамилия	Подпись	Дата	Должность	Фамилия	Подпись	Дата
Конструктор	Камов	<i>Камов</i>	9.04.10	Гл. конструктор	Петров	<i>Петров</i>	11.04.10
Нач. бригады	—			Нач. отд.	—		
Нач. бр. прочности	—			Нач. отд.	—		
Доработку выполнил в соответствии с заключением КБ				Сидоров К.В. <i>Сидоров</i> 22.10.2010 производственный мастер, подпись, дата			
Доработку принял в соответствии с заключением КБ				Васин П.П. <i>Васин</i> 22.10.10. контрольный мастер, подпись, дата			
Представитель заказчика в цехе				Согласование не требуется фамилия, И.О., подпись, дата			
Технический директор		Директор по качеству		Представитель заказчика			
Горин В.В. <i>Горин</i> 30.04.2010 фамилия, И.О., подпись, дата		Гамов А.А. <i>Гамов</i> 30.04.10. фамилия, И.О., подпись, дата		— фамилия, И.О., подпись, дата			

Директор производства

СОГЛАСОВАНО: Предприятие-потребитель (головной разработчик)

Таблица 7.7

Форма 2а СТП 75-01

		Лист разрешения		№ ЛР	
Изделие	№ цеха	Разослать: ОГТ, ОГК, ОТК		Лист	Листов
	7			1	1
Чертежный номер и наименование: 1811-0032-1 Вспомогательный вал.				Количество (шт.) 1	
Производственный №					
Содержание отклонения (описание дефекта):				Шифр дефекта:	
Посадочный диаметр на хвостовике вала - -чертежный размер $\phi 12 \text{ h} 7$ - выполнен с фактическим размером $\phi 11.88$.					
Причина:				Шифр причины:	
Ошибка рабочего при расчете величины снимаемого припуска.					
Винovníк отклонения (фамилия, И.О.)		Должность		Подпись	Дата
Петров С.В.		шлифовщик 4 разряда			11.3.10.
Принятые меры: Вынести предупреждение.					
Технолог	Нач. техбюро	Мастер	Ст. мастер	Нач. БТК	Нач. цеха
 11.3	 12.3	 12.3	 12.3	 13.3	 13
подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата
Заключение КБ. Хвостовик перешлифовать вразм. $\phi 11.8 \text{ h} 7$. Выполнить отверстие в детали черт. 1811-0064Д вразм. $\phi 11.8 \text{ H} 8$. Применять детали совместно. Нанести специальную маркировку: \triangle на обе детали.					
Особые отметки Отнести доработку на стоимость комплекта.					
Заключение дано с учетом ранее выпущенных листов разрешения № —					
Должность	Фамилия	Подпись	Дата	Фамилия	Подпись
Конструктор	Сидоров		13.3.10	Гл. конструктор	Петров
Нач. бригады	—			Нач. отд.	—
Нач. бр. прочности	—			Нач. отд.	—
Доработку выполнил в соответствии с заключением КБ Семин А.А. 25.3.2010 производственный мастер, подпись, дата					
Доработку принял в соответствии с заключением КБ Коротков А.В. 25.3.2010 контрольный мастер, подпись, дата					
Представитель заказчика в цехе Павлов А.К. 25.3.2010 фамилия, И.О., подпись, дата					
Технический директор		Директор по качеству		Представитель заказчика	
Горин В.В. 26.3.10		Гамов А.А. 26.3.10		Павлов А.К. 27.3.10	
фамилия, И.О., подпись, дата		фамилия, И.О., подпись, дата		фамилия, И.О., подпись, дата	

Директор производства

СОГЛАСОВАНО: Предприятие-потребитель (головной разработчик)

Таблица 7.8

Форма 2а СТП 75-01

		Лист разрешения		№ ЛР	
Изделие	№ цеха	Разослать: ОГТ, ОГК		Лист	Листов
	15			1	1
Чертежный номер и наименование: 1837 - 1443 Втулка подшипника				Количество (шт.) 43	
Производственный №					
Содержание отклонения (описание дефекта):				Шифр дефекта:	
Не выполнен линейный размер "20±0.05". В деталях предъявленной партии данный размер выполнен в диапазоне "20 ^{+0.07} _{-0.08} ".					
Причина:				Шифр причины:	
Использование неисправного мерительного инструмента					
Винновник отклонения (фамилия, И.О.)		Должность		Подпись	Дата
Сидоров П.К.		токарь 4 разряда			09.04.10
Принятые меры: Лишить 20% премии за 2 квартал.					
Технолог	Нач. техбюро	Мастер	Ст. мастер	Нач. БТК	Нач. цеха
подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата
Заключение КБ Допускается применение деталей в штатных сборочных единицах.					
Особые отметки Специальная маркировка не требуется					
Заключение дано с учетом ранее выпущенных листов разрешения № —					
Должность	Фамилия	Подпись	Дата	Должность	Фамилия
Конструктор	Камов		16.4.10	Гл. конструктор	Петров
Нач. бригады	—			Нач. отд.	—
Нач. бр. прочности	—			Нач. отд.	—
Доработку выполнил в соответствии с заключением КБ Сидоров К.В. 20.4.2010 производственный мастер, подпись, дата					
Доработку принял в соответствии с заключением КБ Васин П.П. 22.4.10 контрольный мастер, подпись, дата					
Представитель заказчика в цехе Павлов А.К. 26.4.2010 фамилия, И.О., подпись, дата					
Технический директор		Директор по качеству		Представитель заказчика	
Горин В.В. 28.4.2010		Гамов А.А. 28.4.2010		Павлов А.К. 28.4.2010	
фамилия, И.О., подпись, дата		фамилия, И.О., подпись, дата		фамилия, И.О., подпись, дата	

Директор производства

СОГЛАСОВАНО: Предприятие-потребитель (головной разработчик)

Таблица 7.9

Форма 2а СТП 75-01

		Лист разрешения		№ ЛР	
Изделие	№ цеха	Разослать: ОГТ, ОГК		Лист	Листов
	12			1	1
Чертежный номер и наименование: 1185-2315-11 Корпус подшипника				Количество (шт.) 1	
Производственный №					
Содержание отклонения (описание дефекта):				Шифр дефекта:	
Крупная забоина на посадочной поверхности Ø 60 \times 7. Длина \approx 8 мм, глубина \approx 2 мм.					
Причина:				Шифр причины:	
Скачок напряжения в электросети в момент выполнения технологического перехода на станке с ЧПУ.					
Винновник отклонения (фамилия, И.О.)		Должность		Подпись	Дата
Сидоров П.П.		ответственный за электроснабжение цеха № 12			08.07.2010
Принятые меры: Срочный ремонт электрической сети; проверка энергетического оборудования (внеплановая). Виновнику объявить выговор.					
Технолог	Нач. техбюро	Мастер	Ст. мастер	Нач. БТК	Нач. цеха
подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата
Заключение КБ					
Дефект неустраним. Применение детали невозможно. Списать деталь с оформлением карты брака. Заказать материал и инструмент для выполнения новой детали.					
Особые отметки 20% ремонта оплатить за счет виновника.					
Заключение дано с учетом ранее выпущенных листков разрешения №					
Должность	Фамилия	Подпись	Дата	Фамилия	Подпись
Конструктор	Сидоров		25.7.2010	Гл. конструктор	Петров
Нач. бригады	—	—	—	Нач. отд.	—
Нач. бр. прочности	—	—	—	Нач. отд.	—
Доработку выполнил в соответствии с заключением КБ					
производственный мастер, подпись, дата					
Доработку принял в соответствии с заключением КБ					
контрольный мастер, подпись, дата					
Представитель заказчика в цехе					
фамилия, И.О., подпись, дата					
Технический директор		Директор по качеству		Представитель заказчика	
				—	
фамилия, И.О., подпись, дата		фамилия, И.О., подпись, дата		фамилия, И.О., подпись, дата	

Директор производства

СОГЛАСОВАНО: Предприятие-потребитель (головной разработчик)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ: учеб. пособие / Ю.А. Бондаренко [и др.]. – Старый Оскол: ТНТ, 2009. – 292 с.
2. **Серебrenицкий, П. П.** Программирование для автоматизированного оборудования: учеб. пособие / П.П. Серебrenицкий, А.Г. Схиртладзе. – М.: Высш. шк., 2003. – 592 с.
3. **Иванов, А.А.** Автоматизация технологических процессов и производств: учеб. пособие / А.А. Иванов. – Н. Новгород: НГТУ, 2009. – 204 с.
4. **Петровский, А.Н.** Автоматизация производственных процессов в машиностроении: комплекс учебно-методических материалов / А.Н. Петровский, Е.А. Куликова. – Н. Новгород: НГТУ, 2000. – 120 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

Пример программирования технологической операции на многофункциональном токарно-фрезерном центре

Цель раздела – обучение принципам подготовки, пуско-наладки и программирования процессов комбинированной обработки деталей на многофункциональном токарно-фрезерном центре.

Исходные данные

Эскиз выполняемой детали – рис. П.1.1.

Заготовка – пруток $D=110$ мм; $L=104$ мм.

Материал – конструкционная сталь средней твердости ($HRC=30...40$).

Оборудование – токарно-фрезерный центр **INDEX**.

Модификация – станок с двумя инструментальными блоками (рис.1.22).

Тип инструментальных блоков – револьверная головка.

Емкость одной револьверной головки – 12 позиций.

Особенности системы ЧПУ – двухканальная система ЧПУ **Siemens** с раздельным программированием действий револьверных головок.

Язык программирования – **SINUMERIK-840D**.

Особенности подготовки операции

В рамках принятого технологического процесса деталь выполняется на станке **INDEX** по комбинированной операции за два установа: установ **A** и установ **B**. В рамках каждого установа производится выполнение черновой и чистовой обработки соответствующих поверхностей. Посадочная поверхность для базирования заготовки на установе **A** выполняется по предварительной токарной операции **005** на универсальном станке.

Крепление заготовки производится в трехкулачковом патроне. Нулевые точки системы координат детали располагаются на обработанной торцевой поверхности. Программы управления, разработанные для каждой из двух револьверных головок, обеспечивают в совокупности полный цикл обработки детали. На установе **A** нулевая точка кодируется **ZMW_1**, на установе **B** – **ZMW_2**. Останов станка с целью переворота детали производится автоматически командой УП **M0**; возобновление работы осуществляется с пульта управления клавишей «ПУСК».

Деталь по комбинированной операции выполняется общим комплектом инструментов. В **РГ1** размещены фрезерные инструменты, а также подрезной и проходные резцы, имеющие относительно небольшой вылет в направлении оси **Z**. В **РГ2** размещены сверло для выполнения центрального отверстия, а также все расточные резцы. Особенности структурной схемы станка требуют размещения токарных расточных резцов в **РГ2**, а также фрезерных инструментов в **РГ1** через одну позицию.

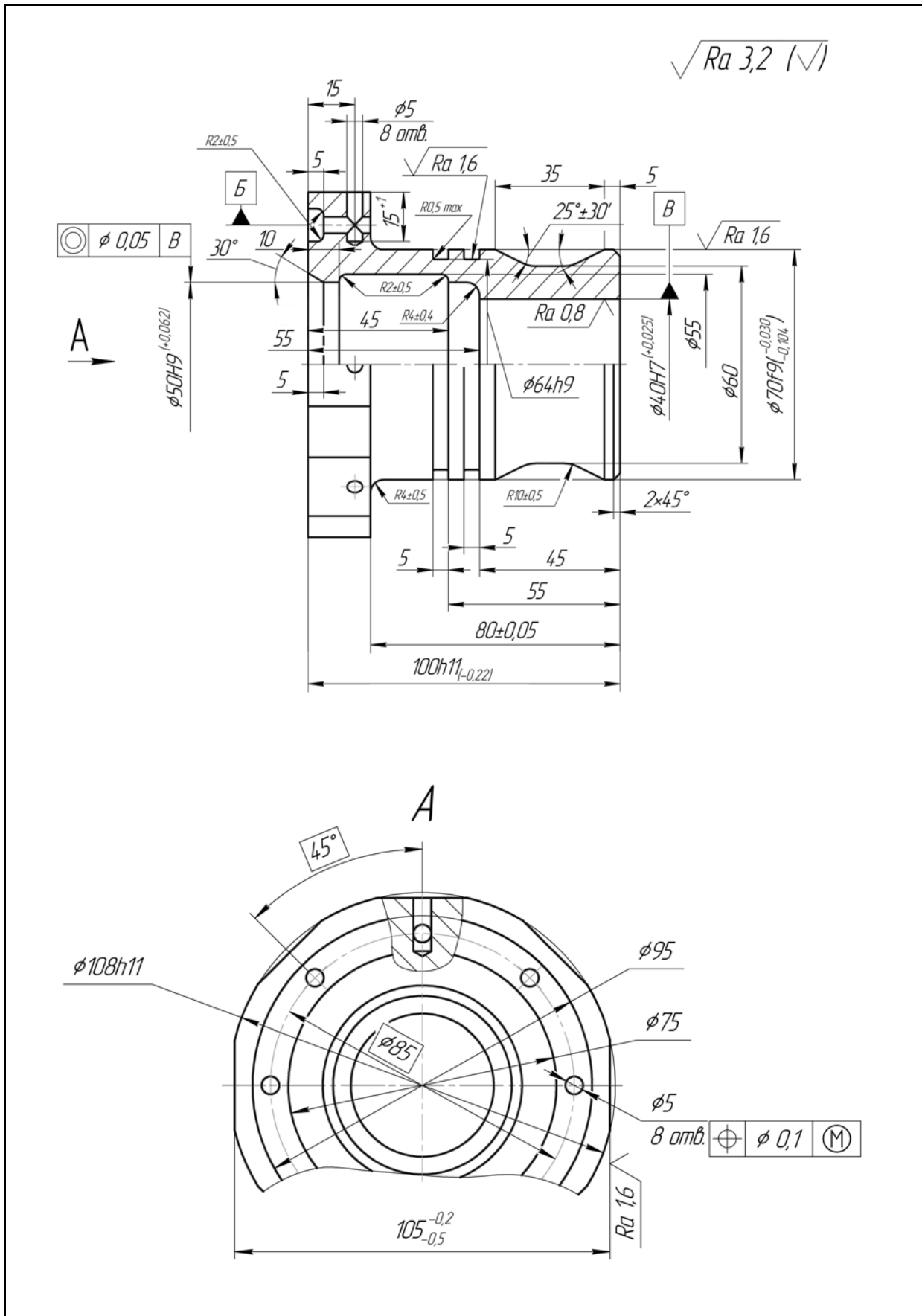


Рис. П.1.1. Эскиз детали

Таблица инструментов, размещенных в **РГ1**, приведена в табл. П.1.1. Таблица инструментов, размещенных в **РГ2**, приведена в табл. П.1.2. Номера инструментов (T_i) в таблицах соответствуют их позициям в револьверных головках. Краткое описание операции и переходов приведено в табл. П.1.3. Комплект маршрутных и операционных эскизов обработки детали по операциям **005** и **010** приведен на рис. П.1.2...рис. П.1.20.

Как уже отмечалось, координатная ось $X(2)$ для нижней револьверной головки **РГ2** направлена вниз (рис.1.22); соответственно $Y(2)$ направлена внутрь станка. С целью устранения проблем при расчете траекторий движения инструментов координатная система **РГ2** на операционных эскизах была условно развернута на 180° относительно оси вращения детали. Соответственно, на операционных эскизах все траектории движения инструментов, размещенных в **РГ2** (рис.1.22,б), оказались развернутыми относительно Z . Условный разворот системы координат **РГ2** обеспечил единое направление одноименных осей координатных систем **РГ1** и **РГ2**.

Особенности программирования переходов

На установе **А** комбинированной операции **010** осуществляется обработка детали токарными инструментами: подрезка торца, сверление центрального отверстия, выполнение черновой и чистовой обработки наружных и внутренних поверхностей. Сверление осуществляется за один прямой проход твердосплавным инструментом, обеспечивающим подачу СОЖ непосредственно в зону резания. Черновая и чистовая обработка наружного контура, внутреннего контура и наружных радиальных канавок осуществляется отдельными резцами. Черновое точение производится продольными перемещениями резца с применением стандартного цикла обработки по контуру. Черновая обработка канавок производится простым врезанием. Чистовая обработка канавок выполняется движениями по контуру с притуплением острых кромок. Обработка внутренней поверхности повышенной точности осуществляется дополнительным резцом. Отметим, что черновой и чистовой переходы (**П3** и **П6**) на установе **А** выполняются по однотипным траекториям; это позволило отобразить их на едином операционном эскизе (рис. П.1.6).

На установе **Б** комбинированной операции **010** выполняется обработка детали токарными и фрезерными инструментами: точение наружных поверхностей, расточка, выполнение внутренних и торцевых канавок, фрезерование плоскостей, сверление двух групп отверстий. Токарная обработка наружных и внутренних контуров производится резцами, которые были задействованы ранее при обработке детали на установе **А**. Черновая и чистовая обработка канавок на внутренней и торцевой поверхностях осуществляется совмещенными переходами соответствующего инструмента. Отсутствие отдельных инструментов для выполнения чистовых переходов вызвано ограниченной емкостью револьверных головок.

Таблица П.1.1

Код инструмента	Тип инструмента	Токарный инструмент			Фрезерный инструмент			Примечания
		Обозначение коррекции вершины резца	Код вершины резца	Радиус вершины резца	Фактический диаметр фрезы	Заданный диаметр фрезы	Обозначение плана обработки	
T1	Подрезной резец	D101	3	1,2	-	-	-	Черновая подрезка торца
T2	Упорный резец	D102	3	0,8	-	-	-	Черновая обработка наружных поверхностей
T3	Канавочный резец; ширина резца B=4 мм	D103	3	0,4	-	-	-	Черновая обработка наружной канавки
		D123	4	0,4	-	-	-	
T4	Контурный резец	D104	3	0,4	-	-	-	Чистовая обработка торцевой и наружных поверхностей
T5	Канавочный резец; ширина резца B=3 мм	D105	3	0,2	-	-	-	Чистовая обработка наружной канавки
		D125	4	0,2	-	-	-	
T7	Фреза концевая D=20 мм ; количество зубьев Z=6	D107	-	-	20	20	G17	Выполнение лысок
T9	Сверло твердосплавное D=5 мм	D109	-	-	5	-	G17	Сверление отверстий параллельно оси Z
T11	Сверло твердосплавное D=5 мм	D111	-	-	5	-	G19	Сверление отверстий параллельно оси X

Таблица П.1.2

Код инструмента	Инструмент	Токарный инструмент			Примечания
		Обозначение коррекции вершины резца	Код вершины резца	Радиус вершины резца	
T1	Сверло с твердосплавными пластинами D=35 мм	D201	-	-	Сверление центрального отверстия
T3	Расточной упорный резец	D203	2	0,8	Черновая обработка внутренней цилиндрической поверхности
T5	Расточной контурный резец	D205	2	0,4	Чистовая обработка внутренней цилиндрической поверхности
T7	Расточной Контурный резец	D207	2	0,2	Обработка внутренней цилиндрической поверхности повышенной точности
T9	Расточной канавочный резец B=5 мм	D209	2	0,4	Обработка внутренней канавки
		D229	1	0,4	
T11	Торцевой канавочный резец B=4 мм	D211	2	0,2	Обработка торцевой канавки
		D231	3	0,2	

Таблица П.1.3

005 ТОКАРНАЯ ОПЕРАЦИЯ			
Условное обозначение перехода		Описание перехода	
Переход <i>П01</i> (рис. П.1.2)		Подрезать торец, выдерживая размер <i>3</i>	
Переход <i>П02</i> (рис. П.1.2)		Точить поверхность, выдерживая размеры <i>1</i> и <i>2</i>	
010 КОМБИНИРОВАННАЯ ОПЕРАЦИЯ			
Условное обозначение перехода	Револьверная головка	Инструмент (корректор длины)	Описание перехода
1	2	3	4
Установ <i>А</i> (рис. П.1.3)	-	-	-
Переход <i>П1</i> (рис. П.1.4)	РГ1	<i>Т1 (D101)</i>	Подрезать торец, выдерживая размер <i>1</i>
Переход <i>П2</i> (рис. П.1.5)	РГ2	<i>Т1 (D201)</i>	Сверлить отверстие, выдерживая размер <i>1</i>

1	2	3	4
Переход ПЗ (рис. П.1.6)	РГ2	T3 (D203)	Расточить отверстие, выдерживая размеры 1,2
Переход П4 (рис. П.1.7)	РГ1	T2 (D102)	Точить комбинированную поверхность, выдерживая размеры 1...10
Переход П5 (рис. П.1.8)	РГ1	T3 (D103)	Точить две канавки, выдерживая размеры 1...6
Переход П6 (рис. П.1.6)	РГ2	T5 (D205)	Расточить отверстие, выдерживая размеры 3,4
Переход П7 (рис. П.1.9)	РГ1	T4(D104)	Точить комбинированную поверхность, выдерживая размеры 1...9
Переход П8 (рис. П.1.10)	РГ1	T5 (D105/D125)	Точить две канавки, выдерживая размеры 1...6
Переход П9 (рис. П.1.11)	РГ2	T7 (D207)	Расточить отверстие, выдерживая размеры 1,2
Установ Б (рис. П.1.12)	-	-	-
Переход П10 (рис. П.1.13)	РГ2	T3 (D203)	Расточить комбинированную поверхность, выдерживая размеры 1...5
Переход П11 (рис. П.1.14)	РГ2	T9 (D209/D229)	Расточить выточку, выдерживая размеры 1...4
Переход П12 (рис. П.1.15)	РГ2	T11 (D211/D231)	Точить торцевую выточку, выдерживая размеры 1...4
Переход П13 (рис. П.1.16)	РГ1	T4 (D104)	Точить поверхности, выдерживая размеры 1,2
Переход П14 (рис. П.1.17)	РГ2	T5 (D205)	Расточить комбинированную поверхность, выдерживая размеры 1...5
Переход П15 (рис. П.1.18)	РГ1	T7 (D107)	Фрезеровать 8 лысок, выдерживая размеры 1,2
Переход П16 (рис. П.1.19)	РГ1	T9 (D109)	Сверлить 8 отверстий, выдерживая размеры 1...3
Переход П17 (рис. П.1.20)	РГ1	T11 (D111)	Сверлить 8 отверстий, выдерживая размеры 1...3

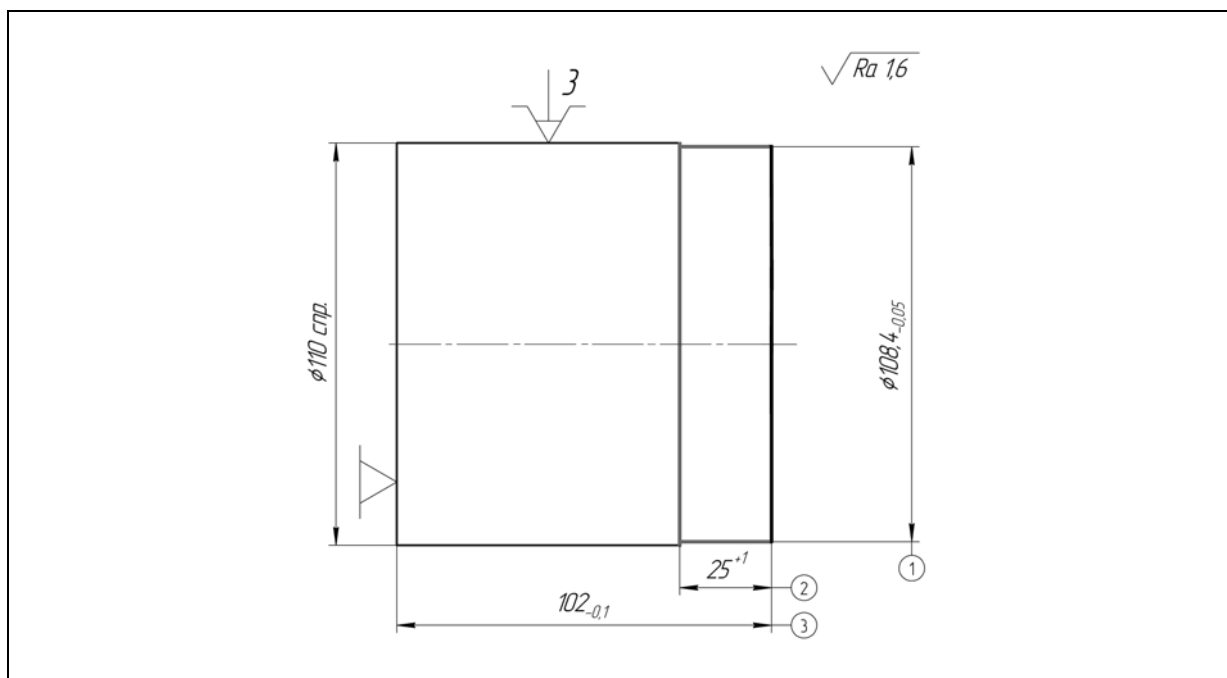


Рис. П.1.2. Эскиз обработки детали по предварительной токарной операции

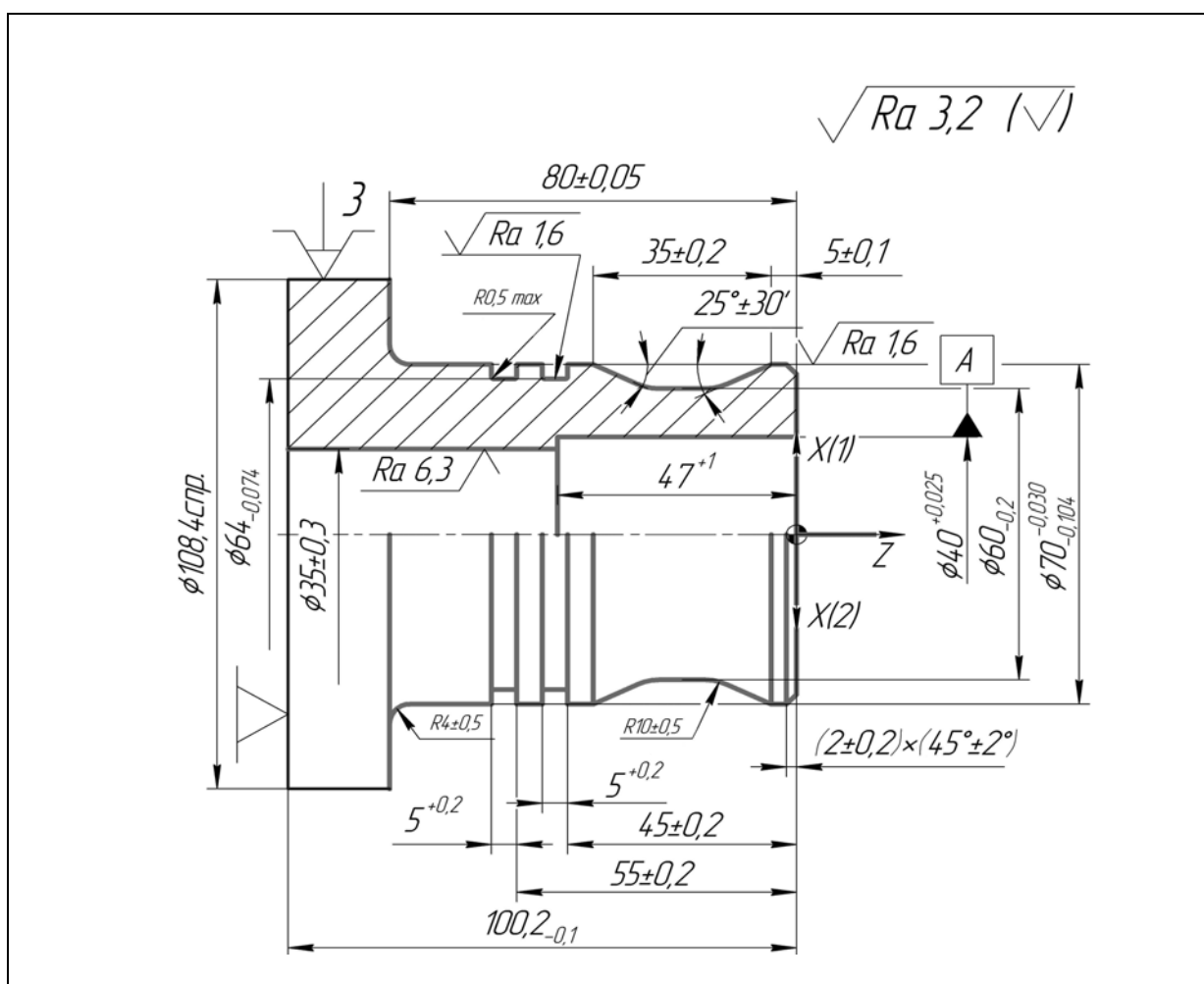


Рис. П.1.3. Эскиз обработки детали по комбинированной операции на установе А

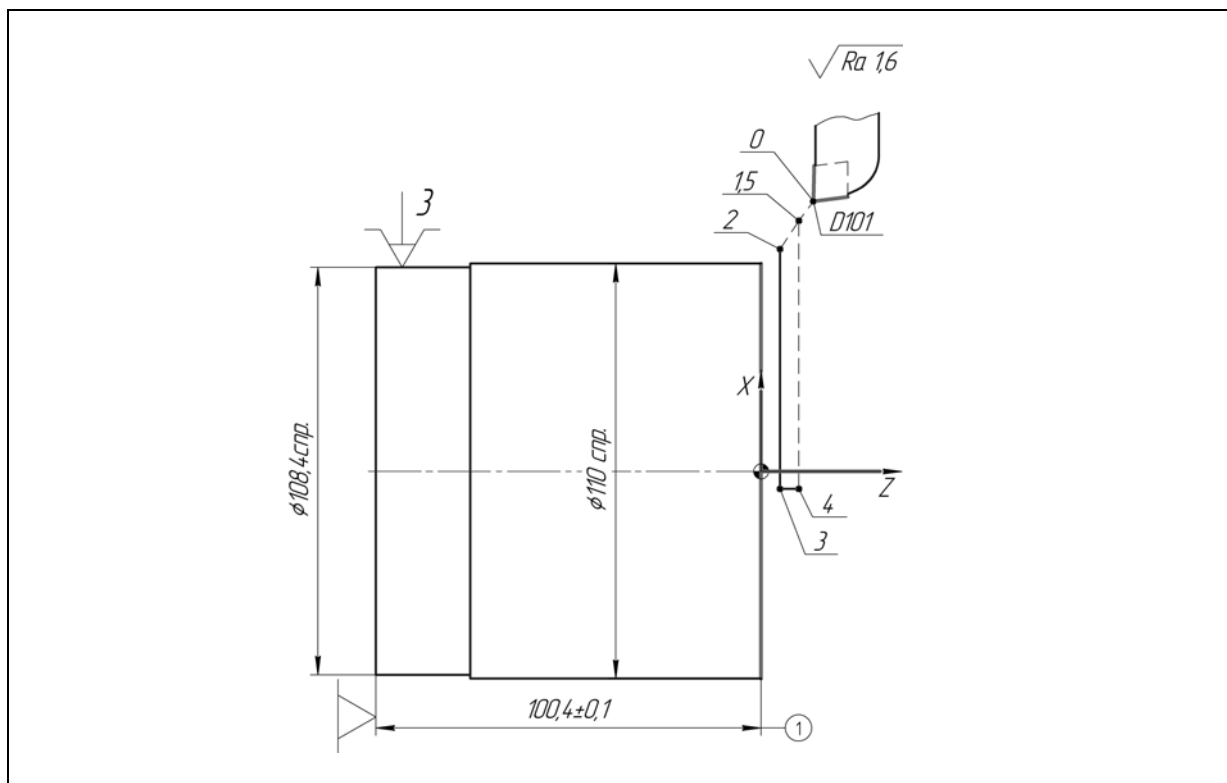


Рис. П.1.4. Эскиз обработки по переходу **III** на установе **A**

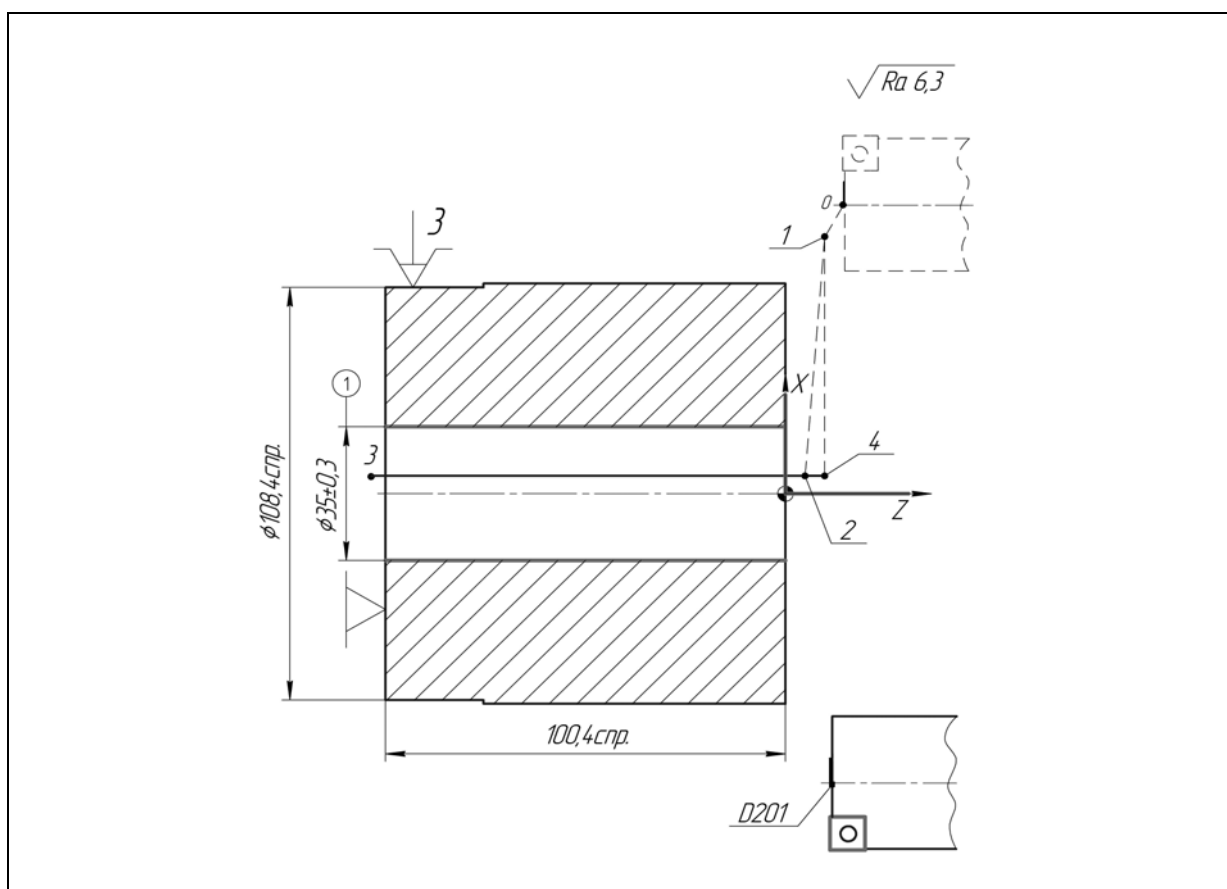


Рис. П.1.5. Эскиз обработки по переходу **II2** на установе **A**

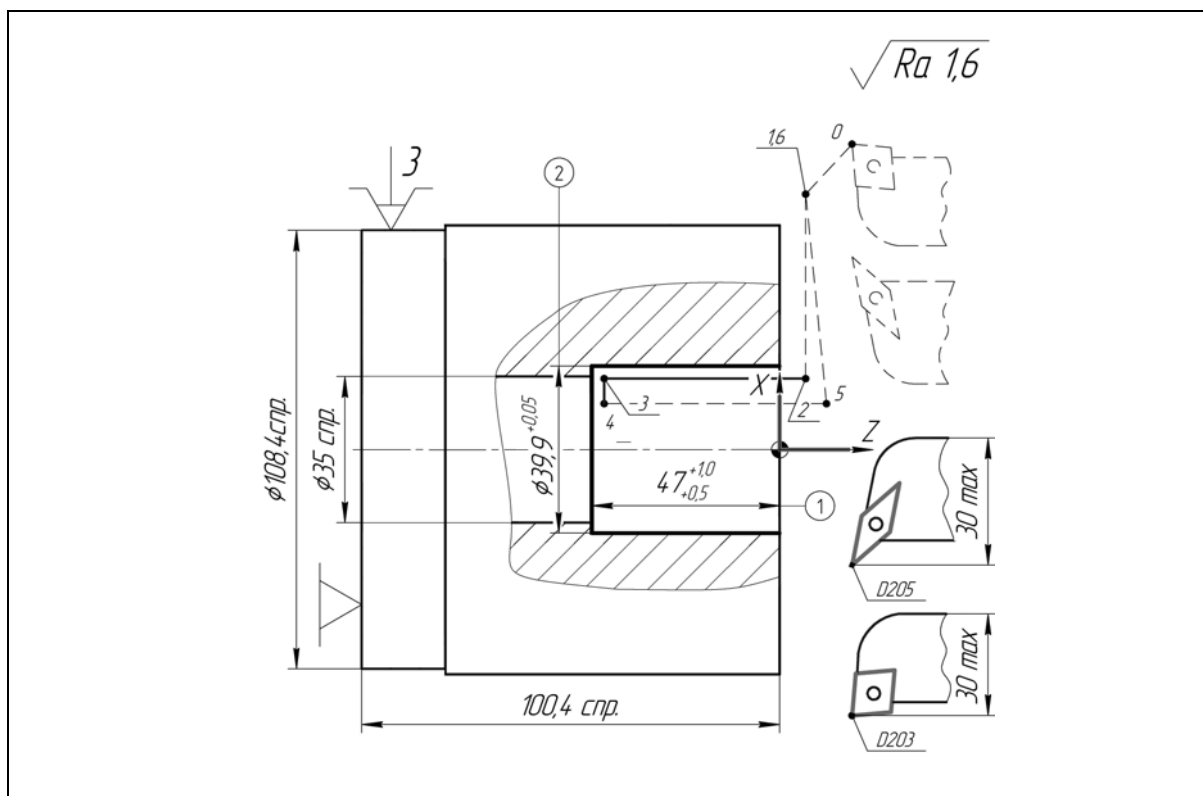


Рис. П.1.6. Эскиз обработки по переходам ПЗ и П6 на установе А

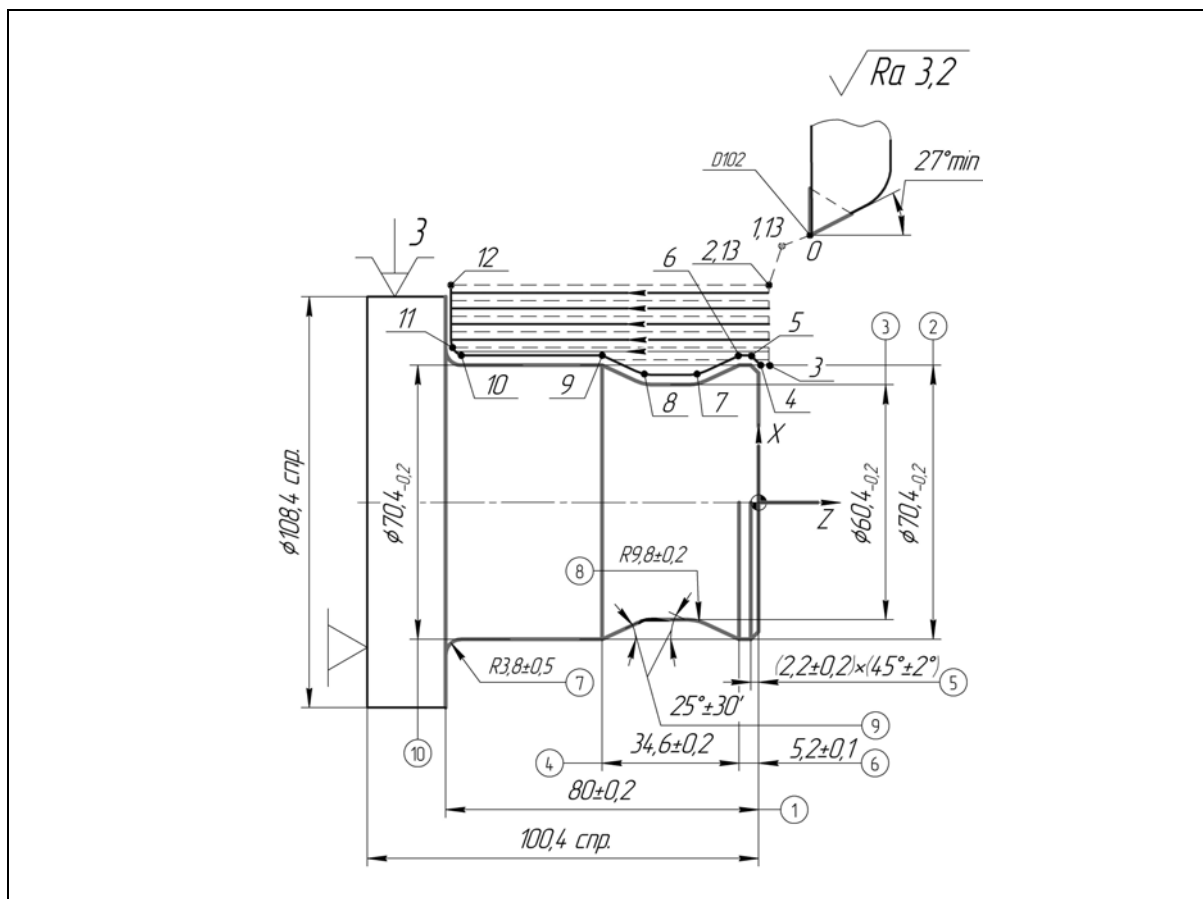


Рис. П.1.7. Эскиз обработки по переходу П4 на установе А

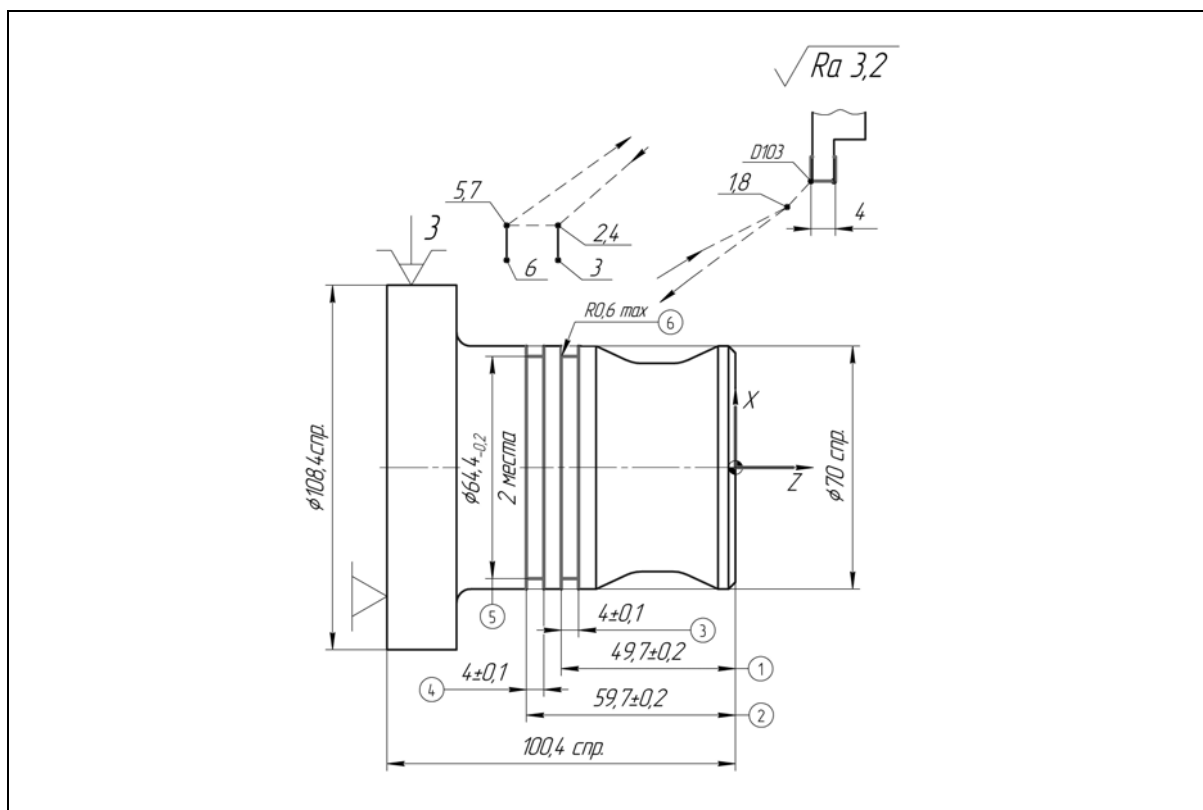


Рис. П.1.8. Эскиз обработки по переходу **П5** на установе **A**

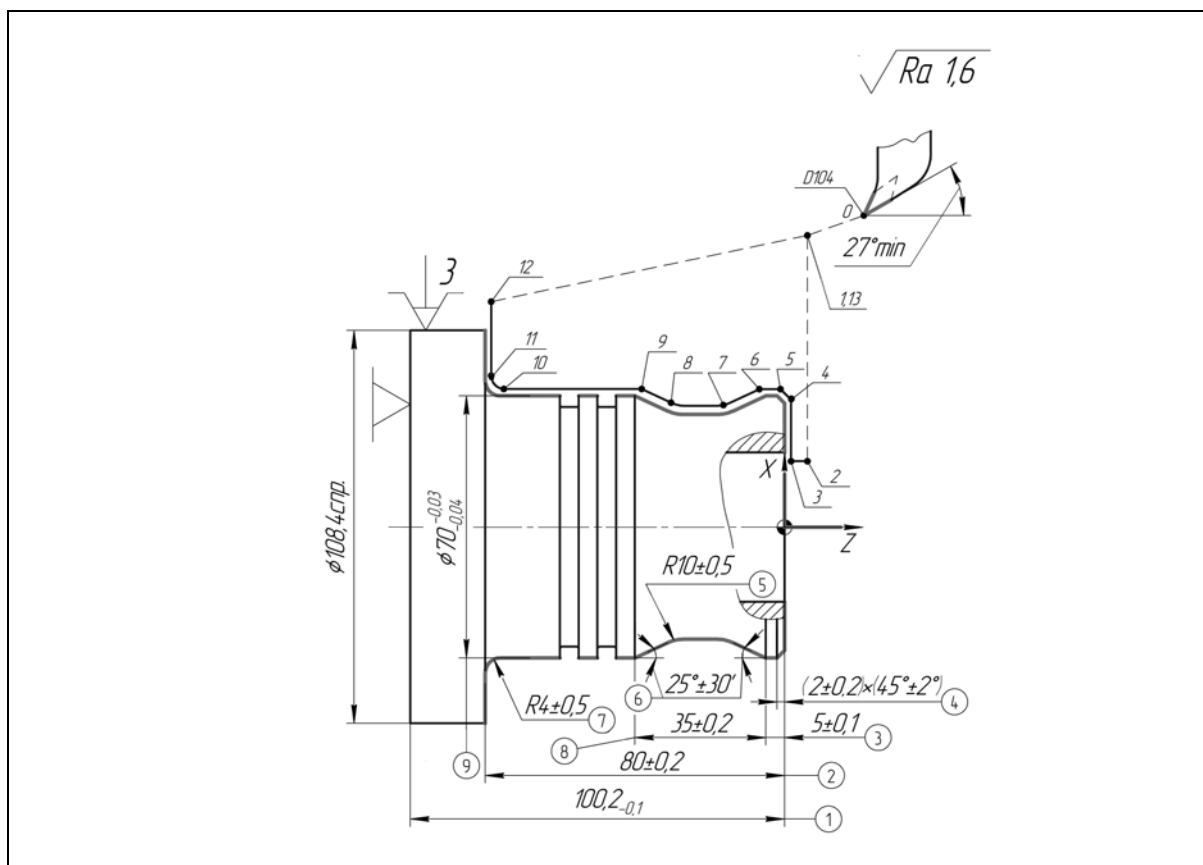


Рис. П.1.9. Эскиз обработки по переходу **П7** на установе **A**

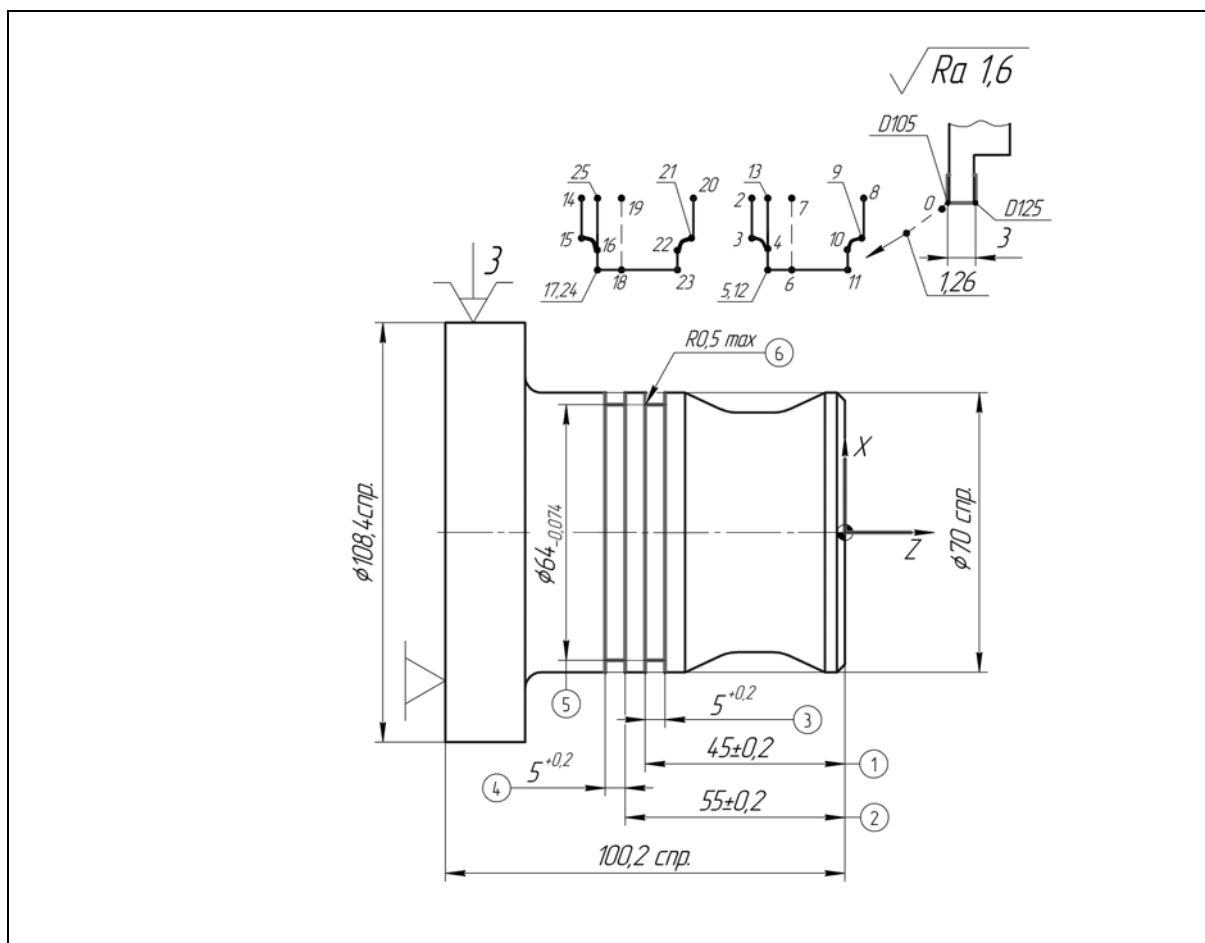


Рис. П.1.10. Эскиз обработки по переходу **П8** на установе **А**

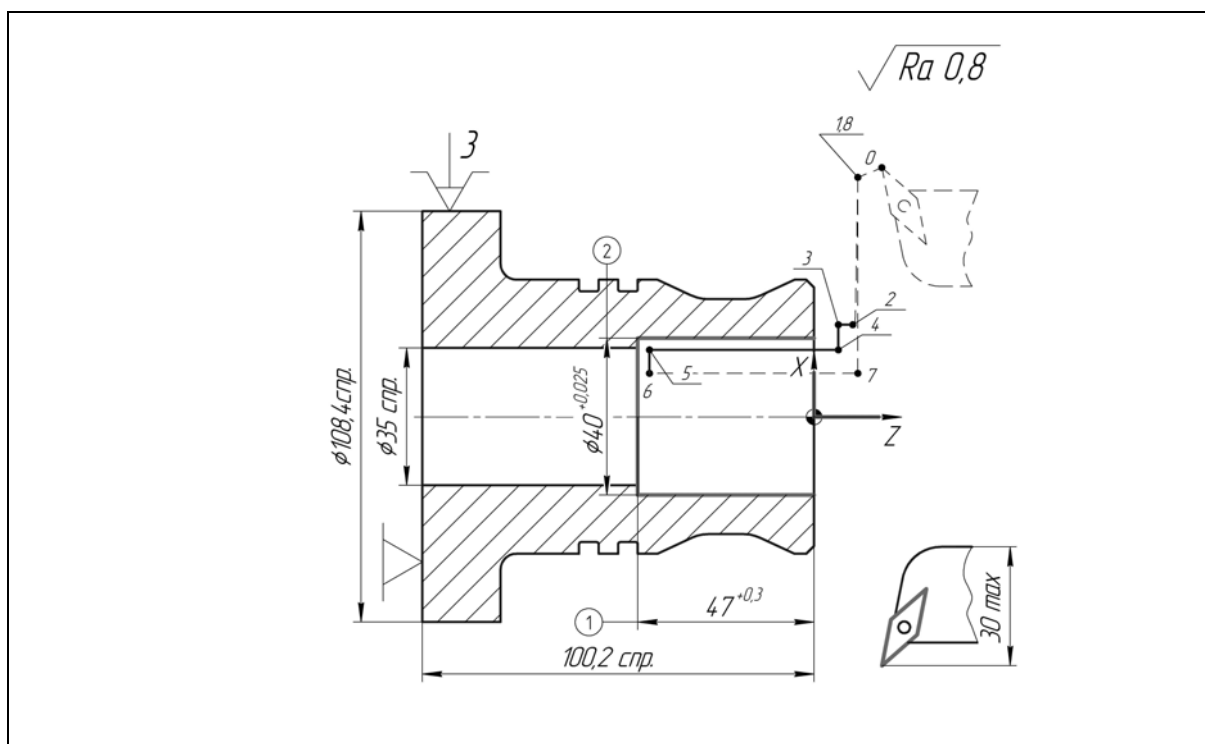


Рис. П.1.11. Эскиз обработки по переходу **П9** на установе **А**

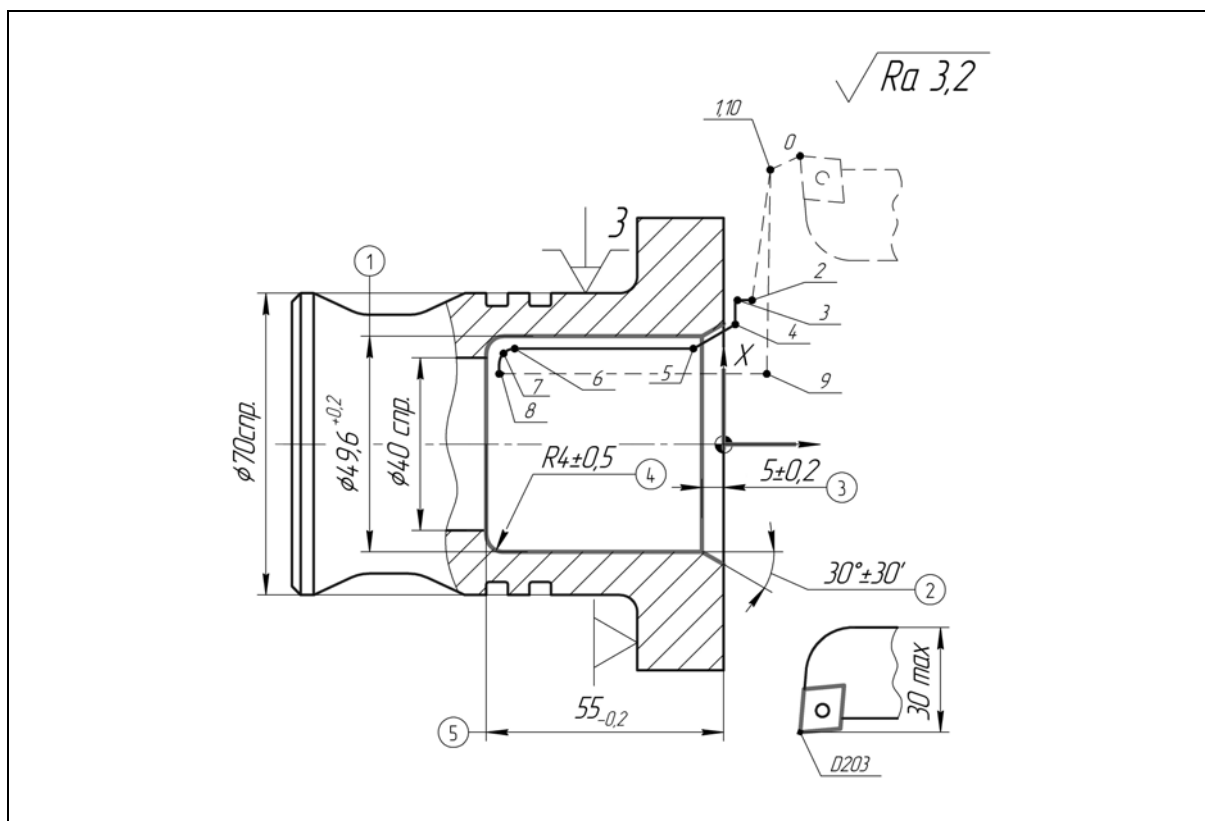


Рис. П.1.13. Эскиз обработки по переходу **П10** на установе **Б**

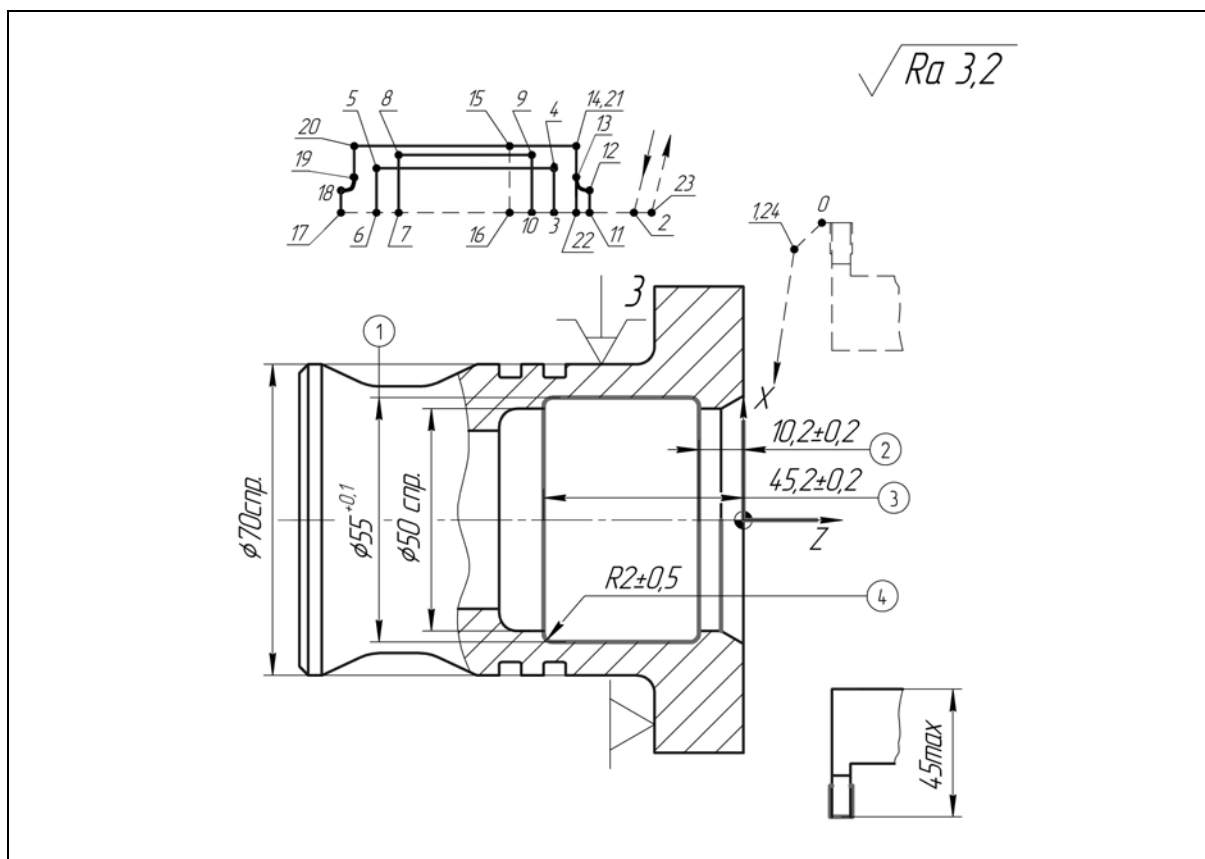


Рис. П.1.14. Эскиз обработки по переходу **П11** на установе **Б**

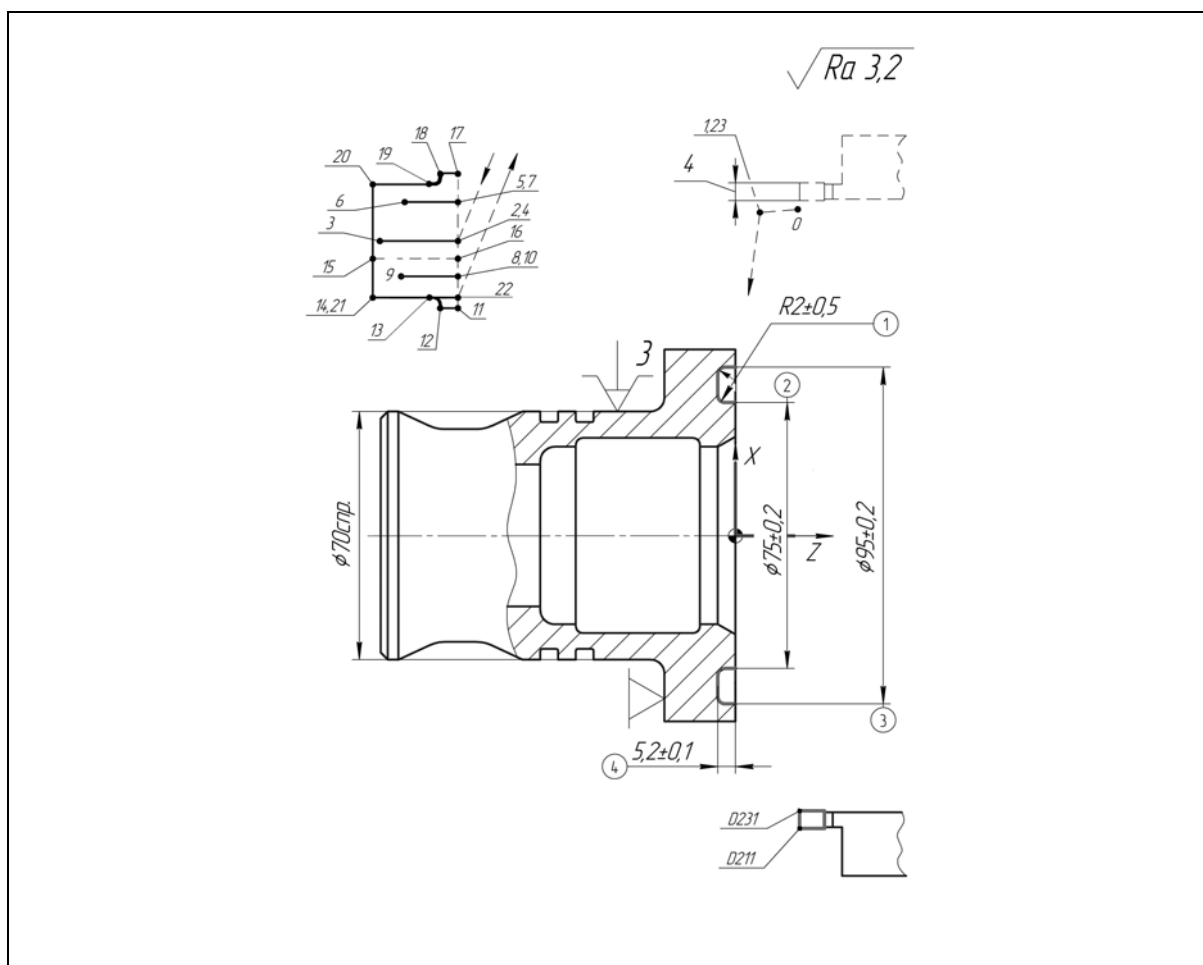


Рис. П.1.15. Эскиз обработки по переходу **П12** на установе **Б**

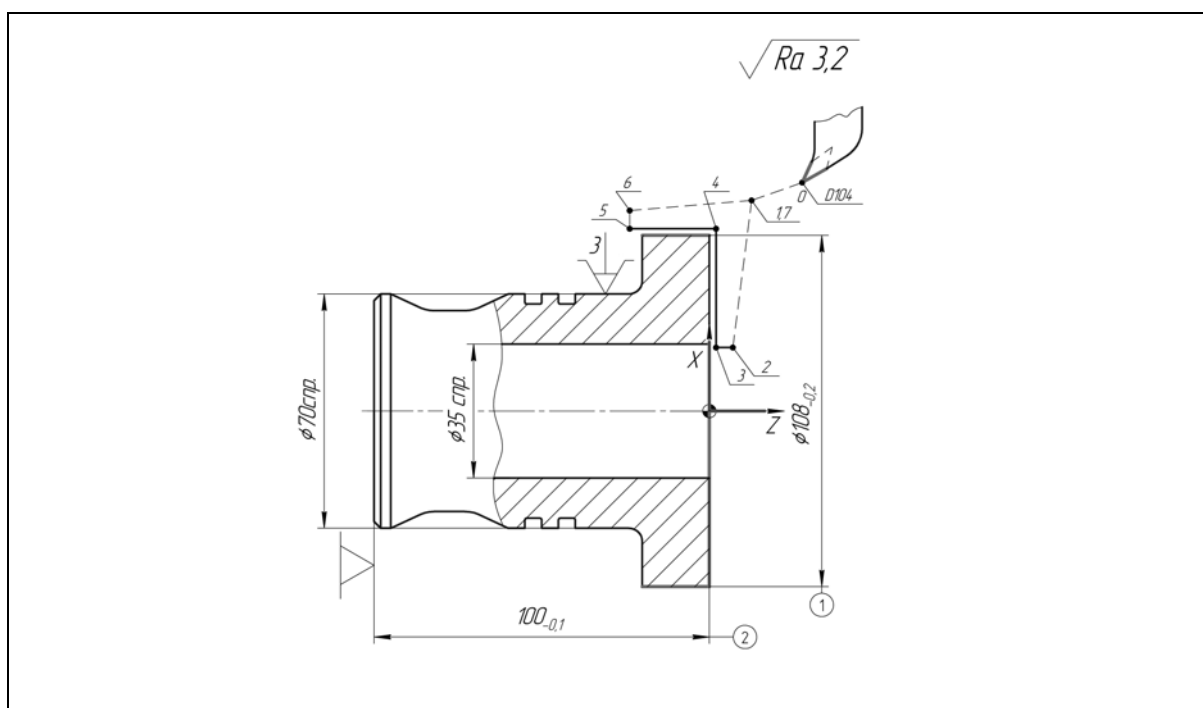


Рис. П.1.16. Эскиз обработки по переходу **П13** на установе **Б**

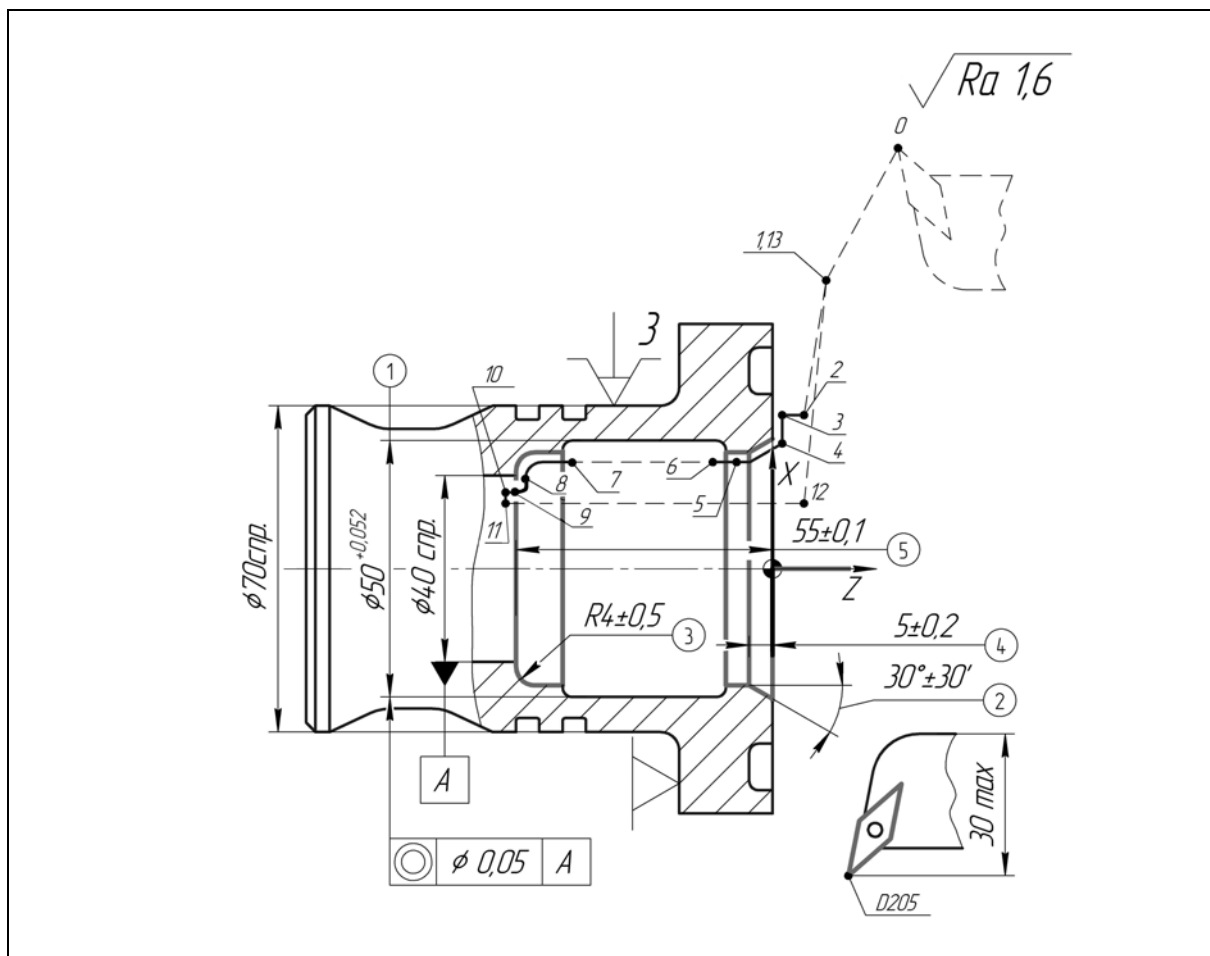


Рис. П.1.17. Эскиз обработки по переходу **П14** на установе **Б**

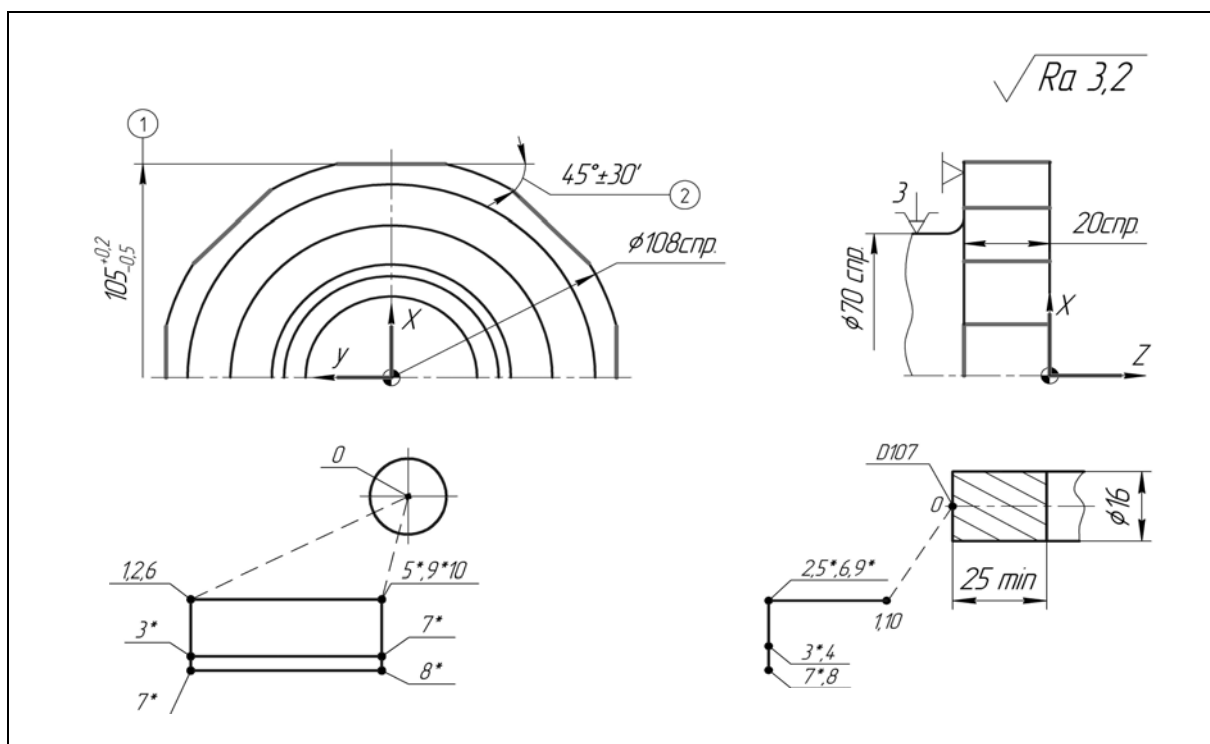


Рис. П.1.18. Эскиз обработки по переходу **П15** на установе **Б**

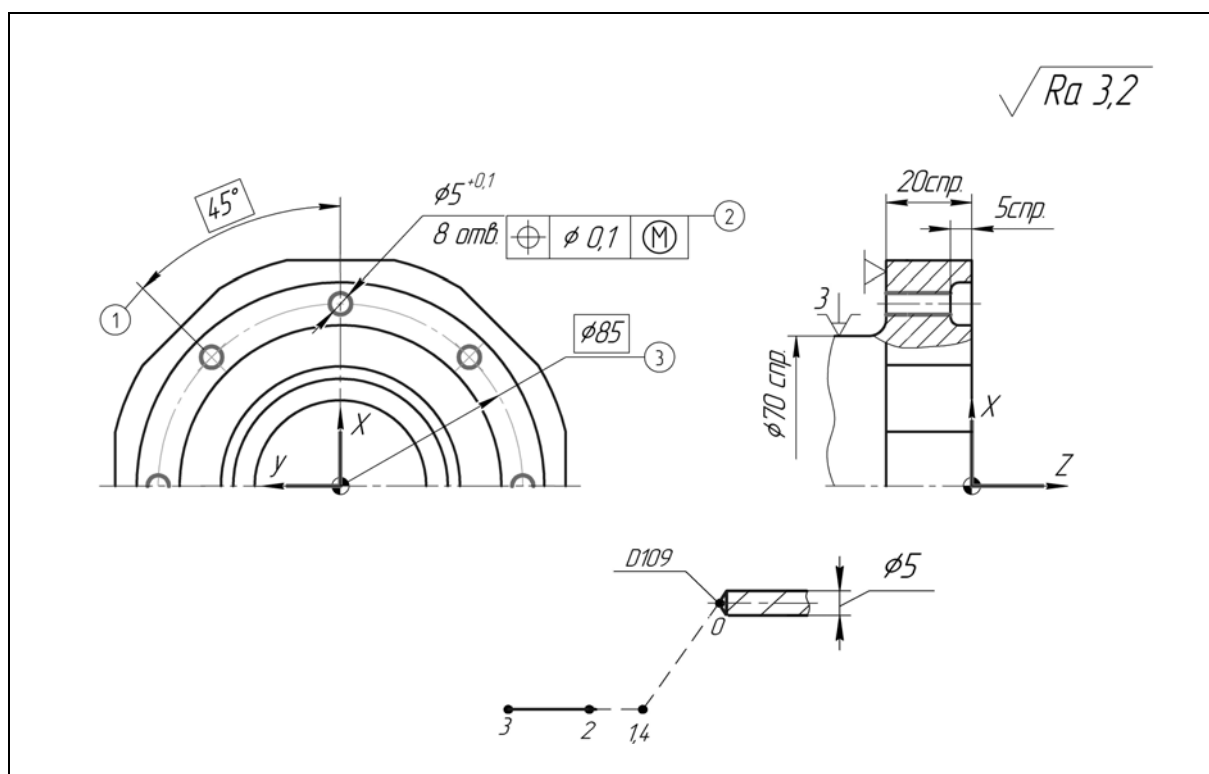


Рис. П.1.19. Эскиз обработки по переходу **III6** на установе **Б**

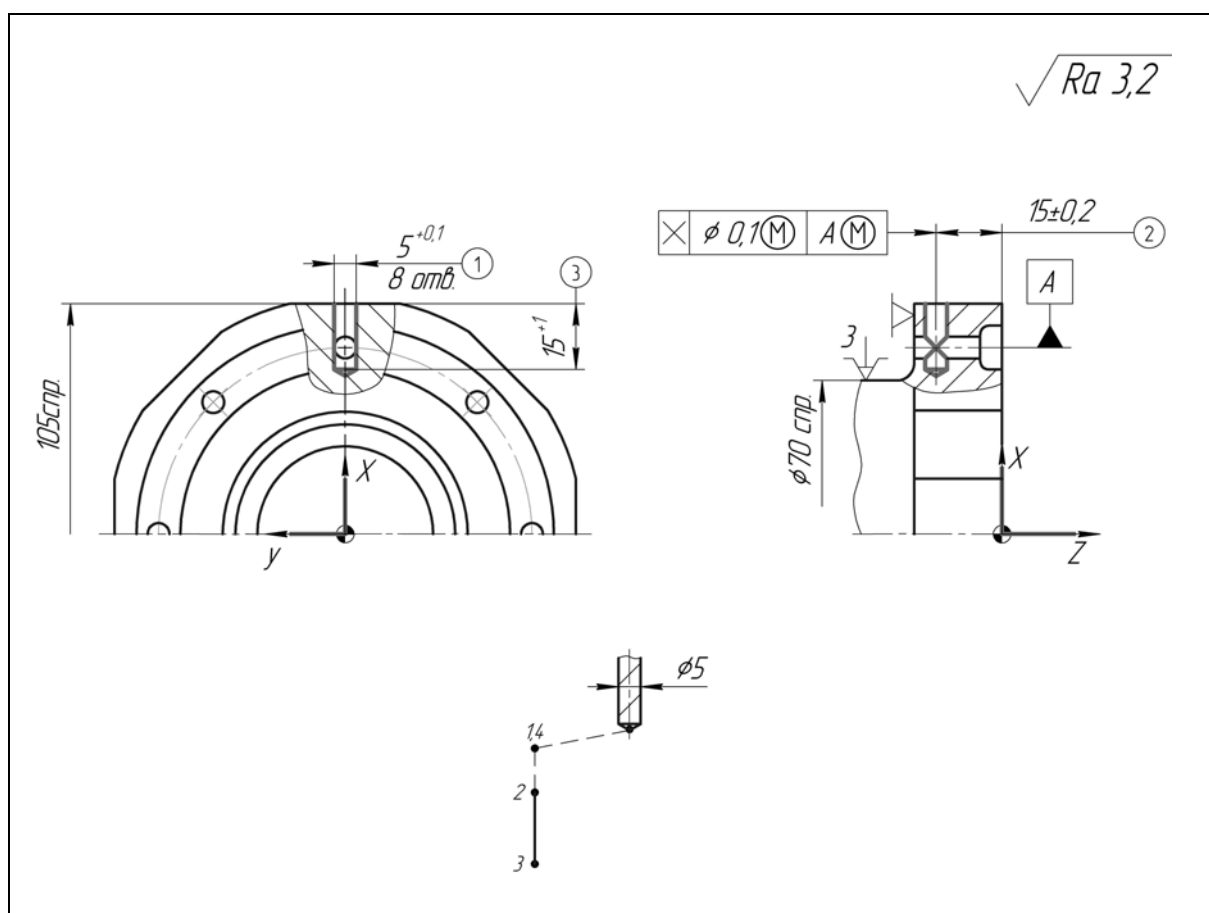


Рис. П.1.20. Эскиз обработки по переходу **III7** на установе **Б**

Каждый из трех фрезерных инструментов производит по восемь повторяющихся переходов в различных угловых положениях детали (через 45°). Описание процедур выполнено в УП тремя различными способами (с целью демонстрации возможностей программного обеспечения). Обработка плоскостей описана в подпрограмме, включающей в себя команду на поворот шпинделя в конце обработки; при этом УП осуществляет восьмикратный вызов подпрограммы. Выполнение отверстий описано с применением операторов логического программирования «*IF*» и «*WHILE*».

Структура управляющей программы

С целью повышения производительности обработки детали на установке *A* было признано целесообразным осуществить совмещение некоторых переходов токарных инструментов, размещенных в **РГ1** и **РГ2**. Разработана следующая структура программирования обработки детали:

- подрезка, а также расточка повышенной точности выполняются отдельно от других переходов;
- черновые переходы расточных и проходных инструментов выполняются в последовательно-параллельном режиме;
- чистовая расточка совмещена с чистовой обработкой наружных поверхностей.

Алгоритм действий системы ЧПУ станка, разработанный на базе построения сети Петри [2] (рис. П.1.21,*а*), представлен в виде циклограммы [3] (рис. П.1.21,*б*). Структура УП обработки детали на установке *A* приведена в табл. П.1.4.

Комбинированная обработка детали на установке *Б* производится в основном расточными инструментами, размещенными в **РГ2**. **РГ1** осуществляет один токарный переход (чистовую обработку наружной поверхности) и обработку детали фрезерными инструментами. Совмещение переходов токарных инструментов признано нецелесообразным. Сеть Петри приведена на рис. П.1.22,*а*), алгоритм действий системы ЧПУ станка представлен в виде циклограммы (рис. П.1.22,*б*). Структура УП обработки детали на установке *Б* приведена в табл. П.1.5.

Программы управления рабочими органами станка в процессе выполнения комбинированной операции **010** представлены в составе карт кодирования информации (табл. П.1.6 и табл. П.1.7). Кодирование повторяющихся траекторий движения фрезы, выполняемых **РГ1** на установке *Б*, выделены из УП (табл. П.1.6) и оформлены в виде подпрограммы (табл. П.1.8).

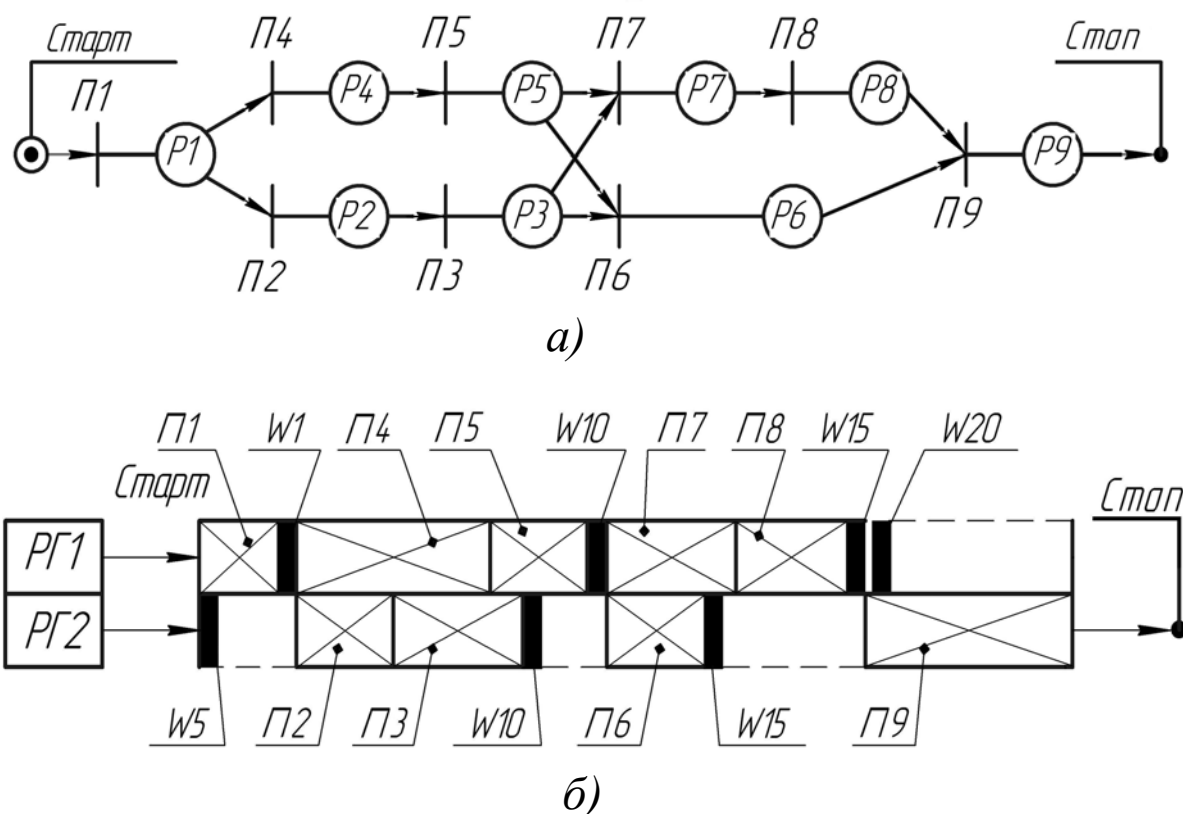


Рис. П.1.21. Моделирование выполнения последовательно-параллельного цикла обработки детали на установке А:
а – сеть Петри цикла выполнения операции; б – циклограмма переходов обрабатывающих инструментов; РГ1 – револьверная головка №1; РГ2 – револьверная головка №2; P_i – условия модели; W_j – метки согласования действий программ во времени; Π_i – события модели (переходы): $\Pi 1$ - подрезка; $\Pi 2$ - сверление; $\Pi 3$ - расточка черновая; $\Pi 4$ - точение черновое; $\Pi 5$ - канавка наружная черновая; $\Pi 6$ - расточка чистовая; $\Pi 7$ - точение чистовое; $\Pi 8$ - канавка наружная чистовая; $\Pi 9$ - расточка повышенной точности

Таблица П.1.4

Структура управляющей программы для револьверной головки №1 (РГ1)	Структура управляющей программы для револьверной головки №2 (РГ2)
<p>СТАРТ</p> <p>ПЕРЕХОД $\Pi 1$: подрезка</p> <p>МЕТКА $WAITM(5,1,2)$ (или $W5$)</p> <p>ПЕРЕХОД $\Pi 4$: точение черновое</p> <p>ПЕРЕХОД $\Pi 5$: канавка наружная черновая</p> <p>МЕТКА $WAITM(10,1,2)$ (или $W10$)</p> <p>ПЕРЕХОД $\Pi 7$: точение чистовое</p> <p>ПЕРЕХОД $\Pi 8$: канавка наружная чистовая</p> <p>МЕТКА $WAITM(15,1,2)$ (или $W15$)</p> <p>МЕТКА $WAITM(20,1,2)$ (или $W20$)</p> <p>(РЕЖИМ ОЖИДАНИЯ)</p>	<p>СТАРТ</p> <p>МЕТКА $WAITM(5,1,2)$ (или $W5$)</p> <p>ПЕРЕХОД $\Pi 2$: сверление</p> <p>ПЕРЕХОД $\Pi 3$: расточка черновая</p> <p>МЕТКА $WAITM(10,1,2)$ (или $W10$)</p> <p>ПЕРЕХОД $\Pi 6$: расточка чистовая</p> <p>МЕТКА $WAITM(15,1,2)$ (или $W15$)</p> <p>ПЕРЕХОД $\Pi 9$: расточка повышенной точности</p> <p>Команда $M0$: программный останов станка</p>
ПЕРЕВОРОТ ДЕТАЛИ	

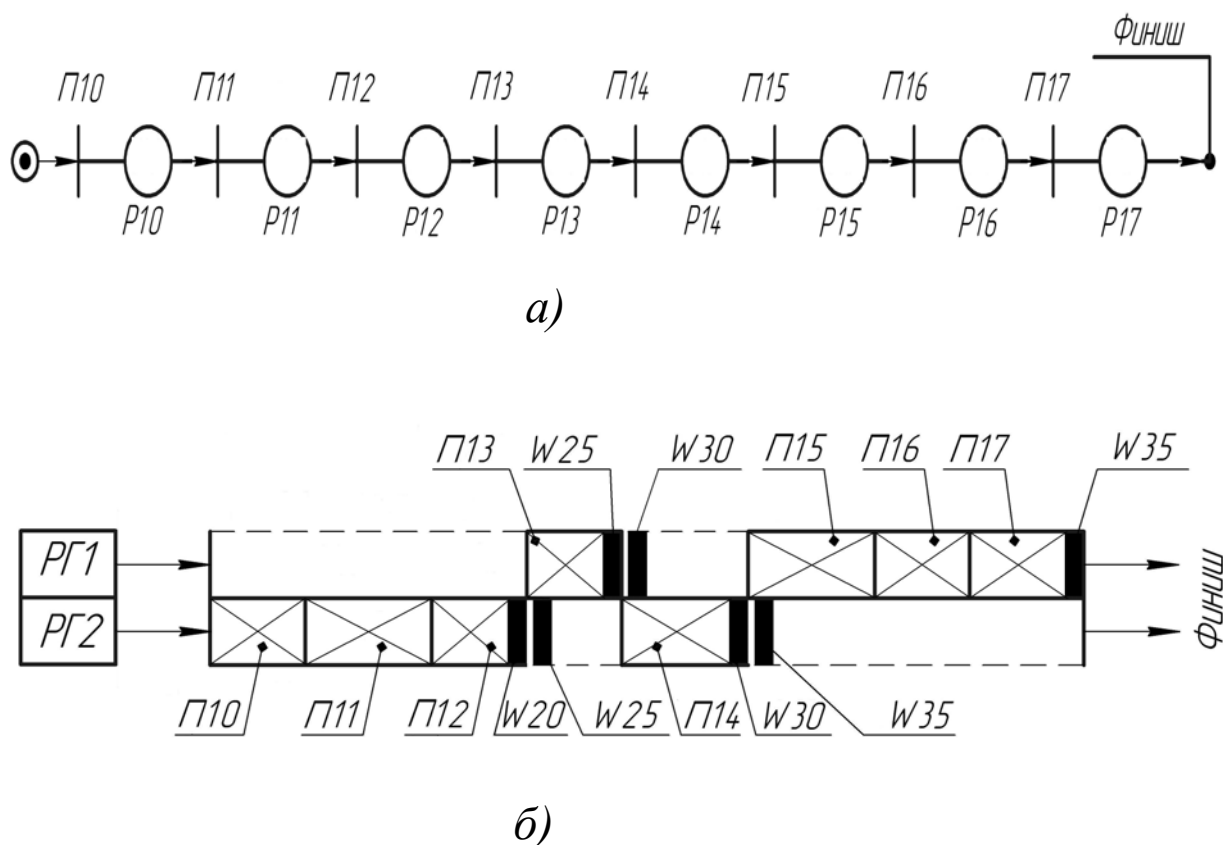


Рис. П.1.22. Моделирование выполнения последовательного цикла обработки детали на установке «Б»:

а – сеть Петри цикла выполнения операции; б – циклограмма переходов обрабатывающих инструментов; РГ1 – револьверная головка №1; РГ2 – револьверная головка №2; P_i – условия модели; W_j – метки согласования действий программ во времени; Π_i – события модели (переходы): $\Pi 1$ – расточка черновая; $\Pi 2$ – канавка внутренняя; $\Pi 3$ – канавка торцевая; $\Pi 4$ – точение чистовое; $\Pi 5$ – расточка чистовая; $\Pi 6$ – фрезеровка (план G17); $\Pi 7$ – сверление (план G17); $\Pi 8$ – сверление (план G19)

Таблица П.1.5

Структура управляющей программы для револьверной головки №1 (РГ1)	Структура управляющей программы для револьверной головки №2 (РГ2)
<p>(ОЖИДАНИЕ)</p> <p>ПЕРЕХОД $\Pi 13$: точение чистовое</p> <p>МЕТКА $WAITM(25,1,2)$ (или $W25$)</p> <p>МЕТКА $WAITM(30,1,2)$ (или $W30$)</p> <p>ПЕРЕХОД $\Pi 15$: фрезеровка (план G17) по подпрограмме «SUB-PROGRAM_1»</p> <p>ПЕРЕХОД $\Pi 16$: сверление (план G17)</p> <p>ПЕРЕХОД $\Pi 17$: сверление (план G19)</p> <p>МЕТКА $WAITM(35,1,2)$ (или $W35$)</p> <p>ФИНИШ</p>	<p>➔ ПУСК</p> <p>ПЕРЕХОД $\Pi 10$: расточка черновая</p> <p>ПЕРЕХОД $\Pi 11$: канавка внутренняя</p> <p>ПЕРЕХОД $\Pi 12$: канавка торцевая</p> <p>МЕТКА $WAITM(20,1,2)$ (или $W20$)</p> <p>МЕТКА $WAITM(25,1,2)$ (или $W25$)</p> <p>ПЕРЕХОД $\Pi 14$: расточка чистовая</p> <p>МЕТКА $WAITM(30,1,2)$ (или $W30$)</p> <p>МЕТКА $WAITM(35,1,2)$ (или $W35$)</p> <p>ФИНИШ</p>

Таблица П.1.6

Номера опорных точек	X	Y	Z	Текст управляющей программы для револьверной головки №1	КОММЕНТАРИИ
-	-	-	-	<i>;обработка на установе А</i>	Обозначение установа
-	-	-	-	<i>N5 START :</i>	Команда «Старт» револьверной головке №1
-	-	-	-	<i>N10 L235</i>	Положение рабочих органов «Токарная обработка»
0	-	-	-	<i>N15 GXYZ73</i>	Отвод револьверной головки в точку смены инструмента по координатным осям <i>X, Y, Z</i>
-	-	-	-	<i>N20 SETMS(4)</i>	Адресование вспомогательных команд на привод шпинделя
-	-	-	-	<i>N25 G59 Z=ZMW_1</i>	Задание системы координат детали
-	-	-	-	<i>N30 G92=1500</i>	Задание предельной частоты вращения шпинделя, об/мин
Установ А, переход <i>П1</i> (рис. П.1.4)					
-	-	-	-	<i>N35 T1 D101; подрезка</i>	Вызов инструмента <i>T1</i> , включение коррекции его длины
-	-	-	-	<i>N40 G96 S120</i>	Задание скорости резания, м/мин
1	130	-	8	<i>N45 G0 G90 X130 Z8 M3 M8</i>	Ввод абсолютной системы отсчета; выход в исходную точку УП с включением шпинделя и СОЖ
2	114	-	0.2	<i>N50 X114 Z0.2</i>	Приближение к детали
3	-2	-	0.2	<i>N55 G1 X-2 F0.3</i>	Перемещение к заданной точке на контурной подаче, мм/об
4	-2	-	2	<i>N60 G0 Z2</i>	Отвод от детали
5	130	-	8	<i>N65 X130 Z8 M9</i>	Отвод в исходную точку УП с отключением СОЖ
0	-	-	-	<i>N70 GXZ73</i>	Отвод в точку смены инструмента по осям <i>X, Z</i>
Установ А, переход <i>П1</i> (рис. П.1.4)					
-	-	-	-	<i>N75 WAITM(5,1,2)</i>	Ввод согласующей метки <i>W5</i>
Установ А, переход <i>П4</i> (рис. П.1.7)					
-	-	-	-	<i>N80 T2 D102; точение черновое</i>	Вызов инструмента <i>T2</i> , включение коррекции его длины
-	-	-	-	<i>N85 G96 S120</i>	Задание скорости резания, м/мин
1	130	-	8	<i>N90 X130 Z8 M8</i>	Выход в исходную точку УП с включением СОЖ
2	110	-	2	<i>N95 X110 Z2</i>	Выход в базовую точку замкнутого контура обработки
-	-	-	-	<i>N100 CYCLE95</i> <i>(“NACH1:END1”,3,0,2,0.4,0.3,0.3,1)</i>	Задание цикла черновой обработки по замкнутому контуру и его параметров

-	-	-	-	<i>N105 GOTOF END1</i>	Адресование курсора к точке продолжения последовательного прочтения УП
-	-	-	-	<i>N110 NACHI:</i>	Метка начала описания замкнутого контура
3	66	-	2	<i>N115 G1 X66</i>	Отрезок перемещения к заданной точке
4	66	-	0	<i>N120 Z0</i>	Отрезок перемещения к заданной точке
5	70	-	-2"	<i>N125 X70 CHR=2</i>	Выполнение фаски
6	70	-	-5	<i>N130 Z-5</i>	Отрезок перемещения к заданной точке
7	60	-	"	<i>N135 ANG=-155 X60 RND=10</i>	Отрезок перемещения к заданной точке; полярная система; выполнение скругления
8	"	-	"	<i>N140 ANG=-180 RND=10</i>	Отрезок перемещения к плавающей точке; полярная система; выполнение скругления
9	70	-	-35	<i>N145 ANG=155 X70 Z-35</i>	Отрезок перемещения к заданной точке; полярная система
10	70	-	-76	<i>N150 Z-76</i>	Отрезок перемещения к заданной точке
11	78	-	-80	<i>N155 G2 X78 Z-80 CR=4</i>	Циркуляция к заданной точке
12	110	-	-80	<i>N160 G1 X110</i>	Отрезок прямолинейного перемещения к заданной точке
-	-	-	-	<i>N165 END1</i>	Метка окончания описания замкнутого контура
13	130	-	8	<i>N170 G0 X130 Z8 M9</i>	Отвод в исходную точку УП с отключением СОЖ
0	-	-	-	<i>N175 GXZ73</i>	Отвод в точку смены инструмента
Установ <i>A</i> , переход <i>П5</i> (рис. П.1.8)					
-	-	-	-	<i>N180 T3 D103; канавка наружная: черновая обработка (резец В 4)</i>	Вызов инструмента <i>T3</i> , включение коррекции его длины
-	-	-	-	<i>N185 G96 S120</i>	Задание скорости резания, м/мин
1	130	-	8	<i>N190 X130 Z8 M8</i>	Выход в исходную точку УП с включением СОЖ
2	74	-	-49.5	<i>N195 X74 Z-49.5</i>	Приближение к первой канавке
3	64.4	-	-49.5	<i>N200 G1 X64.4 F0.08</i>	Врезание
4	74	-	-49.5	<i>N205 G0 X74</i>	Отход от контура
5	74	-	-59.5	<i>N210 Z-59.5</i>	Перемещение ко второй канавке
6	64.4	-	-59.5	<i>N215 G1 X64.4</i>	Врезание
7	74	-	-59.5	<i>N220 G0 X74</i>	Отход от контура
8	130	-	8	<i>N225 X130 Z8 M9</i>	Отвод в исходную точку УП с отключением СОЖ
0	-	-	-	<i>N230 GXZ73</i>	Отвод в точку смены инструмента по осям <i>X, Z</i>

-	-	-	-	<i>N235 WAITM (10,1,2)</i>	Ввод согласующей метки <i>W10</i>
Установ <i>A</i> , переход <i>П7</i> (рис. П.1.9)					
-	-	-	-	<i>N240 T4 D104; точение чистовое</i>	Вызов инструмента <i>T4</i> , включение коррекции его длины
-	-	-	-	<i>N245 G96 S180</i>	Задание скорости резания, м/мин
1	130	-	8	<i>N250 X130 Z8 M8</i>	Выход в исходную точку УП с включением СОЖ
2	37	-	2	<i>N255 X37 Z2</i>	Приближение к детали
3*	37	-	0	<i>N260 G1 G42 Z0 F0.1</i>	Перемещение к заданной точке
4	66	-	0	<i>N265 X66</i>	Перемещение к заданной точке
5	70	-	-2°	<i>N270 X70 CHR=2</i>	Выполнение фаски
6	70	-	-5	<i>N275 Z-5</i>	Перемещение к заданной точке
7	60	-	°	<i>N280 ANG=-155 X60 RND=10</i>	Перемещение к заданной точке; полярная система; выполнение скругления
8	°	-	°	<i>N285 ANG=-180 RND=10</i>	Перемещение к плавающей точке; полярная система; выполнение скругления
9	70	-	-35	<i>N290 ANG=155 X70 Z-35</i>	Перемещение к заданной точке; полярная система
10	70	-	-76	<i>N295 Z-76</i>	Перемещение к заданной точке
11	78	-	-80	<i>N300 G2 X78 Z-80 CR=4</i>	Циркуляционное перемещение к заданной точке
12	112	-	-80	<i>N305 G1 X112</i>	Прямолинейное перемещение к заданной точке
13*	130	-	8	<i>N310 G0 G40 X130 Z8 M9</i>	Отвод в исходную точку УП с отключением СОЖ
0	-	-	-	<i>N315 GXZ73</i>	Отвод в точку смены инструмента по осям <i>X, Z</i>
Установ <i>A</i> , переход <i>П8</i> (рис. П.1.10)					
-	-	-	-	<i>N320 T5 D105; канавка наружная: чистовая обработка (резец B_3)</i>	Вызов инструмента <i>T5</i> , включение коррекции длины режущей вершины №1
-	-	-	-	<i>N325 G96 S180</i>	Задание скорости резания, м/мин
1	130	-	8	<i>N330 X130 Z8 M8</i>	Выход в исходную точку УП с включением СОЖ
2	74	-	-50.2	<i>N335 X74 Z-50.2</i>	Приближение к первой канавке
3*	70	-	-50.2	<i>N340 G1 G41X70 F0.1</i>	Перемещение к точке на поверхности детали
4	69.6°	-	-50	<i>N345 Z-50 RND=0.2</i>	Притупление острой кромки
5	64	-	-49.7°	<i>N350 X64 RND=0.3</i>	Перемещение к заданной точке; выполнение скругления
6	64	-	-49.5	<i>N355 Z-49.5</i>	Отход от стенки

7*	74	-	-49.5	<i>N360 G0 G40 X74</i>	Отход от контура
8^	74	-	-44.8	<i>N365 D125 Z-44.8</i>	Перемещение к заданной точке
9*	70	-	-44.8	<i>N370 G1 G42 X70</i>	Перемещение к точке на поверхности детали
10	69.6''	-	-45	<i>N375 Z-45 RND=0.2</i>	Притупление острой кромки
11	64	-	-45.3''	<i>N380 X64 RND=0.3</i>	Перемещение к заданной точке; выполнение скругления
12^	64.6''	-	-50	<i>N385 D105 Z-50 RND=0.3</i>	Перемещение к заданной точке; выполнение скругления
13	74	-	-50	<i>N390 X74</i>	Движение вдоль стенки
14*	74	-	-60.2	<i>N395 G0 G40 Z-60.2</i>	Перемещение ко второй канавке
15*	70	-	-60.2	<i>N400 G1 G41 X70</i>	Перемещение к точке на поверхности детали
16	69.6''	-	-60	<i>N405 Z-60 RND=0.2</i>	Притупление острой кромки
17	64	-	-59.7''	<i>N410 X64 RND=0.3</i>	Перемещение к заданной точке; выполнение скругления
18	64	-	-59.5	<i>N415 Z-59.5</i>	Отход от стенки
19*	74	-	-59.5	<i>N420 G0 G40 X74</i>	Отход от контура
20^	74	-	-54.8	<i>N425 D125 Z-54.8</i>	Перемещение к заданной точке
21*	70	-	-54.8	<i>N430 G1 G42 X70</i>	Перемещение к точке на поверхности детали
22	69.6''	-	-55	<i>N435 Z-55 RND=0.2</i>	Притупление острой кромки
23	64	-	-55.3''	<i>N440 X64 RND=0.3</i>	Перемещение к заданной точке; выполнение скругления
24^	64.6''	-	-60	<i>N445 D105 Z-60 RND=0.3</i>	Перемещение к заданной точке; выполнение скругления
25	74	-	-60	<i>N450 X74</i>	Движение вдоль стенки
26*	130	-	8	<i>N455 G0 G40 X130 Z8 M9</i>	Отвод в исходную точку УП с отключением СОЖ
0	-	-	-	<i>N460 GXZ73</i>	Отвод в точку смены инструмента по осям X, Z
-	-	-	-	<i>N465 WAITM (15,1,2)</i>	Ввод согласующей метки W15
-	-	-	-	<i>N470 WAITM (20,1,2)</i>	Ввод согласующей метки W20
Переустановка детали → Команда «ПУСК»					
-	-	-	-	;обработка на установе Б	Обозначение установа
-	-	-	-	N25 G59 Z=ZMW 2	Задание новой системы координат детали
Установ Б , переход П13 (рис. П.1.16)					
				;ожидание	Ожидание по согласующей метке W20
-	-	-	-	N475 T4 D104; точение чистовое	Вызов инструмента T4 , включение коррекции его длины
		-		N480 G96 S180	Задание скорости резания, м/мин

1	130	-	8	<i>N485 G0 G90 X130 Z8 M3 M8</i>	Ввод абсолютной системы отсчета; выход в исходную точку УП с включением шпинделя и СОЖ
2	50	-	2	<i>X490 Z2</i>	Приближение к детали
3*	50	-	0	<i>N495 G1 G42 Z0 F0.1</i>	Перемещение к заданной точке на контурной подаче, мм/об
4	108	-	-0.2"	<i>N500 X108 RND=0.2</i>	Перемещение к заданной точке; притупление острой кромки
5	108	-	-22	<i>N505 Z-22</i>	Перемещение заданной к точке
6	112	-	-22	<i>N510 G0 X112</i>	Отвод от детали
7*	130	-	8	<i>N515 G40 X130 Z8 M9</i>	Отвод в исходную точку УП с отключением СОЖ
0	-	-	-	<i>N520 GXZ73</i>	Отвод в точку смены инструмента по осям <i>X, Z</i>
-	-	-	-	<i>N525 WAITM(25,1,2)</i>	Ввод согласующей метки <i>W10</i>
-	-	-	-	<i>N530 WAITM(30,1,2)</i>	Ввод согласующей метки <i>W15</i>
-	-	-	-	<i>N535 L237</i>	Положение рабочих органов «Фрезерная обработка»
-	-	-	-	<i>N540 SETMS(1)</i>	Адресование вспомогательных команд на приводы инструментов револьверной головки №1
Установ <i>Б</i> , переход <i>П15</i> (рис. П.1.18)					
-	-	-	-	<i>N545 T7 D107; фреза концевая D_20 – параллельно оси Z</i>	Вызов инструмента <i>T7</i> , включение коррекции его длины
-	-	-	-	<i>N550 L140(0,4,0)</i>	Выход шпинделя в заданное угловое положение <i>C=0°</i>
-	-	-	-	<i>N555 G94 S400</i>	Задание частоты вращения, об/мин
-	-	-	-	<i>N560 G17</i>	Выбор плана обработки <i>X-Y</i>
1	130	25	8	<i>N565 G0 X130 Y25 Z8 M4 M8</i>	Выход в исходную точку УП с включением шпинделя и СОЖ; вращение привода против часовой стрелки (инструмент в угловом редукторе)
-	-	-	-	<i>N570 SUB-PROGRAM_1 P8</i>	8-кратный вызов подпрограммы « <i>SUB-PROGRAM_1</i> »
-	-	-	-	<i>N575 M5 M9</i>	Останов шпинделя и отключение СОЖ
0	-	-	-	<i>N580 GXYZ73</i>	Отвод в точку смены инструмента по осям <i>X, Y, Z</i>
Установ <i>Б</i> , переход <i>П16</i> (рис. П.1.19)					
-	-	-	-	<i>N585 T9 D109; сверло D_5 – параллельно оси Z</i>	Вызов инструмента <i>T9</i> , включение коррекции его длины
-	-	-	-	<i>N590 L140(0,4,0)</i>	Выход шпинделя в заданное угловое положение <i>C=0°</i>

-	-	-	-	<i>N595 G94 S1000</i>	Задание частоты вращения, об/мин
-	-	-	-	<i>N600 G17</i>	Выбор плана обработки <i>X-Y</i>
1	85	0	8	<i>N605 G0 X85 Y0 Z8 M4 M8</i>	Выход в исходную точку УП с включением шпинделя и СОЖ; вращение привода против часовой стрелки (инструмент в угловом редукторе)
-	-	-	-	<i>N610 R[20]=1</i>	Задание начального значения переменного параметра – числа выполнений цикла
-	-	-	-	<i>N615 KA1:</i>	Метка начала цикла
-	-	-	-	<i>N620 M12</i>	Включение угловой фиксации шпинделя
2	85	0	-3	<i>N625 Z-3</i>	Перемещение к заданной точке
-	85	0	-13	<i>N630 G1 Z-13 F60</i>	Сверление отверстия на контурной подаче, мм/мин
-	85	0	-3	<i>N635 G0 Z-3</i>	Выход
-	85	0	-12	<i>N640 Z-12</i>	Вход
3	85	0	-23	<i>N645 G1 Z-23</i>	Продолжение сверления
4	85	0	8	<i>N650 G0 Z8</i>	Выход
-	-	-	-	<i>N655 M13</i>	Отключение угловой фиксации шпинделя
-	-	-	-	<i>N660 G91 C45</i>	Ввод относительной системы отсчета; поворот шпинделя на заданный угол
-	-	-	-	<i>N665 G90</i>	Возвращение к абсолютной системе отсчета
-	-	-	-	<i>N670 R[20]= R[20]+1</i>	Действие с переменным параметром – отсчет числа выполнений цикла
-	-	-	-	<i>N675 IF R[20]<9 GOTOB "KA1"</i>	Описание условия выполнения программы
-	-	-	-	<i>N680 M5 M9</i>	Останов шпинделя и отключение СОЖ
0	-	-	-	<i>N685 GXZ73</i>	Отвод в точку смены инструмента по осям <i>X, Z</i>
Установ Б , переход П17 (рис. П.1.20)					
-	-	-	-	<i>N690 T11 D111; сверло D_5 – перпендикулярно оси Z</i>	Вызов инструмента <i>T11</i> , включение коррекции его длины
-	-	-	-	<i>N695 L140(0,4,0)</i>	Выход шпинделя в заданное угловое положение $C=0^\circ$
-	-	-	-	<i>N700 G94 S1000</i>	Задание частоты вращения, об/мин
-	-	-	-	<i>N705 G19</i>	Выбор плана обработки <i>X-Z</i>

1	130	0	-15	<i>N710 G0 X130 Y0 Z-15 M3 M8</i>	Выход в исходную точку УП с включением шпинделя и СОЖ; вращение привода по часовой стрелке
-	-	-	-	<i>N715 R[21]=0</i>	Задание начального значения переменного параметра – углового положения шпинделя
-	-	-	-	<i>N720 WHILE R[20]<360 D0 “KA2:END2”</i>	Описание условия выполнения программы
-	-	-	-	<i>N725 KA2:</i>	Метка начала описания цикла
-	-	-	-	<i>N730 M12</i>	Включение угловой фиксации шпинделя
2	108	0	-15	<i>N735 X108</i>	Перемещение к заданной точке
-	88	0	-15	<i>N740 G1 X88 F60</i>	Сверление отверстия на контурной подаче, мм/мин
-	108	0	-15	<i>N745 G0 X108</i>	Выход
-	90	0	-15	<i>N750 X90</i>	Вход
3	71	0	-15	<i>N755 G1 X71</i>	Продолжение сверления
4	130	0	-15	<i>N760 G0 X130</i>	Выход
-	-	-	-	<i>N765 M13</i>	Отключение угловой фиксации шпинделя
-	-	-	-	<i>N770 G91 C45</i>	Ввод относительной системы отсчета; поворот шпинделя на заданный угол
-	-	-	-	<i>N775 G90</i>	Возвращение к абсолютной системе отсчета
-	-	-	-	<i>N780 R[21]= R[21]+45</i>	Действие с переменным параметром – отсчет текущего углового положения шпинделя
-	-	-	-	<i>N785 END2</i>	Метка окончания описания цикла
-	-	-	-	<i>N790 M5 M9</i>	Останов шпинделя и отключение СОЖ
0	-	-	-	<i>N795 GXZ73</i>	Отвод в точку смены инструмента по осям <i>X, Z</i>
-	-	-	-	<i>N800 L235</i>	Возвращение в положение «Токарная обработка»
-	-	-	-	<i>N805 GXYZ73</i>	Отвод в точку смены инструмента по осям <i>X, Y, Z</i>
-	-	-	-	<i>N810 WAITM(35,1,2)</i>	Ввод согласующей метки <i>W20</i>
-	-	-	-	<i>N815 M30</i>	Конец программы

Таблица П.1.7

Номера опорных точек	X	Z	Текст управляющей программы для револьверной головки №2	КОММЕНТАРИИ
-	-	-	<i>;обработка на установке А</i>	Обозначение операции
-	-	-	<i>N5 START :</i>	Команда «Старт» револьверной головке №2
0	-	-	<i>N10 GXZ73</i>	Отвод револьверной головки в точку смены инструмента по координатным осям X, Z
-	-	-	<i>N15 SETMS(4)</i>	Адресование вспомогательных команд на привод шпинделя
-	-	-	<i>N20 G59 Z=ZMW_1</i>	Задание системы координат детали
-	-	-	<i>N25 G92=1500</i>	Задание предельной частоты вращения шпинделя, об/мин
-	-	-	<i>N30 WAITM(5,1,2)</i>	Ввод согласующей метки W5
Установ А, переход П2 (рис. П.1.5)				
-	-	-	<i>N35 T1 D201; сверление</i>	Вызов инструмента T1, включение коррекции его длины
-	-	-	<i>N40 G94 S250</i>	Задание частоты вращения шпинделя, об/мин
1	130	8	<i>N45 G0 G90 X130 Z8 M3 M8</i>	Ввод абсолютной системы отсчета; выход в исходную точку УП с включением шпинделя и СОЖ
2	0	2	<i>N50 X0 Z2</i>	Приближение к детали
3	0	-104	<i>N55 G1 Z-104 F60</i>	Сверление отверстия на контурной подаче, мм/мин
4	0	5	<i>N60 G0 Z5</i>	Выход
5	130	8	<i>N65 X130 Z8 M9</i>	Отвод в исходную точку УП с отключением СОЖ
0	-	-	<i>N70 GXZ73</i>	Отвод в точку смены инструмента по осям X, Z
Установ А, переход П3 (рис. П.1.6)				
-	-	-	<i>N75 T3 D203; расточка черновая</i>	Вызов инструмента T3, включение коррекции его длины
-	-	-	<i>N80 G96 S120</i>	Задание скорости резания, м/мин
1	130	8	<i>N85 X130 Z8 M8</i>	Выход в исходную точку УП с включением СОЖ
2	39.6	2	<i>N90 X39.6 Z2</i>	Приближение к детали
3	39.6	-47.8	<i>N95 G1 Z-47.8 F0.3</i>	Перемещение к заданной точке
4	32	-47.8	<i>N100 X32</i>	Перемещение к заданной точке
5	32	5	<i>N105 G0 Z5</i>	Выход
6	130	8	<i>N110 X130 Z8 M9</i>	Отвод в исходную точку УП с отключением СОЖ

0	-	-	<i>N115 GXZ73</i>	Отвод в точку смены инструмента по осям <i>X, Z</i>
-	-	-	<i>N120 WAITM (10,1,2)</i>	Ввод согласующей метки <i>W10</i>
Установ <i>A</i> , переход <i>П6</i> (рис. П.1.6)				
-	-	-	<i>N125 T5 D205; расточка чистовая</i>	Вызов инструмента <i>T5</i> , включение коррекции его длины
-	-	-	<i>N130 G96 S180</i>	Задание скорости резания, м/мин
1	130	8	<i>N135 X130 Z8 M8</i>	Выход в исходную точку УП с включением СОЖ
2	39.9	2	<i>N140 X39.9 Z2</i>	Приближение к детали
3	39.9	-47.4	<i>N145 G1 Z-47.4 F0.15</i>	Перемещение к заданной точке
4	32	-47.4	<i>N150 X32</i>	Перемещение к заданной точке
5	32	5	<i>N155 G0 Z5</i>	Выход
6	130	8	<i>N160 X130 Z8 M9</i>	Отвод в исходную точку УП с отключением СОЖ
0	-	-	<i>N165 GXZ73</i>	Отвод в точку смены инструмента по осям <i>X, Z</i>
-	-	-	<i>N170 WAITM (15,1,2)</i>	Ввод согласующей метки <i>W15</i>
Установ <i>A</i> , переход <i>П9</i> (рис. П.1.11)				
-	-	-	<i>N175 T7 D207; расточка повышенной точности</i>	Вызов инструмента <i>T7</i> , включение коррекции его длины
-	-	-	<i>N180 G96 S200</i>	Задание скорости резания, м/мин
1	130	8	<i>N185 X130 Z8 M8</i>	Выход в исходную точку УП с включением СОЖ
2	40.4	2	<i>N190 X40.4 Z2</i>	Приближение к детали
3*	40.4	0	<i>N195 G1 G41 Z0 F0.06</i>	Перемещение к точке на поверхности детали
4	40	-0.2"	<i>N200 X40 RND=0.2</i>	Притупление острой кромки
5	40	-47.2	<i>N205 Z-47.2</i>	Перемещение к заданной точке
6	32	-47.2	<i>N210 X32</i>	Перемещение к заданной точке
7*	32	5	<i>N215 G0 Z5</i>	Выход
8	130	8	<i>N220 G40 X130 Z8 M5 M9</i>	Отвод в исходную точку УП с отключением СОЖ и остановом шпинделя
0	-	-	<i>N225 GXZ73</i>	Отвод в точку смены инструмента по осям <i>X, Z</i>
-	-	-	<i>N235 M0</i>	Программный останов станка
Переворот детали → Команда «ПУСК»				

-	-	-	<i>;обработка на установе Б</i>	Обозначение установа
-	-	-	<i>N240 G59 Z=ZMW_2</i>	Задание новой системы координат детали
Установ Б, переход <i>III0</i> (рис. П.1.13)				
-	-	-	<i>N245 T3 D203; расточка черновая</i>	Вызов инструмента <i>T3</i> , включение коррекции его длины
-	-	-	<i>N250 G96 S120</i>	Задание скорости резания, м/мин
1	130	8	<i>N255 G0 G90 X130 Z8 M3 M8</i>	Ввод абсолютной системы отсчета; выход в исходную точку УП с включением шпинделя и СОЖ
2	58	2	<i>N260 X58 Z2</i>	Приближение к детали
3*	58	0.2	<i>N265 G1 G41 Z0.2 F0.3</i>	Перемещение к заданной точке на контурной подаче, мм/об
4	”	”	<i>N270 ANG=-90</i>	Перемещение к плавающей точке
5	49.6	-4.8	<i>N275 ANG=-150 X49.6 Z-4.8</i>	Перемещение к заданной точке
6	49.6	-51	<i>N280 Z-51</i>	Отвод в исходную точку УП с отключением СОЖ
7	42	-54.8	<i>N285 G3 X42 Z-54.8 CR=3.8</i>	Циркуляционное перемещение к заданной точке
8	36	-54.8	<i>N290 G1 X36</i>	Прямолинейное перемещение к заданной точке
9	36	5	<i>N295 G0 Z5</i>	Выход
10*	130	8	<i>N300 G40 X130 Z8 M9</i>	Отвод в исходную точку УП с отключением СОЖ
0	-	-	<i>N305 GXZ73</i>	Отвод в точку смены инструмента по осям <i>X, Z</i>
Установ Б, переход <i>III1</i> (рис. П.1.14)				
-	-	-	<i>N310 T9 D209; канавка внутренняя (резец В_5)</i>	Вызов инструмента <i>T9</i> , включение коррекции длины режущей вершины №1
-	-	-	<i>N315 G96 S120; черновая обработка</i>	Задание скорости резания, м/мин
1	130	8	<i>N320 G0 X130 Z8 M8</i>	Выход в исходную точку УП на ускоренной подаче с включением подачи СОЖ
2	46	2	<i>N325 X46 Z2</i>	Приближение к детали
3^	46	-11	<i>N330 D229 Z-11</i>	Перемещение к заданной точке
4	52	-11	<i>N335 G1 X52 F0.08</i>	Врезание
5^	52	-44	<i>N340 D209 Z-44 F0.2</i>	Перемещение к заданной точке
6	46	-44	<i>N345 X46</i>	Отход от контура
7	46	-43	<i>N350 Z-43</i>	Перемещение к заданной точке
8	54.6	-43	<i>N355 X54.6 F0.08</i>	Врезание

9^	54.6	-12	<i>N360 D229 Z-12 F0.2</i>	Перемещение к заданной точке
10	46	-12	<i>N365 X46</i>	Отход от контура
-	-	-	<i>N370 G96 S180; чистовая обработка</i>	Задание новой скорости резания, м/мин
11	46	-9.8	<i>N375 Z-9.8</i>	Перемещение к заданной точке
12*	50	-9.8	<i>N380 G41 X50 F0.1</i>	Перемещение к точке на поверхности детали
13	50.4''	-10	<i>N385 Z-10 RND=0.2</i>	Притупление острой кромки
14	55	-12''	<i>N390 X55 RND=2</i>	Перемещение к заданной точке; выполнение скругления
15	55	-13	<i>N395 Z-13</i>	Отход от стенки
16*	46	-13	<i>N400 G0 G40 X46</i>	Отход от контура
17^	46	-55.2	<i>N405 D209 Z-55.2</i>	Перемещение к заданной точке
18*	50	-55.2	<i>N410 G1 G42 X50</i>	Перемещение к точке на поверхности детали
19	50.4''	-55	<i>N415 Z-55 RND=0.2</i>	Притупление острой кромки
20	55	-53''	<i>N420 X55 RND=2</i>	Перемещение к заданной точке; выполнение скругления
21^	51''	-10	<i>N425 D229 Z-10 RND=2</i>	Перемещение к заданной точке; выполнение скругления
22	46	-10	<i>N430 X46</i>	Движение вдоль стенки
23	46	5	<i>N435 G0 Z5</i>	Выход
24*	130	8	<i>N440 G40 X130 Z8 M9</i>	Отвод в исходную точку УП с отключением СОЖ
0	-	-	<i>N445 GXZ73</i>	Отвод в точку смены инструмента по осям <i>X, Z</i>
Установ <i>Б</i> , переход <i>П12</i> (рис. П.1.15)				
-	-	-	<i>N450 T11 D211; канавка торцевая (резец В_4)</i>	Вызов инструмента <i>T11</i> , включение коррекции длины режущей вершины №1
-	-	-	<i>N455 G96 S120; черновая обработка</i>	Задание скорости резания, м/мин
1	130	8	<i>N460 G0 X130 Z8 M8</i>	Выход в исходную точку УП на ускоренной подаче с включением подачи СОЖ
2	89	2	<i>N465 X89 Z2</i>	Приближение к детали
3	89	-4.8	<i>N470 G1 Z-4.8 F0.08</i>	Врезание
4	89	2	<i>N475 G0 Z2</i>	Отход от контура
5	93	2	<i>N480 X93</i>	Перемещение к заданной точке
6	93	-4	<i>N485 G1 Z-4</i>	Врезание

7	93	2	<i>N490 G0 Z2</i>	Отход от контура
8^	77	2	<i>N495 D231 X77</i>	Перемещение к заданной точке
9	77	-4	<i>N500 G1 Z-4</i>	Врезание
10	77	2	<i>N505 G0 Z2</i>	Отход от контура
-	-	-	<i>N510 G96 S180; чистовая обработка</i>	Задание новой скорости резания, м/мин
11	74.6	2	<i>N515 X74.6</i>	Перемещение к заданной точке
12*	74.6	0	<i>N520 G1 G42 Z0 F0.1</i>	Перемещение к точке на поверхности детали
13	75	-0.2"	<i>N525 X75 RND=0.2</i>	Притупление острой кромки
14	79"	-5	<i>N530 Z-5 RND=2</i>	Перемещение к заданной точке; выполнение скругления
15	80	-5	<i>N535 X80</i>	Отход от стенки
16*	80	2	<i>N540 G0 G40 Z2</i>	Отход от контура
17^	95.4	2	<i>N545 D211 X95.4</i>	Перемещение к заданной точке
18*	95.4	0	<i>N550 G1 G41 Z0</i>	Перемещение к точке на поверхности детали
19	95	-0.2"	<i>N555 X95 RND=0.2</i>	Притупление острой кромки
20	91"	-5	<i>N560 Z-5 RND=2</i>	Перемещение к заданной точке; выполнение скругления
21^	75	-3"	<i>N565 D231 X75 RND=2</i>	Перемещение к заданной точке; выполнение скругления
22	75	2	<i>N570 Z2</i>	Движение вдоль стенки
23*	130	8	<i>N575 G40 X130 Z8 M9</i>	Отвод в исходную точку УП с отключением СОЖ
0	-	-	<i>N580 GXZ73</i>	Отвод в точку смены инструмента по осям <i>X, Z</i>
-	-	-		
-	-	-	<i>N585 WAITM (20,1,2)</i>	Ввод согласующей метки <i>W5</i>
-	-	-	<i>N590 WAITM (25,1,2)</i>	Ввод согласующей метки <i>W10</i>
Установ <i>Б</i> , переход <i>П14</i> (рис. П.1.17)				
-	-	-	<i>N595 T5 D205; расточка чистовая</i>	Вызов инструмента <i>T5</i> , включение коррекции его длины
-	-	-	<i>N600 G96 S180</i>	Задание скорости резания, м/мин
1	130	8	<i>N605 G0 X130 Z8 M8</i>	Выход в исходную точку УП на ускоренной подаче с включением подачи СОЖ
2	58	2	<i>N610 X58 Z2</i>	Приближение к детали

3*	58	0.2	<i>N615 G1 G41 Z0.2 F0.1</i>	Перемещение к заданной точке
4	”	”	<i>N620 ANG=-90</i>	Перемещение к плавающей точке
5	50	-5	<i>N625 ANG=-150 X50 Z-5</i>	Перемещение к заданной точке
6	50	-12	<i>N630 Z-12</i>	Перемещение к заданной точке
7	50	-43	<i>N635 G0 Z-43</i>	Перемещение к заданной точке
8	42	-55	<i>N640 G1 Z-55 RND=4</i>	Перемещение к заданной точке; выполнение скругления
9	40	-55.2”	<i>N645 X40 RND=0.2</i>	Перемещение к заданной точке; притупление острой кромки
10	39.5	-57	<i>N650 X39.5 Z-57</i>	Перемещение к заданной точке
11	36	-57	<i>N655 X36</i>	Отход от контура
12	36	5	<i>N660 G0 Z5</i>	Отход от детали
13*	130	8	<i>N665 G40 X130 Z8 M5 M9</i>	Отвод в исходную точку УП с отключением СОЖ и остановом шпинделя
0	-	-	<i>N670 GXZ73</i>	Отвод в точку смены инструмента по осям <i>X, Z</i>
-	-	-	<i>N675 WAITM (30,1,2)</i>	Ввод согласующей метки <i>W15</i>
-	-	-	<i>N680 WAITM (35,1,2)</i>	Ввод согласующей метки <i>W20</i>
-	-	-	<i>N685 M30</i>	Конец программы

Таблица П.1.8

Установ Б , подпрограмма перехода П15 (рис. П.1.18)					
Номера опорных точек	X	Y	Z	Текст подпрограммы для револьверной головки №1	КОММЕНТАРИИ
-	-	-	-	<i>;sub-program 1</i>	Обозначение имени подпрограммы
-	-	-	-	<i>N5 M12</i>	Включение угловой фиксации шпинделя
-	-	-	-	<i>N10 G94 S400; черновая обработка</i>	Задание частоты вращения, об/мин
1	130	25	8	<i>N15 Y25</i>	Перемещение к заданной точке
2	130	25	-22	<i>N20 G1 Z-22 F2000</i>	Подвод к детали на контурной подаче, мм/мин
3*	105.4	25	-22	<i>N25 G41 X105.4</i>	Перемещение к заданной точке
4	105.4	-25	-22	<i>N30 Y-25 F80</i>	Перемещение к заданной точке
5*	130	-25	-22	<i>N35 G40 X130 F2000</i>	Перемещение к заданной точке
-	-	-	-	<i>N40 G94 S700; чистовая обработка</i>	Задание новой частоты вращения, об/мин
6	130	25	-22	<i>N45 Y25</i>	Перемещение к заданной точке
7*	105	25	-22	<i>N50 G41 X105</i>	Перемещение к заданной точке
8	105	-25	-22	<i>N55 Y-25 F120</i>	Перемещение к заданной точке
9*	130	-25	-22	<i>N60 G40 X130 F2000</i>	Перемещение к заданной точке
10	130	-25	8	<i>N65 G0 Z8</i>	Отвод от детали
-	-	-	-	<i>N70 M13</i>	Отключение угловой фиксации шпинделя
-	-	-	-	<i>N75 G91 C45</i>	Ввод относительной системы отсчета; поворот шпинделя на заданный угол
-	-	-	-	<i>N80 G90</i>	Возвращение к абсолютной системе отсчета
-	-	-	-	<i>N85 M17</i>	Конец подпрограммы

Условные обозначения таблиц П.1.6...П.1.8:

- * - точки включения и отключения коррекции радиуса режущей вершины резца или диаметра фрезы;
- ” - координаты «плавающих» точек, рассчитанные системой ЧПУ станка;
- ^ - смещение системы ЧПУ к параметрам коррекции длины другой кромки резца.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

Пример программирования технологической операции на станке фрезерной группы типа «Обрабатывающий центр»

Цель раздела – обучение принципам подготовки, пуско-наладки и программирования процесса комбинированной обработки корпусных деталей на многофункциональном станке фрезерной группы с ЧПУ типа «Обрабатывающий центр».

Исходные данные

Эскиз и трехмерная модель выполняемой детали – рис. П.2.1, П.2.2.

Заготовка – тип и размеры определяются в процессе работы.

Материал – конструкционная сталь средней твердости ($HRC=30...40$).

Оборудование – вертикальный трехкоординатный станок с ЧПУ типа «Обрабатывающий центр».

Марка и модификация – определяются в процессе выполнения работы.

Язык программирования управляющей программы – **FANUC**.

Общие принципы технологии выполнения детали

В рамках принятого технологического процесса деталь обрабатывается по комбинированной операции на вертикальном трехкоординатном ОЦ, а также по одной или нескольким операциям на универсальном фрезерном оборудовании. В процессе обработки по комбинированной операции деталь переустанавливается на рабочем столе станка. Выполнение детали на всех установках осуществляется по единой УП. Останов станка с целью переустановки детали производится автоматически по команде УП «**M0**»; возобновление работы осуществляется с пульта управления клавишей «**ПУСК**».

Обработка детали на большинстве операций производится в самоустанавливающихся тисках. По предварительной операции **005**, выполняемой на универсальном фрезерном станке, предусмотрено выполнение уступов **Г** (рис. П.2.3) для дальнейшего базирования детали. Последующая комбинированная операция **010** включает в себя обработку детали на трех установках. На установке **А** производится обработка торцевой поверхности детали и полного профиля ее боковой грани (рис. П.2.4); деталь базируется на уступах **Г**. Далее на установке **Б** деталь обрабатывается с противоположной стороны при условии выполнения заданного чертежного размера **Д** (рис. П.2.5). На установке **В** производится обработка детали по длинной боковой грани. На завершающем этапе деталь переносится на универсальный фрезерный станок с целью обработки по короткой боковой грани (операция **015**); для крепления детали используется специальное приспособление.

На первоначальном этапе подготовки комбинированной операции разрабатывается компоновка рабочей зоны станка с ЧПУ, осуществляется выбор подходящего станка и элементов крепления детали, производится выбор типа и параметров задействованных инструментов, выполняется разработка эскиза заготовки. Установка тисков на рабочем столе ОЦ выполняется с учетом обеспечения удобства ручной смены заготовок и безопасного перемещения инструментов. Пример схемы компоновки рабочей зоны станка приведен на рис.2.1. При выборе ОЦ прежде всего учитываются размеры рабочей зоны и емкость инструментального магазина станка. Основные требования, предъявляемые к станку:

- достаточная площадь рабочего стола, обеспечивающая возможность обработки детали заданному числу установов;
- достаточная емкость инструментального магазина, обеспечивающая возможность обработки детали единым комплектом инструментов.

Для выполнения операции **010** был выбран вертикальный трехкоординатный станок типа ОЦ марки **ИМС_750** (рис. П.2.6). Рабочие характеристики станка приведены табл. П.2.1. Выбор тисков осуществляется с учетом их размеров, точности и величины усилия зажатия. Для крепления деталей на всех установках были выбраны станочные тиски с ручным приводом марки **GT-125-I**. Эскиз тисков приведен на рис. П.2.7, характеристики – в табл. П.2.2. В конструкции тисков предусмотрена возможность крепления и удобной регулировки бокового упора (рис. П.2.8), предназначенного для фиксации детали.

На каждом установе комбинированной операции **010** деталь имеет свои, независимые от других, координаты нулевой точки. Система координат детали на установе **A** кодируется функцией **G54**, на установе **B** – **G55**, на установе **B** – **G56**. В табл. П.2.3 приведены ориентировочные значения констант смещения нулевых точек по каждому установу (X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i} , на рис.2.1). Точные величины констант смещения определяются в процессе проведения пуско-наладочных работ.

В табл. П.2.4 приведен список и параметры задействованных инструментов. Как было отмечено выше, траектории фрез, выполняющих обработку по контуру, обычно программируются непосредственно по элементам контура чертежа. С этой целью в УП вводится команда на коррекцию диаметров инструментов. Для указанной группы фрез в систему ЧПУ станка был внесен дополнительный параметр: «ЗАДАННЫЙ» диаметр режущей части инструмента (см. табл. П.2.4). У инструментов, выполняющих чистовую обработку, «заданный» диаметр равен фактическому. Для инструментов, выполняющих черновую обработку, «заданный» диаметр должен быть больше фактического. Разность значений двух диаметров равна удвоенной величине припуска материала, формируемого в результате обработки.

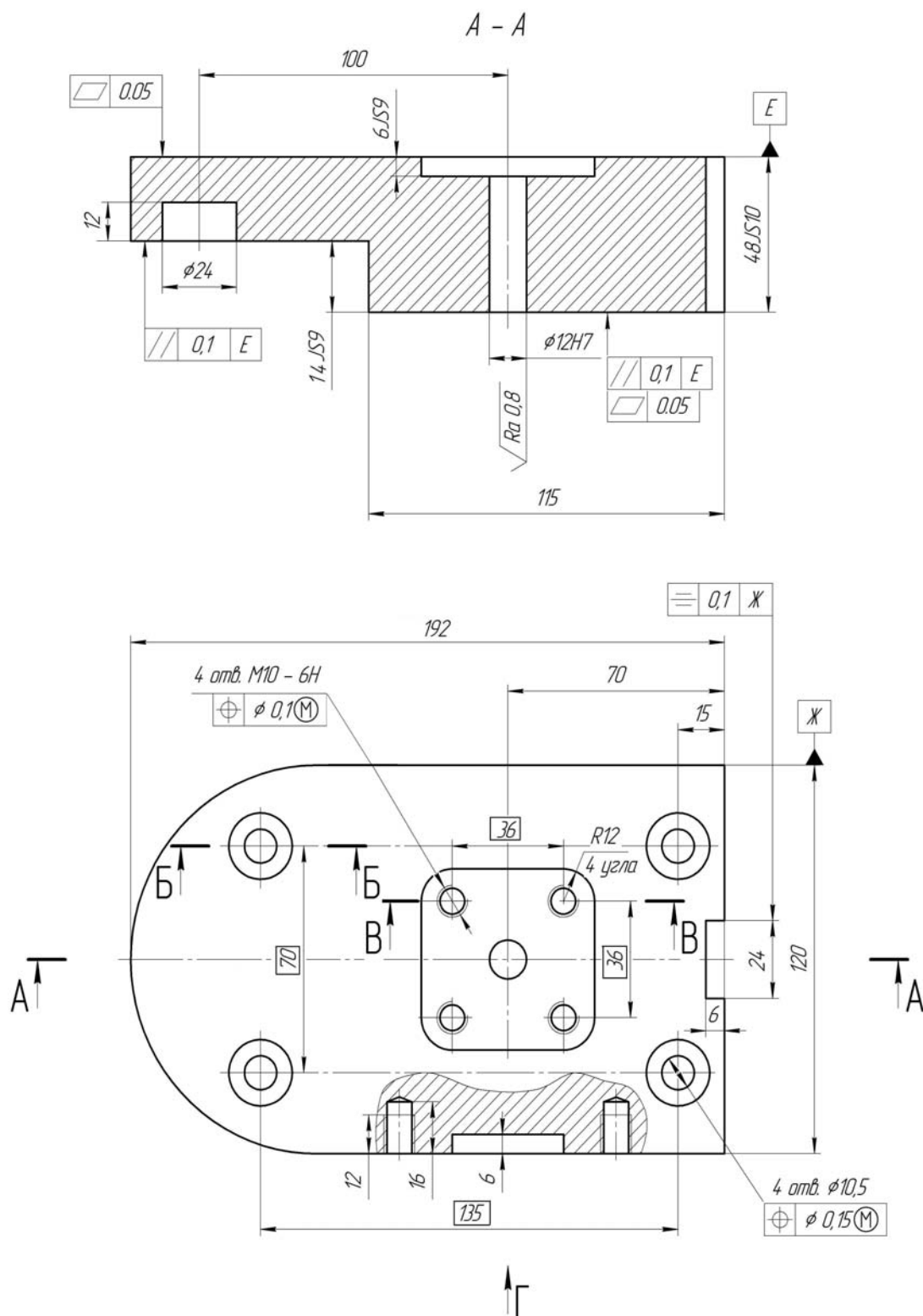


Рис. П.2.1. Эскиз детали (левая сторона)

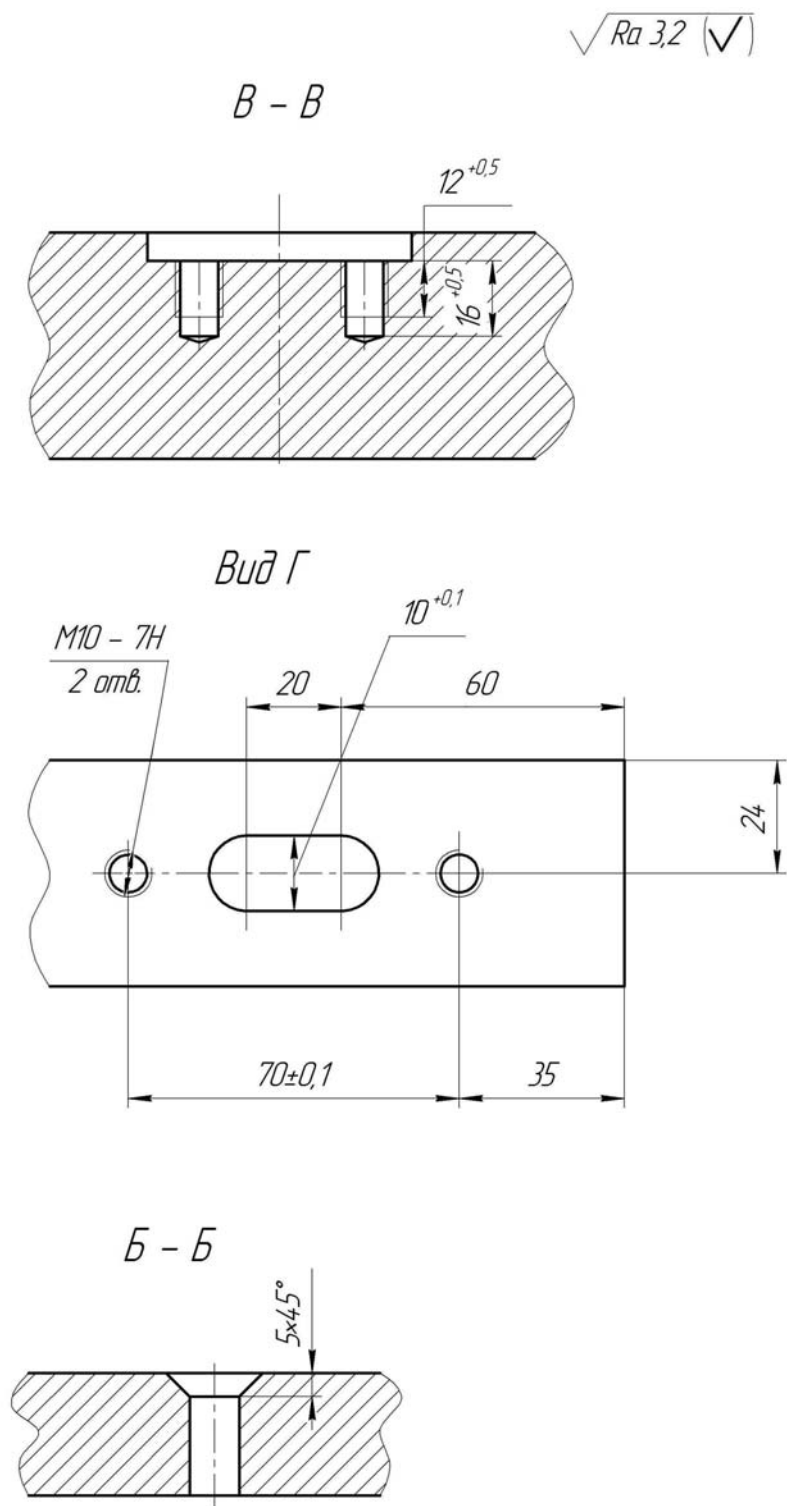


Рис. П.2.1 (правая сторона)

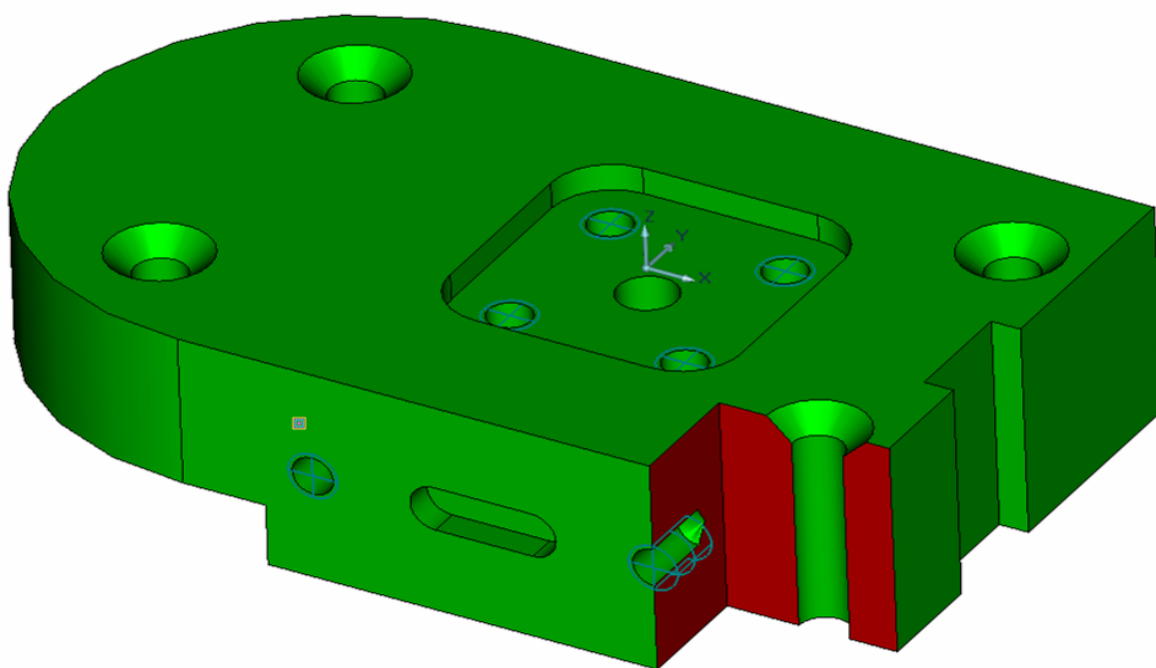


Рис. П.2.2. Изображение трехмерной модели детали

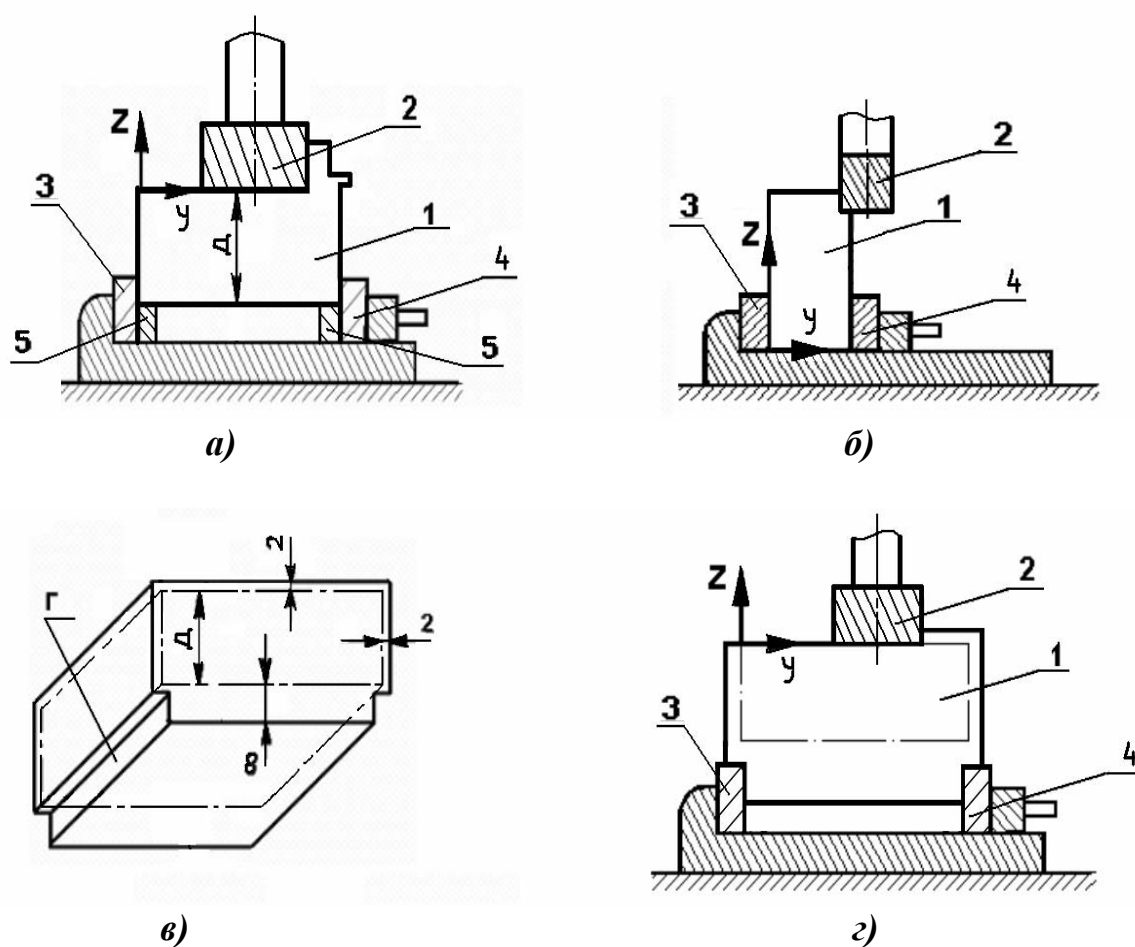


Рис. П.2.3. Принципы выполнения комбинированной операции 010:

а) – подготовка заготовки к комбинированной операции; б) – установ *A*; в) – установ *B*; г) – установ *B*; 1 – заготовка; 2 – обрабатывающий инструмент; 3 – неподвижная губка тисков; 4 – подвижная губка тисков; 5 – параллельные планки

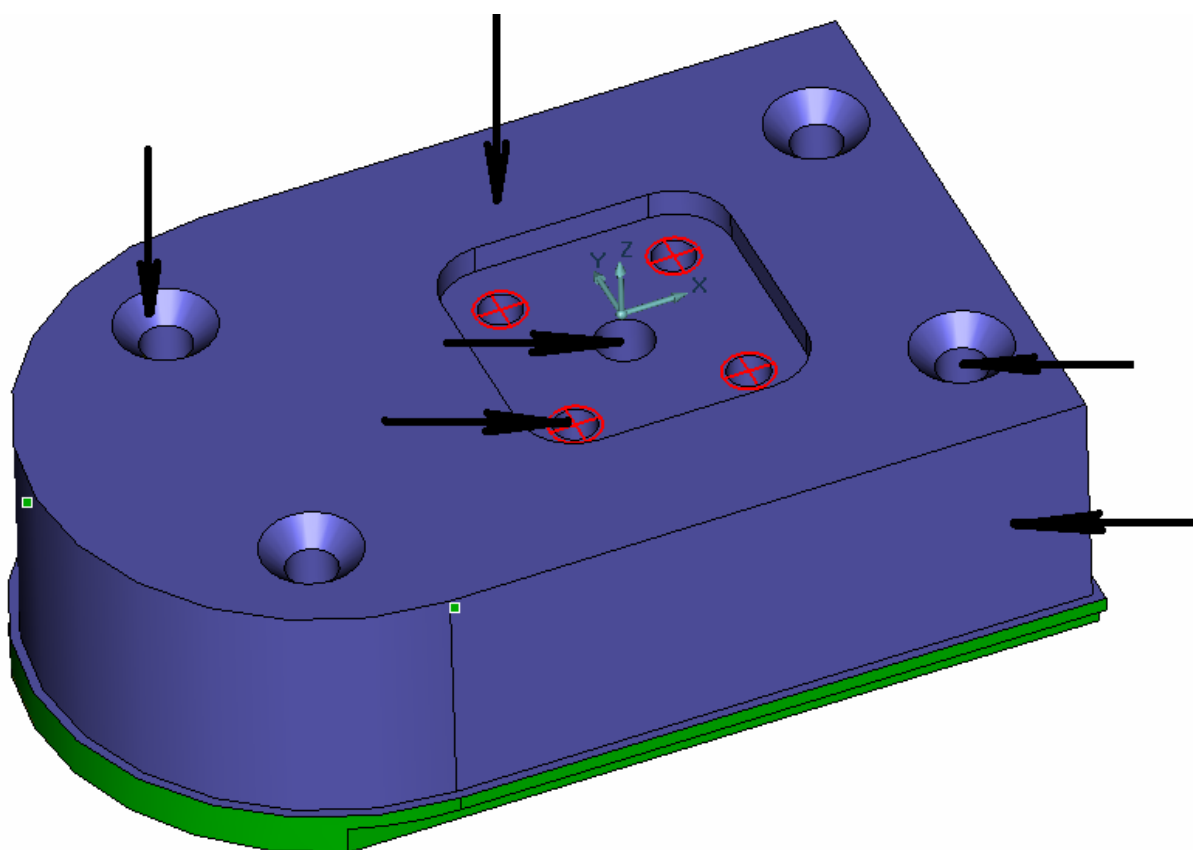


Рис. П.2.4. Модель обработки на установке «А» комбинированной операции **010**

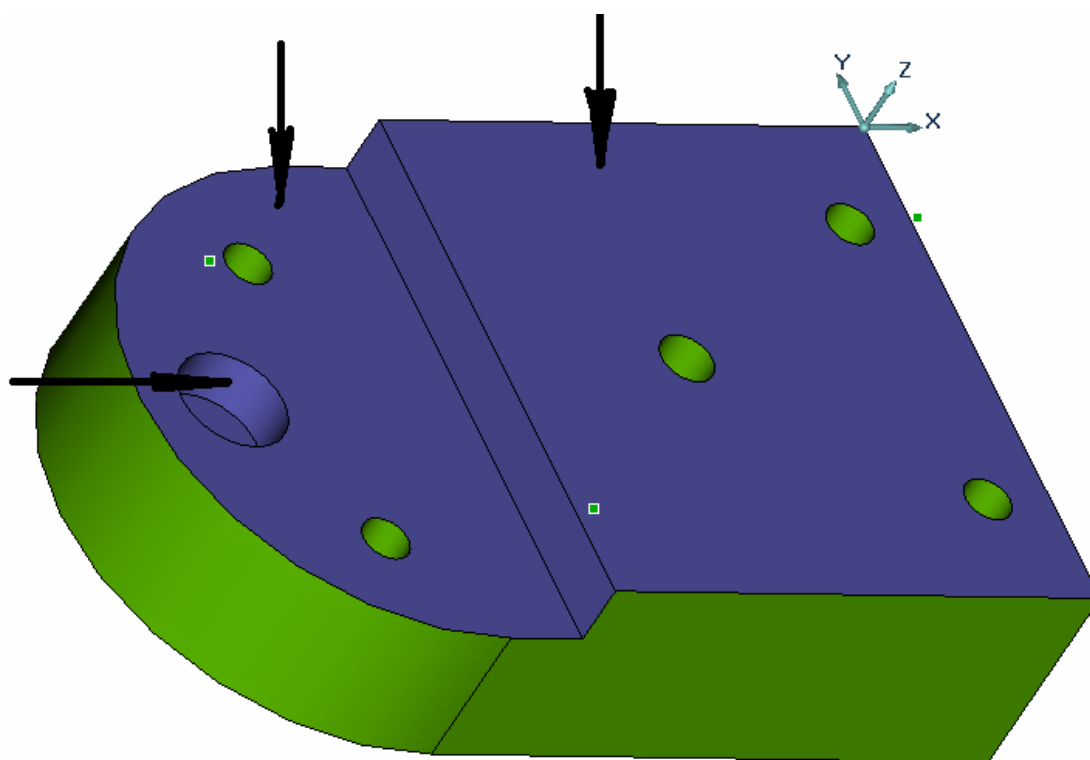


Рис. П.2.5. Модель обработки на установке «Б» комбинированной операции **010**



Рис. П.2.6. Трехкоординатный вертикальный станок с ЧПУ типа ОЦ «*VMC 750*»

Таблица П.2.1

Описание		Ед. изм.	Параметры
Размеры стола		мм	450*900
Мах нагрузка на стол		кг	600
Конус шпинделя		№	ISO 40
Мощность двигателя шпинделя		кВт	5.5 / 7.5
Скорость вращ шпинделя		об/мин	8000
Система ЧПУ			FANUC
Габариты:	Длина	мм	2800
	Ширина		2300
	Высота		2600

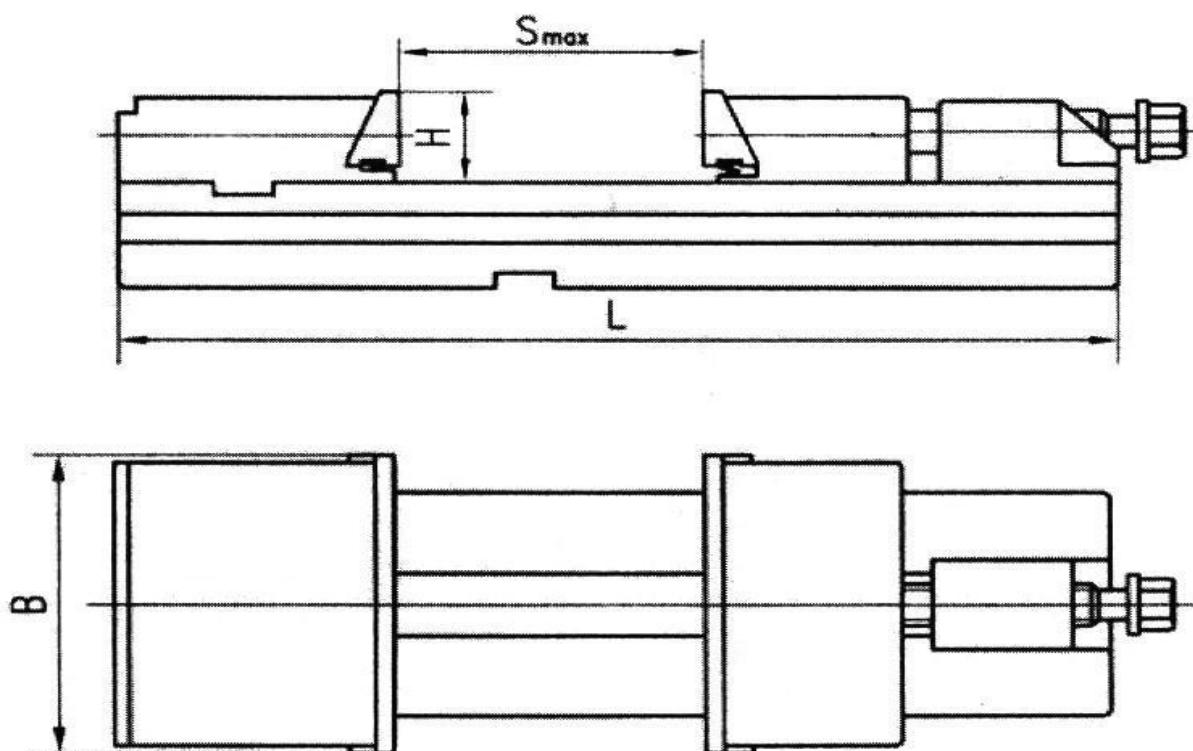


Рис. П.2.7. Станочные самоустанавливающиеся тиски **GT-125-I** фирмы «**GOLDTOOL**» с боковым упором (структурная схема)

Таблица П.2.2

B , мм	125
H , мм	40
S_{MAX} , мм	150
L , мм	345
Усилие зажима, кН	3000
Масса, кг	12.7



Рис. П.2.8. Станочные тиски **GT-125-I** с боковым упором (внешний вид)

Таблица П.2.3

Наименование установка	A	B	B
Кодирование	G54	G55	G56
Константа X_{0i}	-700	-400	-100
Константа Y_{0i}	-200	-100	-150

Таблица П.2.4

Обозначение	Описание инструмента	Диаметр режущей части, мм		Длина режущей части, мм	Число режущих кромок
		Фактич.	Заданный		
T1	Фреза торцевая, со сменными пластинами	160	-	-	12-16

Продолжение таблицы П.2.4

T2	Фреза торцово-цилиндрическая со сменными пластинами	40	40,4	50 min	4
T3	Центровка	6	-	-	2
T4	Сверло	11,8	-	55 min	2
T5	Сверло	10,5	-	55 min	2
T6	Фреза концевая, черновая, твердосплавная	20	20,2	15 min	4
T7	Фреза концевая, чистовая, твердосплавная	20	20	50 min	4-6
T8	Сверло	8,5	-	55 min	2
T9	Метчик М10-7Н (шаг Р=1.5)	-	-	20 min	3
T10	Развертка Ø12-Н7	12	-	50 min	3
T11	Зенковка 90°	24 min	-	-	4
T12	Фреза шпоночная, твердосплавная	8	8	8 min	3

Таблица П.2.5

005 ФРЕЗЕРНАЯ ОПЕРАЦИЯ	
Условное обозначение перехода	Описание перехода
Переход Π01 (рис. П.2.10)	Фрезеровать уступ, выдерживая размеры 1 и 4
Переход Π02 (рис. П.2.10)	Фрезеровать уступ, выдерживая размеры 2 и 3

010 КОМБИНИРОВАННАЯ ОПЕРАЦИЯ		
Условное обозначение перехода	Инструмент (корректор длины, корректор диаметра)	Описание перехода
Установ А (рис. П.2.11)	-	-
Переход Π1 (рис. П.2.12)	T1 (H1)	Фрезеровать поверхность, выдерживая размер 1
Переход Π2 (рис. П.2.13)	T2 (H2, D2)	Фрезеровать поверхность, выдерживая размеры 1...3
Переход Π3 (рис. П.2.14)	T3 (H3)	Центровать отверстия на глубину 3, выдерживая размеры 1...6
Переход Π4 (рис. П.2.15)	T4 (H4)	Сверлить отверстие, выдерживая размеры 1...3

Переход П5 (рис. П.2.16)	T5 (H5)	Сверлить отверстия, выдерживая размеры 1...7
Переход П6 (рис. П.2.17)	T6 (H6, D6)	Фрезеровать карман, выдерживая размеры 1...5
Переход П7 (рис. П.2.18)	T7 (H7, D7)	Фрезеровать карман, выдерживая размеры 1...5
Переход П8-1 (рис. П.2.19)	T3 (H3)	Центровать отверстия на глубину 3, выдерживая размеры 3...5
Переход П8-2 (рис. П.2.19)	T8 (H8)	Сверлить отверстия, выдерживая размеры 1,3...5
Переход П8-3 (рис. П.2.19)	T9 (H9)	Нарезать резьбу, выдерживая размеры 2...6
Переход П9 (рис. П.2.20)	T1 (H1)	Фрезеровать поверхность, выдерживая размер 1
Переход П10 (рис. П.2.21)	T7 (H7, D7)	Фрезеровать поверхность, выдерживая размеры 1...3
Переход П11 (рис. П.2.22)	T10 (H10)	Развертывать отверстие, выдерживая размеры 1...3
Переход П12 (рис. П.2.23)	T110 (H11)	Зенковать отверстие, выдерживая размеры 1...6
Установ Б (рис. П.2.24)	-	-
Переход П13 (рис. П.2.25)	T1 (H1)	Фрезеровать поверхность, выдерживая размер 1
Переход П14 (рис. П.2.26)	T2 (H2, D2)	Фрезеровать уступ, выдерживая размеры 1,2
Переход П15 (рис. П.2.27)	T7 (H7, D7)	Фрезеровать уступ, выдерживая размеры 1,2
Переход П16 (рис. П.2.28)	T1 (H1)	Фрезеровать поверхность, выдерживая размер 1
Переход П17 (рис. П.2.29)	T7 (H7, D7)	Фрезеровать карман, выдерживая размеры 1...3
Установ В (рис. П.2.30)	-	-
Переход П18 (рис. П.2.31)	T12 (H12, D12)	Фрезеровать шпоночный паз, выдерживая размеры 1...5
Переход П19-1 (рис. П.2.32)	T3 (H3)	Центровать отверстия на глубину 3, выдерживая размеры 3...5
Переход П19-2 (рис. П.2.32)	T8 (H8)	Сверлить отверстия, выдерживая размеры 1,3...5
Переход П19-3 (рис. П.2.32)	T9 (H9)	Нарезать резьбу, выдерживая размеры 2...6

015 ФРЕЗЕРНАЯ ОПЕРАЦИЯ

Условное обозначение перехода	Описание перехода
Переход П03 (рис. П.2.33)	Фрезеровать паз, выдерживая размеры 1,2

Разработка технологических эскизов и управляющей программы

Положение нулевой точки системы координат детали задается с учетом обеспечения удобства расчетов траекторий инструментов. Вдоль координатной оси **Z** ее позиция устанавливается на настроечной плоскости детали. На установках **A** и **B** (рис. П.2.3) настроечной плоскостью принимается верхняя плоскость, формируемая в процессе снятия припуска. На установке **B** настроечной принята плоскость базирования детали в тисках.

В качестве нулевой точки в плане **X-Y** на установке **A** выбрана точка, от которой рассчитывается большинство размеров детали. На установках **B** и **B** контуры обрабатываемых поверхностей имеют простую конфигурацию. Поэтому нулевая точка была установлена на линии пересечения обработанных боковых поверхностей со стороны неподвижных губок тисков и бокового упора.

В рамках поставленной задачи была принята форма заготовки, отображающая внешний геометрический контур детали с заданными технологическими припусками. Величины припусков – 2 мм по каждой грани заготовки (рис. П.2.3). Для крепления в тисках по одной из граней заготовки был предусмотрен дополнительный припуск, равный 8...10 мм (контур готовой детали обозначен штрихпунктирной линией). Контуры заготовки воспроизводят только основные контуры детали без учета конфигурации отверстий, мелких уступов, карманов, пазов и т.д. Для выполняемой детали определены следующие параметры заготовки: **L=196мм; B=124мм; H=58мм**. Эскиз заготовки приведен на рис. П.2.9.

В табл. П.2.5 приведено краткое описание выполняемых операций и переходов. Эскизы обработки детали по операциям и установкам приведены на рис. П.2.10, рис. П.2.11, рис. П.2.24, рис. П.2.30, рис. П.2.33. Эскизы переходов инструментов приведены на рис. П.2.12 ... рис. П.2.23, рис. П.2.25 ... рис. П.2.29, рис. П.2.31 ... рис. П.2.32. Отображения однотипных переходов (центрирование, сверление и нарезание резьбы) были объединены в единых эскизах (рис. П.2.19, рис. П.2.32).

Программа управления рабочими органами станка в процессе выполнения комбинированной операции **010** представлена в составе карты кодирования информации (табл. П.2.6). Повторяющиеся траектории перехода **П2** (установ **A**) и перехода **П17** (установ **B**) выделены в подпрограммы (табл. П.2.7).

Состав курсовой / практической работы

- Разработка схемы компоновки рабочей зоны станка;
 - выбор станка с ЧПУ и элементов крепления детали;
 - определение ориентировочных позиций нулевых точек систем координат детали по каждому установу на станке с ЧПУ;
 - выбор типа и параметров инструментов;
 - краткое описание выполняемых операций и переходов;
 - разработка эскиза заготовки;
 - разработка эскизов обработки детали по операциям и установкам;
 - разработка эскизов переходов инструментов;
- разработка управляющей программы комбинированной операции, выполнение карт кодирования информации.

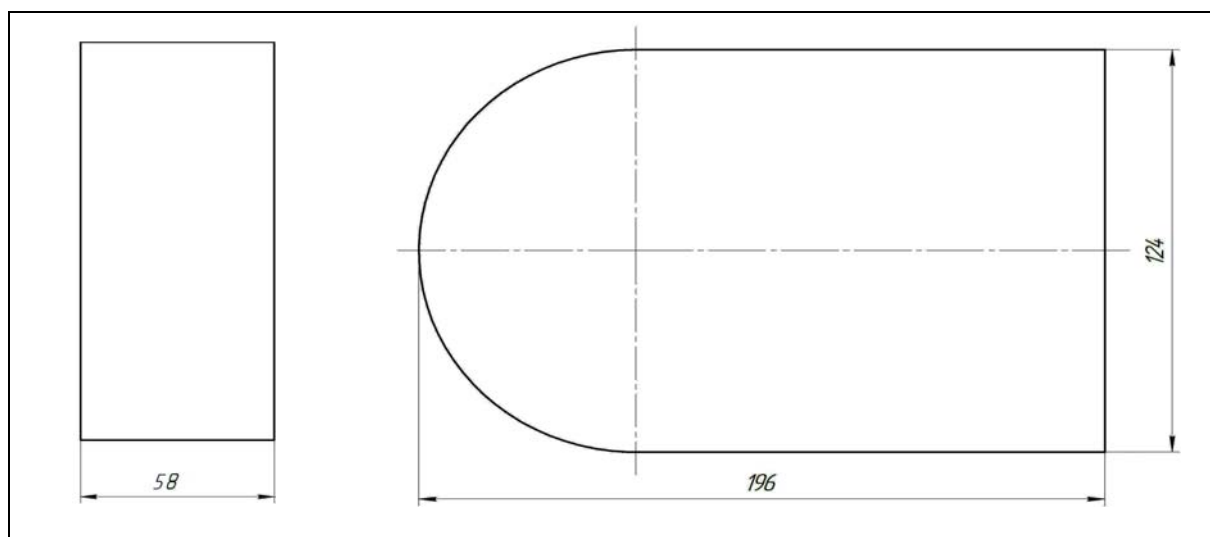


Рис. П.2.9. Заготовка

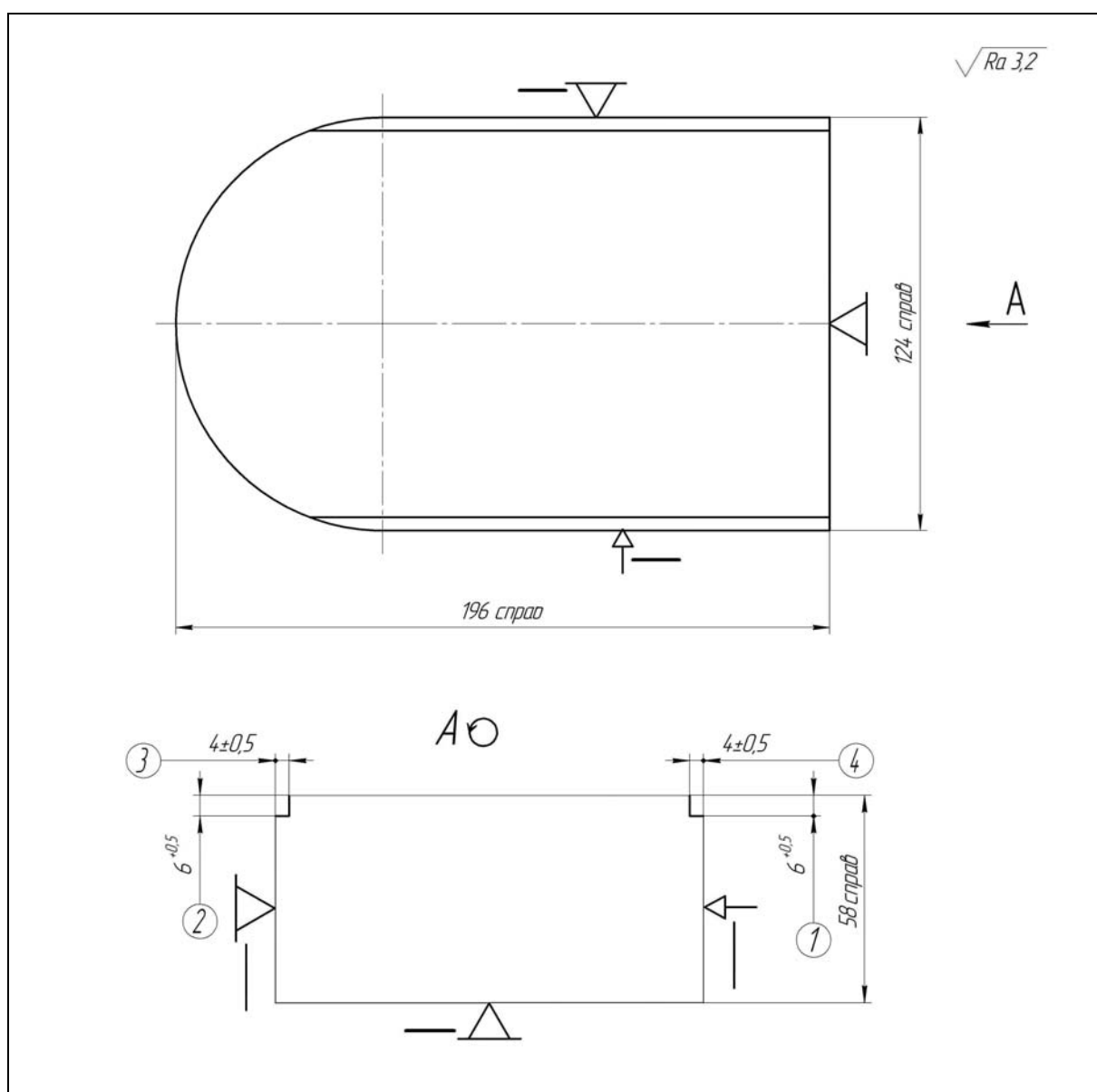


Рис. П.2.10. Фрезерная операция 005

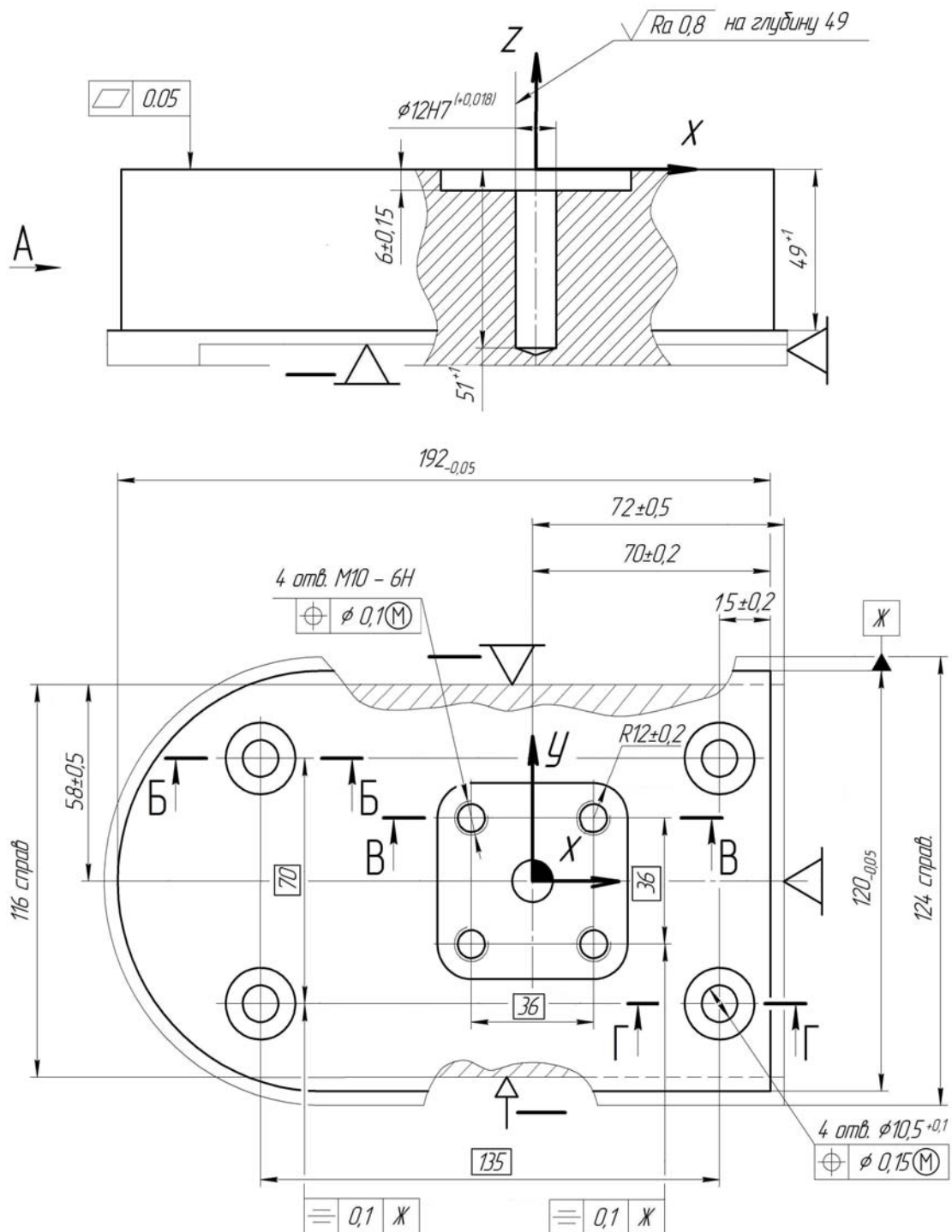


Рис. П.2.11. Комбинированная операция **010**, установ **A** (левая сторона)

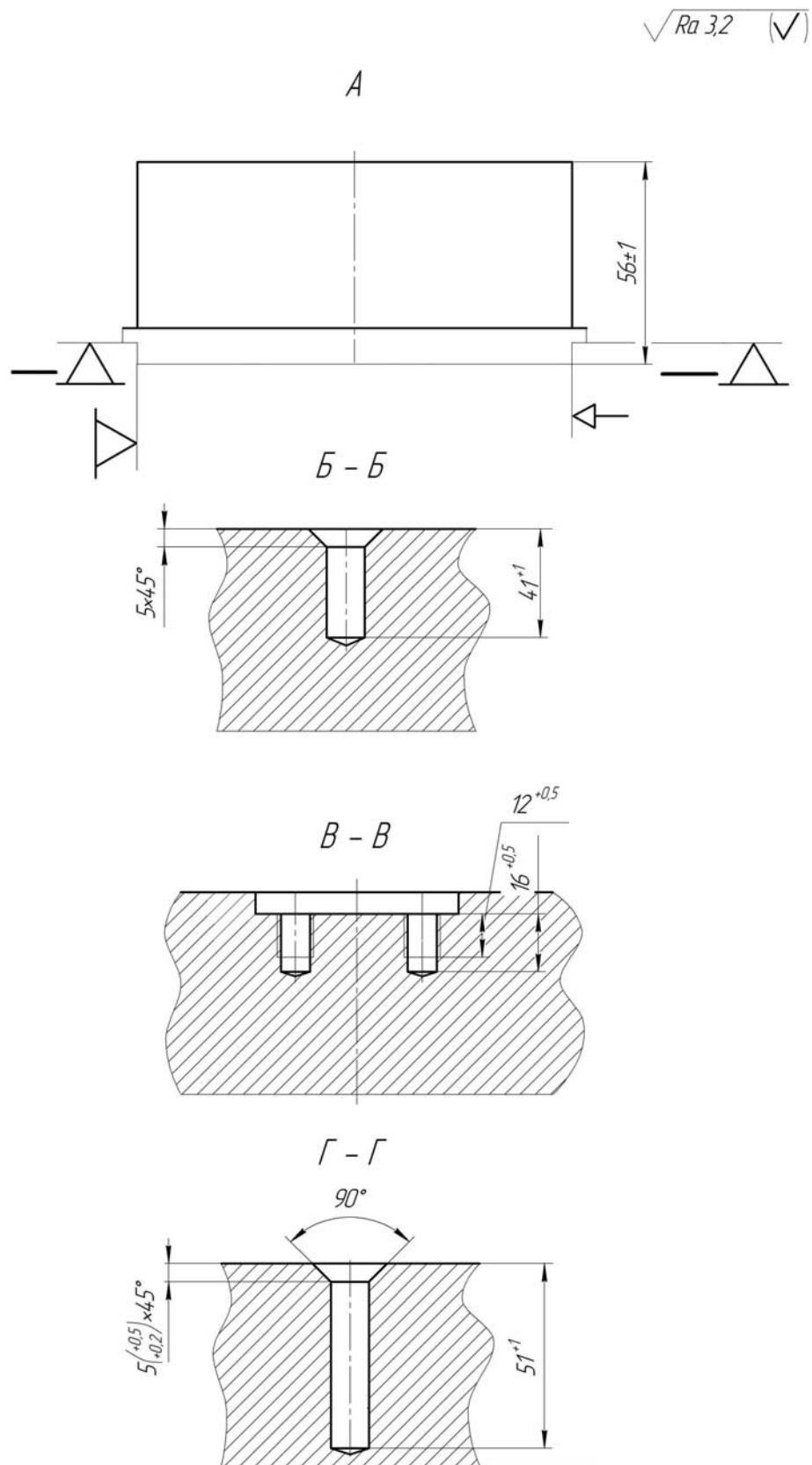


Рис. П.2.11. (правая сторона)

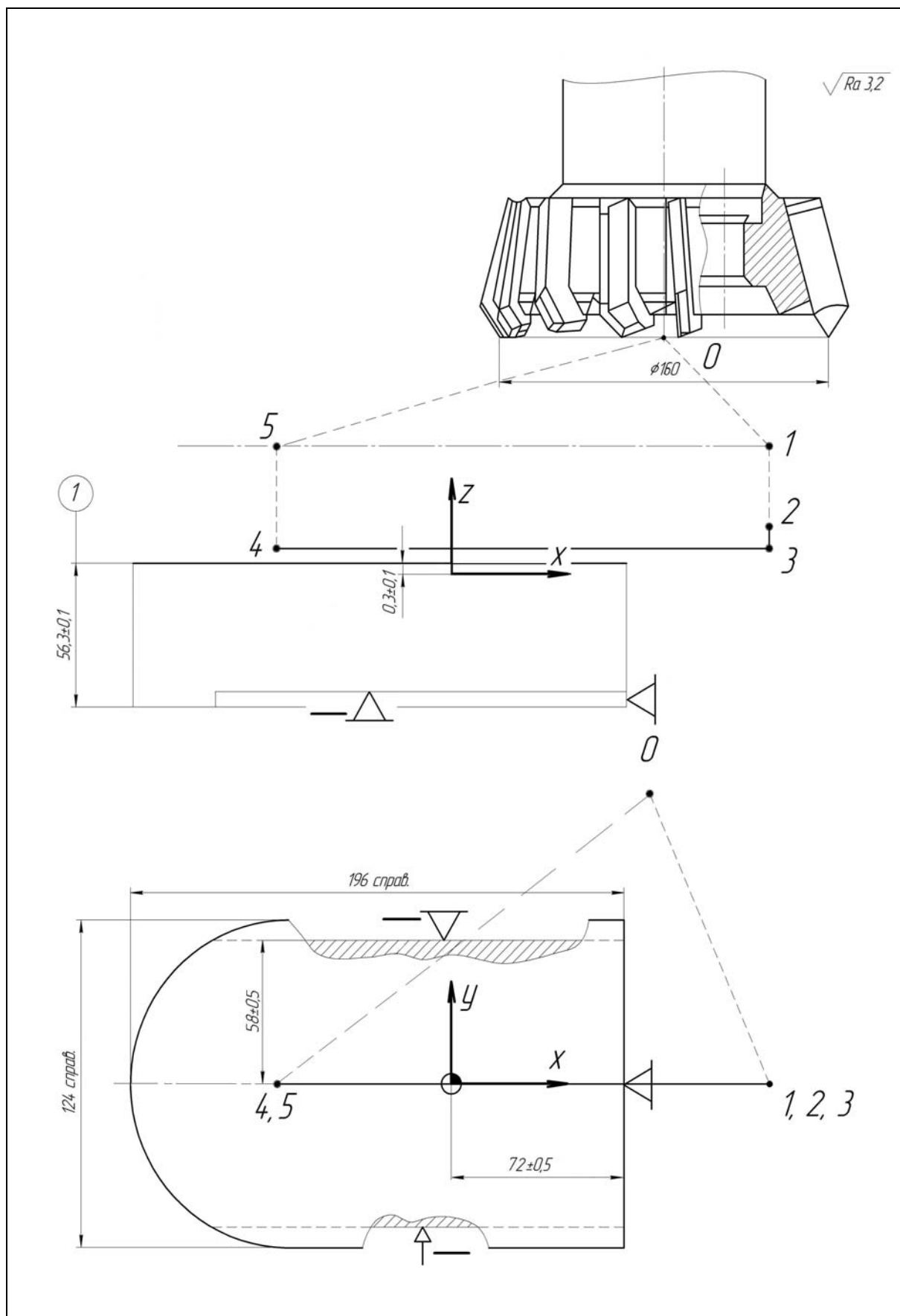


Рис. П.2.12. Установ *A* операции **010**, переход **III** (инструмент **T1**)

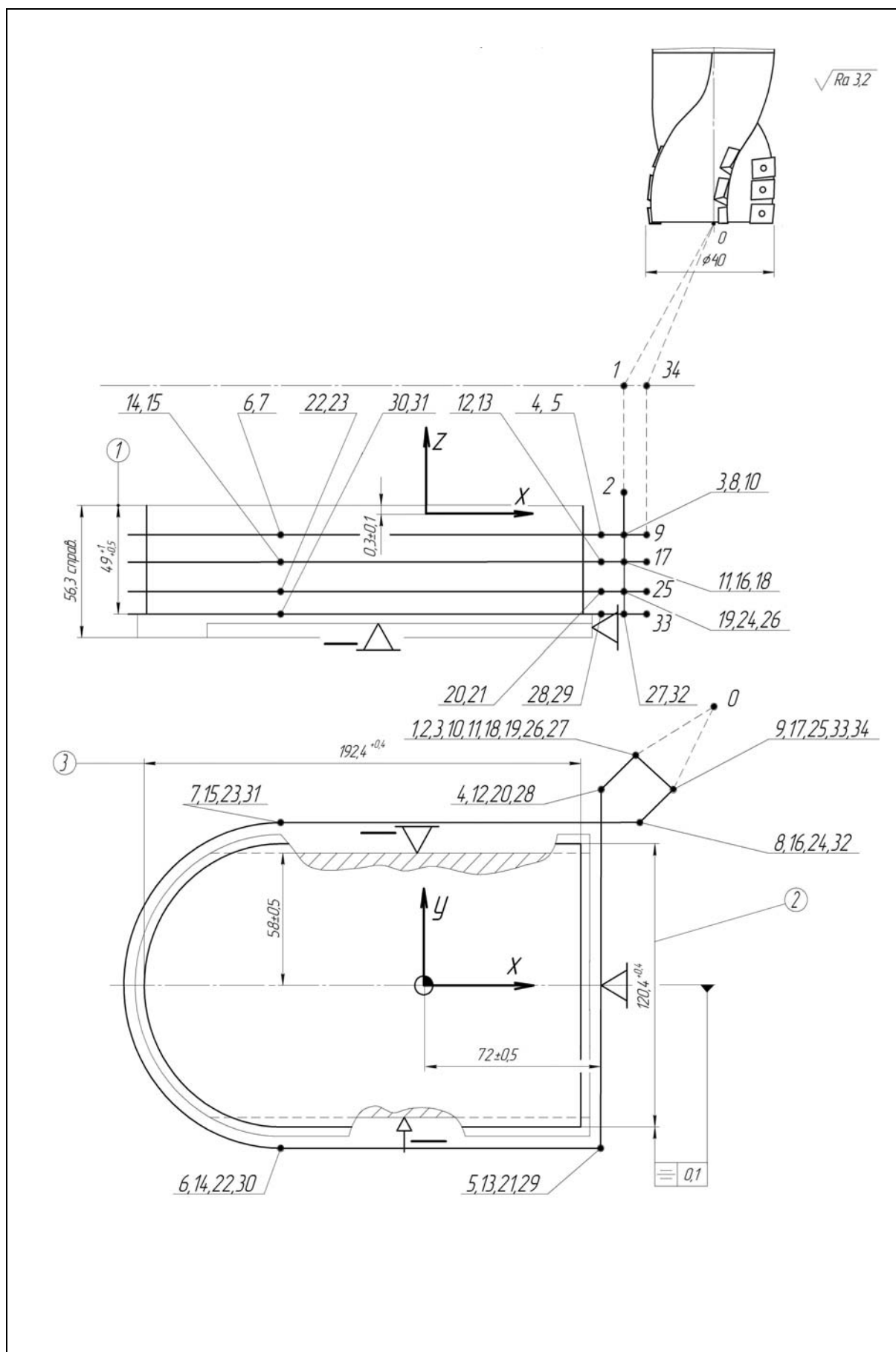


Рис. П.2.13. Установ A операции **010**, переход **П2** (инструмент **T2**)

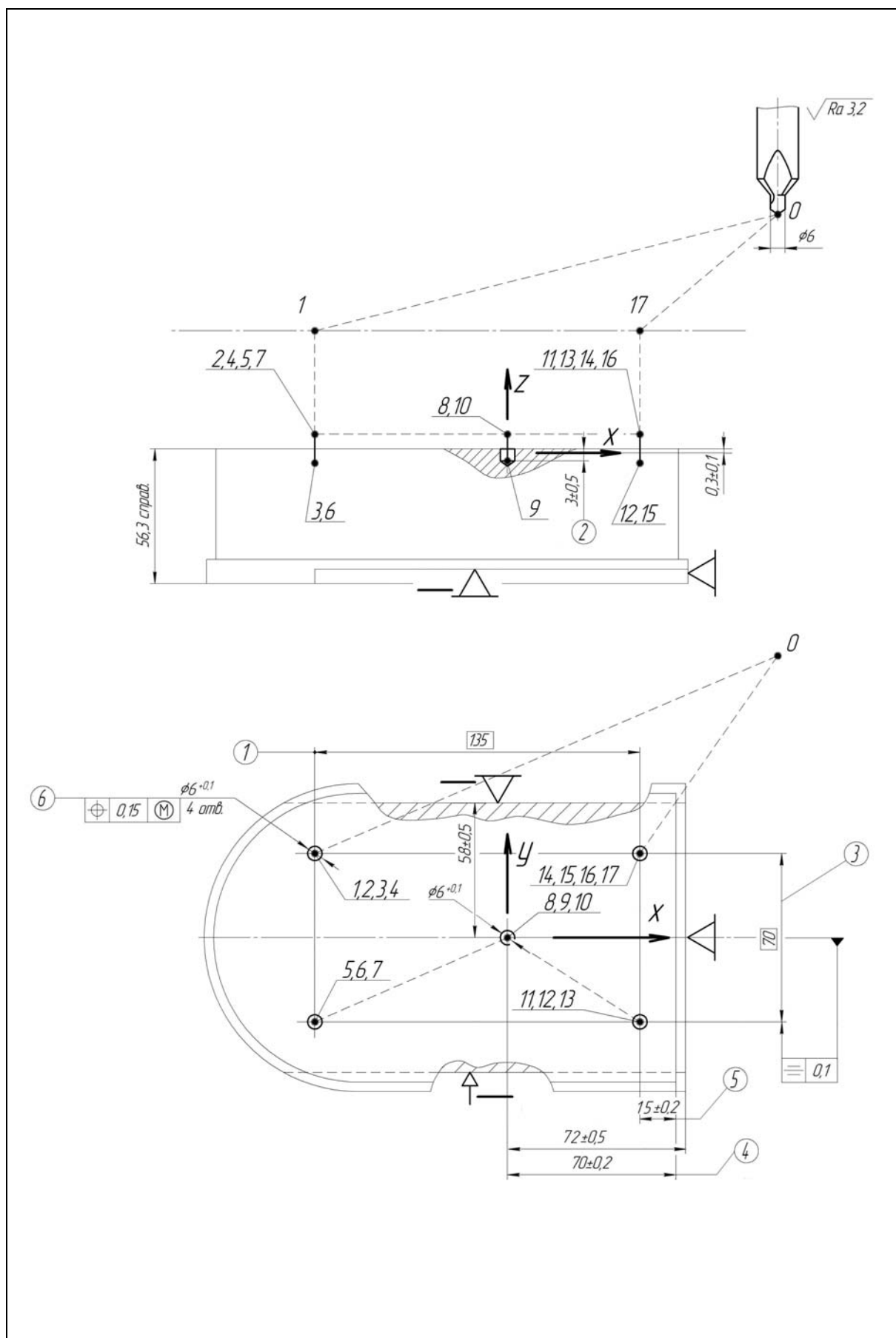


Рис. П.2.14. Установ А операции 010, переход ПЗ (инструмент ТЗ)

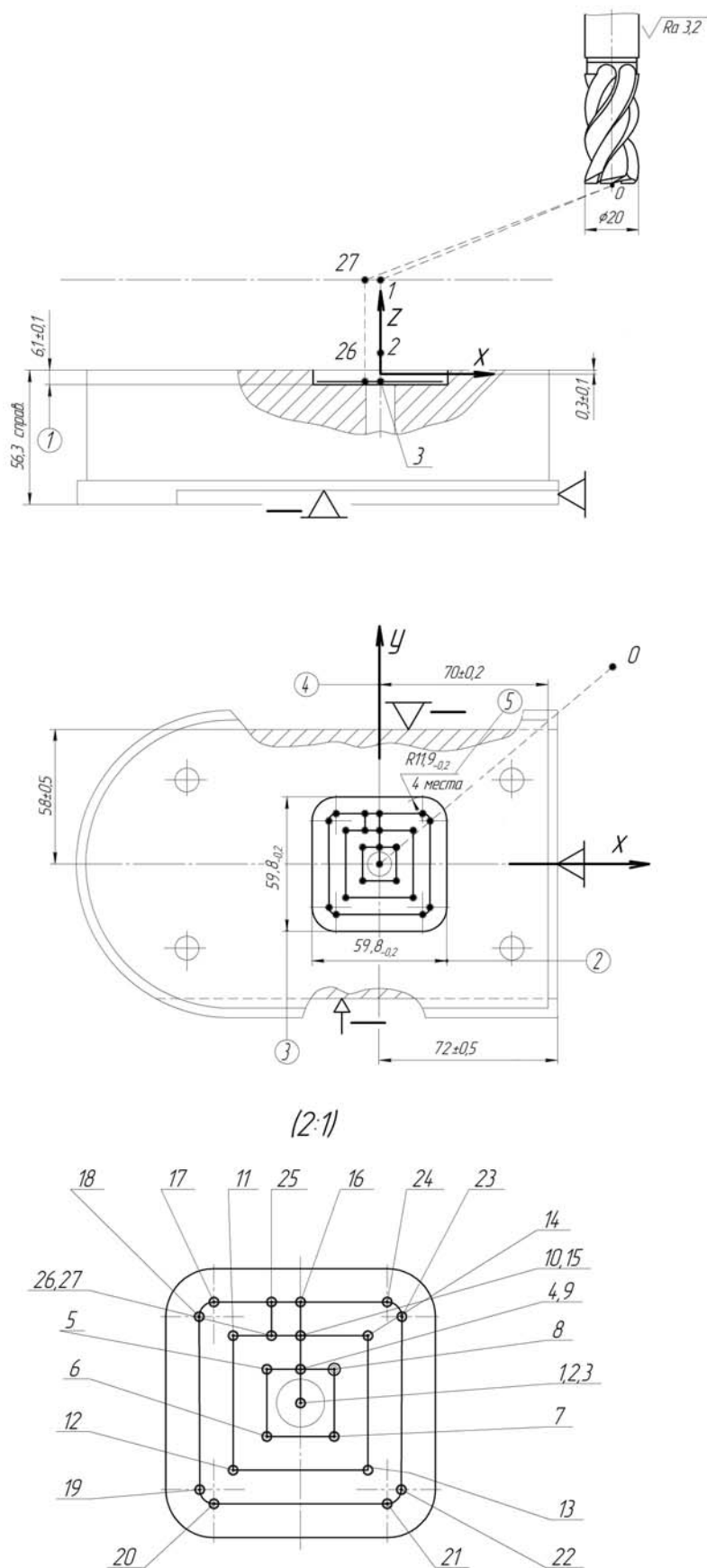


Рис. П.2.17. Установ *A* операции **010**, переход **П6** (инструмент **T6**)

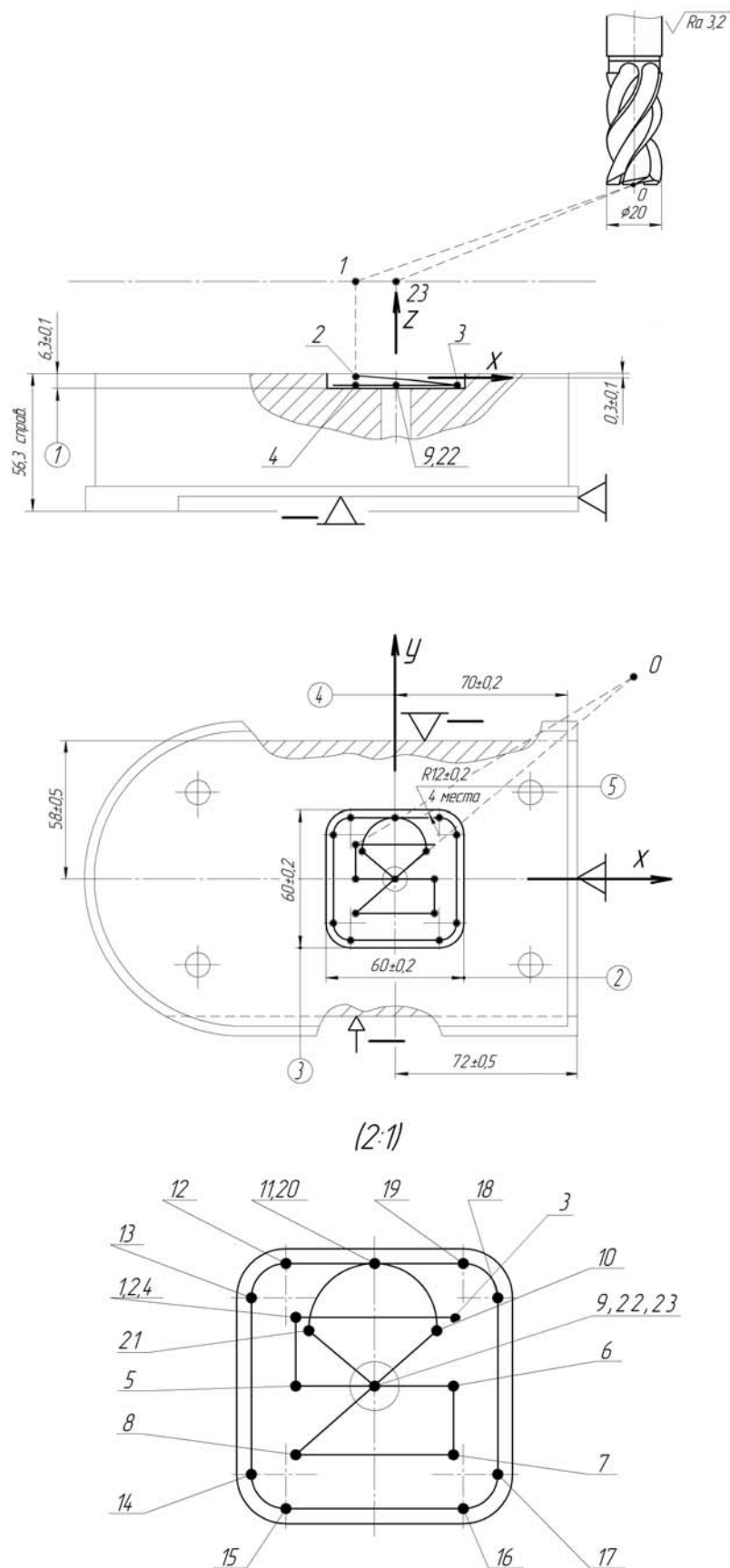


Рис. П.2.18. Установ *A* операции **010**, переход **П7** (инструмент **T7**)

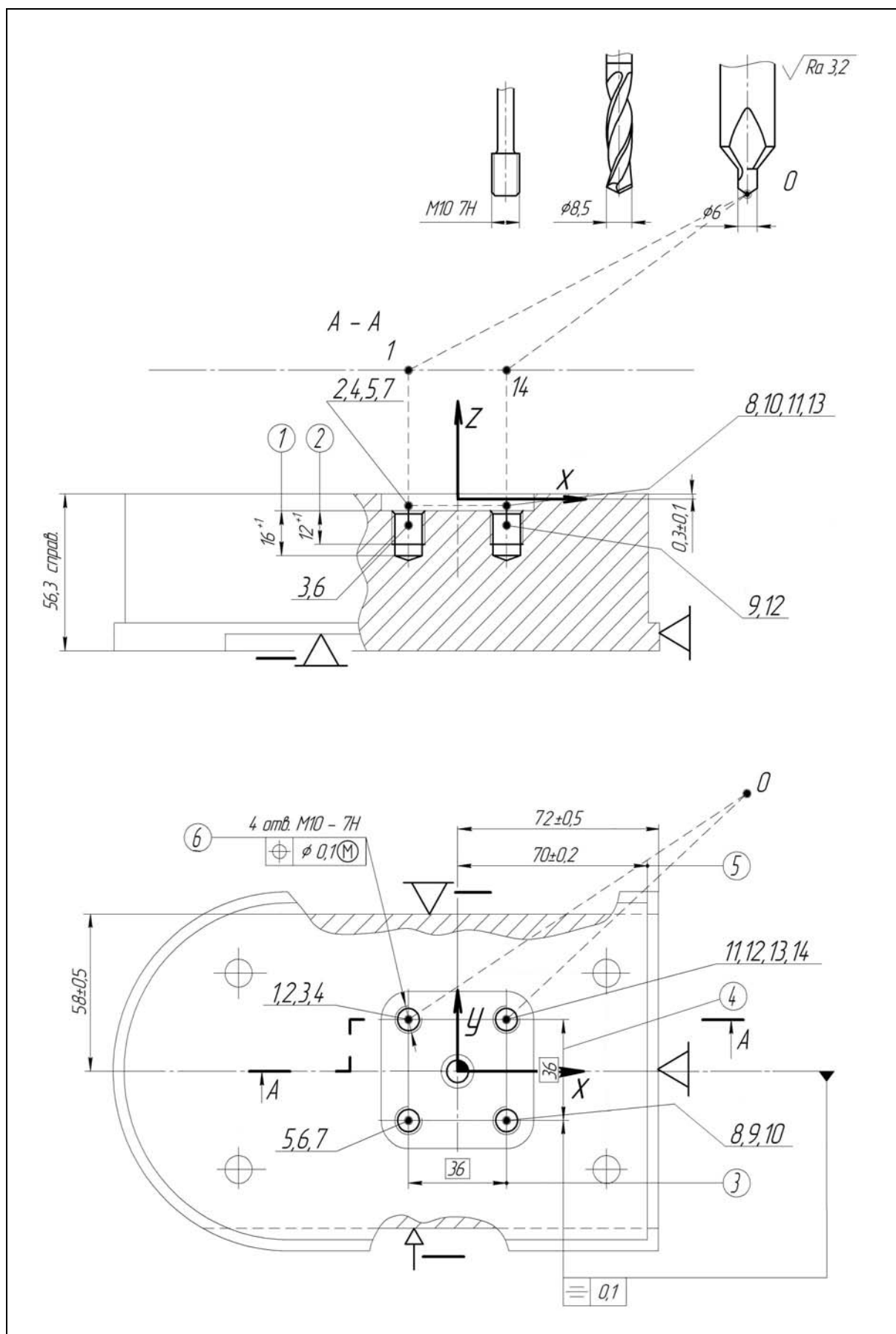


Рис. П.2.19. Установ A операции 010 , переходы $П8-1$, $П8-2$, $П8-3$ (инструменты $T3$, $T8$, $T9$)

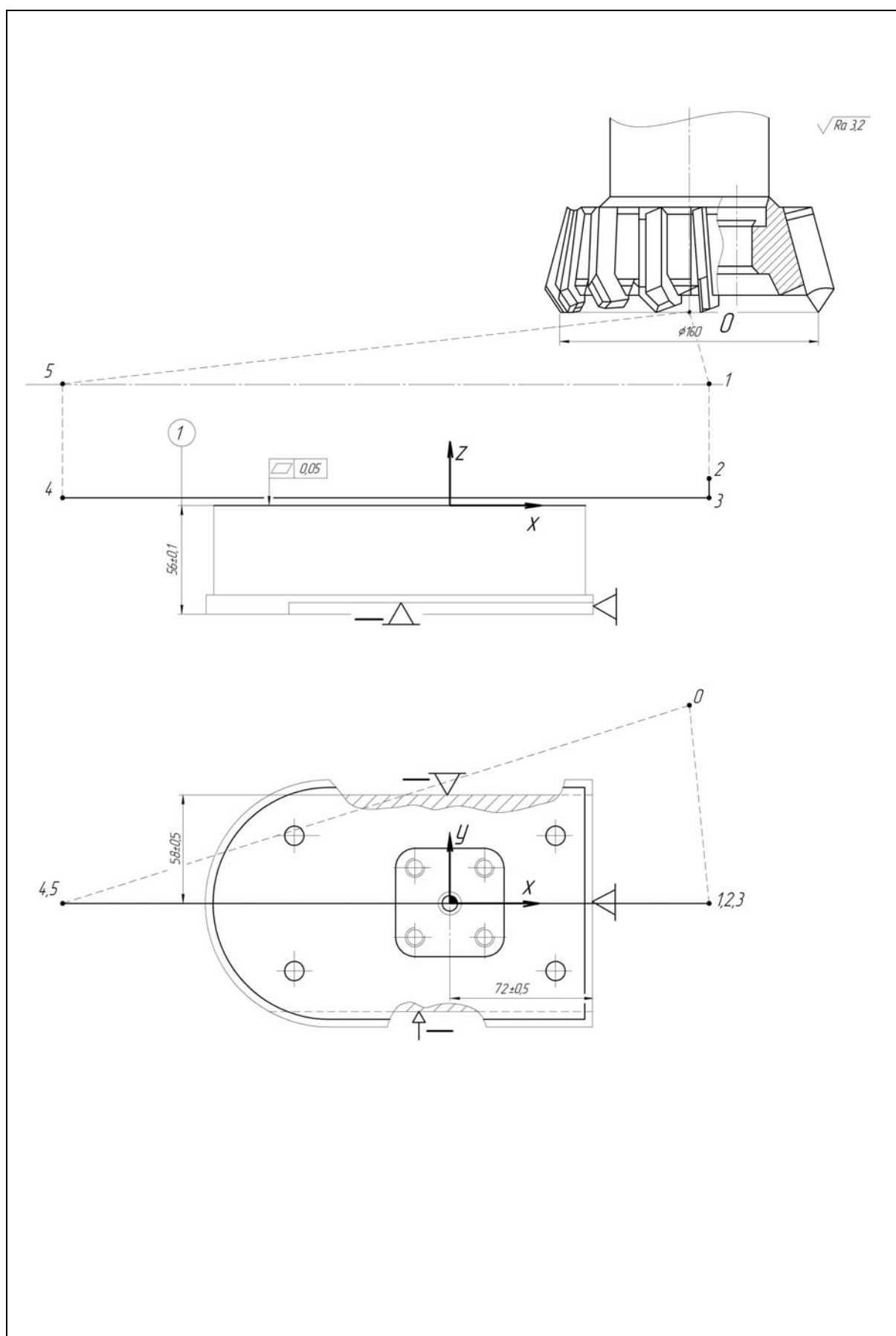


Рис. П.2.20. Установ *A* операции **010**, переход *П9* (инструмент *Т1*)

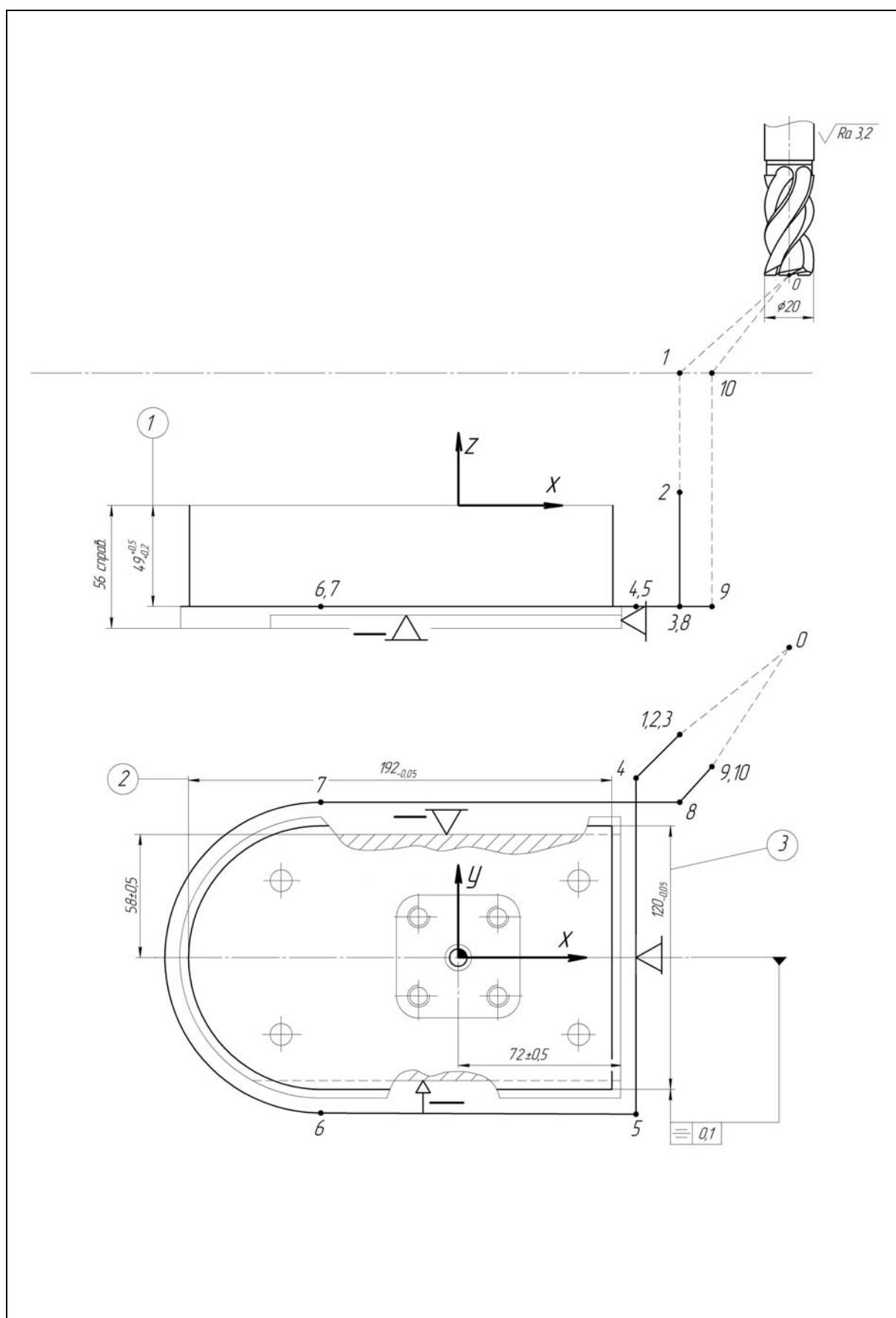


Рис. П.2.21. Установ *A* операции **010**, переход **П10** (инструмент **T7**)

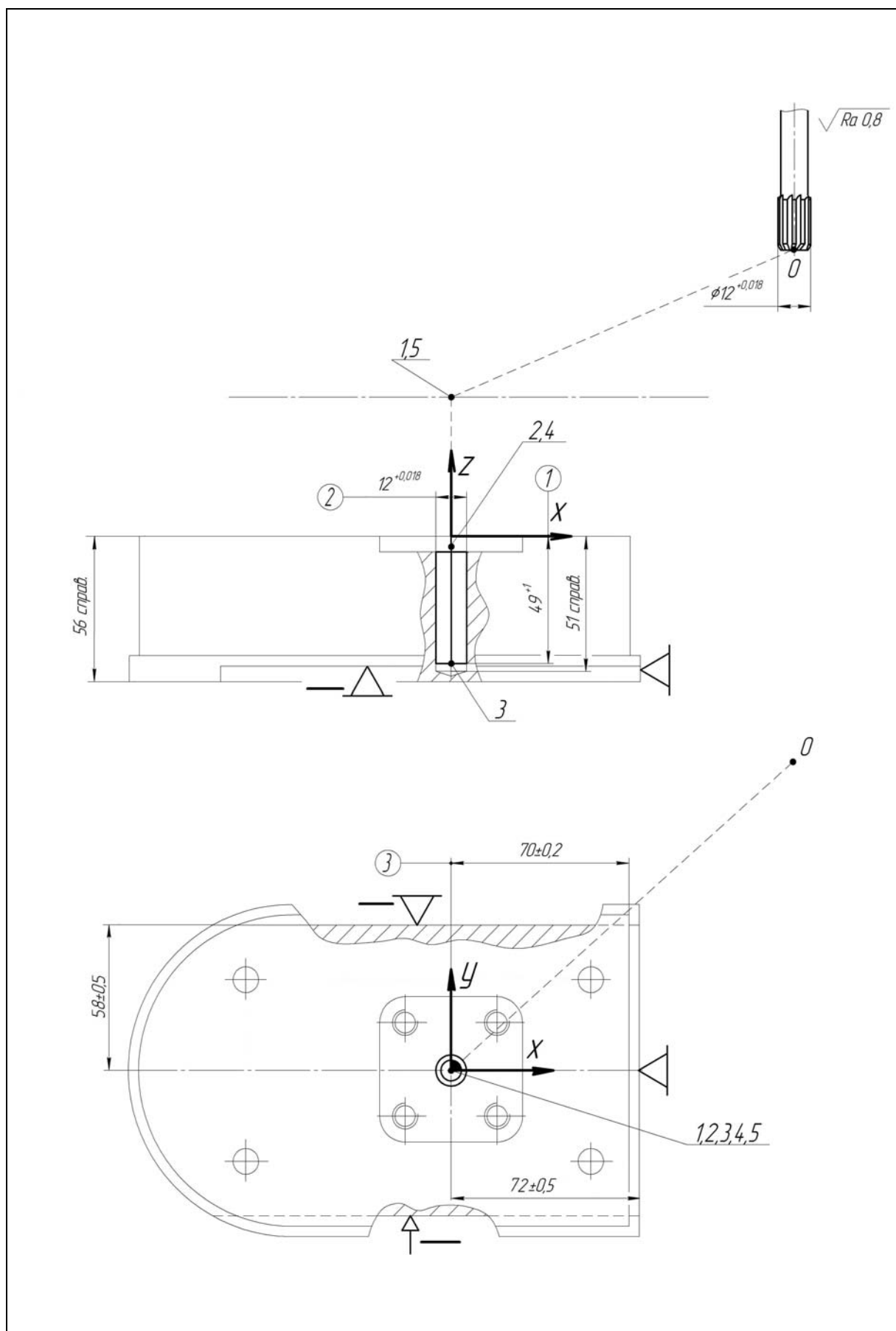


Рис. П.2.22. Установ А операции 010, переход IIII (инструмент T10)

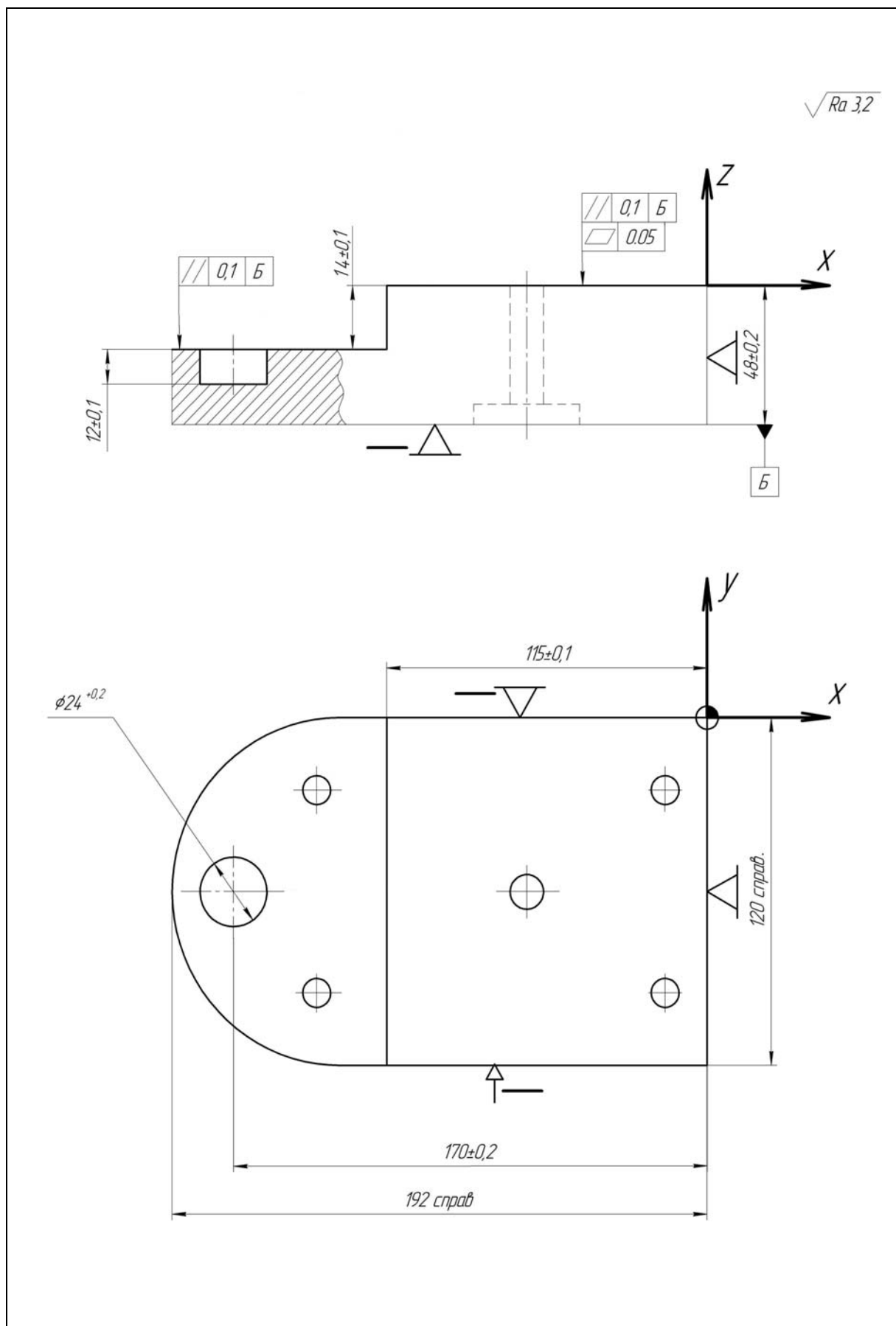


Рис. П.2.24. Комбинированная операция **010**, установ **Б**

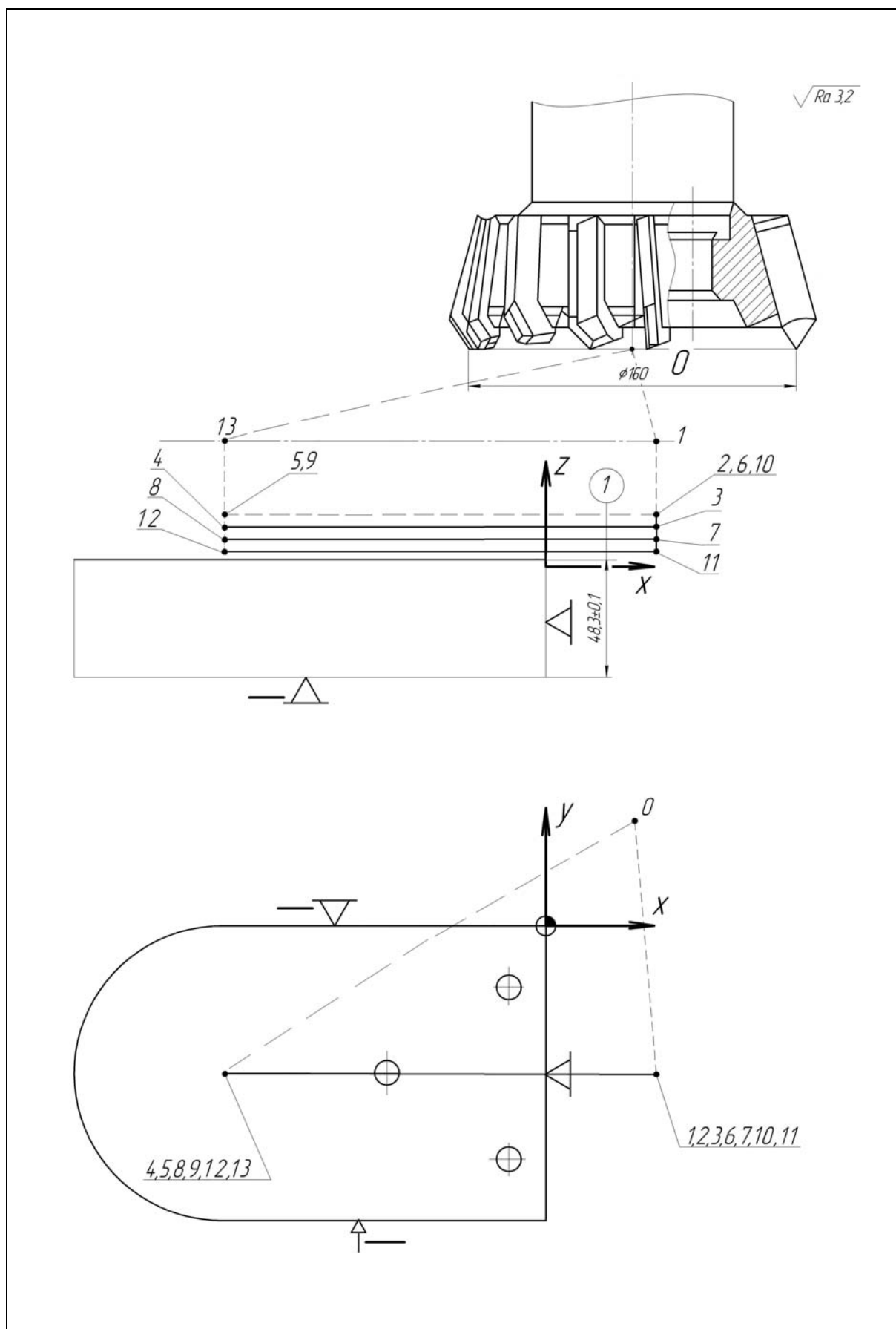


Рис. П.2.25. Установ **Б** операции **010**, переход **П13** (инструмент **Т1**)

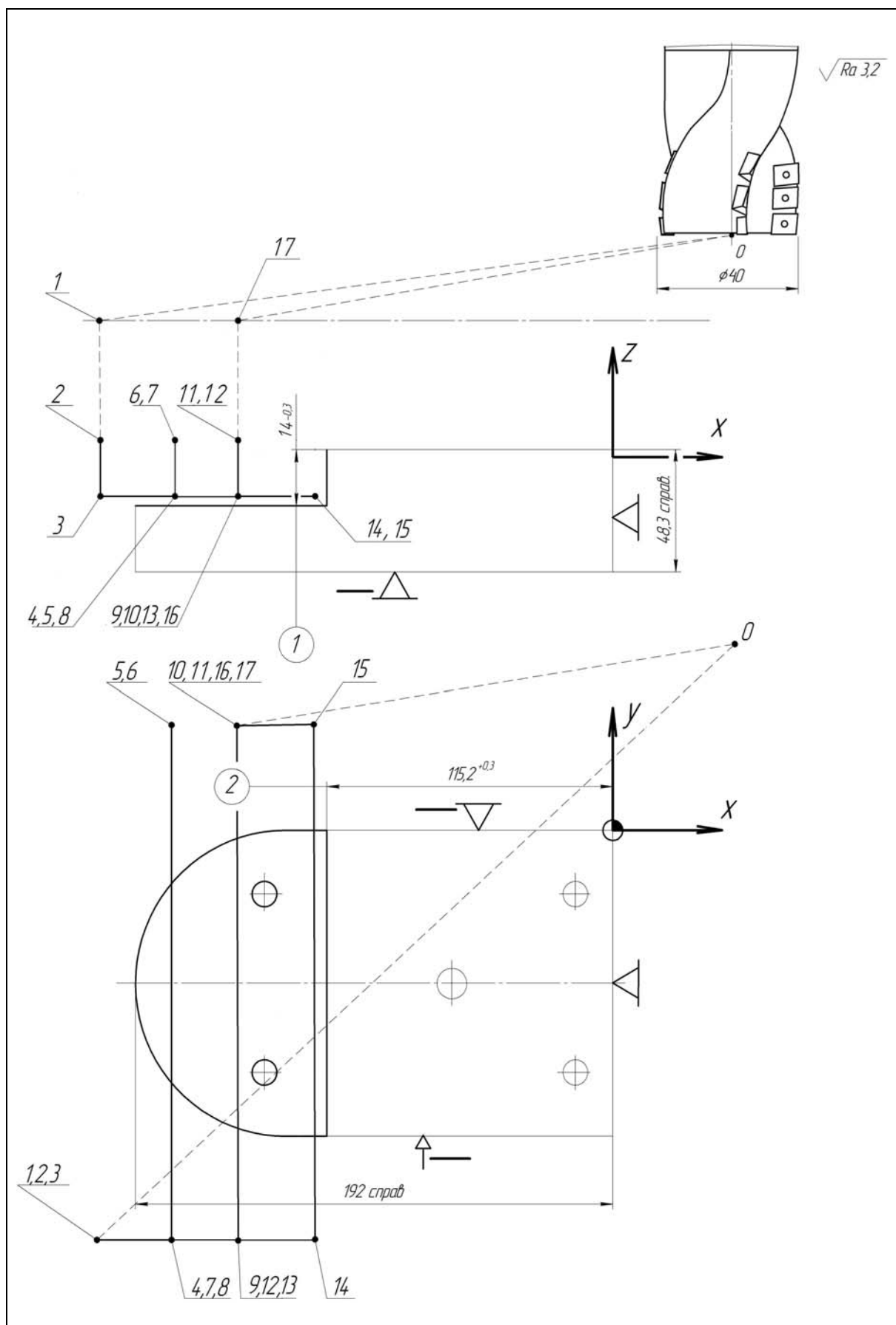


Рис. П.2.26. Установ **Б** операции **010**, переход **П14** (инструмент **T2**)

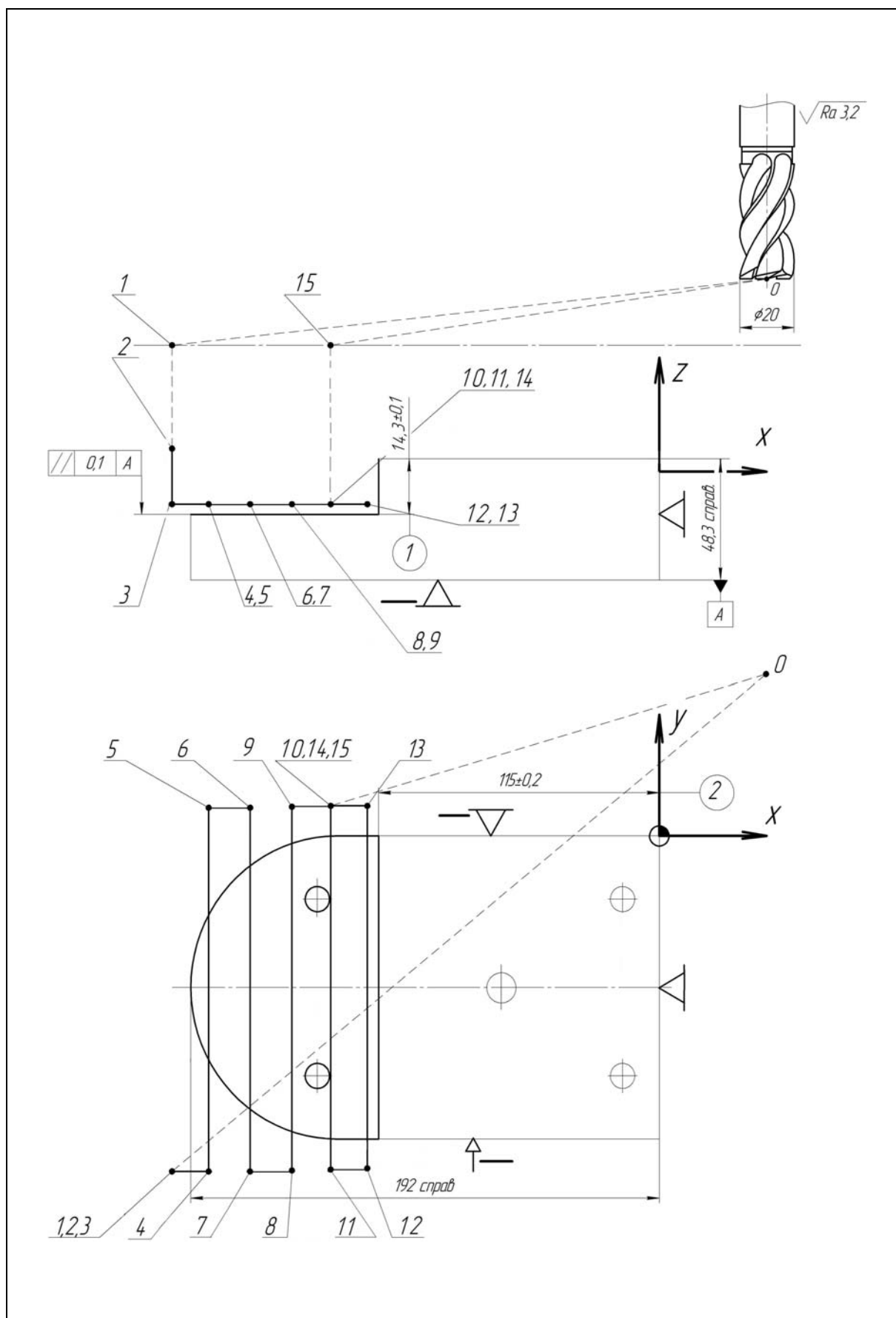


Рис. П.2.27. Установ **Б** операции **010**, переход **П15** (инструмент **Т7**)

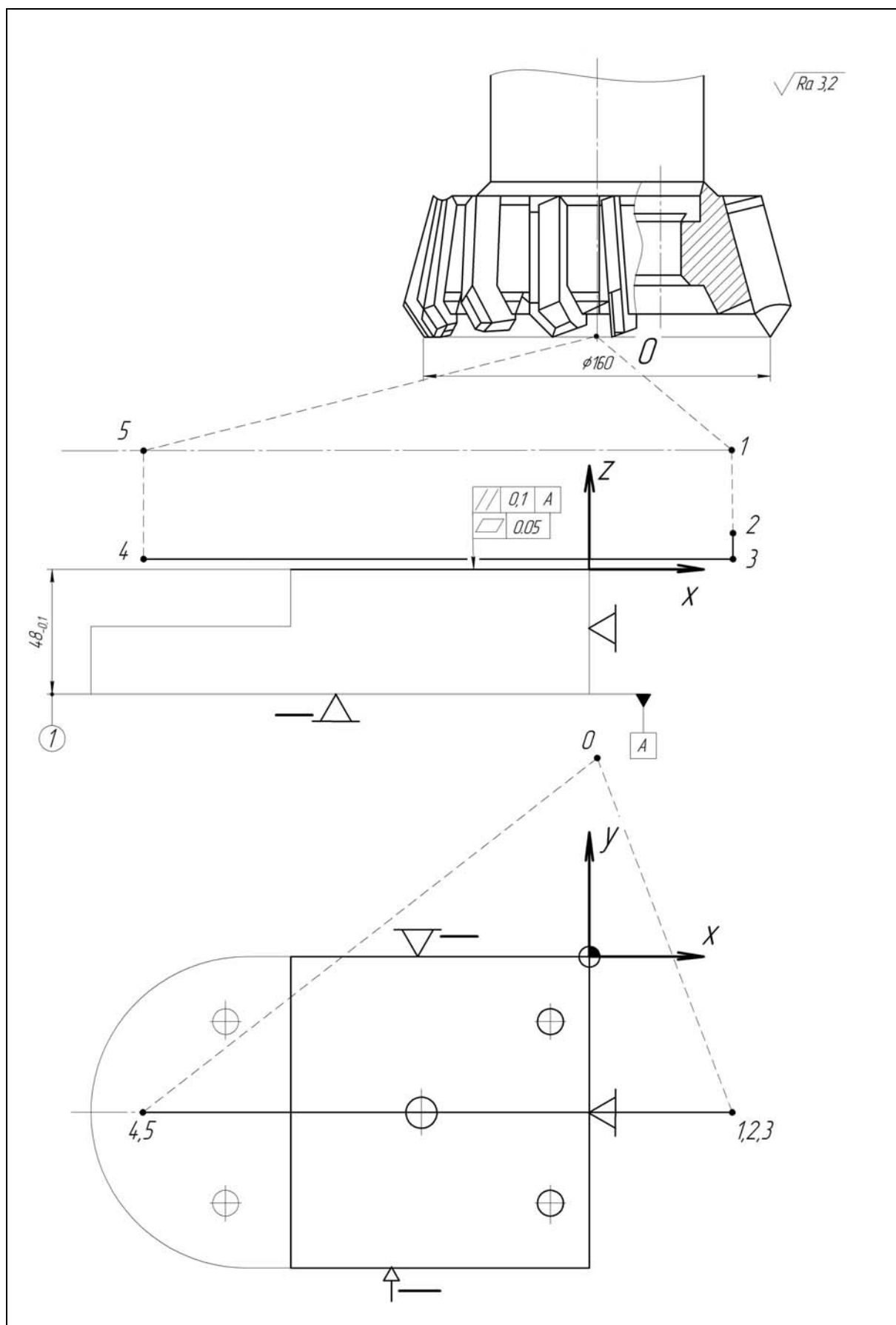


Рис. П.2.28. Установ **Б** операции **010**, переход **П16** (инструмент **Т1**)

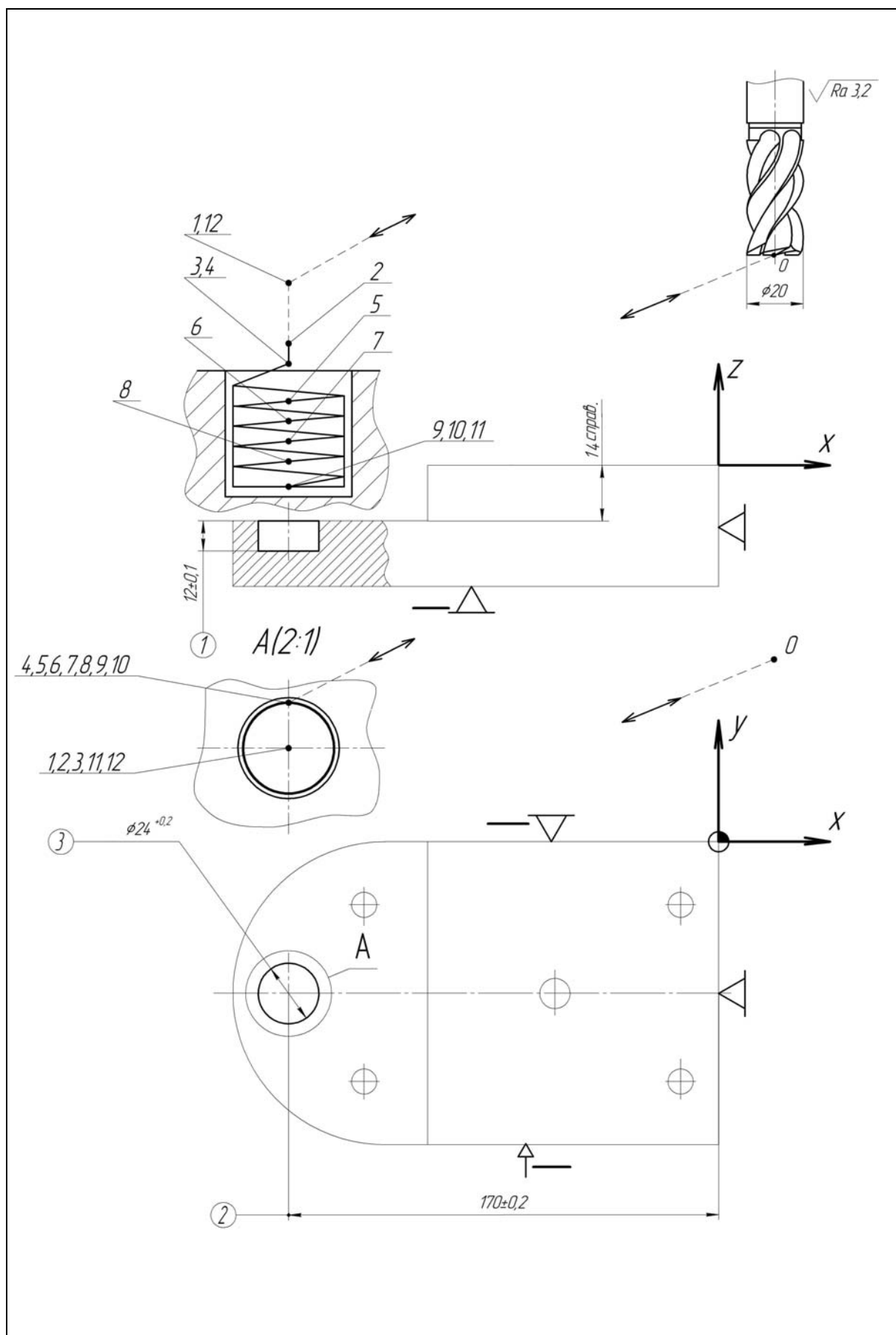


Рис. П.2.29. Установ **Б** операции **010**, переход **III7** (инструмент **T7**)

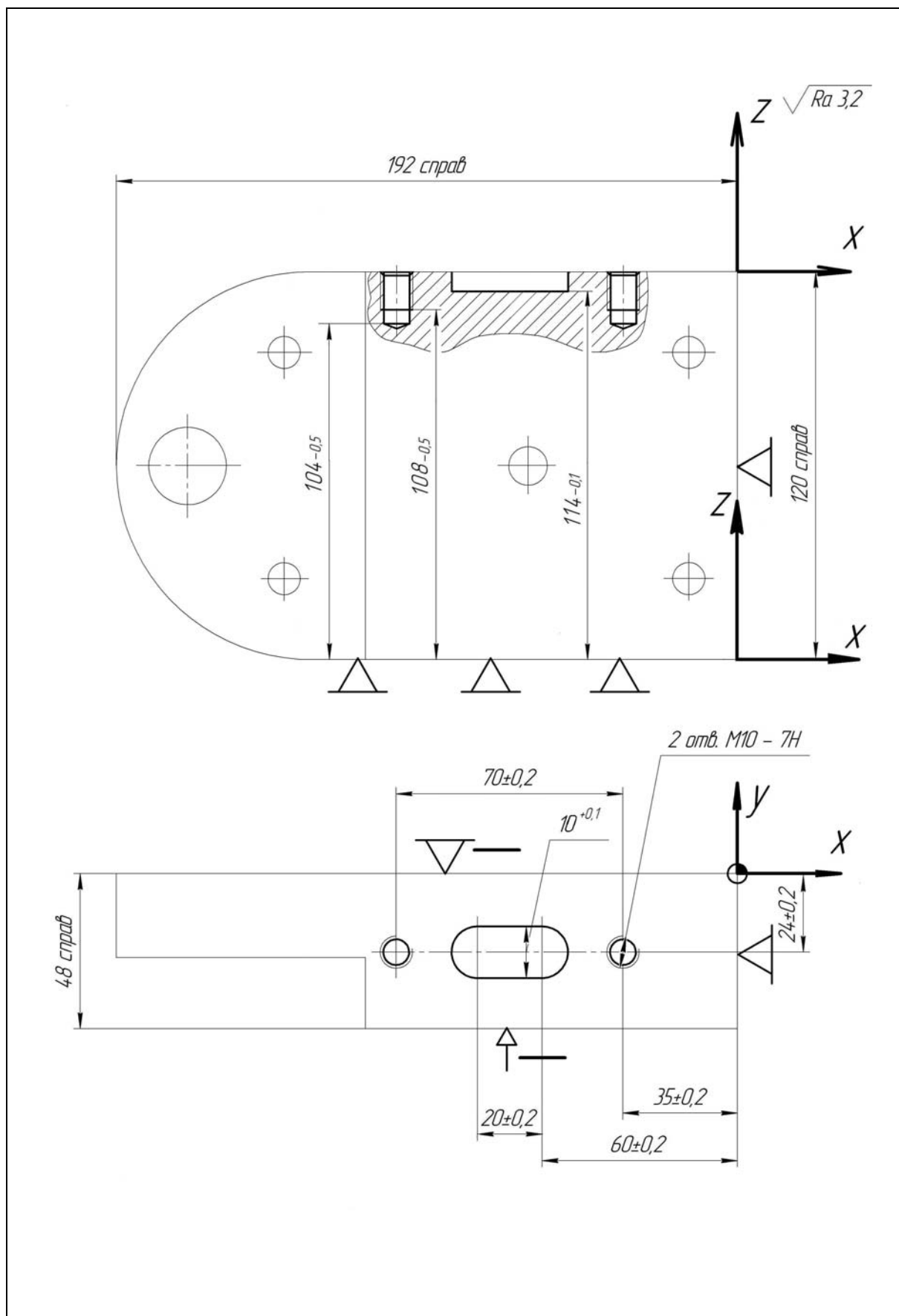


Рис. П.2.30. Комбинированная операция 010, установ В

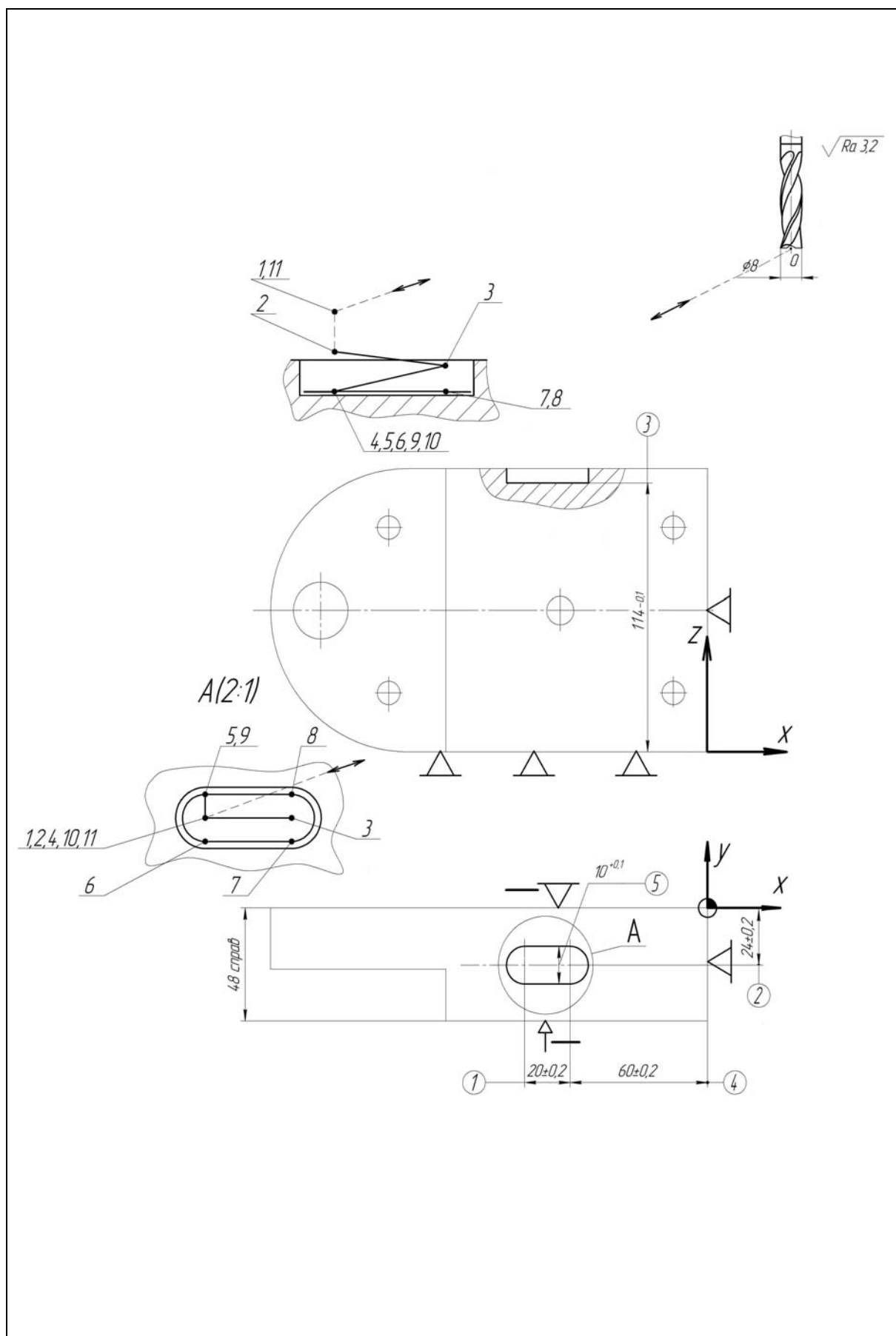


Рис. П.2.31. Установ **В** операции **010**, переход **П18** (инструмент **Т12**)

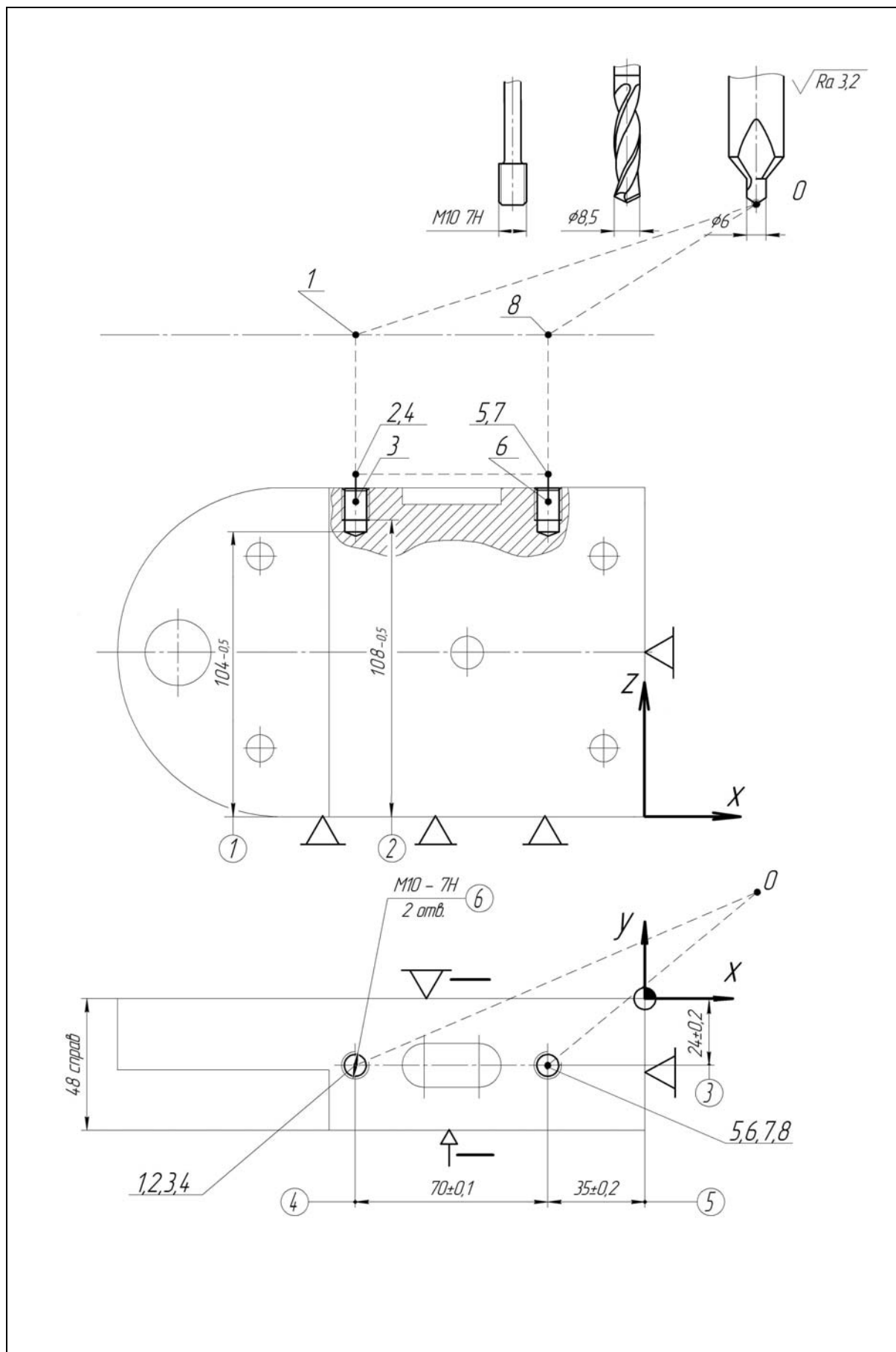


Рис. П.2.32. Установ В операции 010, переход П19-1, П19-2, П19-3 (инструменты Т3, Т8, Т9)

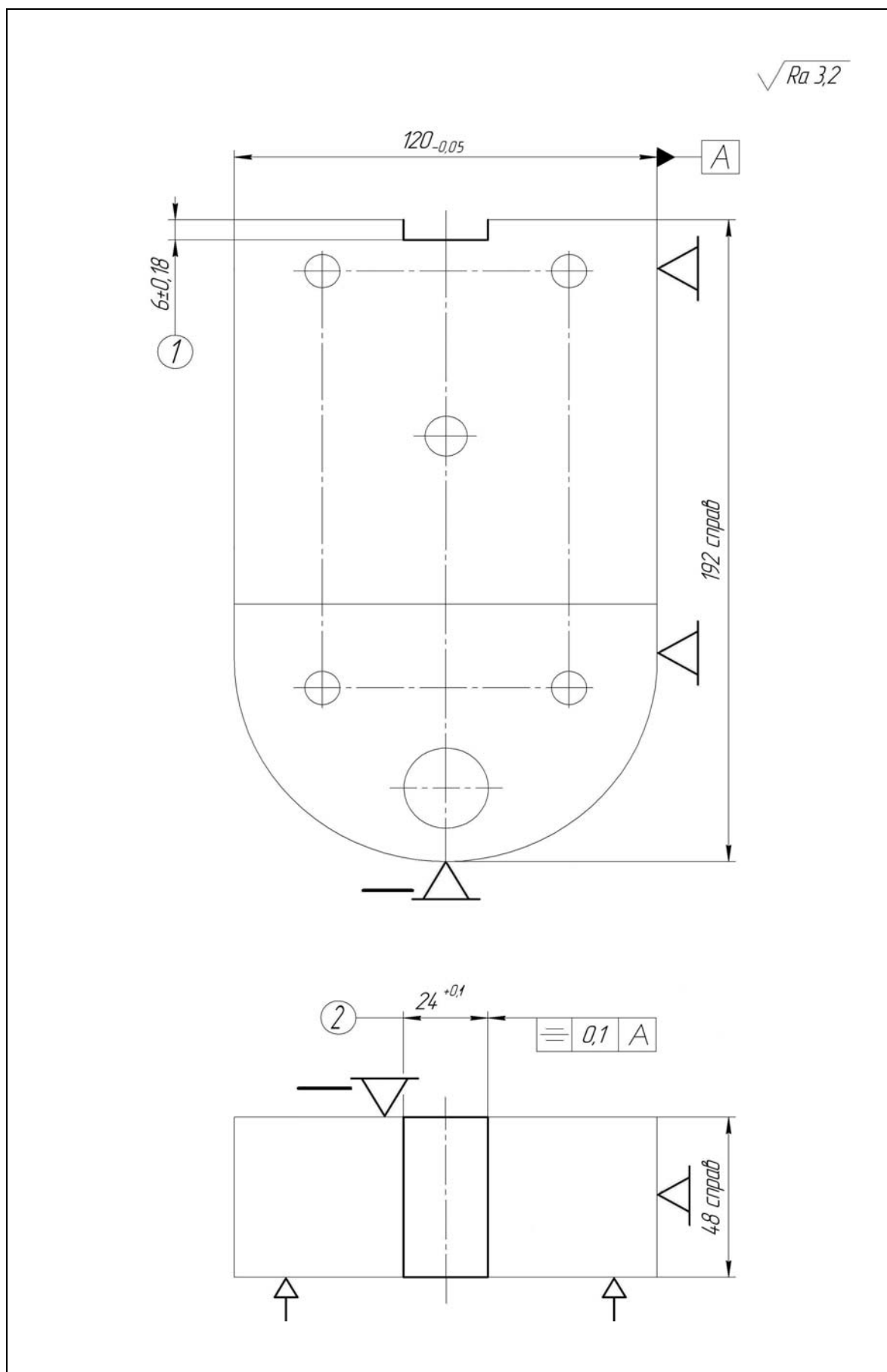


Рис. П.2.33. Фрезерная операция **015**

Таблица П.2.6

Номера опорных точек	X	Y	Z	ТЕКСТ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ	КОММЕНТАРИИ
-	-	-	-	%	Начало программы
-	-	-	-	<i>o6815</i>	Имя программы
0	-	-	-	<i>N5 G91 G28 G0 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений (точку смены инструмента) на ускоренной подаче
-	-	-	-	<i>N10 G54 (обработка на установе A)</i>	Определение позиции нулевой точки системы координат детали
Установ A, переход <i>П1</i> (рис. П.2.12)					
-	-	-	-	<i>N15 M6 T1 (фреза $\phi 160$)</i>	Вызов инструмента <i>T1</i>
1	160	0	50	<i>N20 G90 G43 X160 Y0 Z50 H1</i>	Выход инструмента в точку проекции начала траектории на плоскости безопасности (исходную точку УП) с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N25 M3 S100 M8</i>	Включение вращения шпинделя (со скоростью <i>S</i>) и подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ)
2	160	0	5	<i>N30 Z5</i>	Приближение инструмента к детали
3	160	0	0.3	<i>N35 G1 Z0.3 F1000</i>	Выход инструмента на плоскость обработки с включением контурной подачи <i>F</i>
4	-50	0	0.3	<i>N40 X-50 F200</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
5	-50	0	50	<i>N45 G0 Z50 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	<i>N50 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ A, переход <i>П2</i> (рис. П.2.13)					
-	-	-	-	<i>N55 M6 T2 (фреза $\phi 40$, задана величина диаметра: $\phi 40.4$)</i>	Вызов инструмента <i>T2</i>
1	90	90	50	<i>N60 G90 G43 X90 Y90 Z50 H2</i>	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N65 M3 S300 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	90	90	2	<i>N70 Z2</i>	Приближение инструмента к детали

3	90	90	-12.5	<i>N75 G1 Z-12.5 F1000</i>	Выход инструмента на плоскость обработки с включением контурной подачи
-	-	-	-	<i>N80 M98 P9901</i>	Вызов подпрограммы «o9901»
10	90	90	-12.5	<i>N85 X90 Y90 F1000</i>	Перемещение к точке начала траектории
11	90	90	-25	<i>N90 Z-25</i>	Выход на новую плоскость обработки
-	-	-	-	<i>N95 M98 P9901</i>	Вызов подпрограммы «o9901»
18	90	90	-25	<i>N100 X90 Y90 F1000</i>	Перемещение к точке начала траектории
19	90	90	-37.5	<i>N105 Z-37.5</i>	Выход на новую плоскость обработки
-	-	-	-	<i>N110 M98 P9901</i>	Вызов подпрограммы «o9901»
26	90	90	-37.5	<i>N115 X90 Y90 F1000</i>	Перемещение к точке начала траектории
27	90	90	-49.5	<i>N120 Z-50</i>	Выход на новую плоскость обработки
-	-	-	-	<i>N125 M98 P9901</i>	Вызов подпрограммы «o9901»
34	100	80	50	<i>N130 G0 Z50 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	<i>N135 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ <i>A</i> , переход <i>ПЗ</i> (рис. П.2.14)					
-	-	-	-	<i>N140 M6 T3 (центровка Ø6)</i>	Вызов инструмента <i>T3</i>
1	-80	35	50	<i>N145 G90 G43 X-80 Y35 Z50 H3</i>	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N150 M3 S900 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	-80	35	2	<i>N155 G81 G99 R2 Z-4.3 F50</i>	Включение цикла прямого сверления с высоты <i>R</i> на глубину <i>Z</i> ; перемещение между отверстиями на высоте <i>R</i> ; сверление с подачей <i>F</i> . Сверление центровочного отверстия
3			-4.3		
4			2		
5	-80	-35	2	<i>N160 Y-35</i>	Перемещение к точке. Сверление центровочного отверстия
6			-4.3		
7			2		
8	0	0	2	<i>N165 X0 Y0</i>	Перемещение к точке. Сверление центровочного отверстия
9			-4.3		
10			2		
11	55	-35	2	<i>N170 X55 Y-35</i>	Перемещение к точке. Сверление центровочного отверстия
12			-4.3		
13			2		
14	55	35	2	<i>N175 Y35</i>	Перемещение к точке. Сверление центровочного отверстия
15			-4.3		
16			2		
-	-	-	-	<i>N180 G80</i>	Окончание цикла сверления
17	55	35	50	<i>N185 G0 Z50 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ

0	-	-	-	<i>N190 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ <i>A</i> , переход <i>П4</i> (рис. П.2.15)					
-	-	-	-	<i>N195 M6 T4 (сверло Ø11.8)</i>	Вызов инструмента <i>T4</i>
1	0	0	50	<i>N200 G90 G43 X0 Y0 Z50 H4</i>	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N205 M3 S400 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2 3 4	0	0	$\begin{matrix} 2 \\ -55.3 \\ 2 \end{matrix}$	<i>N210 G83 G99 R2 Z-55.3 Q3 F70</i>	Включение цикла ступенчатого сверления: величина шага сверления <i>Q</i> . Сверление отверстия
-	-	-	-	<i>N215 G80</i>	Окончание цикла сверления
5	0	0	50	<i>N220 G0 Z50 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	<i>N225 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ <i>A</i> , переход <i>П5</i> (рис. П.2.16)					
-	-	-	-	<i>N230 M6 T5 (сверло Ø10.5)</i>	Вызов инструмента <i>T5</i>
1	-80	35	50	<i>N235 G90 G43 X-80 Y35 Z50 H5</i>	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N240 M3 S500 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2 3 4	-80	35	$\begin{matrix} 2 \\ -44.8 \\ 2 \end{matrix}$	<i>N245 G83 G99 R2 Z-44.8 Q3 F70</i>	Включение цикла ступенчатого сверления. Сверление отверстия
5 6 7	-80	-35	$\begin{matrix} 2 \\ -44.8 \\ 2 \end{matrix}$	<i>N250 Y-35</i>	Перемещение к точке. Сверление отверстия
8 9 10	55	-35	$\begin{matrix} 2 \\ -54.8 \\ 2 \end{matrix}$	<i>N255 X55 Z-54.8</i>	Перемещение к точке. Сверление отверстия на новую глубину <i>Z</i>
11 12 13	55	35	$\begin{matrix} 2 \\ -54.8 \\ 2 \end{matrix}$	<i>N260 Y35</i>	Перемещение к точке. Сверление отверстия
-	-	-	-	<i>N265 G80</i>	Окончание цикла сверления
14	55	35	50	<i>N270 G0 Z50 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	<i>N275 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ <i>A</i> , переход <i>П6</i> (рис. П.2.17)					
-	-	-	-	<i>N280 M6 T6 (фреза ø20, задана величина диаметра: Ø 20.2)</i>	Вызов инструмента <i>T6</i>
1	0	0	50	<i>N285 G90 G43 X0 Y0 Z50 H6</i>	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом

					коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N290 M3 S400 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	0	0	2	<i>N295 Z2</i>	Приближение инструмента к детали
3	0	0	-5.8	<i>N300 G1 Z-5.8 F60</i>	Врезание – выход инструмента на плоскость обработки с включением контурной подачи
4	0	6	-5.8	<i>N305 Y6 F80</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
5	-6	6	-5.8	<i>N310 X-6</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
6	-6	-6	-5.8	<i>N315 Y-6</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
7	6	-6	-5.8	<i>N320 X6</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
8	6	6	-5.8	<i>N325 Y6</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
9	0	6	-5.8	<i>N330 X0</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
10	0	12	-5.8	<i>N335 Y12</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
11	-12	12	-5.8	<i>N340 X-12</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
12	-12	-12	-5.8	<i>N345 Y-12</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
13	12	-12	-5.8	<i>N350 X12</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
14	12	12	-5.8	<i>N355 Y12</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
15	0	12	-5.8	<i>N360 X0</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
16*	0	28	-5.8	<i>N365 G41 Y28 D6</i>	Выход в точку с включением коррекции диаметра (Ø20.2 с учетом припуска на чистовую обработку)
17	-16	28	-5.8	<i>N370 X-16</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
18	-28	16	-5.8	<i>N375 G3 X-28 Y16 R12</i>	Перемещение к точке (циркуляционное)
19	-28	-16	-5.8	<i>N380 G1 Y-16</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
20	-16	-28	-5.8	<i>N385 G3 X-16 Y-28 R12</i>	Перемещение к точке (циркуляционное)
21	16	-28	-5.8	<i>N390 G1 X16</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
22	28	-16	-5.8	<i>N395 G3 X28 Y-16 R12</i>	Перемещение к точке (циркуляционное)
23	28	16	-5.8	<i>N400 G1 Y16</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
24	16	28	-5.8	<i>N405 G3 X16 Y28 R12</i>	Перемещение к точке (циркуляционное)
25	-3	28	-5.8	<i>N410 G1 X-3</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
26*	-3	12	-5.8	<i>N415 G40 Y12</i>	Выход в точку с отключением коррекции диаметра
27	-3	12	50	<i>N420 G0 Z50 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	<i>N425 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ <i>A</i> , переход <i>П7</i> (рис. П.2.18)					
-	-	-	-	<i>N430 M6 T7 (фреза Ø20)</i>	Вызов инструмента <i>T7</i>
1	-14	9	50	<i>N435 G90 G43 X-14 Y9 Z50 H7</i>	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N440 M3 S550 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	-14	9	-4	<i>N445 Z-4</i>	Приближение инструмента к детали

3	14	9	-6	<i>N450 G1 X14 Z-6 F80</i>	Врезание – диагональный выход инструмента на плоскость обработки с включением контурной подачи
4	-14	9	-6	<i>N455 X-14 F150</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
5	-14	0	-6	<i>N460 Y0</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
6	14	0	-6	<i>N465 X14</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
7	14	-9	-6	<i>N470 Y-9</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
8	-14	-9	-6	<i>N475 X-14</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
9	0	0	-6	<i>N480 X0 Y0</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
10*	12	16	-6	<i>N485 G41 X12Y16 D7</i>	Выход в точку с включением коррекции диаметра
11	0	28	-6	<i>N490 G3 X0 Y28 R12</i>	Перемещение к точке (циркуляционное)
12	-16	28	-6	<i>N495 X-16</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
13	-28	16	-6	<i>N500 G3 X-28 Y16 R12</i>	Перемещение к точке (циркуляционное)
14	28	-16	-6	<i>N505 G1 Y-16</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
15	-16	-28	-6	<i>N510 G3 X-16 Y-28 R12</i>	Перемещение к точке (циркуляционное)
16	16	-28	-6	<i>N515 G1 X16</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
17	28	-16	-6	<i>N520 G3 X28 Y-16 R12</i>	Перемещение к точке (циркуляционное)
18	28	16	-6	<i>N525 G1 Y16</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
19	16	28	-6	<i>N530 G3 X16 Y28 R12</i>	Перемещение к точке (циркуляционное)
20	0	28	-6	<i>N535 G1 X0</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
21	-12	16	-6	<i>N540 G3 X-12 Y16 R12</i>	Перемещение к точке (циркуляционное)
22*	0	0	-6	<i>N545 G1 G40 X0 Y0</i>	Выход в точку с отключением коррекции диаметра
23	0	0	50	<i>N550 G0 Z50 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	<i>N555 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ А, переход П8-1 (рис. П.2.19)					
-	-	-	-	<i>N560 M6 T3 (центровка Ø6)</i>	Вызов инструмента T3
1	-18	18	50	<i>N565 G90 G43 X-18 Y18 Z50 H3</i>	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N570 M3 S900 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2 3 4	-18	18	-4 -10.3 -4	<i>N575 G81 G99 R-4 Z-10 F50</i>	Включение цикла прямого сверления. Сверление центровочного отверстия
5 6 7	-18	-18	-4 -10.3 -4		
8 9 10	18	-18	-4 -10.3 -4	<i>N580 Y-18</i>	Перемещение к точке. Сверление центровочного отверстия
				<i>N585 X18</i>	Перемещение к точке. Сверление центровочного отверстия

11 12 13	18	18	-4 -10.3 -4	<i>N590 Y18</i>	Перемещение к точке. Сверление центровочного отверстия
-	-	-	-	<i>N595 G80</i>	Окончание цикла сверления
14	55	35	50	<i>N600 G0 Z50 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	<i>N605 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ <i>A</i> , переход <i>П8-2</i> (рис. П.2.19)					
-	-	-	-	<i>N610 M6 T8 (сверло Ø8.5)</i>	Вызов инструмента <i>T8</i>
1	-18	18	50	<i>N615 G90 G43 X-18 Y18 Z50 H8</i>	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N620 M3 S600 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2 3 4	-18	18	-4 -25 -4	<i>N625 G83 G99 R-4 Z-25 Q2.5 F70</i>	Включение цикла ступенчатого сверления. Сверление отверстия
5 6 7	-18	-18	-4 -25 -4	<i>N630 Y-18</i>	Перемещение к точке. Сверление отверстия
8 9 10	18	-18	-4 -25 -4	<i>N635 X18</i>	Перемещение к точке. Сверление отверстия
11 12 13	18	18	-4 -25 -4	<i>N640 Y18</i>	Перемещение к точке. Сверление отверстия
-	-	-	-	<i>N645 G80</i>	Окончание цикла сверления
14	55	35	50	<i>N650 G0 Z50 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	<i>N655 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ <i>A</i> , переход <i>П8-3</i> (рис. П.2.19)					
-	-	-	-	<i>N660 M6 T9 (метчик M10-7H)</i>	Вызов инструмента <i>T9</i>
1	-18	18	50	<i>N665 G90 G43 X-18 Y18 Z50 H9</i>	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N670 M3 S400 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2 3 4	-18	18	-4 -20.5 -4	<i>N675 G84 G99 R-4 Z-20.5 F600</i>	Включение цикла нарезания резьбы (шаг резьбы <i>P=1.5</i>). Нарезание резьбы. Определение глубины <i>Z</i> с учетом сбег резьбы 2 мм. Примечание: <i>P=F/S</i>
5 6	-18	-18	-4 -20.5	<i>N680 Y-18</i>	Перемещение к точке. Нарезание резьбы

7			-4		
8			-4		
9	18	-18	-20.5	<i>N685 X18</i>	Перемещение к точке. Нарезание резьбы
10			-4		
11			-4		
12	18	18	-20.5	<i>N690 Y18</i>	Перемещение к точке. Нарезание резьбы
13			-4		
-	-	-	-	<i>N695 G80</i>	Окончание цикла нарезания резьбы
14	55	35	50	<i>N700 G0 Z50 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	<i>N705 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ <i>A</i> , переход <i>П9</i> (рис. П.2.20)					
-	-	-	-	<i>N710 M6 T1 (фреза Ø160)</i>	Вызов инструмента <i>T1</i>
1	160	0	50	<i>N715 G90 G43 X160 Y0 Z50 H1</i>	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N720 M3 S150 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	160	0	5	<i>N725 Z2</i>	Приближение инструмента к детали
3	160	0	0.3	<i>N730 G1 Z0 F1000</i>	Выход инструмента на плоскость обработки с включением контурной подачи
4	-210	0	0.3	<i>N735 X-210 F250</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
5	-210	0	50	<i>N740 G0 Z50 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	<i>N745 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ <i>A</i> , переход <i>П10</i> (рис. П.2.21)					
-	-	-	-	<i>N750 M6 T7 (фреза Ø20)</i>	Вызов инструмента <i>T7</i>
1	80	80	50	<i>N755 G90 G43 X80 Y80 Z50 H7</i>	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N760 M3 S550 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	80	80	2	<i>N765 Z2</i>	Приближение инструмента к детали
3	80	80	-49.4	<i>N770 G1 Z-49.4 F1000</i>	Выход инструмента на плоскость обработки с включением контурной подачи
4*	70	70	-49.4	<i>N775 G41 X70 Y70 D7</i>	Выход в точку с включением коррекции диаметра
5	70	-60	-49.4	<i>N780 Y-60 F150</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
6	-62	-60	-49.4	<i>N785 X-62</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
7	-62	60	-49.4	<i>N790 G2 Y60 J60</i>	Перемещение к точке (циркуляционное)
8	80	60	-49.4	<i>N795 G1 X80</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
9*	90	70	-49.4	<i>N800 G40 X90 Y70 F1000</i>	Выход в точку с отключением коррекции диаметра
10	90	70	50	<i>N805 G0 Z50 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с

					отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	N810 G91 G28 X0 Y0 Z0	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ <i>A</i> , переход III1 (рис. П.2.22)					
-	-	-	-	N815 M6 T10 (развертка Ø12-H7)	Вызов инструмента T10
1	0	0	50	N820 G90 G43 X0 Y0 Z50 H10	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	N825 M3 S400 M8	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2 3 4	0	0	$\begin{matrix} 2 \\ -50.5 \\ 2 \end{matrix}$	N830 G86 G99 R-4 Z-50.5 F250	Включение цикла развертки. Развертывание отверстия. Определение глубины Z с учетом заходной фаски 1 мм.
-	-	-	-	N835 G80	Окончание цикла развертывания
5	0	0	50	N840 G0 Z50 M5 M9	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	N845 G91 G28 X0 Y0 Z0	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ <i>A</i> , переход III2 (рис. П.2.23)					
-	-	-	-	N850 M6 T11 (зенковка Ø24x90°)	Вызов инструмента T11
1	-80	35	50	N855 G90 G43 X-80 Y35 Z50 H11	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	N860 M3 S300 M8	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2 3 4	-80	35	$\begin{matrix} 2 \\ -10.5 \\ 2 \end{matrix}$	N865 G81 G99 R2 Z-10.5 F50	Включение цикла прямого сверления. Зенкование отверстия
5 6 7	-80	-35	$\begin{matrix} 2 \\ -10.5 \\ 2 \end{matrix}$	N870 Y-35	Перемещение к точке. Зенкование отверстия
8 9 10	55	-35	$\begin{matrix} 2 \\ -10.5 \\ 2 \end{matrix}$	N875 X55	Перемещение к точке. Зенкование отверстия
11 12 13	55	35	$\begin{matrix} 2 \\ -10.5 \\ 2 \end{matrix}$	N880 Y35	Перемещение к точке. Зенкование отверстия
-	-	-	-	N885 G80	Окончание цикла сверления
14	55	35	50	N890 G0 Z50 M5 M9	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	N895 G91 G28 X0 Y0 Z0	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
-	-	-	-	N900 M0	Программный останов станка
Переустановка детали → Команда «ПУСК»					
-	-	-	-	N905 G55 (обработка на установке Б)	Определение позиции нулевой точки системы координат

					детали
Установ Б , переход III3 (рис. П.2.25)					
-	-	-	-	N910 M6 T1 (фреза Ø160)	Вызов инструмента T1
1	90	0	50	N915 G90 G43 X90 Y-60 Z50 H1	Выход инструмента в точку проекции начала траектории на плоскости безопасности (исходную точку УП) с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	N920 M3 S100 M8	Включение вращения шпинделя (со скоростью S) и подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ)
2	90	0	10	N925 Z10	Приближение инструмента к детали
3	90	0	5.4	N930 G1 Z5.4 F1000	Выход инструмента на плоскость обработки с включением контурной подачи F
4	-120	0	5.4	N935 X-120 F200	Перемещение к точке (прямолинейное)
5	-120	0	10	N940 G0 Z10	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче
6	90	0	10	N945 X90	Перемещение к точке (прямолинейное)
7	90	0	2.8	N950 G1 Z2.8 F1000	Выход инструмента на плоскость обработки с включением контурной подачи F
8	-120	0	2.8	N955 X-120 F200	Перемещение к точке (прямолинейное)
9	-120	0	10	N960 G0 Z10	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче
10	90	0	10	N965 X90	Перемещение к точке (прямолинейное)
11	90	0	0.3	N970 G1 Z0.3 F1000	Выход инструмента на плоскость обработки с включением контурной подачи F
12	-120	0	0.3	N975 X-120 F200	Перемещение к точке (прямолинейное)
13	-120	0	50	N980 G0 Z50 M5 M9	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	N985 G91 G28 X0 Y0 Z0	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ Б , переход III4 (рис. П.2.26)					
-	-	-	-	N990 M6 T2 (фреза ø40, задана величина диаметра: Ø40.4)	Вызов инструмента T2
1	-190	-150	50	N995 G90 G43 X-190 Y-150 Z50 H2	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	N1000 M3 S300 M8	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	-190	-150	2	N1005 Z2	Приближение инструмента к детали
3	-190	-150	-13.7	N1010 G1 Z-13.7 F1000	Выход инструмента на плоскость обработки с включением контурной подачи
4	-185	-150	-13.7	N1015 X-185	Перемещение к точке (прямолинейное)
5	-185	30	-13.7	N1020 Y30 F150	Перемещение к точке (прямолинейное)
6	-185	30	2	N1025 Z2 F1000	Перемещение к точке (прямолинейное)
7	-185	-150	2	N1030 Y-150	Перемещение к точке (прямолинейное)

8	-185	-150	-13.7	<i>N1035 Z-13.7</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
9	-160	-150	-13.7	<i>N1040 X-160</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
10	-160	30	-13.7	<i>N1045 Y30 F150</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
11	-160	30	2	<i>N1050 Z2 F1000</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
12	-160	-150	2	<i>N1055 Y-150</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
13	-160	-150	-13.7	<i>N1060 Z-13.7</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
14*	-115	-150	-13.7	<i>N1065 G41 X-115 D2</i>	Выход в точку с включением коррекции диаметра (Ø40.4 с учетом припуска на чистовую обработку)
15	-115	30	-13.7	<i>N1070 Y30 F150</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
16*	-140	30	-13.7	<i>N1075 G40 X-140 F1000</i>	Выход в точку с отключением коррекции диаметра
17	-140	30	50	<i>N1080 G0 Z50 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	<i>N1085 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ Б , переход <i>III5</i> (рис. П.2.27)					
-	-	-	-	<i>N1090 M6 T7 (фреза Ø20)</i>	Вызов инструмента <i>T7</i>
1	-190	-140	50	<i>N1095 G90 G43 X-190 Y-140 Z50 H7</i>	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N1100 M3 S550 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	-190	-140	2	<i>N1105 Z2</i>	Приближение инструмента к детали
3	-190	-140	-14	<i>N1110 G1 Z-14 F1000</i>	Выход инструмента на плоскость обработки с включением контурной подачи
4	-185	-140	-14	<i>N1115 X-185</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
5	-185	20	-14	<i>N1120 Y20 F150</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
6	-170	20	-14	<i>N1125 X-170 F1000</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
7	-170	-140	-14	<i>N1130 Y-140 F150</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
8	-155	-140	-14	<i>N1135 X-155 F1000</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
9	-155	20	-14	<i>N1140 Y20 F150</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
10	-140	20	-14	<i>N1145 X-140 F1000</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
11	-140	-140	-14	<i>N1150 Y-140 F150</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
12*	-115	-140	-14	<i>N1155 G41 X-115 F1000 D7</i>	Выход в точку с включением коррекции диаметра
13	-115	20	-14	<i>N1160 Y20 F150</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
14*	-140	20	-14	<i>N1165 G40 X-140 F1000</i>	Выход в точку с отключением коррекции диаметра
15	-140	20	50	<i>N1170 G0 Z50 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	<i>N1175 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ Б , переход <i>III6</i> (рис. П.2.28)					
-	-	-	-	<i>N1180 M6 T1 (фреза Ø160)</i>	Вызов инструмента <i>T1</i>
1	90	0	50	<i>N1185 G90 G43 X90 Y-60 Z50 H1</i>	Выход инструмента в точку проекции начала траектории

					на плоскости безопасности (исходную точку УП) с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N1190 M3 S150 M8</i>	Включение вращения шпинделя (со скоростью <i>S</i>) и подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ)
2	90	0	2	<i>N1195 Z2</i>	Приближение инструмента к детали
3	90	0	0	<i>N1200 G1 Z0 F1000</i>	Выход инструмента на плоскость обработки с включением контурной подачи <i>F</i>
4	-280	0	0	<i>N1205 X-200 F250</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
5	-280	0	50	<i>N1210 G0 Z50 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	<i>N1215 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ Б , переход П17 (рис. П.2.29)					
-	-	-	-	<i>N1220 M6 T7 (фреза Ø20)</i>	Вызов инструмента <i>T7</i>
1	-170	0	50	<i>N1225 G90 G43 X-170 Y0 Z50 H7</i>	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N1230 M3 S450 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2	-170	0	2	<i>N1235 Z2</i>	Приближение инструмента к детали
3	-170	0	-12	<i>N1240 G1 Z-12 F1000</i>	Выход инструмента на плоскость обработки с включением контурной подачи <i>F</i>
4*	-170	12	-12	<i>N1245 G91 G42 Y12 D7 F50</i>	Выход в точку с включением коррекции диаметра, с переходом на относительную систему отсчета
-	-	-	-	<i>N1250 M98 P9902 L5</i>	Пятикратный вызов подпрограммы «09902»
10	0	12	-26	<i>N1255 G2 J-12</i>	Выполнение плоскости (циркуляционное перемещение)
11*	0	0	-26	<i>N1260 G1 G40 Y-12</i>	Выход в точку с отключением коррекции диаметра
12	0	0	50	<i>N1265 G90 G0 Z50 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с переходом на абсолютную систему отсчета, с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	<i>N1270 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
-	-	-	-	<i>N1275 M0</i>	Программный останов станка
Переустановка детали → Команда «ПУСК»					
-	-	-	-	<i>N12800 G56 (обработка на установке В)</i>	Определение позиции нулевой точки системы координат детали
Установ Б , переход П18 (рис. П.2.31)					
-	-	-	-	<i>N1285 M6 T12 (фреза Ø8)</i>	Вызов инструмента <i>T12</i>
1	-80	-24	170	<i>N1290 G90 G43 X-80 Y-24 Z170 H12</i>	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N1295 M3 S1000 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ

2	-80	-24	122	<i>N1300 Z122</i>	Приближение инструмента к детали
3	-60	-24	118	<i>N1305 G1 X-60 Z118 F60</i>	Врезание – диагональный вход инструмента в материал с включением контурной подачи
4	-80	-24	114	<i>N1310 X-80 Z114</i>	Врезание – диагональный выход инструмента на плоскость обработки
5*	-80	-19	114	<i>N1315 G91 G41 Y5 D12</i>	Выход в точку с включением коррекции диаметра, с переходом на относительную систему отсчета
6	-80	-29	114	<i>N1320 G3 Y-10 J-5 F80</i>	Перемещение к точке (циркуляционное)
7	-60	-29	114	<i>N1325 G1 X20</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
8	-60	-19	114	<i>N1330 G3 Y10 J5</i>	Перемещение к точке (циркуляционное)
9	-80	-19	114	<i>N1335 G1 X-20</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
10*	-80	-24	114	<i>N1340 G40 Y-5</i>	Выход в точку с отключением коррекции диаметра
11	-80	-24	170	<i>N1345 G90 G0 Z170 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с переходом на абсолютную систему отсчета, с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	<i>N1350 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ <i>B</i> , переход <i>П19-1</i> (рис. П.2.32)					
-	-	-	-	<i>N1355 M6 T3 (центровка Ø6)</i>	Вызов инструмента <i>T3</i>
1	-105	-24	170	<i>N1360 G90 G43 X-105 Y-24 Z170 H3</i>	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N1365 M3 S900 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2 3 4	-105	-24	122 115.7 122	<i>N1370 G81 G99 R122 Z116 F50</i>	Включение цикла прямого сверления. Сверление центровочного отверстия
5 6 7	-35	-24	122 115.7 122	<i>N1375 X-35</i>	Перемещение к точке. Сверление центровочного отверстия
-	-	-	-	<i>N1380 G80</i>	Окончание цикла сверления
8	-35	-24	170	<i>N1385 G0 Z170 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	<i>N1390 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ <i>B</i> , переход <i>П19-2</i> (рис. П.2.32)					
-	-	-	-	<i>N1395 M6 T8 (сверло Ø8.5)</i>	Вызов инструмента <i>T8</i>
1	-105	-24	170	<i>N1400 G90 G43 X-105 Y-24 Z170 H8</i>	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N1405 M3 S600 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ

Окончание таблицы П.2.6

2 3 4	-105	-24	122 101 122	<i>N1410 G83 G99 R122 Z101 Q2.5 F70</i>	Включение цикла ступенчатого сверления. Сверление отверстия
5 6 7	-35	-24	122 101 122	<i>N1415 X-35</i>	Перемещение к точке. Сверление отверстия
-	-	-	-	<i>N1420 G80</i>	Окончание цикла сверления
8	-35	-24	170	<i>N1425 G0 Z170 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	<i>N1430 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
Установ <i>B</i> , переход <i>П19-3</i> (рис. П.2.32)					
-	-	-	-	<i>N1435 M6 T9 (метчик M10-7H)</i>	Вызов инструмента <i>T9</i>
1	-105	-24	170	<i>N1440 G90 G43 X-105 Y-24 Z170 H9</i>	Выход инструмента в исходную точку УП с учетом коррекции длины инструмента
-	-	-	-	<i>N1445 M3 S400 M8</i>	Включение вращения шпинделя и подачи СОЖ
2 3 4	-105	-24	122 105.5 122	<i>N1450 G84 G99 R122 Z105.5 F600</i>	Включение цикла нарезания резьбы (шаг резьбы $P=1.5$). Нарезание резьбы. Определение глубины <i>Z</i> с учетом сбег резьбы 2 мм. Примечание: $P=F/S$
5 6 7	-35	-24	122 105.5 122	<i>N1455 X-35</i>	Перемещение к точке. Нарезание резьбы
-	-	-	-	<i>N1460 G80</i>	Окончание цикла нарезания резьбы
8	-35	-24	170	<i>N1465 G0 Z170 M5 M9</i>	Отвод инструмента от детали на ускоренной подаче с отключением вращения шпинделя и подачи СОЖ
0	-	-	-	<i>N1470 G91 G28 X0 Y0 Z0</i>	Выход шпинделя в исходную точку перемещений
-	-	-	-	<i>N1475 M6 T0</i>	Освобождение шпинделя от инструмента
-	-	-	-	<i>N1480 M2</i>	Конец программы

Таблица П.2.7

Номера опорных точек	X	Y	Z	ТЕКСТ ПОДПРОГРАММЫ	КОММЕНТАРИИ
Установ <i>A</i> , подпрограмма перехода <i>П2</i> (рис. П.2.13)					
-	-	-	-	%	Начало подпрограммы
-	-	-	-	<i>o9901</i>	Имя подпрограммы

4* 12* 20* 28*	70	80	-12.5 -25 -37.5 -49.5	<i>N5 G41 X70 Y80 D2 F1000</i>	Выход в точку с включением коррекции диаметра (Ø40.4 с учетом припуска на чистовую обработку)
5 13 21 29	70	-60	-12.5 -25 -37.5 -49.5	<i>N10 Y-60 F150</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
6 14 22 30	-62	-60	-12.5 -25 -37.5 -49.5	<i>N15 X-62</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
7 15 23 31	-62	60	-12.5 -25 -37.5 -49.5	<i>N20 G2 Y60 J60</i>	Перемещение к точке (циркуляционное)
8 16 24 32	90	60	-12.5 -25 -37.5 -49.5	<i>N25 G1 X90</i>	Перемещение к точке (прямолинейное)
9* 17* 25* 33*	100	80	-12.5 -25 -37.5 -49.5	<i>N30 G40 X100 Y80 F1000</i>	Выход в точку с отключением коррекции диаметра
-	-	-	-	<i>N35 M99</i>	Конец подпрограммы
Установ <i>B</i>, подпрограмма перехода <i>III7</i> (рис. П.2.29)					
-	-	-	-	%	Начало подпрограммы
-	-	-	-	<i>o9902</i>	Имя подпрограммы
5 6 7 8 9	0	12	-14.8 -17.6 -20.4 -23.2 -26	<i>N5 G2 J-12 Z-2.8</i>	Врезание (циркуляционное по спирали)
-	-	-	-	<i>N10 M99</i>	Конец подпрограммы

Примечания. 1. (*) – точки включения и отключения коррекции диаметра инструмента

2. Отвод шпинделя в нулевую точку системы координат станка по кадру «***G91 G28 X0 Y0 Z0***» для многих современных моделей обрабатывающих центров не является обязательной командой

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

Графическое моделирование управляющих программ

Цели раздела – ознакомление с основами графического моделирования управляющих программ; обучение работе на компьютерном тренажере *CNC Simulator*.

Интерфейс CNC Simulator. Управление изображением

В процессе пуско-наладки технологического процесса на станках с ЧПУ УП обработки деталей подлежат тестированию и отладке методами графического моделирования. С этой целью создаются специальные компьютерные модули, которые могут быть вмонтированы в системы ЧПУ станков. Моделирование операции, называемое также СИМУЛЯЦИЕЙ (от английского «*Simulation*» – отображение), предоставляет разработчику возможность получения зрительного образа обработки детали. Это способствует выявлению неточностей и ошибок программирования на стадии разработки технологического процесса (рис. П.3.1).

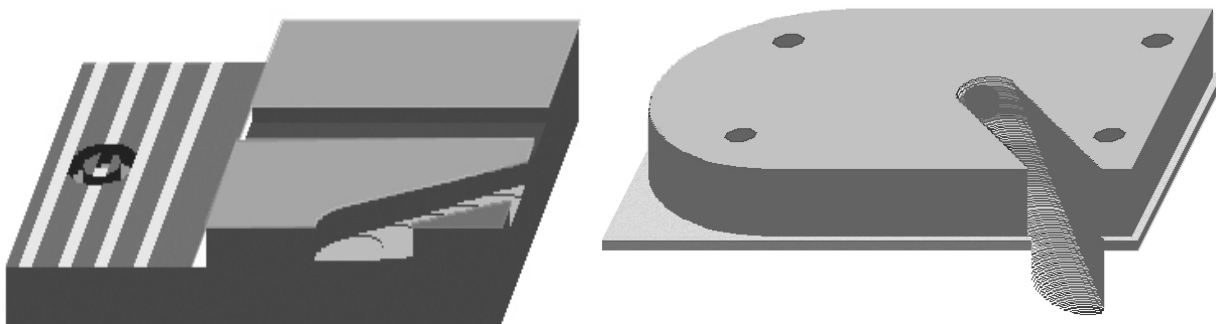


Рис. П.3.1. Примеры графических моделей с выявленными ошибками программирования

Рассматриваемый компьютерный тренажер *CNC Simulator* может свободно приобретаться на сайте www.cncsimulator.com. Его установка осуществляется из закладки, вызываемой клавишей **Download** (рис. П.3.2).

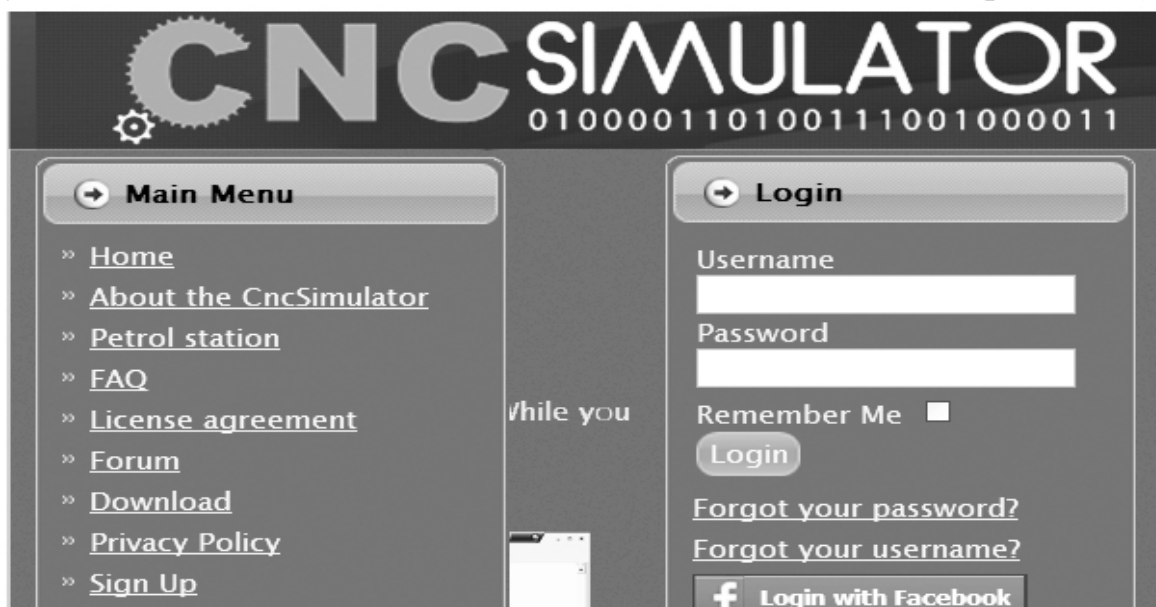


Рис. П.3.2. Титульная страница компьютерного тренажера *CNC Simulator*

CNC Simulator поддерживает три режима отображения действий станка с ЧПУ: ФРЕЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА, ТОКАРНАЯ ОБРАБОТКА и ГАЗОВАЯ РЕЗКА. Меню конфигурации экрана и выбора режима отображения **Screen** приведено на рис. П.3.3. Конфигурация экрана в режиме отображения фрезерной обработки приведена на рис. П.3.4.



Рис. П.3.3. Меню конфигурации экрана:

1 – стандартная панель инструментов; 2 – строка статуса; 3 – режим фрезерной обработки; 4 – режим токарной обработки; 5 – режим газовой резки

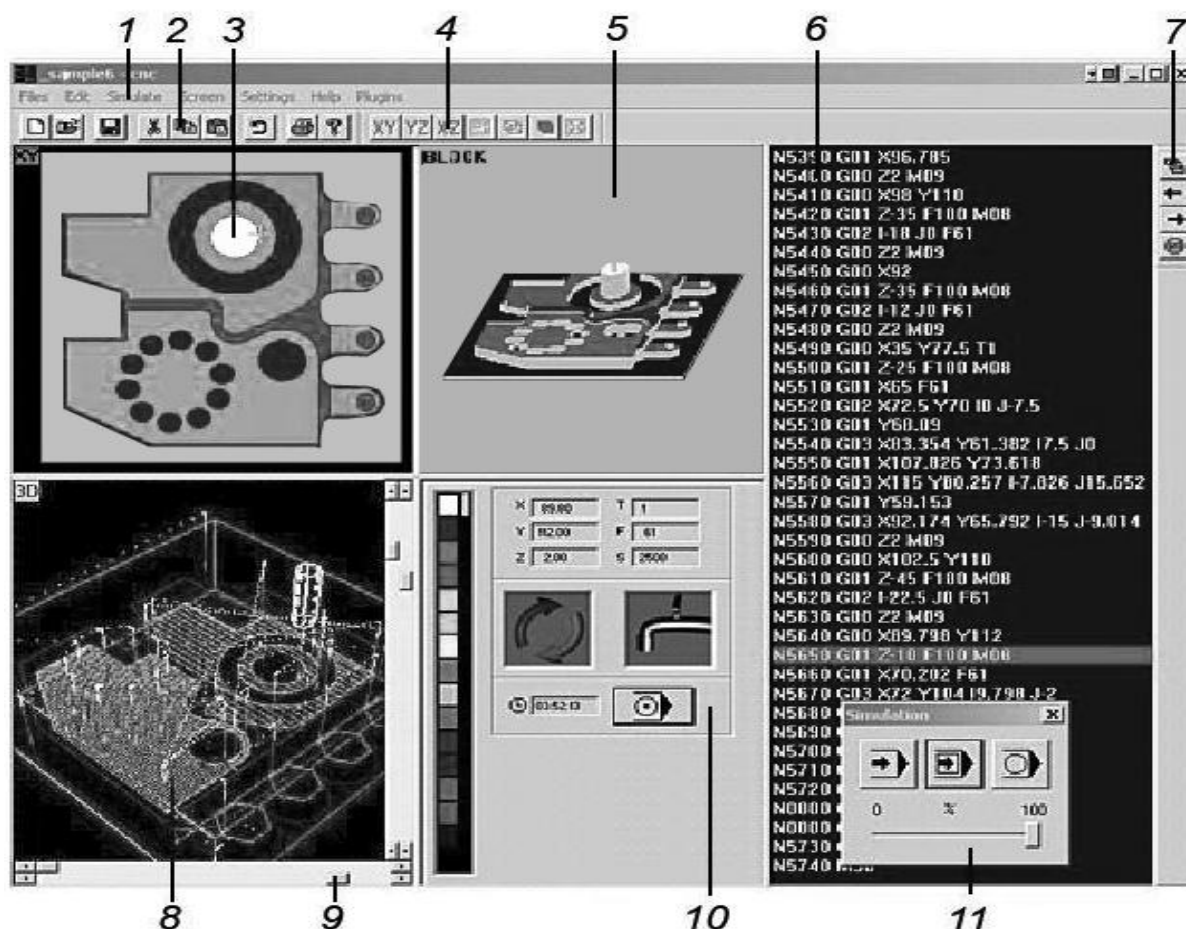


















Рис. П.3.4. Конфигурация экрана в режиме отображения фрезерной обработки:

1 – главное (падающее) меню; 2 – стандартная панель инструментов; 3 – окно графического отображения №1; 4 – панель управления окнами графического отображения; 5 – окно графического отображения №2; 6 – окно редактирования; 7 – панель редактирования; 8 – окно графического отображения №3; 9 – ручки управления 3D-каркасным видом; 10 – окно состояния; 11 – окно отработки УП

Большинство диалоговых окон и команд управления вызывается из падающего меню 1. Стандартная панель инструментов 2 позволяет осуществить быстрый доступ к обозначенным ниже наиболее часто применяемым командам:

-  - создать новую управляющую программу;
-  - открыть существующую управляющую программу;
-  - сохранить управляющую программу под ее текущим именем;
-  - вырезать выбранный текст и поместить его в буфер обмена;
-  - копировать выбранный текст в буфер обмена;
-  - вставить текст из буфера обмена в текущую позицию курсора;
-  - отменить последнее изменение в управляющей программе;
-  - печатать активную управляющую программу;
-  - открыть файл помощи.

Экран *CNC Simulator* (рис. П.3.4) включает в себя три окна графического отображения операции: 3, 5, 8. Рамки окон могут быть «перенесены» мышью с целью изменения их размеров. Вид указанных окон задается с помощью клавиш панели 4; приведем их краткое описание:

-  - план *XY* фрезерной обработки.
-  - план *YZ* фрезерной обработки.
-  - план *XZ* фрезерной и токарной обработки.
-  - траектории инструментов при фрезерной и токарной обработке.
-  - **3-D** каркасный вид фрезерной обработки; вид снабжен четырьмя ручками 9 (рис. П.3.5), предназначенными для масштабирования объекта и изменения его положения в пространстве.
-  - твердотельный **3-D** вид фрезерной и токарной обработки.
-  - полноэкранный режим отображения фрезерной и токарной обработки (отменяется *ESC*).

Для изменения вида графического отображения следует активизировать соответствующее окно щелчком мыши; далее осуществляется выбор команды из указанного выше списка. Отметим, что, в режиме токарной обработки часть клавиш панели управления окнами графического отображения деактивированы.

Настройка режима отображения фрезерной обработки

Режим отображения фрезерной обработки (рис. П.3.4) вызывается командой **Milling** из меню **Screen** (рис. П.3.3). Настройка параметров инструментов и заготовки, места размещения нулевой точки системы координат детали на заготовке, а также кодирование системы координат детали осуществляется из меню **Simulate** (рис. П.3.5).

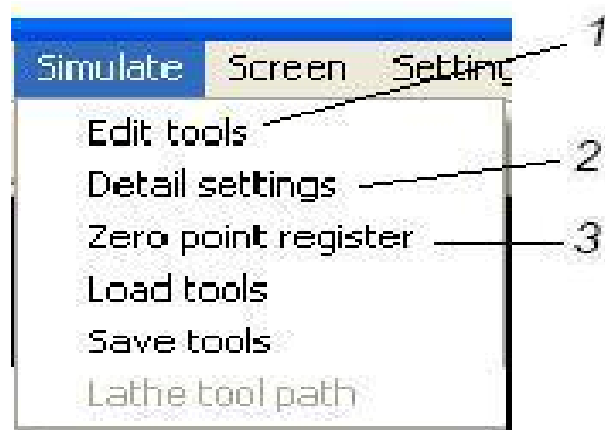


Рис. П.3.5. Меню **Simulate**:

1 – таблица редактирования параметров инструментов; 2 – установка параметров детали (заготовки); 3 – таблица машинных параметров (смещения нулевых точек)

Команда **Edit tools** блока фрезерной обработки выводит на экран дисплея параметрическую таблицу **Milling tools** (рис. П.3.6), в которую вносятся важнейшие характеристики инструментов: номер позиции (**Toolnr**), диаметр (**Dia.**), длина (**Length**) и обозначение для пользователя (**Name**). Отметим, что в раздел таблицы **Length** вносится не длина инструмента в сборе (как в системах реальных станков), а рекомендованная длина его режущей части.

NR	Toolnr	Dia.	Length	Feed	Spindle	Name
1	1	160	20.000	0.000	0.000	Фреза D_160
2	2	40.4	60.000	0.000	0.000	Фреза D_40
3	3	6	20.000	0.000	0.000	Центров. D_6

Рис. П.3.6. Таблица инструментов фрезерной группы

Размеры заготовки, а также место размещения нулевой точки системы координат детали на заготовке устанавливаются в диалоговом окне **Milling options** (рис. П.3.7,a), которое вызывается командой **Detail settings**. Для фрезерной обработки заготовка определяется как брусок с заданными размерами граней в направлении координатных осей **X**, **Y**, **Z**. Нулевая точка системы координат детали определена по умолчанию на верхней плоскости заготовки, на ее левой-передней оконечности. В этом случае **Nullpoint_X=0**; **Nullpoint_Y=0**. Нулевая точка может быть смещена в плане **X-Y** путем внесения изменений в значения параметров **Nullpoint_X** и **Nullpoint_Y**.

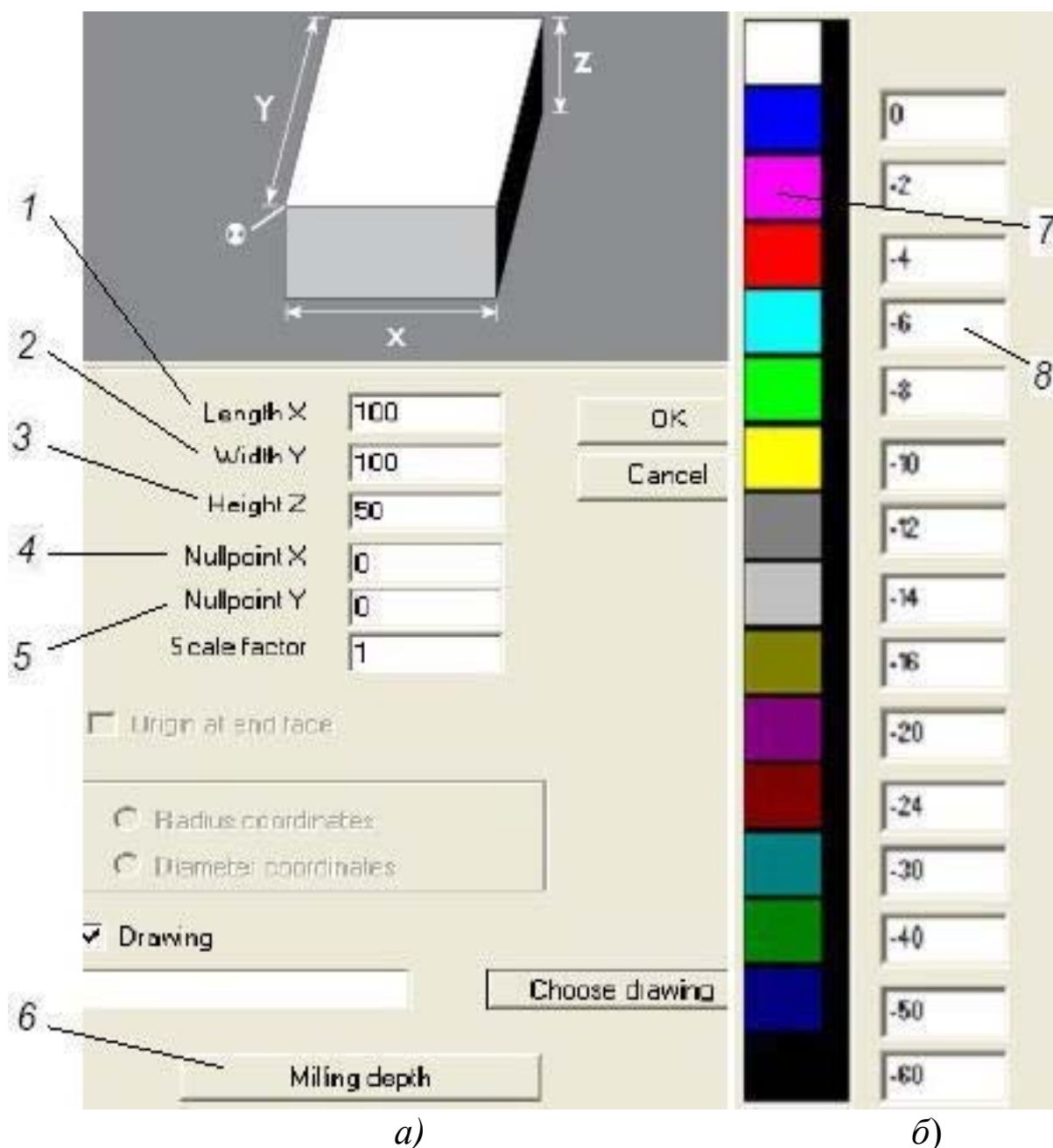


Рис. П.3.7. Задание параметров заготовки:

а) установка размеров заготовки и координаты размещения системы координат детали;
б) установка цветовой гаммы обозначения глубин обработки детали; 1,2,3 – размеры граней заготовки в направлении осей X , Y , Z ; 4,5 – величины смещения нулевой точки системы координат детали вдоль осей X , Y ; 6 – вызов меню установки цветовой гаммы обозначения глубин обработки детали; 7 – обозначение цвета; 8 – обозначение глубины

Смещение нулевой точки системы координат детали в направлении оси Z в диалоговом окне (рис. П.3.7,а) не предусмотрено. Если пользователь не согласен с расположением нулевой точки на верхней плоскости бруска заготовки, он может сместить ее непосредственно в процессе формирования УП, применив функцию **G92**. Допустим, пользователю необходимо сместить нулевую точку с верхней плоскости заготовки на верхнюю формируемую плоскость выполняемой детали: на 2 мм в направлении « Z » (с учетом

снятия припуска). В этом случае сразу после кадра вызова системы координат детали (например, **G54**, см. ниже) следует ввести кадр:

G92_Z-2.

В диалоговом окне (рис. П.3.7,б) осуществляется установка цветовой гаммы отображения глубины обработки детали (смещение инструмента относительно верхней плоскости заготовки в направлении оси **Z**). Вызов окна производится по команде клавиши **Milling depth** (рис. П.3.7,а).

Окно **Nullpoint register**, вызываемое командой **Zero point register 3** меню **Simulate** (рис. П.3.5), отображает таблицу констант смещений нулевых точек различных систем координат детали относительно системы координат станка (рис.2.1, см. выше). Как и в системе ЧПУ **FANUC**, в **CNC Simulator** системы координат детали кодируются: **G54...G59**. Константы смещения нулевых точек, соответствующие этим кодам, по умолчанию заданы равными нулю. Очевидно, что в рамках **CNC Simulator** понятие системы координат станка носит условный характер. Поэтому внесение изменений в указанную таблицу при настройке режимов отображения нецелесообразно.

Настройка режима отображения токарной обработки

Режим отображения токарной обработки вызывается командой **Turning** из меню **Screen** (рис. П.3.3). Конфигурация экрана графической модели в этом режиме приведена на рис. П.3.8.

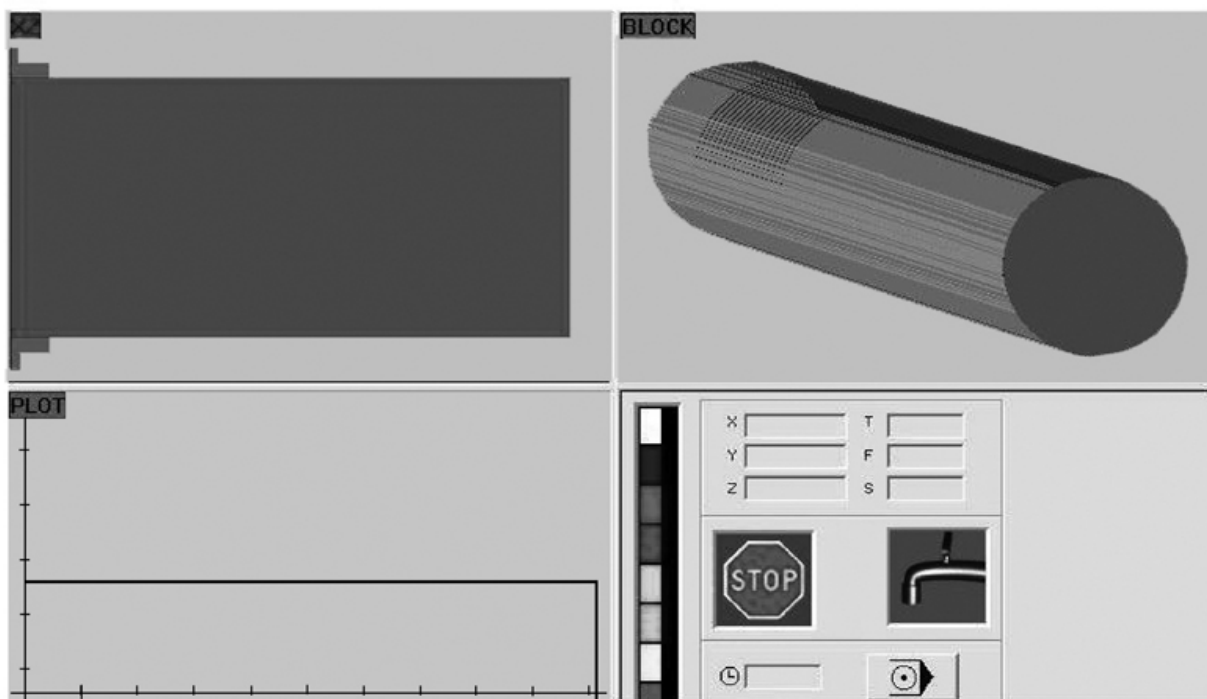


Рис. П.3.8. Конфигурация экрана в режиме отображения токарной обработки

Модели инструментов токарной группы размещены в отдельных файлах. Файлы отображены в закладках (рис. П.3.9), которые вызываются командой **Edit tools** из меню **Simulate**. Каждая закладка содержит наименование инструмента (например, **Tool_1**), эскиз его геометрической конфигурации (окно 2), клавиши управления и параметрические окна. Выбор типа инструмента осуществляется путем последовательного

открытия (перелистывания) закладок клавишами 3 и 4. В окне 5 задается радиус скругления рабочей вершины инструмента.

В системе ЧПУ *FANUC* расположение рабочей вершины резца обозначается символом «A» и кодируется цифровыми значениями 1...9 (рис.2.13, см. выше). В *CNC Simulator* расположение рабочих вершин кодируется иначе: знаком (+/-), обозначающим направление смещения центра скругления относительно режущей кромки вдоль каждой из координатных осей X и Y (окна 6, 7). Отметим, что обозначение осей X-Y в окне 2 (рис. П.3.9) соответствует обозначению Z-X координатной системы токарного станка с ЧПУ. Отметим также, что в *CNC Simulator* кодирование перемещений канавочного резца осуществляется исключительно для рабочей вершины, обращенной к обрабатываемой детали (код вершины A=3).

На рис. П.3.10 приведены фрагменты диалоговых окон с эскизами основных типов инструментов, задействованных в компьютерном тренажере. Эскизы содержат обозначения геометрических параметров, которые могут быть необходимы при выборе инструментов. Для каждого инструмента приведен пример задания величины радиуса скругления рабочей вершины. Знаки (+/-) соответствуют конфигурации инструмента. В подписях приведены обозначения кодов расположения рабочих вершин инструментов (например, A=3). Отметим, что радиусы скругления рабочих вершин сверл (рис. П.3.10,в) обычно принимаются равными нулю.

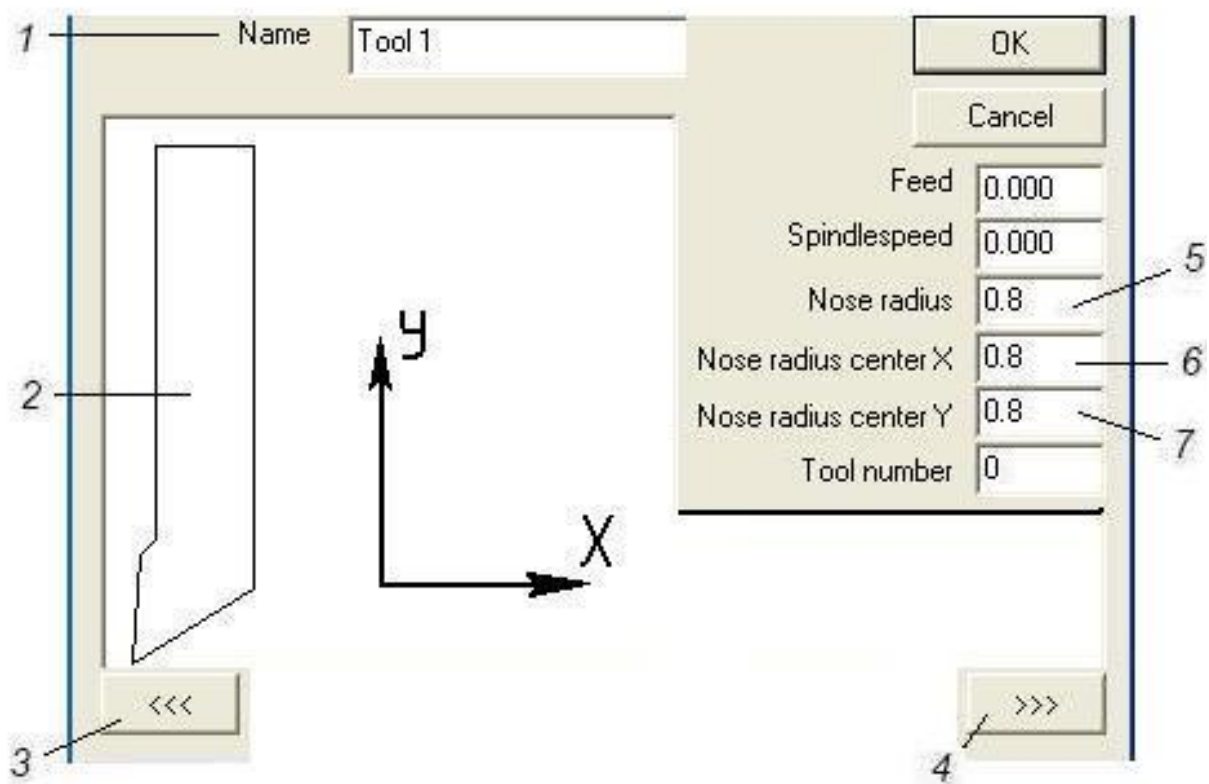


Рис. П.3.9. Окно выбора инструмента и задания параметров его рабочей вершины:

1 – наименование инструмента; 2 – конфигурация инструмента; 3, 4 – клавиши последовательного открытия диалоговых окон; 5 – поле обозначения величины радиуса скругления рабочей вершины; 6, 7 – поля обозначения величин и направлений смещений центра скругления рабочей вершины относительно ее кромки

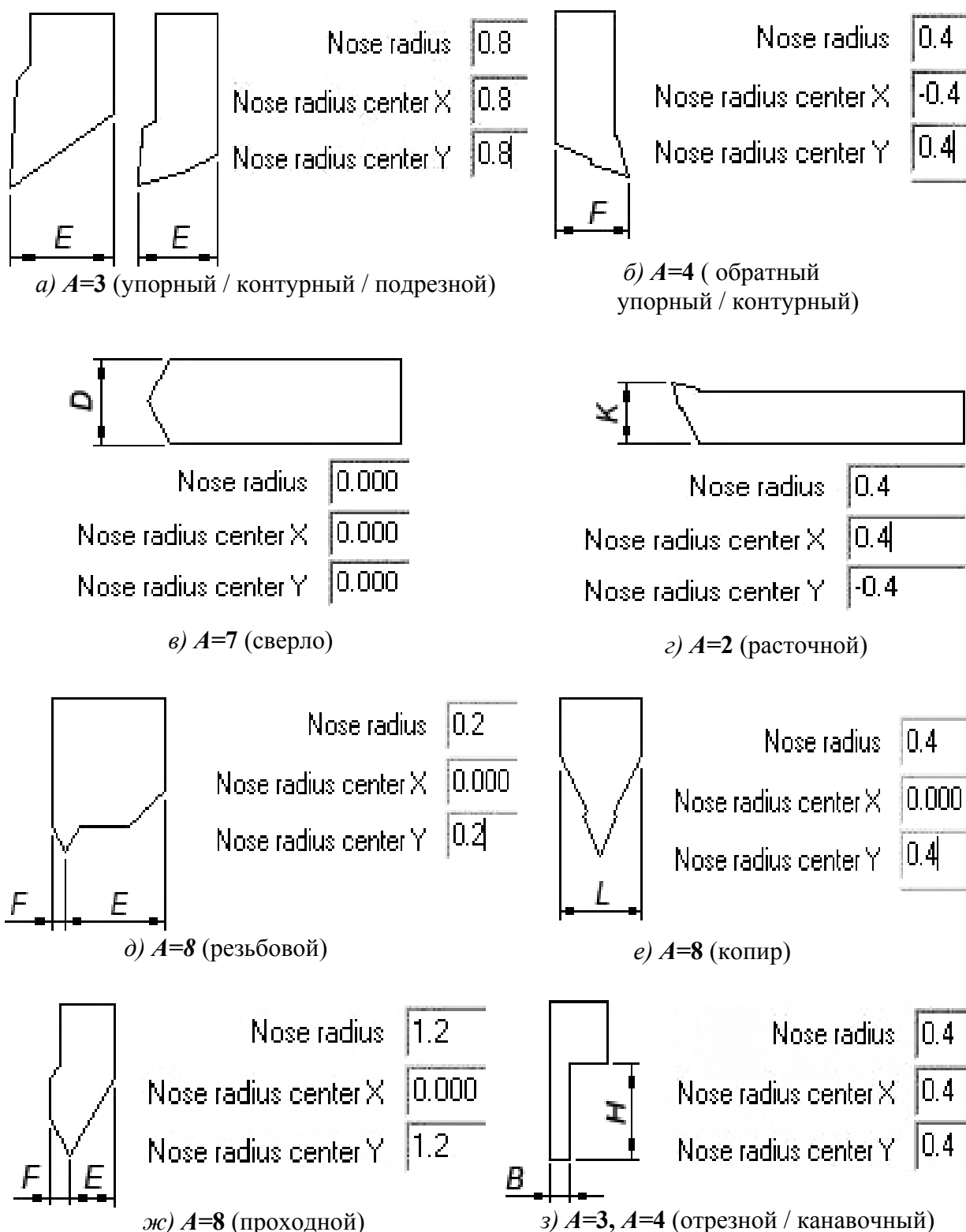


Рис. П.3.10. Основные варианты конфигураций инструментов в **CNC Simulator**

CNC Simulator предоставляет для моделирования УП 35 вариантов инструментов различных типов и геометрических конфигураций. В табл. П.3.1 приведен полный список инструментов с указанием их наименований и типов. Для каждого из инструментов приведены величины геометрических параметров, обозначенных на рис. П.3.10. Отметим, что пользователь имеет возможность вносить изменения в конфигурации инструментов.

Таблица П.3.1

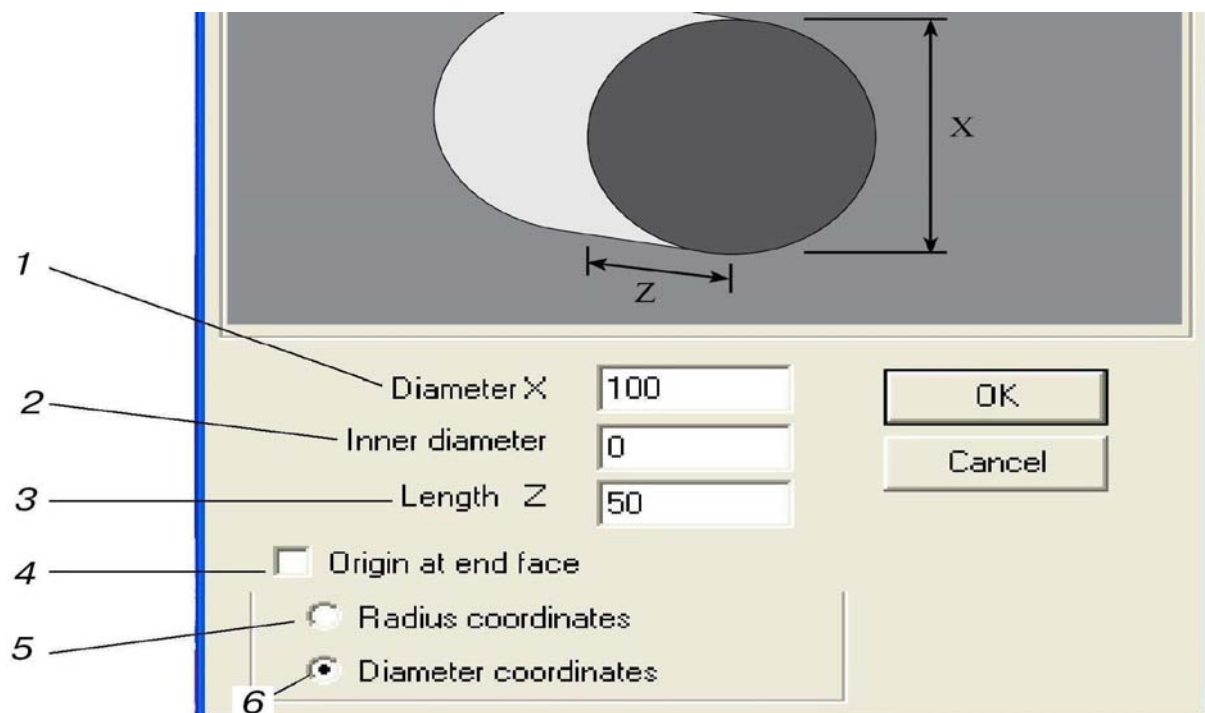
Наименование инструмента	Команда вызова	Тип инструмента	Геометрические параметры, мм						
			<i>B</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>H</i>	<i>K</i>	<i>L</i>
<i>Tool 1</i>	<i>T 1</i>	Упорный	-	-	15	-	-	-	-
<i>Tool 2</i>	<i>T 2</i>	Подрезной	-	-	25	-	-	-	-
<i>Tool 3</i>	<i>T 3</i>	Обратный упорный	-	-	-	20	-	-	-
<i>Tool 4</i>	<i>T 4</i>	Копир	-	-	-	-	-	-	1 2
<i>Tool 5</i>	<i>T 5</i>	Копир	-	-	-	-	-	-	24
<i>Tool 6</i>	<i>T 6</i>	Копир	-	-	-	-	-	-	14
<i>Tool 7</i>	<i>T 7</i>	Копир	-	-	-	-	-	-	14
<i>Tool 8</i>	<i>T 8</i>	Проходной	-	-	13	6	-	-	-
<i>Tool 9</i>	<i>T 9</i>	Отрезной / канавочный	3	-	-	-	45	-	-
<i>Tool 10</i>	<i>T 10</i>	Контурный	-	-	17	-	-	-	-
<i>Tool 11</i>	<i>T 11</i>	Расточной контурный	-	-	-	-	-	22	-
<i>Tool 12</i>	<i>T 12</i>	Расточной упорный	-	-	-	-	-	24	-
<i>Tool 13</i>	<i>T 13</i>	Расточной контурный	-	-	-	-	-	15	-
<i>Tool 14</i>	<i>T 14</i>	Расточной упорный	-	-	-	-	-	15	-
<i>Tool 15</i>	<i>T 15</i>	Центровка	-	6	-	-	-	-	-
<i>Tool 16</i>	<i>T 16</i>	Сверло	-	10	-	-	-	-	-
<i>Tool 17</i>	<i>T 17</i>	Сверло	-	16	-	-	-	-	-
<i>Tool 18</i>	<i>T 18</i>	Сверло	-	20	-	-	-	-	-
<i>Tool 19</i>	<i>T 19</i>	Сверло	-	26	-	-	-	-	-
<i>Tool 20</i>	<i>T 20</i>	Сверло	-	30	-	-	-	-	-
<i>Tool 21</i>	<i>T 21</i>	Сверло	-	36	-	-	-	-	-
<i>Tool 22</i>	<i>T 22</i>	Расточной упорный	-	-	-	-	-	22	-
<i>Tool 23</i>	<i>T 23</i>	Расточной контурный	-	-	-	-	-	15	-
<i>Tool 24</i>	<i>T 24</i>	Обратный упорный	-	-	-	20	-	-	-
<i>Tool 25</i>	<i>T 25</i>	Расточной упорный	-	-	-	-	-	15	-
<i>Tool 26</i>	<i>T 26</i>	Подрезной	-	-	25	-	-	-	-
<i>Tool 27</i>	<i>T 27</i>	Проходной	-	-	13	6	-	-	-
<i>Tool 28</i>	<i>T 28</i>	Контурный	-	-	17	-	-	-	-
<i>Tool 29</i>	<i>T 29</i>	Резьбовой	-	-	14	2	-	-	-
<i>Tool 30</i>	<i>T 30</i>	Расточной упорный	-	-	-	-	-	15	-
<i>Tool 31</i>	<i>T 31</i>	Упорный	-	-	20	-	-	-	-
<i>Tool 32</i>	<i>T 32</i>	Копир	-	-	-	-	-	-	14
<i>Tool 33</i>	<i>T 33</i>	Расточной упорный	-	-	-	-	-	24	-
<i>Tool 34</i>	<i>T 34</i>	Копир	-	-	-	-	-	-	12
<i>Tool 35</i>	<i>T 35</i>	Копир	-	-	-	-	-	-	14

Размеры заготовки, а также место размещения нулевой точки системы координат детали на заготовке устанавливаются в диалоговом окне ***Lathe options*** (рис. П.3.11,*а*), которое вызывается из меню ***Simulate*** командой ***Detail settings***. Заготовка задается как пруток с заданными диаметром (окно 1) и длиной (окно 3). Заготовка может быть задана в виде прутка с центральным отверстием, диаметр которого устанавливается в окне 2.

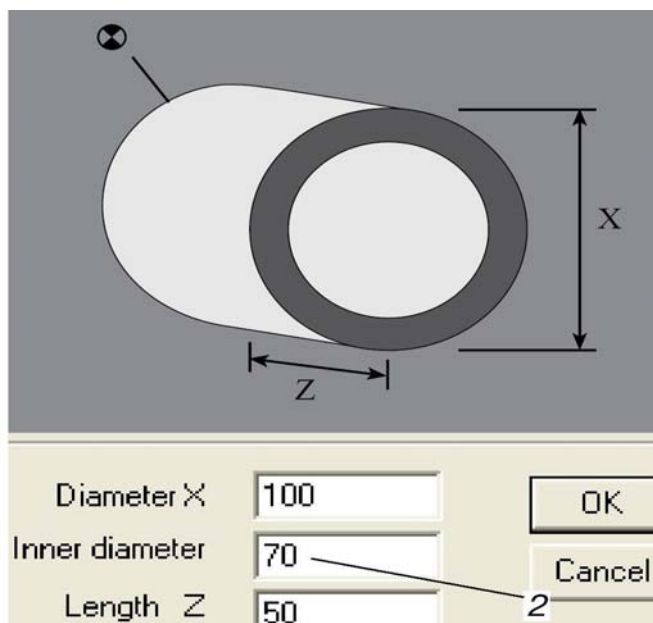
Нулевая точка системы координат детали определена в ***CNC Simulator*** по умолчанию в точке пересечения оси вращения детали с плоскостью ее базирования в токарном патроне (рис. П.3.11,*б*). Активизация окна 4 (***Origin at end face***) перемещает нулевую точку на плоскость заготовки, обращенную к инструменту (рис. П.3.11,*в*). Если пользователь не согласен с расположением нулевой точки на одной из двух торцевых плоскостей заготовки, он может сместить ее в направлении оси ***Z*** непосредственно в процессе формирования УП; эта цель достигается командой по функции ***G92***.

Допустим, пользователю необходимо сместить нулевую точку с плоскости заготовки, обращенной к инструменту, на формируемую плоскость выполняемой детали: на 2 мм в направлении «Z-» (с учетом снятия припуска). В этом случае сразу после кадра вызова системы координат детали (например, **G54**, см. выше), следует ввести кадр:

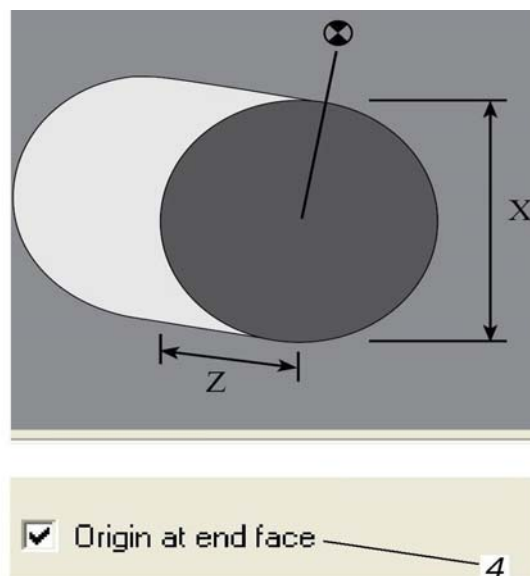
G92_Z-2.



a)



б)




в)

Рис. П.3.11. Задание параметров прутка заготовки:

а – общий вид окна; б – заготовка с центральным отверстием; в - нулевая точка координатной системы на плоскости заготовки, обращенной к инструменту

1 – наружный диаметр заготовки; 2 – диаметр отверстия заготовки; 3 – длина заготовки; 4 – окно установки нулевой точки со стороны инструмента

Отладка и редактирование программы

CNC Simulator позволяет одновременно открывать несколько УП, которые размещаются в разных буферах. Панель редактирования 7 (рис. П.3.4) включает в себя клавишу «» вызова буферного списка открытых УП (рис. П.3.12), а также клавиши перемещений между буферами открытых УП.

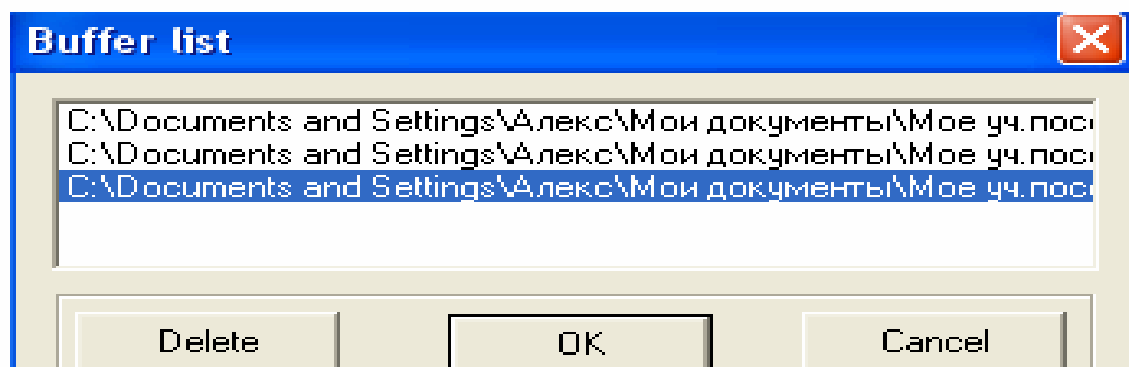


Рис. П.3.12. Буферный список открытых управляющих программ

Текст УП размещается в окне 6 (рис. П.3.4). Его редактирование осуществляется клавишами панели инструментов 2 и из меню **Edit** (рис. П.3.13). Редактирование текста УП производится стандартными командами **Undo**, **Search**, **Cut**, **Copy**, **Paste** и **Delete**, а также с помощью дополнительных команд. В частности, команда **Automatic line numbering** вводит режим формирования текстового документа, при котором для каждого кадра УП генерируется порядковый номер. Окно установки параметров нумерации приведено на рис. П.3.14. Изменение существующих номеров кадров УП выполняется в аналогичном окне, вызываемом командой **Renumber**.

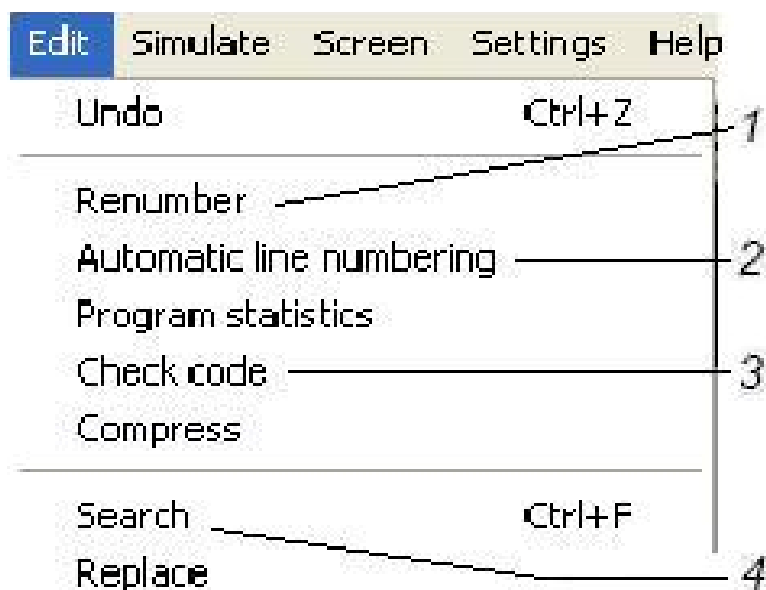


Рис. П.3.13. Меню **Edit**:

- 1 – изменение нумерации линий (кадров УП);
- 2 – автоматическая нумерация линий (кадров УП);
- 3 – проверка кодов (функций) УП; 4 – поиск

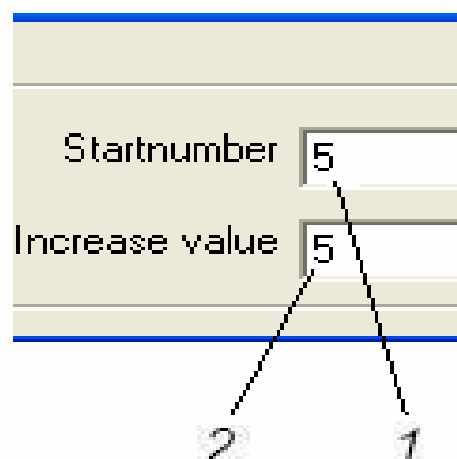


Рис. П.3.14. Окно установки параметров нумерации:

- 1 – установленное значение номера первого кадра УП;
- 2 – шаг увеличения номера

Команда **Check code** тестирует УП на наличие ошибок и запрещенных символов в тексте УП, а также изменяет строчные буквы на буквы верхнего регистра и вставляет, где необходимо, пробелы в текст. Этот вид контроля УП обычно осуществляется непосредственно перед ее обработкой на графической модели объекта. Параметры проверки устанавливаются в окне «**Check NC-program**» (**Контроль кодирования УП**) (рис. П.3.20, см. ниже).

Тестирование УП на графической модели осуществляется из панели состояния 10 (рис. П.3.4). Вид панели при неактивной УП приведен на рис. П.3.15,а; вид панели в текущий момент времени выполнения операции – на рис. П.3.15,б.

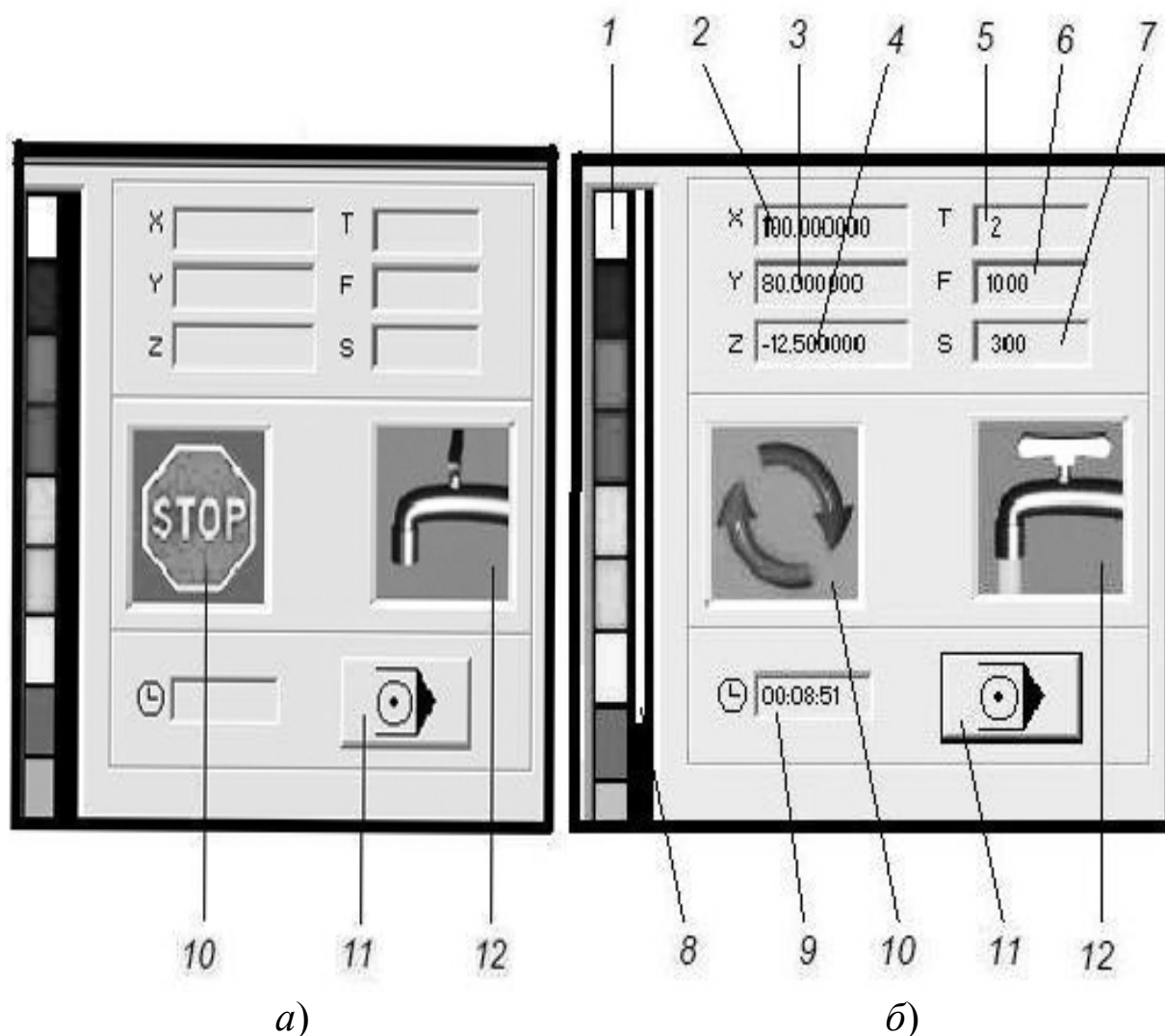


Рис. П.3.15. Панель состояния:

а – вид окна при неактивной УП; б – вид окна в текущий момент времени работы УП;
1 – шкала глубины обработки детали; 2,3,4 – координаты положения программной точки инструмента; 5 – номер используемого инструмента; 6 – подача инструмента; 7 – частота вращения шпинделя; 8 – обозначение глубины обработки; 9 – текущее время отработки УП; 10 – обозначение состояния шпинделя (вкл./выкл.); 11 – клавиша вызова окна отработки программы; 12 – обозначение состояния подачи СОЖ (вкл./выкл.)

При активизации клавиши *1* окна состояния (рис. П.3.15) на экране дисплея появляется панель обработки УП (рис. П.3.16), включающее в себя:

- клавишу обработки УП целиком *1*;
- клавишу обработки УП по кадрам *2*;
- клавишу выхода из УП *3*;
- ползун *4*, задающий скорость обработки УП на графической модели.

Команды *1* и *2* вспомогательного окна (рис. П.3.17) позволяет производить обработку УП, начиная с заданного кадра или заканчивая заданным кадром. Для вызова этого окна курсор устанавливается на заданном кадре, после чего выполняется щелчок правой клавишей мыши на поле окна редактирования *6* (рис. П.3.4).

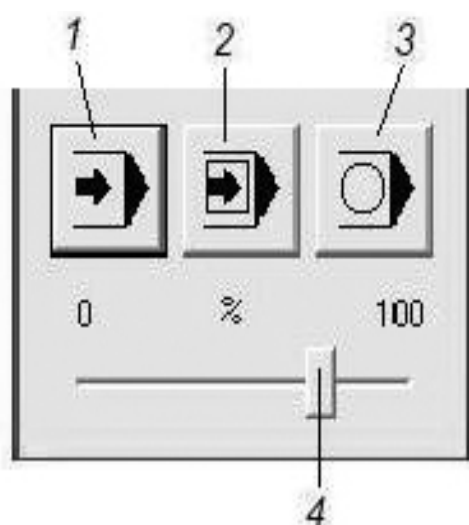


Рис. П.3.16. Панель обработки УП:
1 – клавиша непрерывной обработки УП; *2* – клавиша обработки УП по кадрам; *3* – клавиша выхода из УП; *4* – ползун, задающий скорость обработки

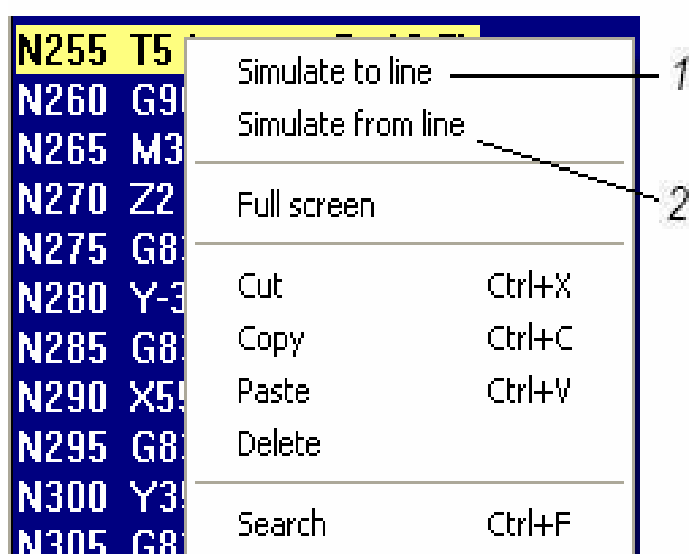


Рис. П.3.17. Окно вспомогательных команд:
1 – обработка УП, начиная с заданной линии (кадра); *2* – обработка УП до заданной линии (кадра)

Установка параметров тестирования УП и расчета машинного времени осуществляется из меню **Settings** (рис. П.3.18). Вход в меню производится активизацией команды **Login**.

В **CNC Simulator** предусмотрено три различных вида тестирования УП. Параметры контроля устанавливаются в диалоговых окнах (рис. П.3.19 ... рис. П.3.21), которые вызываются командами *1*, *2*, *4* из меню **Settings** (рис. П.3.18). Отметим, что перед началом обработки УП все возможные виды контроля, предусмотренные компьютерным тренажером, должны быть активизированы.

В случае обнаружения ошибки на экран дисплея выходит сообщение с кратким описанием возникшей проблемы. Примеры сообщений с информацией о выявленных ошибках приведены в табл. П.3.2.

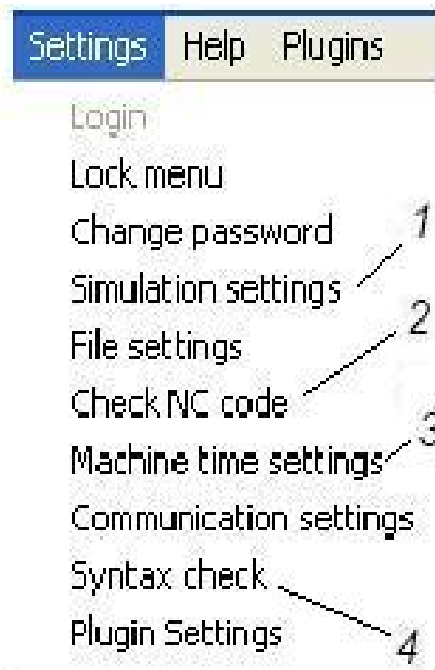


Рис. П.3.18. Меню **Settings**:

1 – установка параметров симуляции; 2 – контроль кодирования УП; 3 – установка параметров расчета машинного времени; 4 – контроль «правописания»

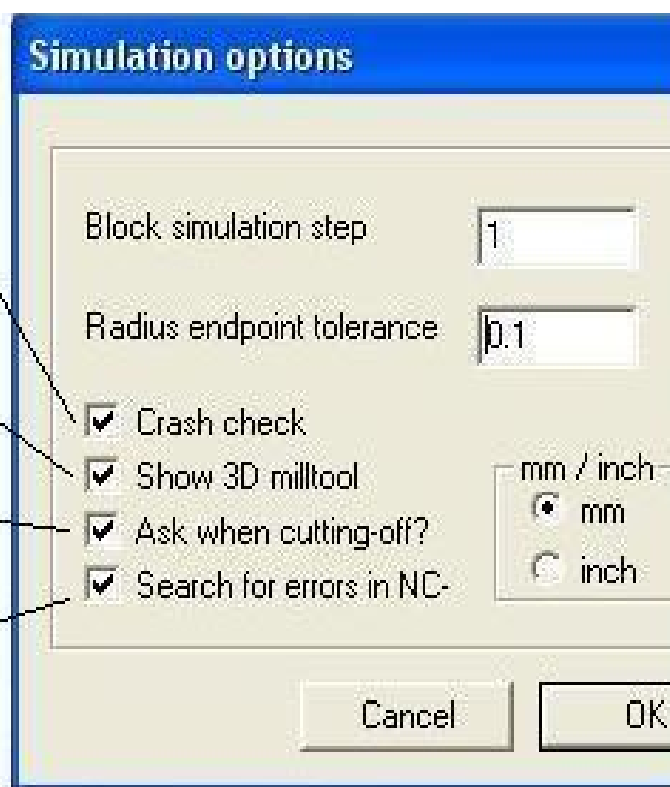


Рис. П.3.19. Окно «**Опции симуляции**»

1 – проверка на удар; 2 – показывать трехмерное изображение фрезерных инструментов; 3 – задавать вопрос о прерываниях и отключениях; 4 – выполнять поиск ошибок в NC-кодах

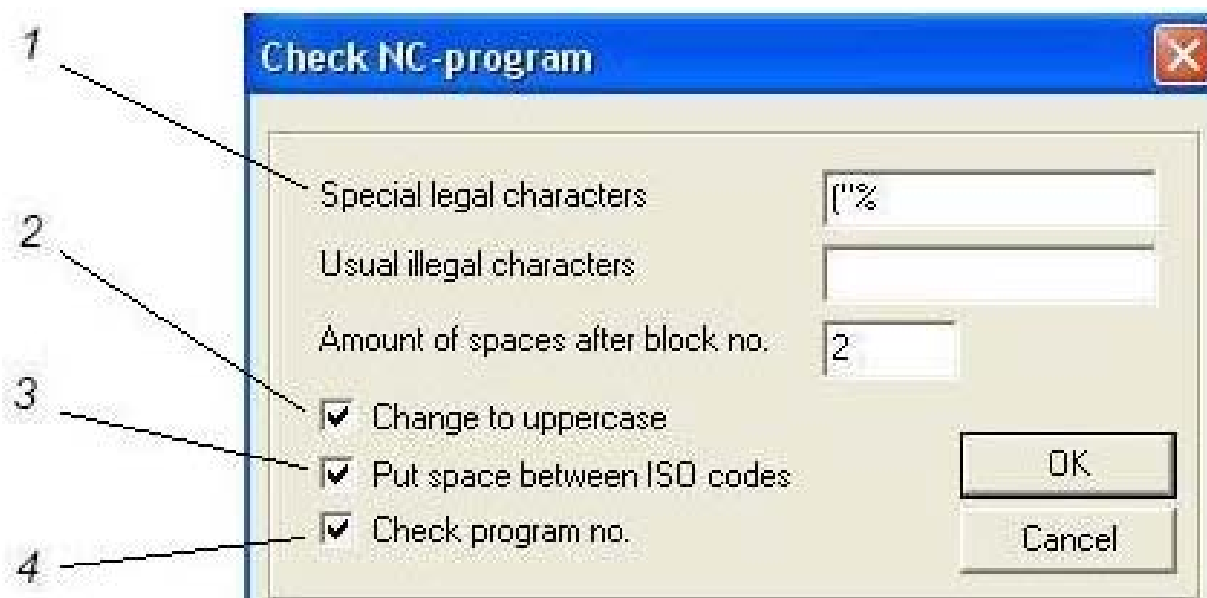


Рис. П.3.20. Окно «**Контроль кодирования УП**»

1 – проверка правильности расстановки специальных допустимых символов; 2 – перевод NC-кодов в знаки верхнего регистра; 3 – выполнение пробелов между кодами; 4 – проверка номера программы



Рис. П.3.21. Окно «Контроль правописания»:

1 – проверка запуска вращения шпинделя перед началом движения по кодам **G1, G2, G3**; 2 – проверка установки значения подачи шпинделя перед началом движения по кодам **G1, G2, G3**; 3 – проверка установки значения частоты вращения шпинделя перед началом движения по кодам **G1, G2, G3**; 4 – проверка наличия команды **M30 (M2)** в конце программы; 5 – проверка правописания включена

Таблица П.3.2

<i>Illegal character '%c'</i>	Неправильный символ
<i>G01 (G02): illegal endpoint</i>	G1 (G2) : неправильная конечная точка
<i>G41 (G42): tool radius too large</i>	G41 (G42) : радиус инструмента слишком велик
<i>G41 (G42): illegal contour</i>	G41 (G42) : неправильный контур
<i>Can't open subprogram</i>	Невозможно открыть подпрограмму
<i>Filename of subprogram missing</i>	Имя файла подпрограммы отсутствует
<i>Jump destination not found</i>	Адрес перехода к другому кадру не найден
<i>Feed without spindle start</i>	Рабочее перемещение инструмента без вращения шпинделя
<i>Movement without spindle speed set</i>	Движение без установки частоты вращения шпинделя
<i>Movement without feedrate being set</i>	Движение без установки скорости рабочего перемещения инструмента
<i>Rapid speed in material</i>	Перемещение инструмента на ускоренной подаче в материале
<i>M30 missing</i>	Отсутствует команда M30 (M2) на окончание программы
<i>Can't open subprogram</i>	Невозможно открыть подпрограмму (неправильное имя либо расположение)

Сохранение полученных данных

Процесс моделирования обработки детали в **CNC Simulator** задается группой независимых файлов; их конфигурации приведены в табл. П.3.3.

Таблица П.3.3

СОХРАНЯЕМАЯ ИНФОРМАЦИЯ	ТИП ФАЙЛА
Текст управляющей программы	*.nc
Тексты подпрограмм	*.nc
Параметры заготовки	*.set
Машинные параметры	*.prf
Файлы токарных инструментов	*.ltl
Таблица фрезерных инструментов	*.txt

Сохранение файла с текстом УП (*.nc) производится стандартными командами **Save** и **Save as** из меню **Files** (рис. П.3.22). Одновременно с сохранением этого файла **CNC Simulator** предлагает сохранить файл с параметрами заготовки (*.set); эти два файла размещаются в общей папке. При вызове файла с текстом УП компьютерный тренажер загружает файл с параметрами заготовки (*.set) по умолчанию. Файлы с параметрами заготовки при необходимости могут быть записаны в специальном файле с другим именем (**Save detail settings**). Сохранение машинных параметров (**Save machine settings**) также осуществляются по мере необходимости.

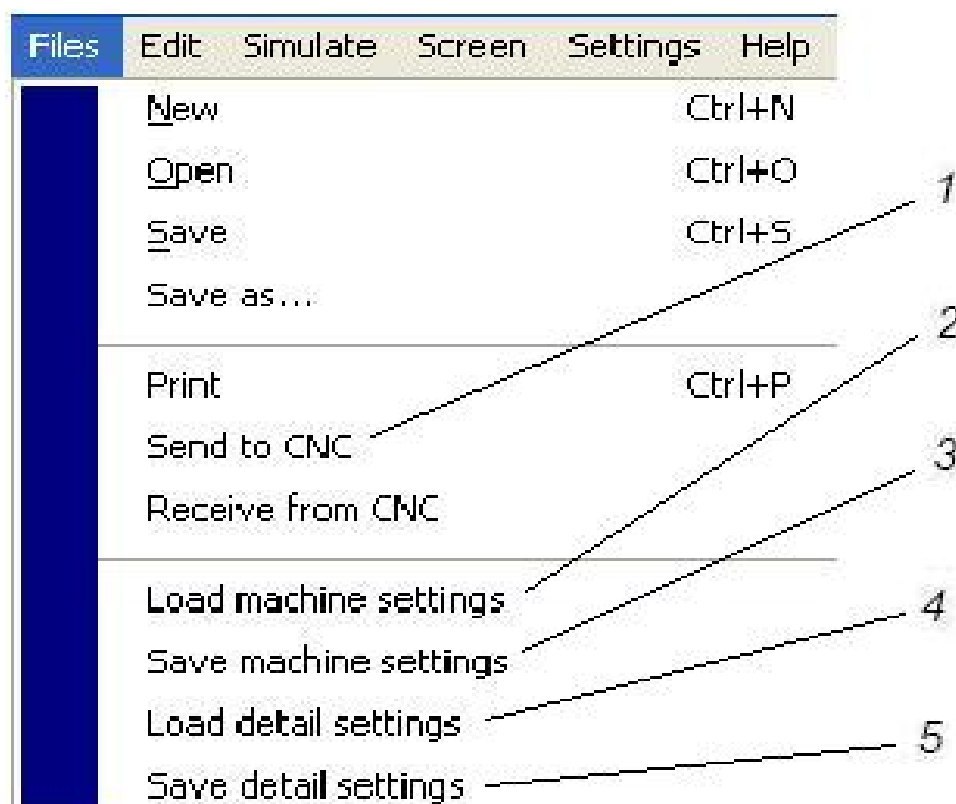


Рис. П.3.22. Меню **Files**:

1 – отправить на станок с ЧПУ; 2 – загрузить машинные параметры; 3 – сохранить машинные параметры; 4 – загрузить параметры детали (заготовки); 5 – сохранить параметры детали (заготовки)

Параметры токарных инструментов записываются в отдельных файлах (*.ltl), которые располагаются в папке установки **CncSimulator** с адресом:

C:\Program Files\CncSimulator\t_tools.

Параметры фрезерных инструментов записываются в единый для всех программ файл **FTOOLS.txt**, который располагается в папке установки **CncSimulator** с адресом:

C:\Program Files\CncSimulator.

При вызове новой УП комбинированной фрезерной обработки следует сверить параметры и номера инструментов в УП и таблице инструментов. При необходимости в таблицу инструментов (команда **Edit tools**) следует внести соответствующие корректировки.

В некоторых УП применяются подпрограммы, записанные в отдельных файлах. Эти файлы также должны располагаться в папке установки **CncSimulator** с адресом:

C:\Program Files\CncSimulator.

После тестирования УП и ее отладки на графической модели файл с ее текстом может быть отправлен на станок с ЧПУ для практического применения. Соответствующее диалоговое окно, вызываемое командой «**Send to CNC**» (меню **Files**), приведено на рис. П.3.23.



Рис. П.3.23. Окно отправки управляющей программы на станок с ЧПУ

Система кодирования CncSimulator

Система кодирования **CncSimulator** разработана в международном коде **ISO-7bit**; язык программирования структурно близок к языку системы ЧПУ **FANUC**. В табл. П.3.4 ... П.3.6 приведены обозначения и описания задействованных функций.

Отметим, что для удобства отображения действий УП комбинированные операции, связанные с переустановками детали, желательно условно разбивать на несколько отдельных операций. Для каждой операции определяются свои параметры заготовки, задается код вызова системы координат детали (**G54...G59**), устанавливается место расположения нулевой точки системы координат детали на заготовке.

Таблица П.3.4

ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ			
Код	Фрезерная обработка	Токарная обработка	Назначение
G90	+	+	Абсолютная система отсчета координат
G91	+	+	Относительная система отсчета координат
G0	+	+	Ускоренной перемещение
G1	+	+	Линейная интерполяция
G2	+	+	Круговая интерполяция по часовой стрелке
G3	+	+	Круговая интерполяция против часовой стрелки
G41	+	-	Коррекция диаметра фрезы – контур обработки справа
G42	+	-	Коррекция диаметра фрезы – контур обработки слева
G41	-	+	Коррекция радиуса рабочей вершины резца – контур обработки справа
G42	-	+	Коррекция радиуса рабочей вершины резца – контур обработки слева
G40	+	+	Отмена коррекции диаметра / радиуса
G92	+	+	Смещение нулевой точки системы координат детали
G81	+	-	Цикл короткого сверления
G84	+	-	Цикл нарезания резьбы
G83	-	+	Токарный цикл нарезания резьбы
G84	-	+	Токарный многопроходный цикл
G94	-	+	Задание скорости подачи инструмента, мм/мин
G95	-	+	Задание скорости подачи инструмента, мм/об
G54...G59	+	+	Перемещения в заданной системе координат детали
G25	+	-	Перемещение считывающего устройства системы ЧПУ к кадру с заданным номером
G26	+	+	Вызов подпрограммы, записанной в отдельном файле

Таблица П.3.5

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ			
Код	Фрезерная обработка	Токарная обработка	Назначение
M0	+	+	Останов программы (с последующим возобновлением работы клавишей «Пуск»)
M3	+	+	Запуск вращения шпинделя по часовой стрелке
M4	+	+	Запуск вращения шпинделя против часовой стрелки
M5	+	+	Останов шпинделя
M6	+	+	Вызов инструмента
M8	+	+	Включение подачи СОЖ
M9	+	+	Отключение подачи СОЖ
M17	+	+	Окончание подпрограммы
M30 (M2)	+	+	Окончание программы

Таблица П.3.6

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КОДЫ			
Код	Фрезерная обработка	Токарная обработка	Назначение
F	+	+	Скорость подачи инструмента, мм/мин
S	+	+	Частота вращения шпинделя (патрона), об/мин
N	+	+	Номер кадра управляющей программы
T	+	+	Вызов инструмента
X	+	+	Значение координаты по оси X
Y	+	-	Значение координаты по оси Y
Z	+	+	Значение координаты по оси Z
I	+	-	Расстояние в приращениях от точки начала циркуляции до центра дуги вдоль оси X
J	+	-	Расстояние в приращениях от точки начала циркуляции до центра дуги вдоль оси Y
K	+	+	Расстояние в приращениях от точки начала циркуляции до центра дуги вдоль оси Z
R	+	+	Радиус дуги циркуляции <180 градусов
L	+	-	Номер кадра управляющей программы – адреса перемещения считывающего устройства системы ЧПУ
U	+	-	Число повторений подпрограммы

Управляющая программа в **CNC Simulator** начинается символом %; в этом же кадре рекомендуется записывать имя УП.

Необходимые комментарии к тексту УП записываются в скобках; эта информация предназначена только для оператора и не считывается системой программирования.

Скорость подачи инструмента на станках фрезерной группы задается в **мм/мин** по умолчанию.

Как было отмечено выше, в **CNC Simulator** понятие системы координат станка носит условный характер. Поэтому отвод инструмента от детали в нулевую точку системы координат станка (в **FANUC** это командный кадр: **G91 G28 G0 X0 Y0 Z0**) в рамках компьютерного тренажера не имеет смысла.

Ниже приведем описание команд, структура и система кодирования которых в **CNC Simulator** отличается от языка системы ЧПУ **FANUC**.

1. Вызов инструмента в **CNC Simulator** осуществляется командой **T** (в **FANUC**: **M6 T_**). В момент вызова инструмента его геометрические параметры, задействованные в расчетах траекторий движения, активизируются по умолчанию (например, **T1** – вызов инструмента №1).

2. Вызов подпрограммы, записанной в отдельном файле, осуществляется кадром со структурой:

G26 "XXX.NC",

где **XXX.NC** – имя файла подпрограммы.

3. Многократный вызов подпрограммы производится кадром вида:

G26 "XXX.NC" U_,

где *U* – обозначение числа последовательных вызовов подпрограммы (например, *U5* для пятикратного вызова подпрограммы).

4. Окончание текста подпрограммы обозначается *M17* (в *FANUC: M99*).

5. Команда, предназначенная для перемещения считывающего устройства системы ЧПУ к кадру с заданным номером, имеет структуру: **G25 L_**, где *L* – обозначение номера кадра-адреса (в *FANUC* аналогичная команда имеет вид: **GOTO N_**). Например, кадр «**G25 L925**» перемещает считывающее устройство к кадру с номером, обозначенным: *N925*.

6. В *CNC Simulator* допускается запись текста подпрограммы в общем файле с текстом УП. Подпрограмму желательно размещать после кадров *M30* или *M2*, завершающих текст основного текста УП. Вызов подпрограммы осуществляется перемещением считывающего устройства к кадру начала подпрограммы (команда **G25 L**, см выше).

7. Структура сверлильных циклов станков фрезерной группы в *CNC Simulator* существенно отличается от структуры циклов *FANUC*. Перед вызовом цикла инструмент выводится в начальную позицию – точку *A* (рис. П.3.24). Величина рабочей подачи *F* задается в кадре назначения цикла и выполнения первого отверстия. Перемещения инструментов между отверстиями осуществляются на ускоренной подаче, при этом координата *Z* перемещений соответствует координате *Z* точки *A*. Кадры циклов сверления и нарезания резьбы имеют следующую структуру:

G81 Z_ F_ (первое отверстие); **G81 Z_** (последующие отверстия);
G84 Z_ F_ (первая резьба); **G84 Z_** (последующие резьбы).

Цикл прямого сверления (функция **G81**, рис. П.3.24,а) включает в себя вход инструмента в материал на рабочей подаче *F* (мм/мин) и отвод на ускоренной подаче. Цикл нарезания резьбы (функция **G84**, рис. П.3.24,б) включает в себя вход и выход инструмента на рабочей подаче *F*, причем отвод осуществляется при реверсивном направлении вращения шпинделя.

Отметим, что широко применяемый на практике цикл ступенчатого сверления (в *FANUC* кодируется функцией **G83**) в *CNC Simulator* не отрабатывается и должен условно заменяться циклом прямого сверления (функция **G81**). Команда на отмену цикла сверления (в *FANUC* это **G80**) в *CNC Simulator* не требуется.

8. Токарный цикл многопроходной обработки (функция **G84**) предназначен для выполнения черновой обработки с наружной стороны детали (рис. П.3.25). Перед вызовом цикла инструмент выводится в начальную позицию – точку *A*. Величина рабочей подачи *F* задается в кадре назначения цикла. Кадр цикла многопроходной обработки имеет следующую структуру:

G84 X_ Z_ P_ F_.

9. Токарный цикл нарезания резьбы (функция **G83**) используется для выполнения цилиндрических ($L=X$) и конических (L не равен X) резьб (рис. П.3.26). Перед вызовом цикла инструмент выводится в начальную позицию – точку **Ps**. После выполнения цикла инструмент возвращается в точку **Ps**. Кадр цикла нарезания резьбы имеет следующую структуру:

G83 X_ Z_ R_ L_ D_ H_.

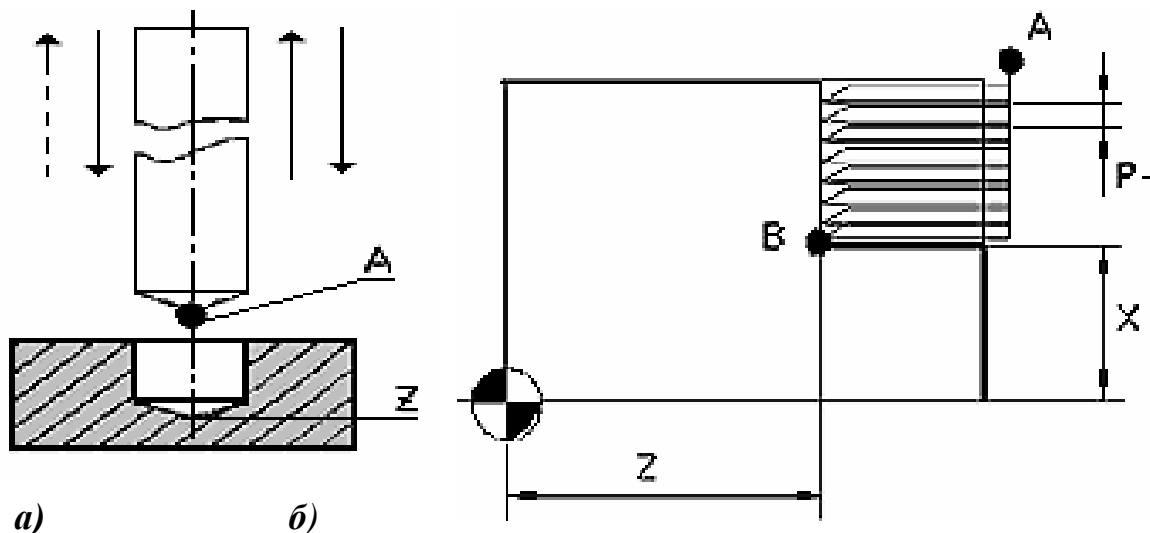


Рис. П.3.24. Интерпретация сверлильных циклов станков фрезерной группы:
а) **G81** – прямое сверление;
б) **G84** – нарезание резьбы
Z – координата конечной точки сверления, задаваемая в абсолютной системе отсчета

Рис. П.3.25. Интерпретация токарного многопроходного цикла по **G84**:
X – координата точки **B**; **Z** – линейная координата точки **B**; **P** – глубина одного прохода (толщина стружки).
Примечание. Параметр **P** задается в отрицательных величинах; **X** и **P** – в диаметральном выражении; **X** и **Z** – в абсолютной системе отсчета

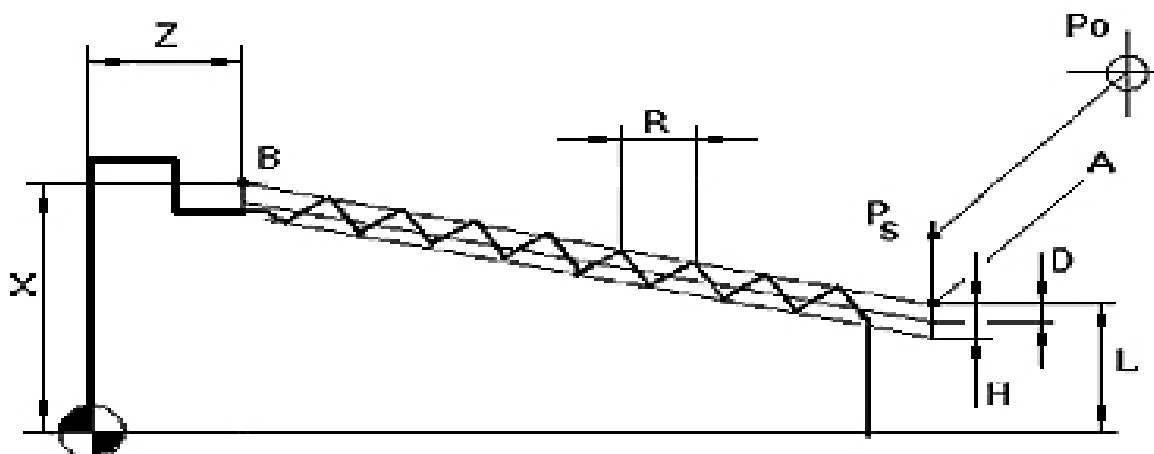


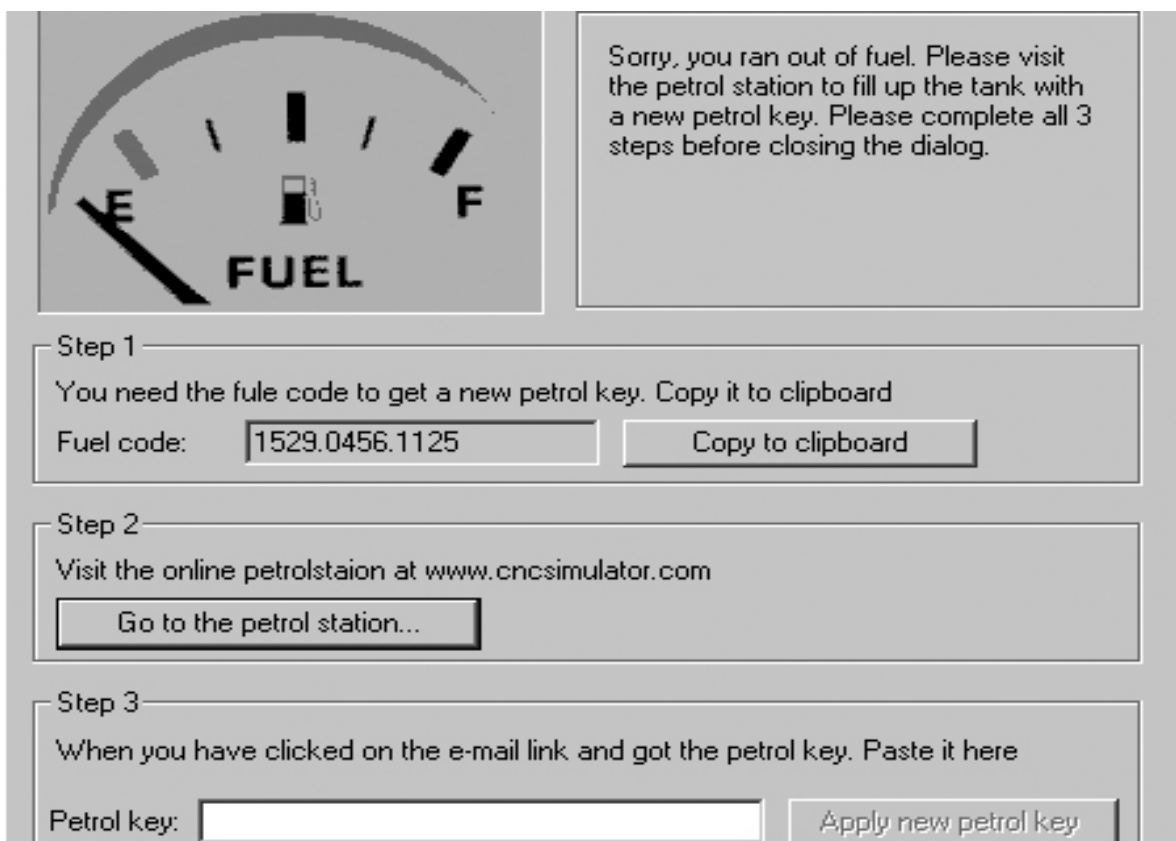
Рис. П.3.26. Интерпретация токарного цикла нарезания резьбы по **G83**:
X – координата конечной точки резьбы **B**; **Z** – линейная координата конечной точки резьбы **B**; **R** – шаг резьбы (мм/оборот); **L** – диаметр или радиус начальной точки резьбы **A**; **D** – глубина одного прохода (толщина стружки); **H** – общая глубина резьбы.
Примечание. **X**, **D** и **H** задаются в диаметральном выражении; **X**, **L** и **Z** – в абсолютной системе отсчета

Поддержка работы CNC Simulator

Первоначальное приобретение программного продукта на сайте www.cncsimulator.com не требует от пользователя регистрации. Компьютерный тренажер имеет ресурс работы 2...3 месяца; после окончания этого периода пользователь получает сигнал о необходимости обращения на сайт с просьбой о приобретении «нового топлива»:

Can't open petrol file. Download new petrol.

По клавише **OK** пользователь попадает в меню **Out of field** (рис. П.3.27), в окне **Fuel code** которого указан код «отработавшего топлива».



Sorry, you ran out of fuel. Please visit the petrol station to fill up the tank with a new petrol key. Please complete all 3 steps before closing the dialog.

Step 1
You need the fule code to get a new petrol key. Copy it to clipboard
Fuel code:

Step 2
Visit the online petrolstaion at www.cncsimulator.com

Step 3
When you have clicked on the e-mail link, and got the petrol key. Paste it here
Petrol key:

Рис. П.3.27. Меню **Out of field** с указанием кода «отработавшего топлива»

Пользователь по клавише **Go to the petrol station** должен зайти на сайт www.cncsimulator.com (рис. П.3.2), далее зарегистрироваться в диалоговом окне **Sign up** либо сделать **Login** (если регистрация была проведена ранее). Затем требуется зайти в диалоговое окно **Petrol station** и нажать на клавишу **Classic Petrol Station**. В ответ выходит меню (рис. П.3.28), в окно **Fuel code** которого следует скопировать код «отработавшего топлива»; в этом же меню пользователь должен сообщить системе свой **e-mail**. Затем следует нажать на клавишу **Full tank** и далее открыть указанный **e-mail**. Пользователь обнаруживает в своем почтовом ящике письмо от staff@cncsimulator.com со ссылкой, по которой открывается страница с указанием кода новой порции топлива (**This is your petrol key**) (рис. П.3.29). Этот код необходимо скопировать в окно **Petrol key** (нижняя часть меню **Out of field**) и далее ввести в систему по клавише **Insert key** либо клавише **Apply**

new key. В ответ пользователь получает сигнал о возможности возобновления работы.

The screenshot shows a web interface for the CNC Simulator. On the left is a fuel gauge labeled 'FUEL' with 'E' (Empty) and 'F' (Full) markings. The needle is near 'E'. To the right of the gauge is a message box that says: "Sorry, you ran out of fuel. Please visit the petrol station to fill up the tank." Below this message is a text input field labeled "Fuel code:" containing the value "1529.0456.1125". A "Copy to clipboard" button is next to the field. At the bottom left of the gauge area is a link "www.cncsimulator.com" and a "Done" button. Below the gauge area, there is a section titled "Please enter your fuel code and email address in the fields below." It contains two input fields: "Fuel code:" with "1529.0456.1125" and "Email:" with "Ivanov@mail.ru". Below these is a CAPTCHA image showing the number "469241". A text prompt says "We need to check that you are human, please enter the code you see at". Below this is an input field labeled "Code:" containing "469241". There is a checkbox labeled "I have read and accepted the terms in the license agreement (License)" which is checked. At the bottom is a "Full tank!" button.

Рис. П.3.28. Передача на сайт www.cncsimulator.com кода «отработавшего топлива»

This is your petrol key:
391.0752.1155.6313.6396.6801.2572

The screenshot shows a software window titled "Out of fuel" with a close button (X) in the top right corner. Inside the window is a fuel gauge labeled 'FUEL' with 'E' and 'F' markings. To the right of the gauge is a message box that says: "Sorry, you ran out of fuel. Please visit the petrol station to fill up the tank with a new petrol key". Below this message is a text input field labeled "Fuel code:" containing the value "1529.0456.1125". A "Copy to clipboard" button is next to the field. Below the fuel code field is a text input field labeled "Petrol key:" which is currently empty. At the bottom of the window are four buttons: "To the petrol station...", "Done", "Debug details", and "Insert key". A curved arrow points from the "Copy to clipboard" button in the previous screenshot to the "Petrol key:" field in this screenshot.

Рис. П.3.29. Прием с сайта www.cncsimulator.com кода «новой порции топлива»

ПРИЛОЖЕНИЕ 4.

Пример графического моделирования обработки детали на станке с ЧПУ токарной группы

Цель раздела – обучение принципам графического моделирования обработки детали на станке с ЧПУ токарной группы. Инструмент моделирования – компьютерный тренажер *CNC Simulator*. Обрабатываемая деталь изображена на рис. П.4.1.

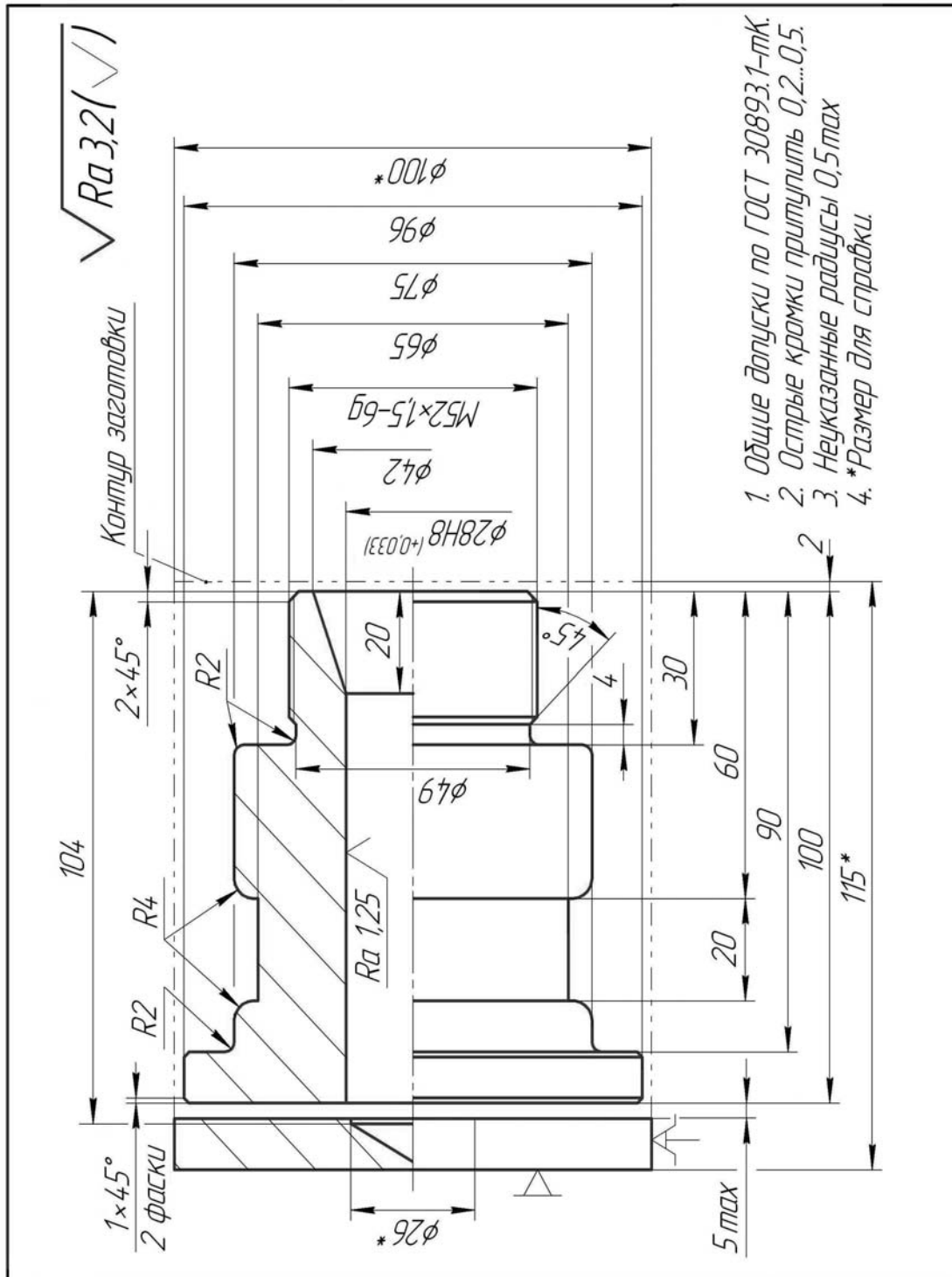


Рис. П.4.1. Эскиз выполнения детали

Оборудование – станок с ЧПУ токарной группы.

Заготовка – пруток с наружным диаметром $D=100$ мм и длиной $L=115$ мм (см. рис. П.4.1).

Материал – конструкционная сталь средней твердости ($HRC=30\dots40$).

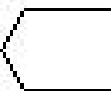
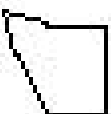
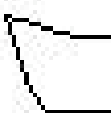
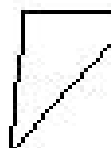
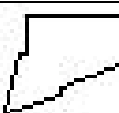
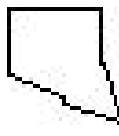
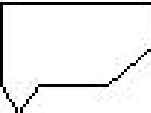
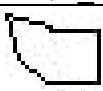
Особенности технологии: однопозиционная обработка с последующим отделением готовой детали от прутка заготовки.

Нулевая точка координатной системы детали определена со стороны инструмента (рис. П.3.11,в). Смещение нулевой точки с плоскости заготовки на формируемую плоскость выполняемой детали задано в тексте УП командным кадром: **G92_Z-2** (табл. П.4.2, см. ниже). Для величин констант смещения нулевых точек в таблице *Nullpoint register* приняты нулевые значения, заданные в *CNC Simulator* по умолчанию.

В табл. П.4.1 приведено описание переходов и задействованных инструментов. Инструменты были выбраны из числа предоставляемых компьютерным тренажером (см. табл. П.3.1). Отметим, что в *CNC Simulator* резец для выполнения наружных канавок условно совмещен с отрезным резцом шириной $B=3$ мм.

Таблица П.4.1

Обозначение перехода	Тип и обозначение инструмента	Характеристика и эскиз инструмента	Радиус скругления рабочей вершины	Смещение центра скругления в направлении оси X	Смещение центра скругления в направлении оси Y	Обозначение и описание перехода
1	2	3	4	5	6	7
П_1	 Резец T_1	Упорный: E=15	1.2	1.2	1.2	Черновая обработка наружных поверхностей
П_2	 Резец T_2	Подрезной: E=25	1.2	1.2	1.2	Черновая подрезка торцевых поверхностей
П_3	 Резец T_9	Отрезной / канавочный: B=3, H=45	0.4	0.4	0.4	Черновая обработка канавки; выполнение технологической канавки
П_4	 Центр. T_15	D=6	-	-	-	Центрирование центрального отверстия

1	2	3	4	5	6	7
П_5	 Сверло <i>T_19</i>	D=26	-	-	-	Сверление центрального отверстия
П_6	 Резец <i>T_12</i>	Расточной упорный: K=24	1.2	1.2	-1.2	Черновая расточка
П_7	 Резец <i>T_11</i>	Расточной контурный: K=22	0.4	0.4	-0.4	Получистовая расточка
П_8	 Резец <i>T_10</i>	Контурный: E=17	0.4	0.4	0.4	Чистовая обработка наружного контура
П_9	Резец <i>T_9</i>	Отрезной / канавочный: B=3, H=45	0.4	0.4	0.4	Чистовая обработка канавки
П_10	 Резец <i>T_31</i>	Контурный: E=20	0.8	0.8	0.8	Выполнение скругления 1: черновой и чистовой проходы
П_11	 Резец <i>T_3</i>	Обратный контурный: F=20	0.8	-0.8	0.8	Выполнение скругления 2: черновой и чистовой проходы
П_12	 Резец <i>T_29</i>	Резьбовой: E=14, F=2	0.1	0	0.1	Нарезание резьбы
П_13	 Резец <i>T_23</i>	Расточной контурный: K=15	0.2	0.2	-0.2	Расточка повышенной точности
П_14	Резец <i>T_9</i>	Отрезной / канавочный: B=3, H=45	0.4	0.4	0.4	Отрезка детали от прутка заготовки

В табл. П.4.2 приведен текст УП обработки детали, адаптированный для графического моделирования на *CNC Simulator*. В табл. П.4.3 приведены тексты задействованных подпрограмм, которые размещены в отдельных от УП файлах: *"SUBPROGRAM_10.NC"* и *"SUBPROGRAM_11.NC"*.

На рис. П.4.2 ... рис. П.4.4 приведены графические модели выполнения операции обработки детали.

Таблица П.4.2

<p>% I (Заготовка - пруток D=100; L=115) (Нулевая точка со стороны инструмента) (Смещение нуля: Z=-2) (Инструменты in C:\Program Files\CncSimulator\t_tools) (Файлы подпрограмм в C:\Program Files\CncSimulator)</p> <p>N5 G54 N10 G92 Z-2 N15 G95</p> <p>N20 T1 (упорный, вершина R=1.2) N25 M3 S2000 N30 G90 G0 X110 Z10 M8 N35 X96.3 Z4 N40 G1 Z-104 F0.4 N45 X102 N50 G0 Z4 N55 X90 N60 G84 X75.3 Z-88 P-6 N65 G0 X70 Z4 N70 G84 X52.3 Z-28 P-6 N75 G0 X110 Z10 M9</p> <p>N80 T2 (подрезной, вершина R=1.2) N85 X110 Z10 M8 N90 X98 Z-89.8 N95 G1 X80 F0.3 N100 Z-87 N105 G0 Z-29.8 N110 G1 X54 N115 Z-27 N120 G0 Z0.2 N125 G1 X25 N130 Z2 N135 G0 X110 Z10 M9</p> <p>N140 T9 (отрезной / канавочный, вершина R=0.4) N145 X110 Z10 M8 N150 X78 Z-79.8 N155 G26 "SUBPROGRAM_10.NC" N160 Z-77.5 N165 G26 "SUBPROGRAM_10.NC" N170 Z-75 N175 G26 "SUBPROGRAM_10.NC" N180 Z-72.5</p>	<p>N525 T11 (расточной контурный, вершина R=0.4) N530 S3000 N535 X110 Z10 M8 N540 X41.9 Z2 N545 G1 G41 Z0.2 F0.15 N550 X27.9 Z-19.8 N555 Z-102 N560 G40 X25 N565 G0 Z2 N570 X110 Z10 M9</p> <p>N575 T10 (контурный, вершина R=0.4) N580 X110 Z10 M8 N585 X54 Z-24.2 N590 G1 G42 X52.4 F0.1 N595 X49.4 Z-25.7 N600 Z-28 N605 G2 X53 Z-29.8 R1.8 N610 G1 X54 N615 G0 G40 X100 Z-28 N620 Z-102.5 N625 G1 X94 N630 G41 Z-100 N635 X96 Z-99 N640 Z-91 N645 X94 Z-90 N650 X79 N655 G3 X75 Z-88 R2 N660 G1 Z-78 N665 G0 Z-62 N670 G1 Z-32 N675 G2 X71 Z-30 R2 N680 G1 X53 N685 G3 X49 Z-28 R2 N690 G1 Z-25.5 N695 X52 Z-24 N700 Z-2 N705 X48 Z0 N710 X38 N715 G0 G40 Z2 N720 X110 Z10 M9</p> <p>N725 T9 (отрезной / канавочный, вершина R=0.4) N730 X110 Z10 M8 N735 X78 Z-80 N740 G1 X65 N745 X78 N750 G0 Z-63</p>
---	--

N185 G26 "SUBPROGRAM_10.NC"	N755 G1 X65
N190 Z-70	N760 Z-80
N195 G26 "SUBPROGRAM_10.NC"	N765 X78
N200 Z-67.5	N770 G0 X110 Z10 M9
N205 G26 "SUBPROGRAM_10.NC"	
N210 Z-65	N775 T31 (упорный, вершина R=0.8)
N215 G26 "SUBPROGRAM_10.NC"	N780 S2000
N220 Z-63.2	N785 X110 Z10 M8
N225 G26 "SUBPROGRAM_10.NC"	N790 X78 Z-84
N230 X100	N795 G1 G41 X75.4
N235 Z-103	N800 G2 X67 Z-79.8 R4.2
N240 G1 X90 F0.15	N805 G1 G40 Z-78
N245 G0 X100	N810 G0 X78
N250 X110 Z10 M9	N815 Z-84
	N820 G1 G41 X75
N255 T15 (центровка D_6)	N825 G2 X67 Z-80 R4
N260 S1000	N830 G1 G40 Z-78
N265 X110 Z10 M8	N835 G0 X78
N270 X0 Z4	N840 X110 Z10 M9
N275 G1 Z-4 F0.15	
N280 G0 Z2	N845 T3 (обратный упорный, вершина R=0.8)
N285 X110 Z10 M9	N850 X110 Z10 M8
	N855 X78 Z-56
N290 T19 (сверло D_26)	N860 G1 G42 X75.4
N295 S200	N865 G3 X67 Z-60.2 R4.2
N300 X110 Z10 M8	N870 G1 G40 Z-62
N305 X0 Z4	N875 G0 X78
N310 G1 Z-20 F0.2	N880 Z-56
N315 G0 Z2	N885 G1 G42 X75
N320 Z-18	N890 G3 X67 Z-60 R4
N325 G1 Z-40	N895 G1 G40 Z-62
N330 G0 Z2	N900 G0 X78
N335 Z-38	N905 X110 Z10 M9
N340 G1 Z-60	
N345 G0 Z2	N910 T29 (резьбовой, вершина R=0.1)
N350 Z-58	N915 S600
N355 G1 Z-80	N920 X110 Z10 M8
N360 G0 Z2	N925 X56 Z2
N365 Z-78	N930 G83 X52 Z-27 R1.5 L52 D0.1 H1.6
N370 G1 Z-100	N935 X110 Z10 M9
N375 G0 Z2	
N380 Z-98	N940 T23 (расточной контурный, вершина R=0.2)
N385 G1 Z-113	N945 S4000
N390 G0 Z2	N950 X110 Z10 M8
N395 X110 Z10 M9	N955 X42 Z2
	N960 G1 G41 Z0 F0.07
N400 T12 (расточной упорный, вершина R=1.2)	N965 X28 Z-20
N405 S2000	N970 Z-101
N410 X110 Z10 M8	N975 G40 X25
N415 X27.6 Z2	N980 G0 Z2

N420 G1 Z-103 F0.3 N425 X25 N430 G0 Z2 N435 X31.1 N440 G1 Z-14.5 F0.3 N445 X26.6 N450 G0 Z2 N455 X34.6 N460 G1 Z-9.5 F0.3 N465 X30.1 N470 G0 Z2 N475 X38.1 N480 G1 Z-4.5 F0.3 N485 X33.6 N490 G0 Z2 N495 X41.6 N500 G1 G41 Z0.3 N505 X27.6 Z-19.7 N510 G40 X25 N515 G0 Z2 N520 X110 Z10 M9	N985 X110 Z10 M9 N990 T9 (отрезной / канавочный, вершина R=0.4) N995 S4000 N1000 X110 Z10 M8 N1005 X100 Z-103 N1010 X92 N1015 G26 "SUBPROGRAM_11.NC" N1020 G26 "SUBPROGRAM_11.NC" N1025 G26 "SUBPROGRAM_11.NC" N1030 G26 "SUBPROGRAM_11.NC" N1035 G26 "SUBPROGRAM_11.NC" N1040 G26 "SUBPROGRAM_11.NC" N1045 G26 "SUBPROGRAM_11.NC" N1050 G26 "SUBPROGRAM_11.NC" N1055 G0 X100 N1060 X110 Z10 M5 M9 N1065 M30
--	---

Таблица П.4.3

% ("SUBPROGRAM_10.NC") N5 G1 X65.3 F0.15 N10 G0 X77 N15 M17	% ("SUBPROGRAM_11.NC") N5 G91 G1 X-10 F0.15 N10 G0 X2 N15 G90 N20 M17
--	---

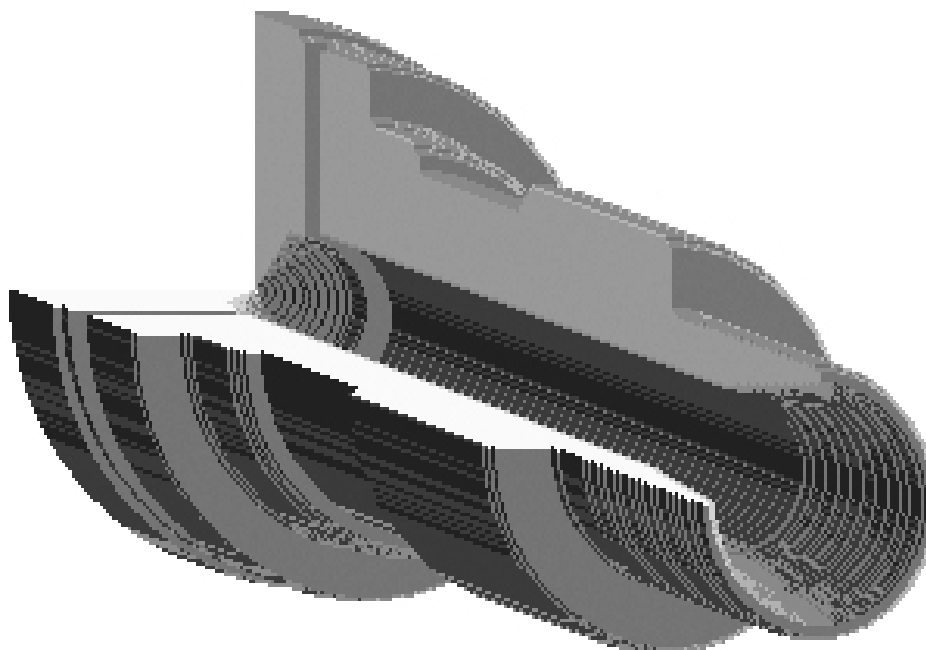


Рис. П.4.2. Изометрическое отображение выполняемой детали

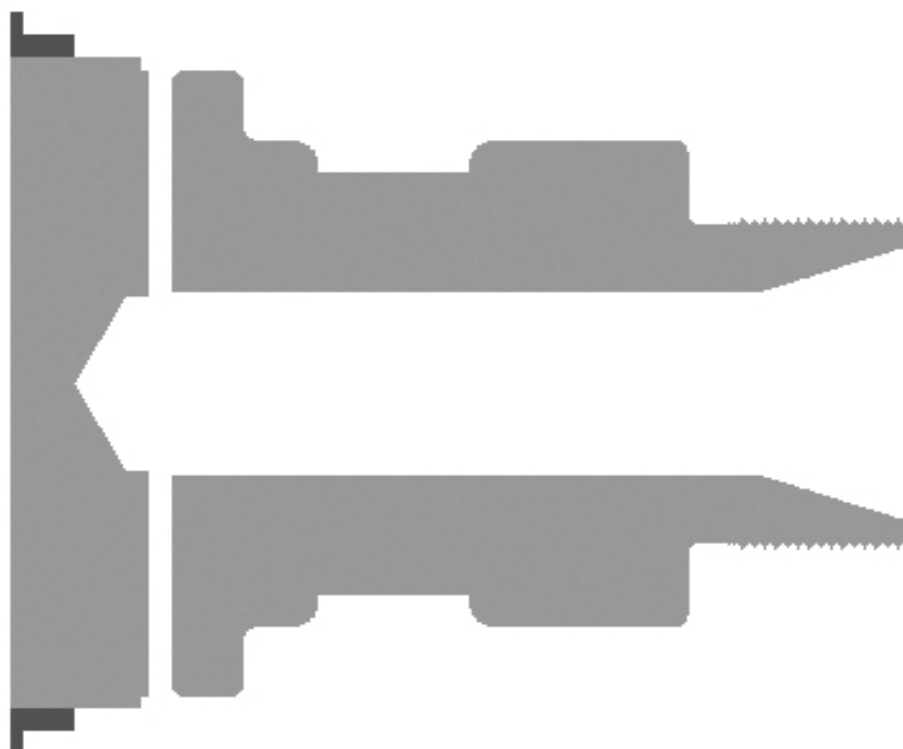


Рис. П.4.3. Продольное сечение выполняемой детали

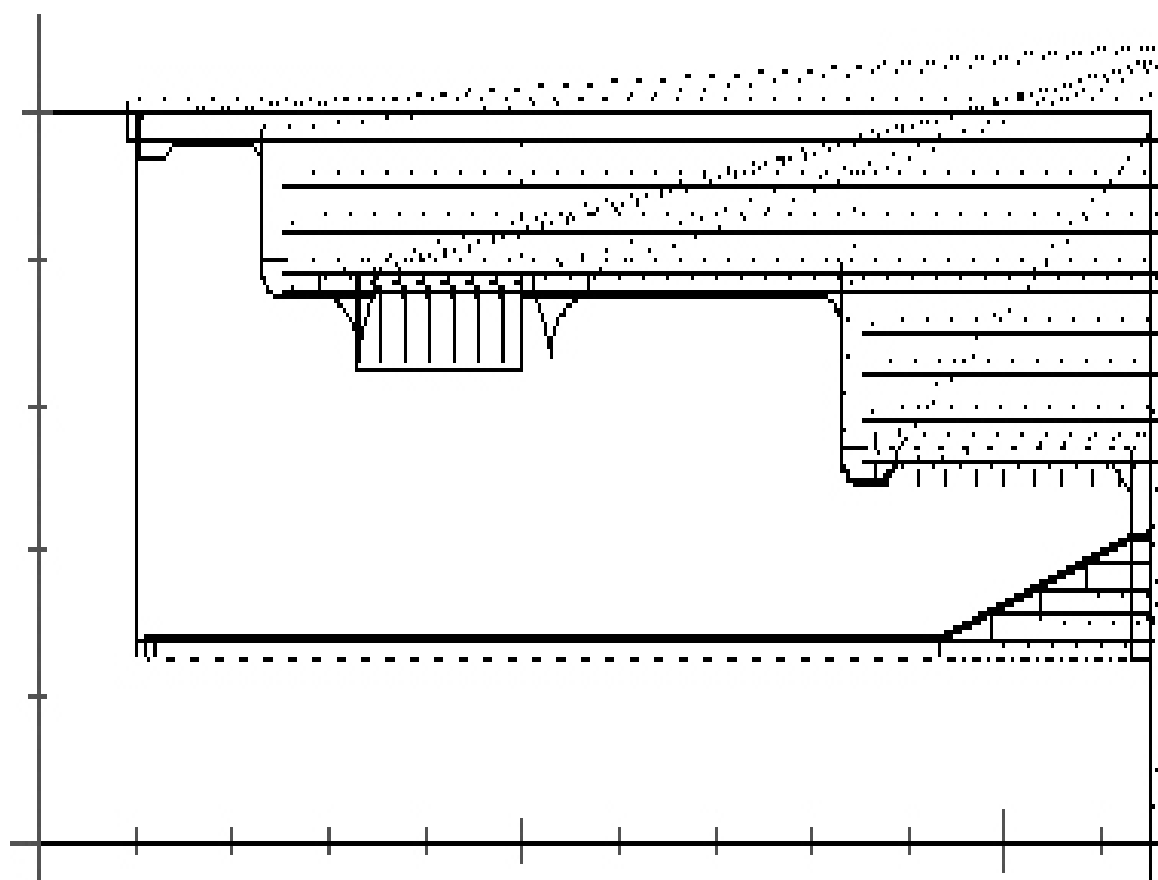


Рис. П.4.4. Отображение траекторий движения инструментов:
сплошные линии – рабочие перемещения;
пунктирные линии - вспомогательные перемещения

ПРИЛОЖЕНИЕ 5.

Пример графического моделирования обработки детали на станке с ЧПУ фрезерной группы

Цель раздела – обучение принципам графического моделирования обработки детали на станке с ЧПУ фрезерной группы. Инструмент моделирования – компьютерный тренажер *CNC Simulator*. Обрабатываемая деталь (рис. П.2.1) и особенности технологии приведены в Приложении 2.

В *CNC Simulator* понятие системы координат станка носит условный характер. Поэтому в процессе тестирования процедура отвода инструмента от детали не рассматривалась. Кроме того, для констант смещения нулевых точек задействованных систем координат детали в таблице *Nullpoint register* были приняты нулевые значения, заданные по умолчанию.

Программа обработки детали была разбита на три УП; каждая из программ отображала обработку на соответствующем установе: УП 10-1 – на установе А, УП 10-2 – на установе Б и УП 10-3 – на установе В.

Параметрическая таблица инструментов программного модуля приведена в табл. П.5.1. Для каждого инструмента в таблицу были внесены номер позиции (*Toolnr*), диаметр (*Dia.*), длина (*Length*) и обозначение (*Name*). Отметим, что в раздел таблицы *Length* записывалась не длина инструмента в сборе, а рекомендованная длина его режущей части.

Таблица П.5.1

NR	Toolnr	Dia.	Length	Feed	Spindle	Name
1	1	160	20.000	0.000	0.000	Фреза D_160
2	2	40.4	60.000	0.000	0.000	Фреза D_40
3	3	6	20.000	0.000	0.000	Центров. D_6
4	4	11.8	70.000	0.000	0.000	Свер. D_11.8
5	5	10.5	70.000	0.000	0.000	Свер. D_10.5
6	6	20.2	50.000	0.000	0.000	Фреза D_20
7	7	20	50.000	0.000	0.000	Фреза D_20
8	8	8.5	40.000	0.000	0.000	Свер. D_8.5
9	9	10	30.000	0.000	0.000	Метчик М_10
10	10	12	60.000	0.000	0.000	Разверт. D_12
11	11	24	12.000	0.000	0.000	Зенков. D_24
12	12	8	20.000	0.000	0.000	Фреза D_8

Размеры граней заготовок, определяемых в *CNC Simulator* как бруски, были приняты равными габаритным размерам граней реальных заготовок. В табл. П.5.2 приведены значения длин граней заготовок вдоль соответствующих координатных осей (*Length_X*, *Length_Y*, *Length_Z*). Кроме того, в табл. П.5.2 приведены величины смещений нулевых точек систем координат детали относительно верхней плоскости заготовки (*Nullpoint_Z*) и ее левой-передней оконечности (*Nullpoint_X* и *Nullpoint_Y*). Все указанные значения, кроме *Nullpoint_Z*, были введены в систему *CNC Simulator* с

помощью диалогового окна *Milling options*. Величины *Nullpoint_Z* задавались непосредственно в текстах УП (см. нижнюю часть табл. П.5.2).

Таблица П.5.2

	<i>Length X</i>	<i>Length Y</i>	<i>Length Z</i>	<i>Nullpoint X</i>	<i>Nullpoint Y</i>	<i>Nullpoint Z</i>
Программа 10-1 (установ A)	196	124	60	124	62	-2
Программа 10-2 (установ B)	192	120	58	192	120	-10
Программа 10-3 (установ B)	192	48	120	192	48	-120
Задание значений <i>Nullpoint Z</i> в текстах управляющих программ						
Программа 10-1	Программа 10-2		Программа 10-3			
G54 G92 Z-2	G55 G92 Z-10		G56 G92 Z-120			

Отметим, что в УП **10-1** (обработка на установе **A**) подпрограмма черновой обработки наружного контура была записана в едином файле с программой после окончания ее основного текста (кадр с функцией *M2*). Вызов подпрограммы осуществлялся командой:

G25 L935,

в которой значение «**935**» соответствовало номеру кадра «**N935**», задающему начало подпрограммы.

При программировании обработки круглого кармана на установе **B** подпрограмма была записана в отдельном файле **SUBPROGRAM_1.NC**. Ее последовательный пятикратный вызов осуществлялся из текста УП **10-2** кадром:

G26 "SUBPROGRAM_1.NC" U5,

где *U* – число последовательных вызовов подпрограммы. Файл располагался в папке установки *CncSimulator* с адресом:

C:\Program Files\CncSimulator.

В табл. П.5.3 ... табл. П.5.5 приведены тексты УП, адаптированные для компьютерного тренажера *CNC Simulator*. В табл. П.5.6 приведен текст подпрограммы, размещенной в отдельном файле и задействованной в УП **10-2**. На рис. П.5.1 приведено отображение траекторий движения инструментов в плане *X-Y* при перемещениях на установе **A**. На рис. П.5.2 ... рис. П.5.4 приведены графические модели выполнения УП на установках **A**, **B**, **B**.

Таблица П.5.3

% 10-1 (обработка на установе A) (Заготовка 196x124x60) (Смещение нуля: X=124, Y=62) (Смещение нуля: Z=-2) (FTOOLS in C:\Program Files\CncSimulator)	N480 X-14 N485 X0 Y0 N490 G41 X12 Y16 N495 G3 X0 Y28 R12 N500 G1 X-16 N505 G3 X-28 Y16 R12
---	---

N5 G54	N510 G1 Y-16
N10 G92 Z-2	N515 G3 X-16 Y-28 R12
N15 T1 (фреза D_160)	N520 G1 X16
N20 G90 G0 X160 Y0 Z50	N525 G3 X28 Y-16 R12
N25 M3 S100 M8	N530 G1 Y16
N30 Z4	N535 G3 X16 Y28 R12
N35 G1 Z0.3 F1000	N540 G1 X0
N40 X-50 F200	N545 G3 X-12 Y16 R12
N45 G0 Z50 M5 M9	N550 G1 G40 X0
	N555 G0 Z50 M5 M9
N50 T2 (фреза D_40, задан D_40.4)	N560 T3 (центровка D_6)
N55 X90 Y90 Z50	N565 X-18 Y18 Z50
N60 M3 S300 M8	N570 M3 S900 M8
N65 Z2	N575 Z-4
N70 G1 Z-12.5 F1000	N580 G81 Z-10 F50
N75 G25 L935	N585 Y-18
N80 X90 Y90 F1000	N590 G81 Z-10
N85 Z-25	N595 X18
N90 G25 L935	N600 G81 Z-10
N95 X90 Y90 F1000	N605 Y18
N100 Z-37.5	N610 G81 Z-10
N105 G25 L935	N615 G0 Z50 M5 M9
N110 X90 Y90 F1000	
N115 Z-50	N620 T8 (сверло D_8.5)
N120 G25 L935	N625 X-18 Y18 Z50
N125 G0 Z50 M5 M9	N630 M3 S600 M8
	N635 Z-4
N130 T3 (центровка D_6)	N640 G83 Z-25 F70
N135 X-80 Y35 Z50	N645 Y-18
N140 M3 S900 M8	N650 G83 Z-25
N145 Z2	N655 X18
N150 G81 Z-4.3 F50	N660 G83 Z-25
N155 Y-35	N665 Y18
N160 G81 Z-4.3	N670 G83 Z-25
N165 X0 Y0	N675 G0 Z50 M5 M9
N170 G81 Z-4.3	
N175 X55 Y-35	N680 T9 (метчик M10-7H)
N180 G81 Z-4.3	N685 X-18 Y18 Z50
N185 Y35	N690 M3 S300 M8
N190 G81 Z-4.3	N695 Z-4
N195 G0 Z50 M5 M9	N700 G84 Z-20.5 F450
	N705 Y-18
N200 T4 (сверло D_11.8)	N710 G84 Z-20.5
N205 X0 Y0 Z50	N715 X18
N210 M3 S400 M8	N720 G84 Z-20.5
N215 Z2	N725 Y18
N220 G83 Z-55.3 F70	N730 G84 Z-20.5
N225 G0 Z50 M5 M9	N735 G0 Z50 M5 M9
N230 T5 (сверло D_10.5)	N740 T1 (фреза D_160)

N235 X-80 Y35 Z50	N745 X160 Y0 Z50
N240 M3 S500 M8	N750 M3 S150 M8
N245 Z2	N755 Z2
N250 G83 Z-44.8 F70	N760 G1 Z0 F1000
N255 Y-35	N765 X-210 F250
N260 G83 Z-44.8	N770 G0 Z50 M5 M9
N265 X55	
N270 G83 Z-54.8	N775 T7 (фреза D_20)
N275 Y35	N780 X80 Y80 Z50
N280 G83 Z-54.8	N785 M3 S550 M8
N285 G0 Z50 M5 M9	N790 Z2
	N795 G1 Z-49.4 F1000
N290 T6 (фреза D_20, задан D_20.2)	N800 G41 X70 Y70
N295 X0 Y0 Z50	N805 Y-60 F150
N300 M3 S400 M8	N810 X-62
N305 Z2	N815 G2 Y60 J60
N310 G1 Z-5.8 F60	N820 G1 X80
N315 Y6 F80	N825 G40 X90 Y70 F1000
N320 X-6	N830 G0 Z50 M5 M9
N325 Y-6	
N330 X6	N835 T10 (развертка D_12)
N335 Y6	N840 X0 Y0 Z50
N340 X0	N845 M3 S400 M8
N345 Y12	N850 Z-4
N350 X-12	N855 G81 Z-50.5 F250
N355 Y-12	N860 G0 Z50 M5 M9
N360 X12	
N365 Y12	N865 T11 (зенковка D_24x90°)
N370 X0	N870 X-80 Y35 Z50
N375 G41 Y28	N875 M3 S300 M8
N380 X-16	N880 Z2
N385 G3 X-28 Y16 R12	N885 G81 Z-10.5 F50
N390 G1 Y-16	N890 Y-35
N395 G3 X-16 Y-28 R12	N895 G81 Z-10.5
N400 G1 X16	N900 X55
N405 G3 X28 Y-16 R12	N905 G81 Z-10.5
N410 G1 Y16	N910 Y35
N415 G3 X16 Y28 R12	N915 G81 Z-10.5
N420 G1 X-3	N920 G0 Z50 M5 M9
N425 G40 Y12	
N430 G0 Z50 M5 M9	N925 T0
	N930 M2
N435 T7 (фреза D_20)	
N440 X-14 Y9 Z50	%
N445 M3 S550 M8	N935 G41 X70 Y80 F1000
N450 Z-4	N940 Y-60 F150
N455 G1 X14 Z-6 F80	N945 X-62
N460 X-14 F150	N950 G2 Y60 J60
N465 Y0	N955 G1 X90
N470 X14	N960 G40 X100 Y80 F1000
N475 Y-9	N965 M17

Таблица П.5.4

<p>% 10-2 (обработка на установе Б) (Заготовка 192x120x58) (Смещение нуля: X=192, Y=120) (Смещение нуля: Z=-10) (FTOOLS in C:\Program Files\CncSimulator) (SUBPROGRAM_1.NC in C:\Program Files\CncSimulator)</p> <p>N5 G55 N10 G92 Z-10</p> <p>N15 T1 (фреза D_160) N20 G90 G0 X90 Y-60 Z50 N25 M3 S100 M8 N30 Z12 N35 G1 Z6.8 F1000 N40 X-120 F200 N45 G0 Z10 N50 X90 N55 G1 Z3.6 F1000 N60 X-120 F200 N65 G0 Z10 N70 X90 N75 G1 Z0.3 F1000 N80 X-120 F200 N85 G0 Z50 M5 M9</p> <p>N90 T2 (фреза D_40, задан D_40.4) N95 X-190 Y-150 Z50 N100 M3 S300 M8 N105 Z2 N110 G1 Z-13.7 F1000 N115 X-185 N120 Y30 F150 N125 Z2 F1000 N130 Y-150 N135 Z-13.7 N140 X-160 N145 Y30 F150 N150 Z2 F1000 N155 Y-150 N160 Z-13.7</p>	<p>N165 G41 X-115 N170 Y30 F150 N175 G40 X-140 F1000 N180 G0 Z50 M5 M9</p> <p>N185 T7 (фреза D_20) N190 X-190 Y-140 Z50 N195 M3 S550 M8 N200 Z2 N205 G1 Z-14 F1000 N210 X-185 N215 Y20 F150 N220 X-170 F1000 N225 Y-140 F150 N230 X-155 F1000 N235 Y20 F150 N240 X-140 F1000 N245 Y-140 F150 N250 G41 X-115 F1000 N255 Y20 F150 N260 G40 X-140 F1000 N265 G0 Z50 M5 M9</p> <p>N270 T1 (фреза D_160) N275 X90 Y-60 Z50 N280 M3 S150 M8 N285 Z2 N290 G1 Z0 F1000 N295 X-200 F250 N300 G0 Z50 M5 M9</p> <p>N305 T7 (фреза D_20) N310 X-170 Y-60 Z50 N315 M3 S450 M8 N320 Z2 N325 G1 Z-12 F1000 N330 G91 G42 Y12 F50 N335 G26 "SUBPROGRAM_1.NC" U5 N340 G2 J-12 N345 G1 G40 Y-12 N350 G90 G0 Z50 M5 M9</p> <p>N355 M2</p>
--	---

Таблица П.5.5

<p>% 10-3 (обработка на установе В) (Заготовка 192x48x120) (Смещение нуля: X=192, Y=48)</p>	<p>N100 M3 S900 M8 N105 Z122 N110 G81 Z116 F50</p>
---	--

<i>(Смещение нуля: Z=-120)</i> <i>(FTOOLS in C:\Program Files\CncSimulator)</i>	
N5 G56 N10 G92 Z-120 N15 T12 (фреза D_8) N20 G90 G0 X-80 Y-24 Z170 N25 M3 S1000 M8 N30 Z122 N35 G1 X-60 Z118 F60 N40 X-80 Z114 N45 G91 G41 Y5 N50 G3 Y-5 X-5 R5 F80 N55 G3 Y-5 X5 R5 N60 G1 X20 N65 G3 Y5 X5 R5 N70 G3 Y5 X-5 R5 N75 G1 X-20 N80 G40 Y-5 N85 G90 G0 Z170 M5 M9 N90 T3 (центровка D_6) N95 G90 X-105 Y-24 Z170	N115 X-35 N120 G81 Z116 N125 G0 Z170 M5 M9 N130 T8 (сверло D_8.5) N135 G90 X-105 Y-24 Z170 N140 M3 S600 M8 N145 Z122 N150 G83 Z101 F70 N155 X-35 N160 G83 Z101 N165 G0 Z170 M5 M9 N170 T9 (метчик M10-7H) N175 G90 X-105 Y-24 Z170 N180 M3 S300 M8 N185 Z122 N190 G84 Z105.5 F450 N195 X-35 N200 G84 Z105.5 N205 G0 Z170 M5 M9 N210 M2

Таблица П.5.6

% N5 G2 J-12 Z-2.8	N10 M17
-------------------------------------	----------------

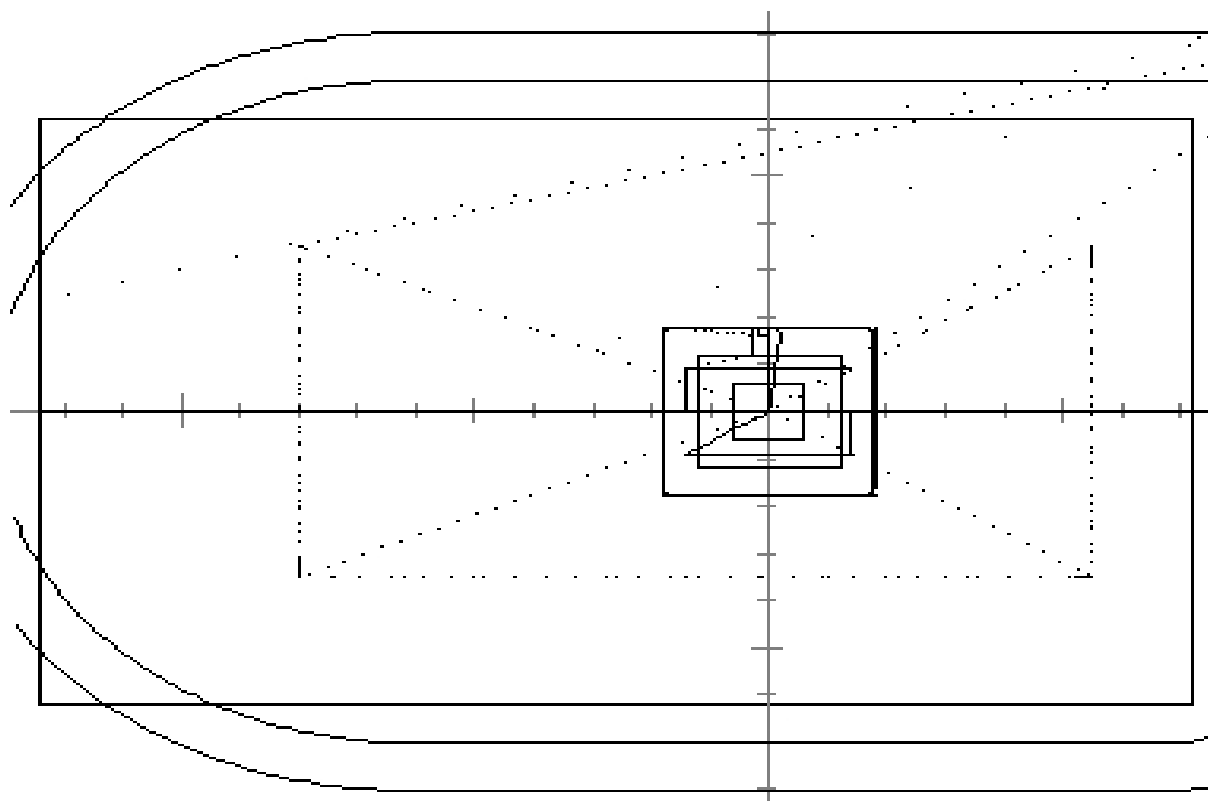


Рис. П.5.1. Траектории инструментов при обработке детали на установке А

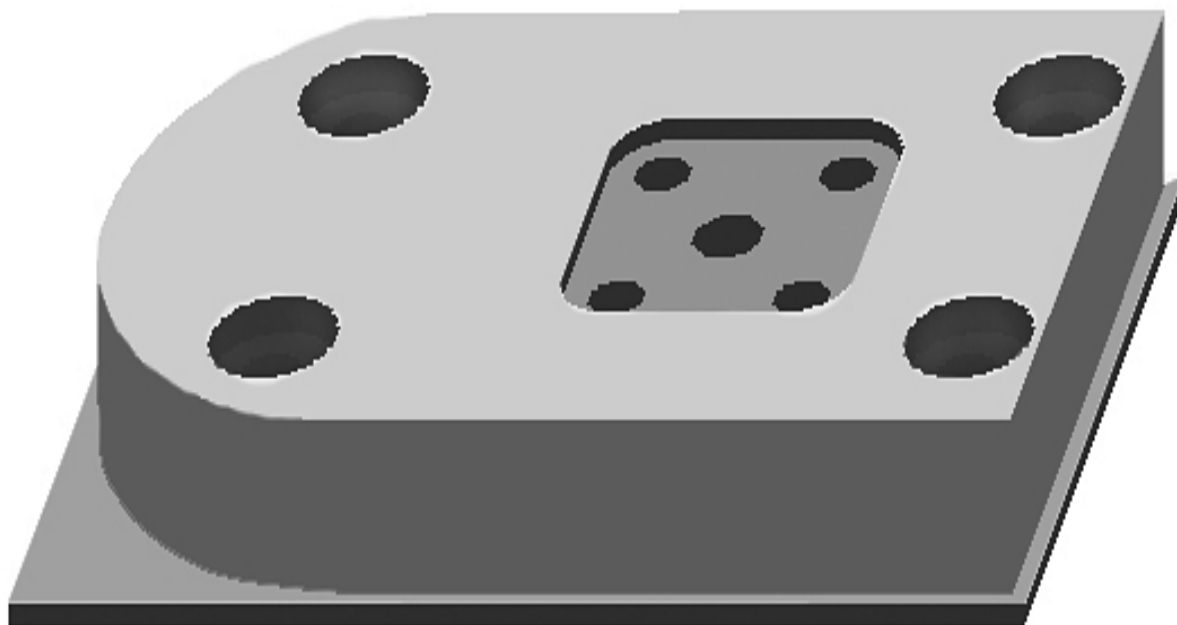


Рис. П.5.2. Графическая модель обработки детали на установе **А**



Рис. П.5.3. Графическая модель обработки детали на установе **Б**

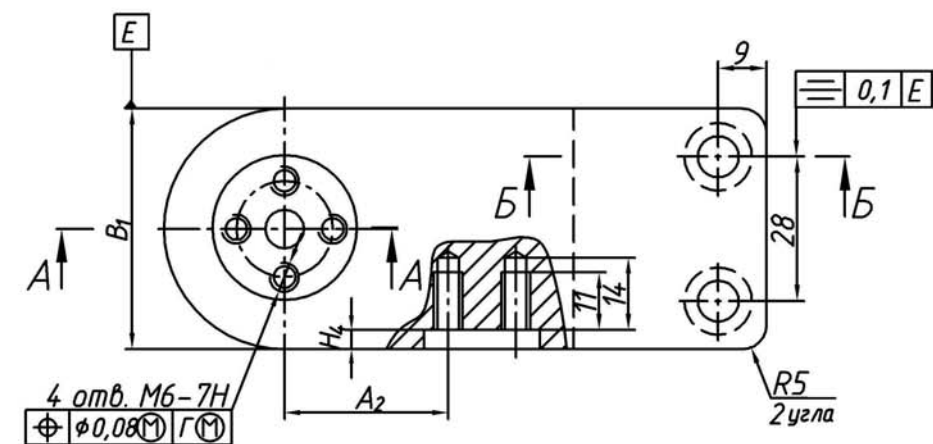


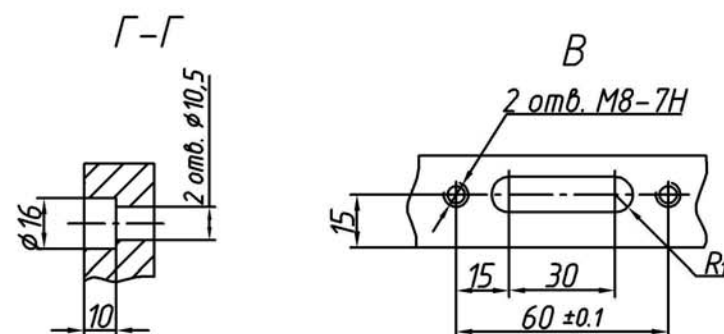
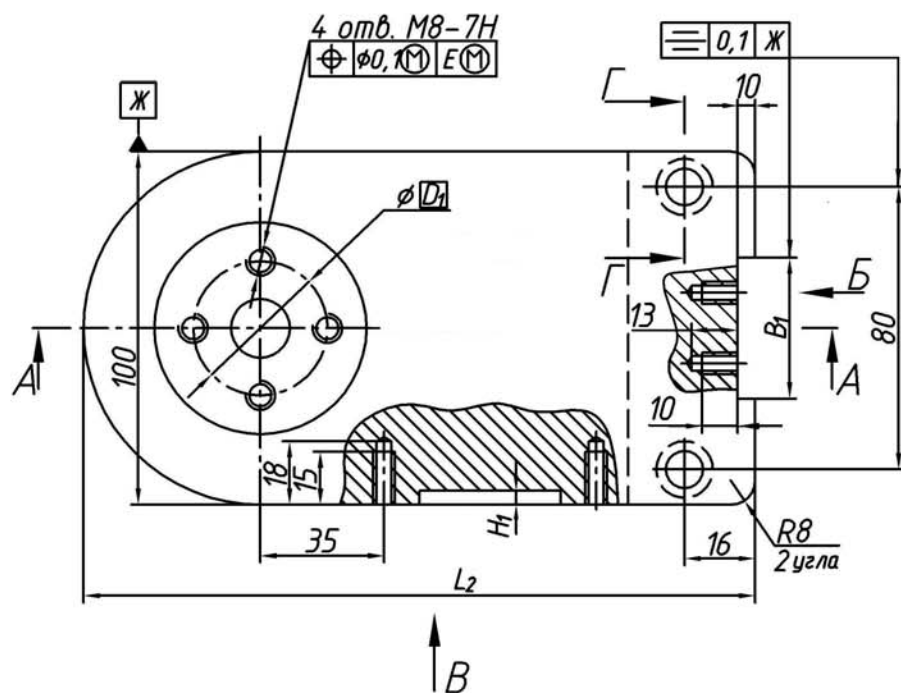
Рис. П.5.4. Графическая модель обработки детали на установе **В**

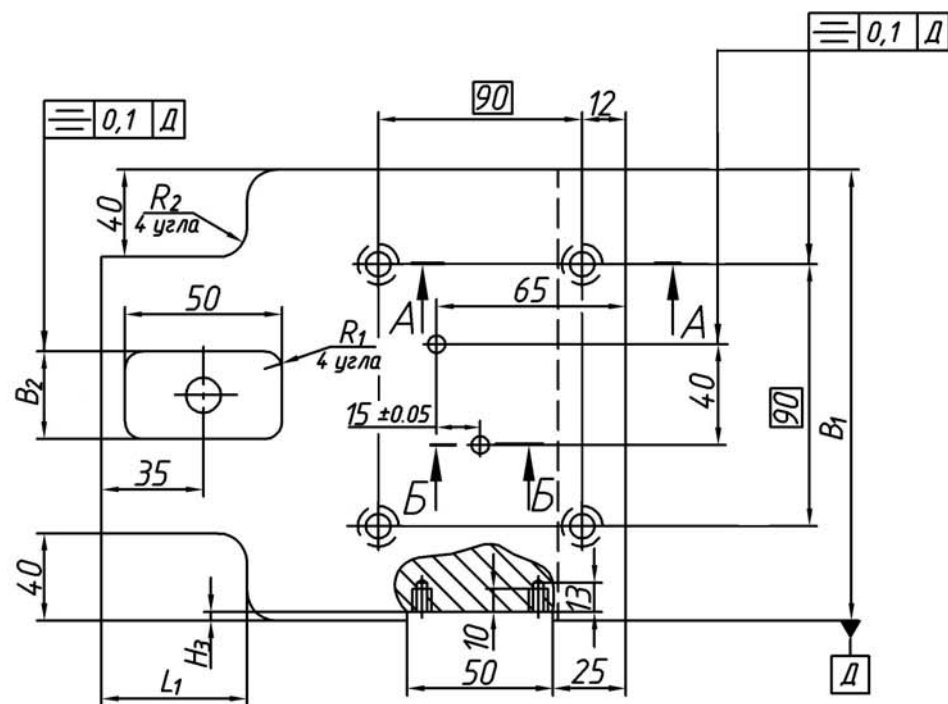
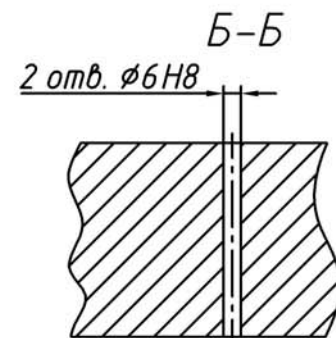
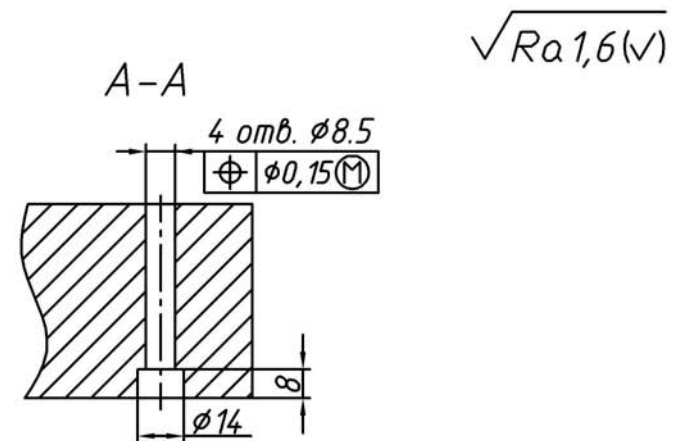
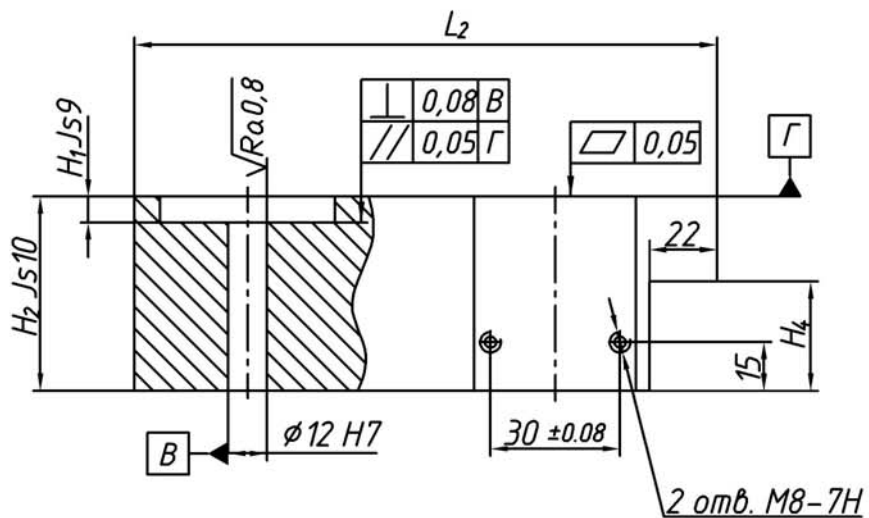
ПРИЛОЖЕНИЕ 6.

АЛЬБОМ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

(для практических работ и курсового проектирования)

[illegible]

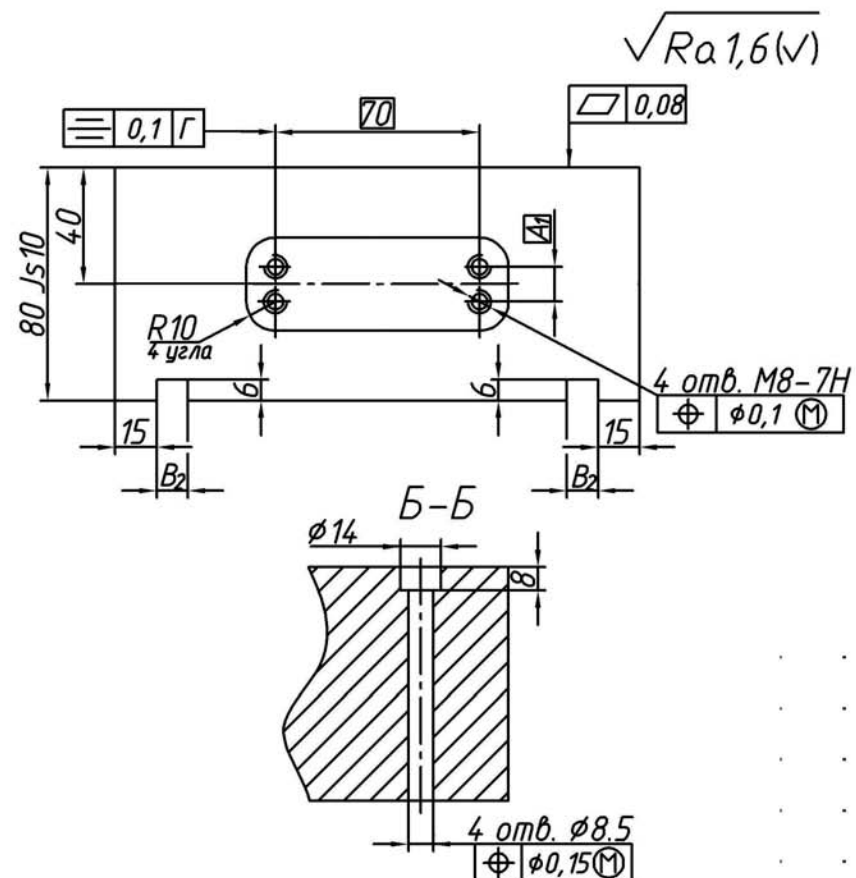
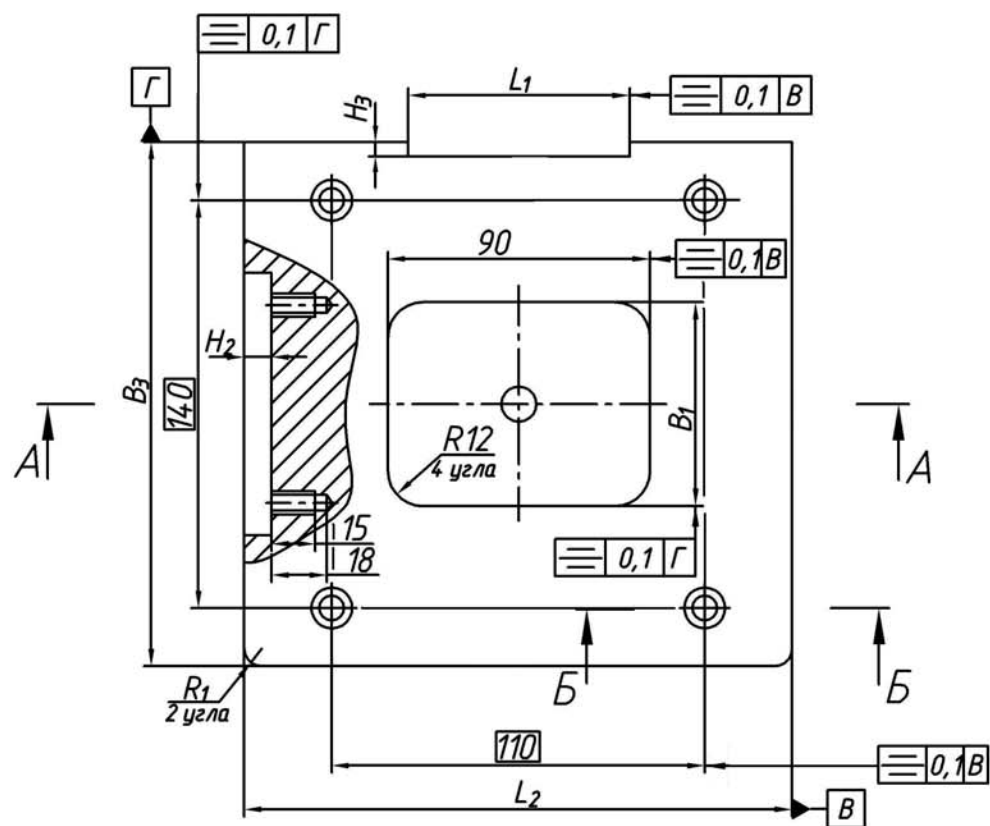
[illegible]



Общие допуски ГОСТ 30893.2-мк

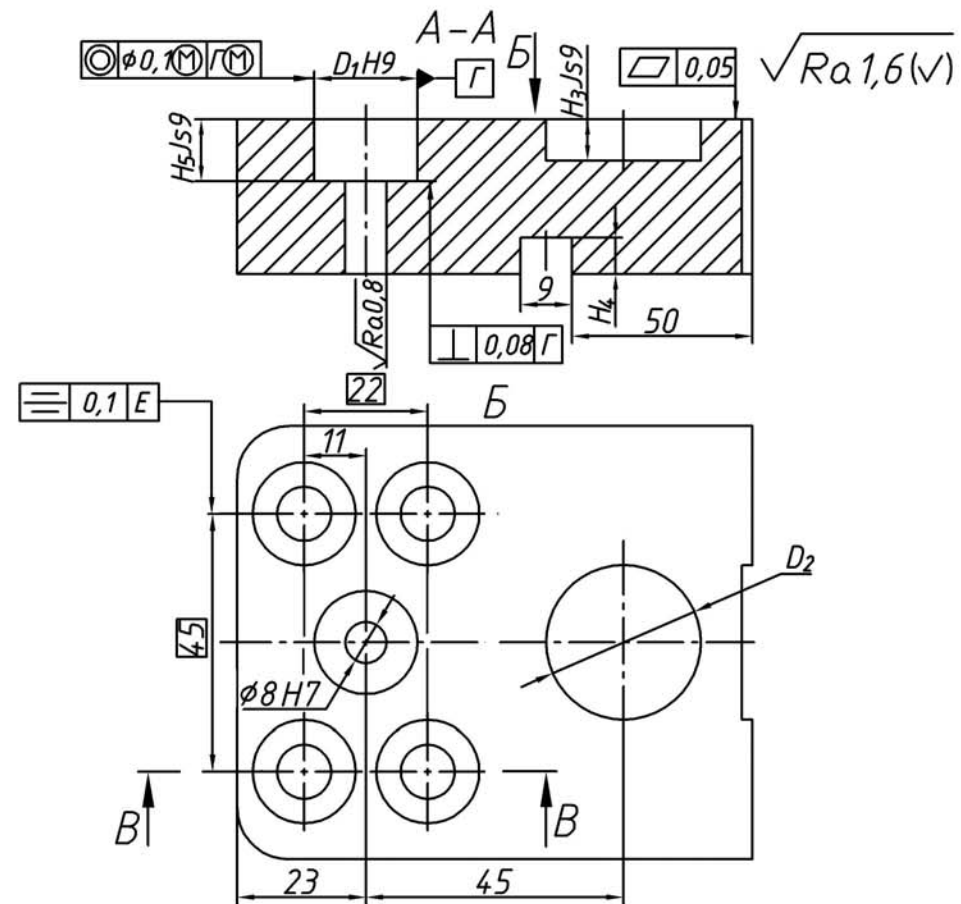
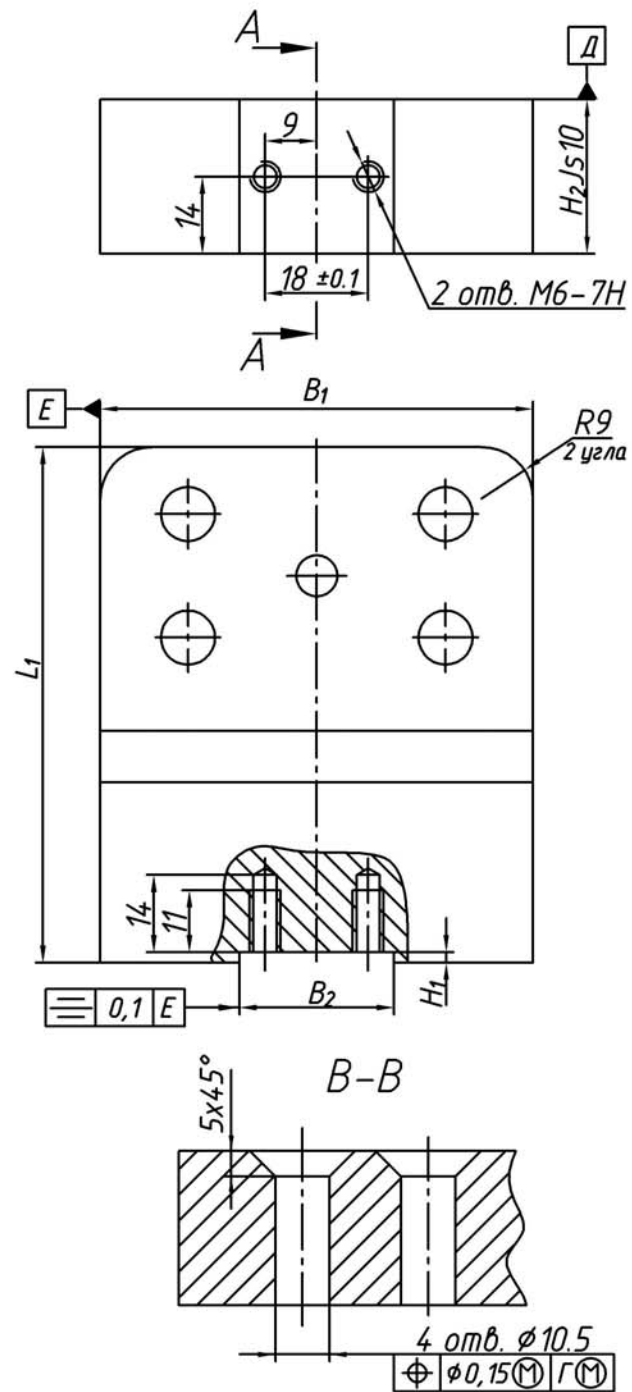
Номер варианта	B_1	B_2	H_1	H_2	H_3	H_4	L_1	L_2	R_1	R_2
1	155	30	8	60	3	45	52	180	6	18
2	145	35	6	55	5	40	40	170	8	16
3	140	40	10	50	6	35	42	160	10	14
4	150	32	12	45	4	30	45	150	5	12
5	160	38	15	40	2	25	48	140	12	16
6	142	42	14	35	8	20	50	190	10	18

Деталь 3



Общие допуски ГОСТ 30893.2-тК

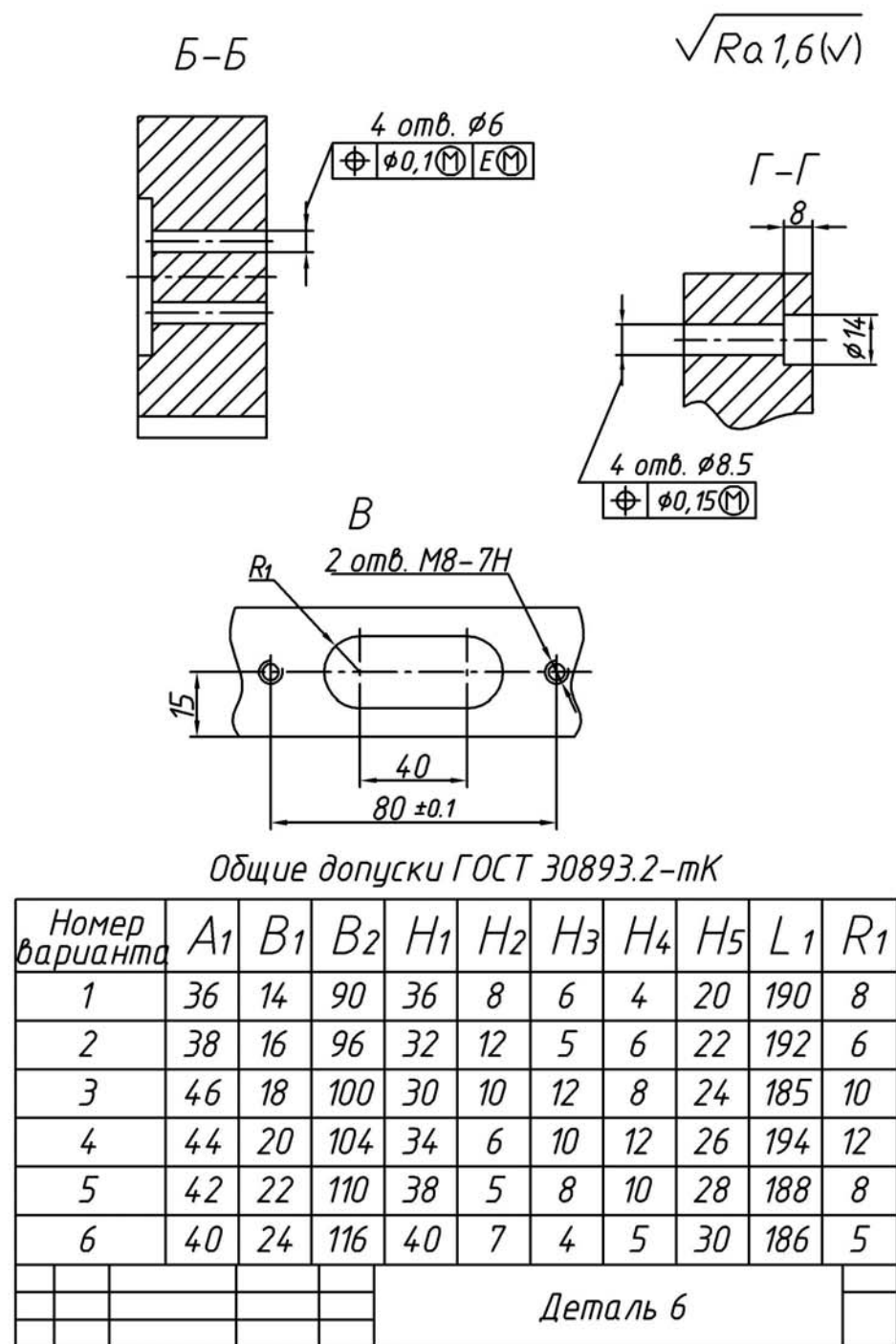
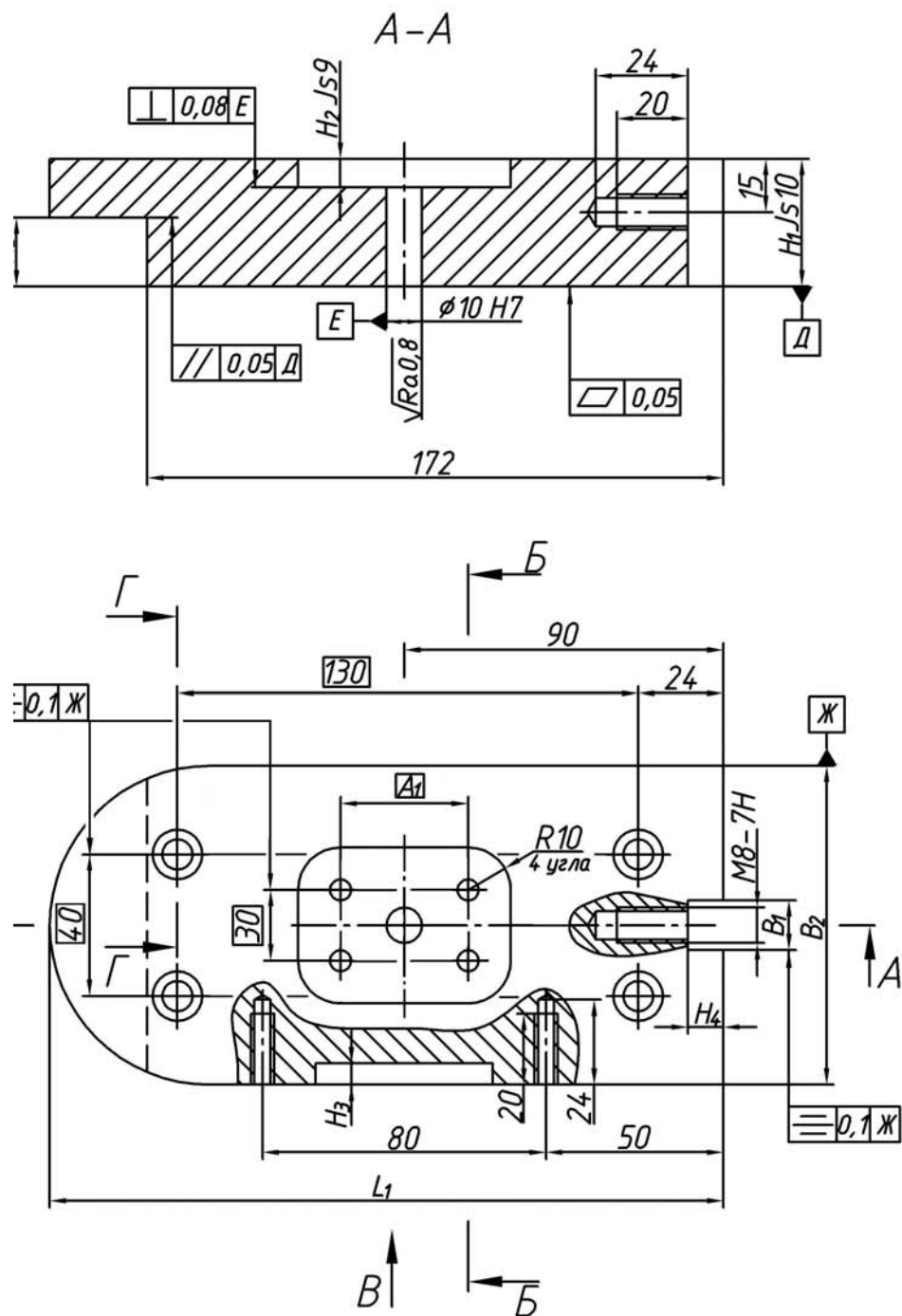
Номер варианта			A_1	B_1	B_2	B_3	H_1	H_2	H_3	L_1	L_2	R_1
1			18	70	10	180	6	8	5	90	188	20
2			24	72	12	182	12	5	10	70	190	18
3			20	74	14	184	8	12	8	80	185	14
4			16	76	16	188	14	6	15	78	175	16
5			26	78	20	190	10	10	14	85	180	22
6			22	80	18	178	4	5	12	75	178	24
						Деталь 4						

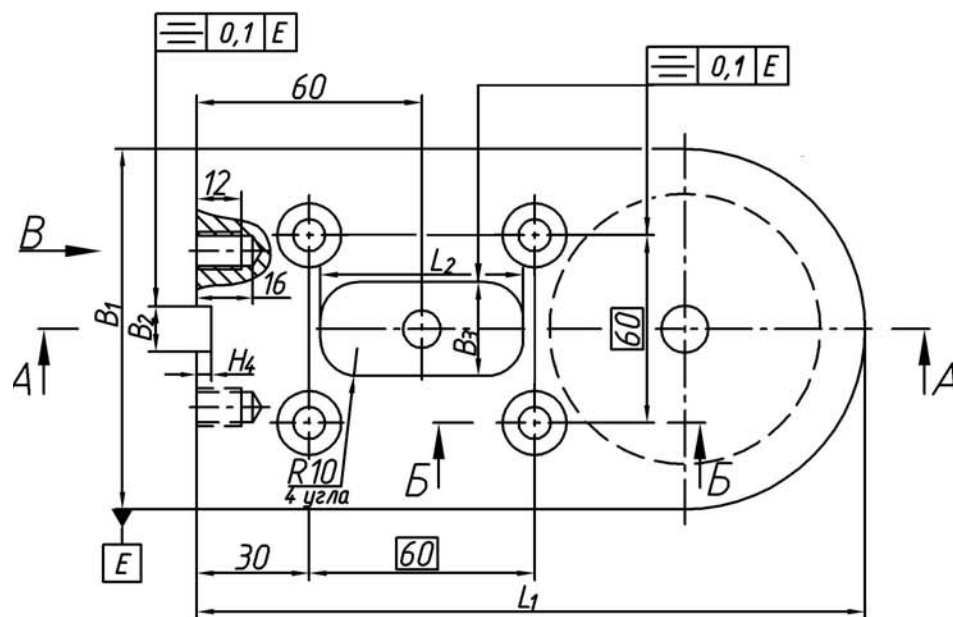
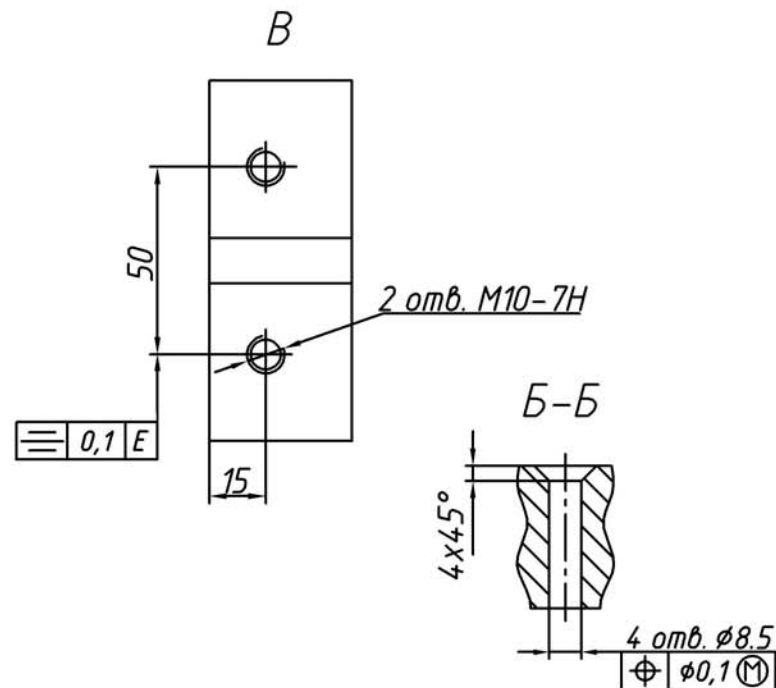


Общие допуски ГОСТ 30893.2-мК

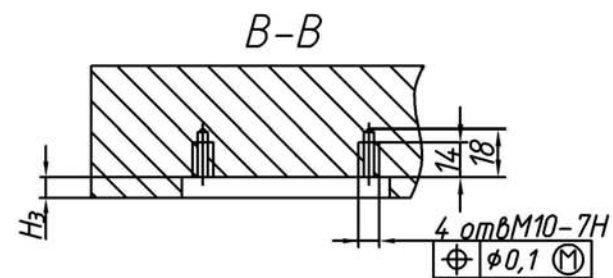
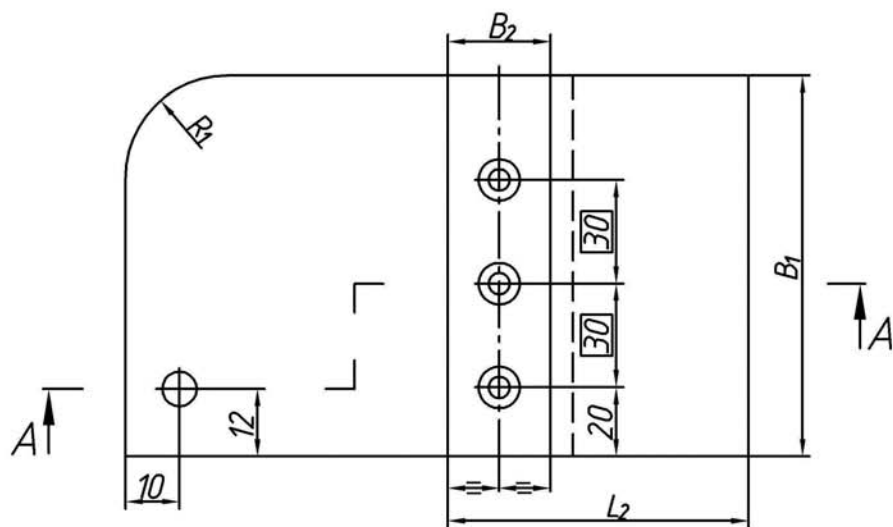
Номер варианта	B_1	B_2	D_1	D_2	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	L_1
1	84	55	20	30	2	30	8	7	12	100
2	82	50	26	34	4	35	6	4	15	105
3	80	45	28	28	6	40	7	6	6	110
4	78	40	24	38	8	45	12	8	8	112
5	75	35	22	32	5	50	10	5	10	114
6	76	50	20	36	7	42	14	3	4	102

Деталь 5



[illegible]

<i>Номер варианта</i>	<i>B₁</i>	<i>B₂</i>	<i>B₃</i>	<i>D₁</i>	<i>H₁</i>	<i>H₂</i>	<i>H₃</i>	<i>H₄</i>	<i>L₁</i>	<i>L₂</i>
1	96	12	25	72	12	38	10	4	180	54
2	84	16	28	70	14	32	8	6	178	52
3	80	18	32	68	18	40	12	8	182	50
4	90	22	30	66	16	35	14	10	185	48
5	100	26	34	64	20	30	16	12	186	44
6	102	30	36	60	10	42	6	14	188	42
				<i>Деталь 7</i>						

[illegible]

ПРИЛОЖЕНИЕ 7.

БЛАНКИ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА

(для практических работ и курсового проектирования)

[illegible]

Инв. № подл.		Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подпись и дата		На основании ГОСТ 3.1502-74			
Бланк О.Г.Т.	№ цеха	№ уч-ка	№ операции	№ эскиза	Карта операционного / выходного контроля					Контроль деталей: процент / периодичность			
Наименование операции			№ чертежа		Шифр детали / партии					Наименование детали		Класс детали	
Номер	ИЗМЕРЕНИЯ								Приспособление (код, наименов.)	Измерительный инструмент (код, наименов.)	ОСОБЫЕ УКАЗАНИЯ		
1	Проверить деталь на отсутствие заусенцев, забоин, нарушение покрытия, трещин										Внешний осмотр		
2	Проверить отсутствие в отверстиях, полостях и на поверхностях детали стружки, загрязнений, коррозии и т.д.										Внешний осмотр		
3	Проверить соответствие шероховатости поверхностей эскизу сравнением с эталонами шероховатости										Согласно типовой карте контроля шероховатости		
4	Проверить притупление острых кромок, наличие фасок										Согласно типовой карте проверки радиусов		
5	Проверить притупление сходной и заходной ниток и отсутствие заусенцев на резьбе										Внешний осмотр		
6	Проверить отметки БТК в технологическом паспорте о выполнении требований предыдущих операций										Наличие клейм или подписей ответственных лиц БТК		
7	Проверить твердость по ТУ маршрутного описания										Наличие отпечатка твердости		
8	Проверить правильность соединений каналов и отверстий										Согласно эскизу		
9	Проверить наличие и правильность нанесения маркировок										Согласно эскизу		
10	Проверить геометрические размеры детали (см. след. листы)										Согласно эскизу		
									Разраб.				Лист
									Нач. ТБ ОГТ				1
									Нач. БТК				Листов
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Н. контр			

Инв. № подл.		Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подп. и дата		На основании ГОСТ 3.1502-74						
Карта операционного / выходного контроля										№ операции	№ эскиза	№ чертежа		Шифр детали / партии		
Номер измерения	ИЗМЕРЕНИЯ						Приспособление (код, наименование)			Измерительный инструмент (код, наименование)			ОСОБЫЕ УКАЗАНИЯ			
															Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

[illegible]

[illegible]

		Лист разрешения		№ ЛР			
Изделие	№ цеха	Разослать:		Лист	Листов		
				1			
Чертежный номер и наименование:				Количество (шт.)			
Производственный №							
Содержание отклонения (описание дефекта):				Шифр дефекта:			
Причина:				Шифр причины:			
Винovníк отклонения (фамилия, И.О.)		Должность		Подпись	Дата		
Принятые меры:							
Технолог	Нач. техбюро	Мастер	Ст. мастер	Нач. БТК	Нач. цеха		
подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата	подпись, дата		
Заключение КБ							
Особые отметки							
Заключение дано с учетом ранее выпущенных листов разрешения № _____							
Должность	Фамилия	Подпись	Дата		Фамилия	Подпись	Дата
Конструктор				Гл. конструктор			
Нач. бригады				Нач. отд.			
Нач. бр. прочности				Нач. отд.			
Доработку выполнил в соответствии с заключением КБ _____ производственный мастер, подпись, дата							
Доработку принял в соответствии с заключением КБ _____ контрольный мастер, подпись, дата							
Представитель заказчика в цехе _____ фамилия, И.О., подпись, дата							
Технический директор		Директор по качеству		Представитель заказчика			
_____		_____		_____			
фамилия, И.О., подпись, дата		фамилия, И.О., подпись, дата		фамилия, И.О., подпись, дата			

Директор производства

СОГЛАСОВАНО: Предприятие-потребитель (головной разработчик)

Чуваков Александр Борисович

**ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ
НА СТАНКАХ С ЧПУ**

**Производственное оборудование
и основы программирования операций**

(электронная версия)

Редактор Т.В. Третьякова
Компьютерный набор и верстка автора

Подписано в печать 08.08.2011. Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 17,5. Уч.- изд.л. 14. Тираж 100 экз. Заказ .

Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева.
Типография НГТУ.

Адрес университета и полиграфического предприятия:
603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24.