

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»  
(Самарский университет)

## МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве лабораторного практикума для студентов, обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств, 15.03.01 Машиностроение

© Самарский университет, 2017

ISBN 978-5-7883-1203-3

САМАРА  
Издательство Самарского университета  
2017

УДК 621.9(075)

ББК 34.63-5я7

М54

Авторы: *М.Б. Сазонов, Д.Л. Скуратов, Ю.А. Шабалин,  
С.Р. Абульханов, А.Н. Швецов*

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В.В. Бирюк,  
д-р физ.-мат. наук С.И. Харитонов

М54 **Металлорежущие станки:** лабораторный практикум / *М.Б. Сазонов [и др.]*. – Электрон. текст. и граф. дан. (10,8 Мб). – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 6 опт. компакт-дисков (CD-ROM). – Систем. требования: ПК Pentium; Adobe Acrobat Reader. – Загл. с титул. экрана.

**ISBN 978-5-7883-1203-3**

В данном лабораторном практикуме рассмотрены конструкция, кинематика, основные рабочие органы и органы управления универсальных металлорежущих станков и станков с ЧПУ: токарных, фрезерных, зубообрабатывающих, шлифовальных. Рассматриваются способы настройки на выполнение различных операций механической обработки.

Предназначен для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств, 15.03.01 Машиностроение.

Выполнен на кафедре механической обработки материалов Самарского университета.

УДК 621.9(075)

ББК 34.63-5я7

Редактор Т. К. К р е т и н и н а  
Компьютерная верстка Л. Р. Д м и т р и е н к о

Подписано для тиражирования 25.12.2017.  
Объем издания 10,8 Мб.  
Количество носителей 6 экз.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»  
(Самарский университет)  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

---

Изд-во Самарского университета. 443086, Самара, Московское шоссе, 34.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Лабораторная работа №1 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И КИНЕМАТИКИ ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА 1К62 .....</b>	<b>8</b>
1. Назначение и принцип работы токарного станка. Рабочие органы и движения .....	8
2. Основные части станка .....	10
3. Механизм главного движения .....	14
4. Механизм подачи и его наладка .....	17
<i>КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ</i> .....	24
<b>Лабораторная работа №2 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И КИНЕМАТИКИ ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА 16Б16КПФ10 .....</b>	<b>26</b>
1. Назначение и техническая характеристика станка .....	26
2. Основные части, сборочные единицы и рабочие органы станка .....	29
2.1. Станина .....	29
2.2. Коробка скоростей .....	30
2.3. Коробка передач .....	37
2.4. Коробка подачи .....	37
2.5. Фартук .....	39
2.6. Суппорт .....	42
2.7. Задняя бабка .....	43
<i>КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ</i> .....	45
<b>Лабораторная работа №3 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И КИНЕМАТИКИ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА 6Т82Г-1 И УНИВЕРСАЛЬНОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ .....</b>	<b>46</b>
1. Назначение, основные части, узлы и рабочие органы станка .....	47
2. Механизм главного движения .....	52
3. Механизм подачи .....	54
4. Устройство и наладка универсальной делительной головки .....	58
5. Наладка станка 6Т82Г-1 и УДГ на нарезание зубчатого колеса .....	67
<i>КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ</i> .....	67
<b>Лабораторная работа №4 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И КИНЕМАТИКИ ЗУБОДОЛБЁЖНОГО ПОУАВТОМАТА 5122. НАЛАДКА СТАНКА НА НАРЕЗАНИЕ ПРЯМОЗУБОГО КОЛЕСА ..</b>	<b>69</b>
1. Назначение и принцип работы зубодолбёжного полуавтомата .....	70
2. Схема зубодолбления и основные движения .....	70
3. Основные части и органы управления станком .....	72
4. Механизм главного движения .....	77

5. Механизм круговой подачи .....	80
6. Механизм цепи обкатки (деления) .....	81
7. Механизм радиальной подачи и регулировка межосевого расстояния .....	82
8. Механизм отвода долбяка .....	85
9. Гидравлическая система станка .....	85
10. Описание цикла работы полуавтомата .....	87
11. Наладочный режим .....	87
12. Полуавтоматический цикл обработки .....	87
13. Наладка станка .....	90
<i>КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ</i> .....	93

**Лабораторная работа №5 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ  
И КИНЕМАТИКИ ЗУБОФРЕЗЕРНОГО СТАНКА 5К310.**

**НАЛАДКА СТАНКА НА НАРЕЗАНИЕ КОСОЗУБОГО КОЛЕСА ..... 94**

1. Назначение и принцип работы зубофрезерного станка .....	94
2. Основные части и узлы станка .....	98
3. Механизм главного движения .....	99
4. Механизм подачи .....	103
5. Механизм обкатки (деления) .....	105
6. Механизм цепи дифференциала .....	106
7. Гидропривод и система смазки станка .....	108
8. Наладка станка на нарезание косозубого колеса .....	109
<i>КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ</i> .....	111

**Лабораторная работа №6 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ,  
КИНЕМАТИКИ И ГИДРОПРИВОДА ПЛОСКОШЛИФОВАЛЬНОГО  
СТАНКА 3Г71 ..... 112**

1. Назначение и виды выполняемых работ .....	112
2. Основные технические характеристики станка 3Г71 .....	113
3. Внешний вид станка .....	113
4. Кинематика станка .....	114
5. Гидравлическая система станка .....	117
6. Настройка, наладка станка и режимы работы .....	123
<i>КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ</i> .....	124

**Лабораторная работа №7 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ,  
КИНЕМАТИКИ И СИСТЕМЫ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО  
УПРАВЛЕНИЯ ТОКАРНОГО СТАНКА 16К20Т1 ..... 125**

1. Назначение станка и его техническая характеристика .....	125
2. Технические характеристики .....	127
3. Узлы станка .....	136
3.1. Станина .....	136

3.2. Шпиндельная бабка .....	137
3.3. Привод продольной подачи .....	139
3.4. Суппорт и привод поперечных подач .....	141
3.5. Резцедержатель .....	143
3.6. Задняя пиноль (задняя бабка) .....	146
4. Электрооборудование .....	148
5. Система числового программного управления .....	153
<i>КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ</i> .....	155

### **Лабораторная работа №8 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, КИНЕМАТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ СТАНКА 6М13ГН1**

<b>С УЧПУ "FMS -3000" .....</b>	<b>157</b>
1. Назначение, конструкция и основные движения станка 6М13ГН1 .....	157
2. Механизм главного движения .....	160
3. Механизм подач .....	161
4. Тиристорный привод .....	163
5. Программирование управляющих программ в FMS-3000. Редакция 5.0 .....	167
5.1. Программирование в УЧПУ FMS-3000, установленном на станке 6М13ГН1 .....	167
5.2. Структура управляющей программы .....	171
5.3. Системы координат .....	172
6. Кодирование информации .....	176
6.1. Подготовительные функции .....	176
6.2. Функция шпинделя .....	196
6.3. Функция инструмента .....	197
6.4. Вспомогательная функция (M) .....	197
7. Тестовая управляющая программа .....	199
7.1. Текст УП .....	200
7.2. Пояснения к УП .....	201
<i>КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ</i> .....	202

### **Лабораторная работа №9 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, КИНЕМАТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ СТАНКА МС12 – 250М1**

<b>С УЧПУ «FMS -3000» .....</b>	<b>204</b>
1. Назначение, конструкция и кинематика станка МС12–250М1 .....	204
2. Привод главного движения .....	206
3. Приводы подач .....	210
4. Крепление инструмента в шпинделе .....	211
5. Программирование УП в УЧПУ «FMS-3000» .....	212
5.1. Кодирование программы .....	212
5.2. Подготовка геометрической информации для УП .....	220

5.3. Технологические особенности обработки на МС .....	222
5.4. Подготовка УП для СЧПУ МС12 .....	225
5.5. Системы координат .....	236
5.6. Функции коррекции .....	237
5.7. Цикловая обработка .....	240
5.8. Циклы растачивания .....	241
5.9. Цикл нарезания резьбы .....	243
5.10. Цикл нарезания резьбы плашкой или метчиком .....	244
6. Адреса, используемые в УЧПУ .....	245
6.1. Функция шпинделя .....	245
6.2. Функция инструмента .....	246
6.3. Вспомогательная функция (М) .....	246
7. Тестовая управляющая программа .....	248
7.1. Текст управляющей программы .....	250
7.2. Пояснения к программе .....	253
<i>КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ</i> .....	259
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	<b>260</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b> .....	<b>262</b>

## **Лабораторная работа №1**

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И КИНЕМАТИКИ ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА 1К62**

**Цель работы:** изучение назначения, принципа работы основных частей и конструктивных элементов, кинематики станка, его наладки на нарезание резьбы и другие виды работ.

#### ***ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ***

1. Ознакомиться с принципом работы и основными частями станка, рабочими органами движения и органами управления.
2. Детально изучить конструкцию, кинематику и механизмы станка.
3. Выполнить по заданию преподавателя расчёты, связанные с настройкой станка на нарезание резьбы, и произвести наладку.
4. Под руководством учебного мастера произвести нарезание резьбы и её измерение.
5. Выполнить индивидуальное задание преподавателя.
6. Составить отчёт по работе и предъявить преподавателю для приёмки.

#### **1. НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП РАБОТЫ ТОКАРНОГО СТАНКА. РАБОЧИЕ ОРГАНЫ И ДВИЖЕНИЯ**

Универсальный токарно-винторезный станок 1К62 предназначен для выполнения разнообразных токарных работ: обточки и расточки наружных и внутренних цилиндрических, конических и фасонных поверхностей, подрезки торцов, прорезки канавок и отрезки заготовок; нарезания метрических, дюймовых, модульных, питчевых резьб резцами, гребёнками, метчиками и плашками; нарезания торцовых спиралей. На станке можно также производить сверление, зенкерование, развёртывание и др.



Обрабатываемая заготовка 2 (рис. 1, а) закрепляется в самоцентрирующемся кулачковом патроне 1, прикреплённом к передней части шпинделя станка, и поддерживается задним центром 3, установленным в пиноли задней бабки 4.

Заготовка получает вращательное (главное) движение с заданной скоростью резания  $v$ , м/мин. Заготовка также может закрепляться в центрах (рис. 1, б) и вращаться с помощью поводкового патрона 6 и хомутика 7. По скорости  $v$  и диаметру заготовки  $d$ , мм, определяется частота вращения шпинделя  $n$ , мин<sup>-1</sup>:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d}. \quad (1)$$

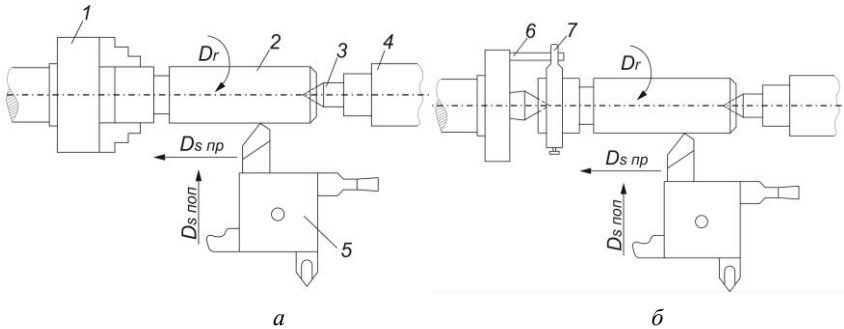


Рис. 1. Схемы токарной обработки при закреплении заготовки в патроне (а) и в центрах (б)

Резцы устанавливаются во втором рабочем органе – поворотном резцедержателе суппорта 5 и перемещаются поступательно в продольном или поперечном направлении, совершая движения подачи  $D_{s np}$  или  $D_{s non}$ , скорость которых задаётся в миллиметрах на один оборот шпинделя (мм<sup>-1</sup>).

## Техническая характеристика станка

Высота центров, мм.....	250
Наибольший диаметр обточка над станиной/суппортом, мм ..	400/200
Расстояние между центрами, мм.....	1400
Число ступеней частот .....	23
Мощность главного электродвигателя, кВт.....	10

## 2. ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ СТАНКА

Основные части и органы управления станка показаны на рис. 2-4.

Наиболее ответственной частью станка является литая чугунная двухтумбовая станина *A* с поперечными рёбрами жесткости и весьма точно обработанными призматическими направляющими. На станине размещаются все узлы станка и рабочие органы. Поэтому от жёсткости и виброустойчивости станины, сохранения её формы в процессе эксплуатации зависят точность и производительность обработки на станке.

Важным узлом является передняя бабка *B*, в которой размещается шпиндель *B*, изготовленный из легированной закалённой стали. Шпиндель расположен на опорах качения в виде двухрядного шарикового и двухрядного конического роликового разъемно-упорных подшипников повышенной точности (рис. 3). Для обеспечения плавности вращения шпинделя и повышения жёсткости шпиндельного узла в процессе сборки и при ремонте обеспечивается гарантированный натяг за счёт относительного смещения колец подшипников. В передней бабке размещаются зубчатые колёса и скользящие блоки коробки скоростей, а также механизмы для управления главным движением.

Суппорт *G*, служащий для обеспечения рабочего движения подачи инструмента, включает каретку, нижние салазки, среднюю пово-

ротную часть, верхние салазки и поворотный резцедержатель. Для повышения жёсткости суппорта все его части тщательно подогнаны друг к другу, а в направляющих салазок имеются клинья для регулировки зазоров. К каретке прикрепляется фартук *E* с механизмами управления суппортом.

Задняя бабка *D* имеет выдвижную пиноль, в передней части которой имеется конусное отверстие для установки заднего центра или инструмента для обработки отверстий державки. Пиноль выдвигается с помощью винта и маховика. Бабка фиксируется на внутренних направляющих станины. Верхняя часть бабки может смещаться в поперечном направлении относительно основания, что выполняется при обработке конусов. Бабка также может присоединяться с помощью захвата к суппорту для сообщения автоматической подачи закреплённому в ней инструменту.

Коробка подач *Ж* с множительными механизмами, ходовые винты и реечная пара обеспечивают поступательное движение суппорта с различными скоростями.

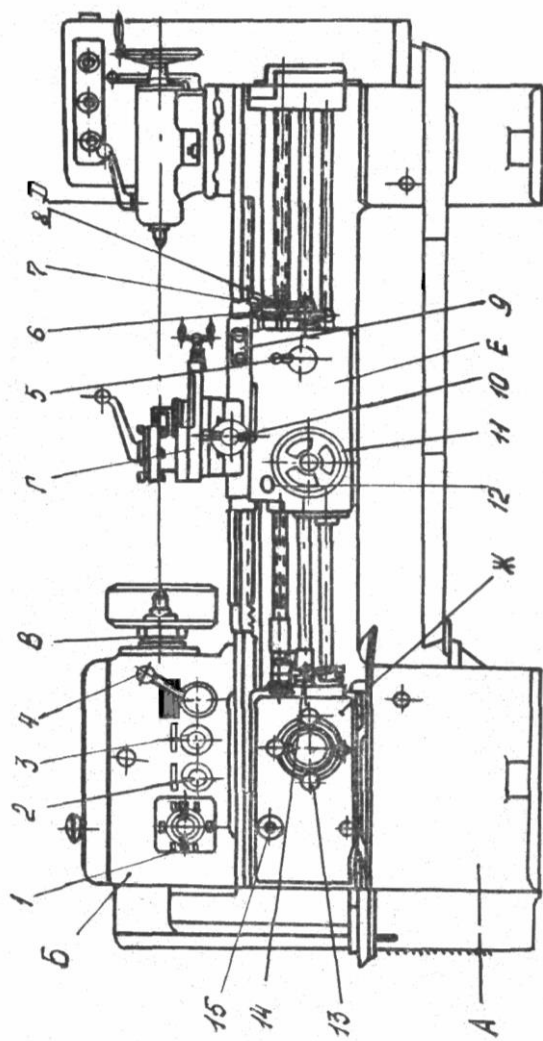


Рис. 2. Общий вид основной части и органы управления станка 1К62:

1, 4 – рукоятки переключения скоростей шпинделя; 2, 3 – рукоятки для включения звена увеличения шага и вида резьбы (правая, левая); 5 – рукоятки для включения маточной гайки винтовой пары; 6, 14 – рукоятки переключения фрикционной муфты и ленточного торможения для пуска, реверсирования и останковки шпинделя; 7 – рукоятка включения ускоренного перемещения суппорта; 8 – рукоятка управления движениями суппорта; 9 – кнопки включения и выключения главного электродвигателя; 10 – рукоятка ручной поперечной подачи салазок суппорта; 11 – маховик ручной продольной подачи суппорта; 12 – кнопка для выключения реечной шестерни при нарезании резьбы; 13 – рукоятки установления величины подачи и шага резьбы; 15 – рукоятки для включения на подачу, резьбу и архимедову спираль

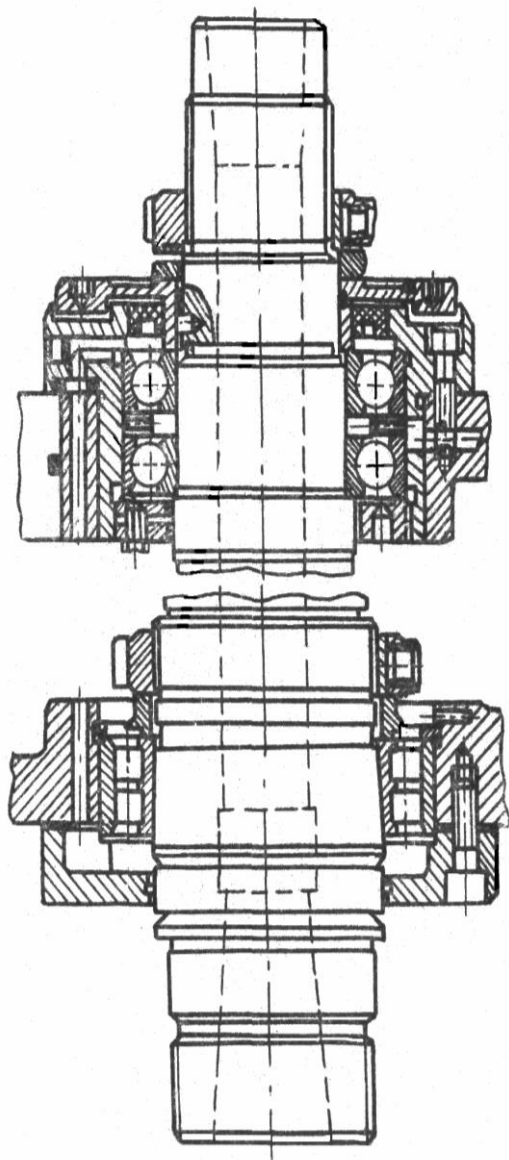


Рис. 3. Шпиндель токарного станка с опорами

### 3. МЕХАНИЗМ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ

Шпиндель станка через клиноремённую передачу и коробку скоростей получает вращение от электродвигателя мощностью 10 кВт с  $n = 1450$  об/мин. Включение, выключение и реверсирование шпинделя осуществляется переключением двусторонней пластинчатой муфты  $M_1$  (рис. 4), соединяющей с ведущим валом I двухступенчатый блок 51-56 (при правом вращении) и шестерню 50 (при левом вращении). Вал III при правом вращении шпинделя получает шесть скоростей за счёт переключения двух скользящих блоков шестерён 34 – 39 и 47 – 55 – 38, при левом – три скорости от колеса 50 через промежуточный вал с блоком 24 – 36. При левом положении блока  $B_5$  зубчатых колёс 42 – 52, расположенном на шпинделе, шпиндель получает от вала III шесть высоких чисел оборотов, при правом положении через блоки 88 – 45 и 22 – 45 трехступенчатого перебора и передачу 26/52 – восемнадцать пониженных. В результате совпадения одного передаточного отношения в первой и второй цепях шпиндель фактически имеет 23 различные скорости. Переключение блоков  $B_1$  и  $B_2$  осуществляется рукояткой 1, а блоков  $B_3$ ,  $B_4$ ,  $B_5$  – рукояткой 4 (рис. 2), включение шпинделя и реверса – рукоятками 6 и 14.

Кинематическое уравнение цепи главного движения для правого вращения можно записать:

$$1450 \frac{147}{254} \cdot 0,985 \left\{ \frac{51}{39} \left[ \frac{24}{55} \left[ \frac{22}{29} \left[ \frac{22}{45} \left[ \frac{22}{22} \right] \right] \right] \right] \right\} \frac{26}{52} = n_{1-18} = 12,5 - 630 \text{ об/мин};$$

$$\frac{65}{43} = n_{19-24} = 630 - 2000 \text{ об/мин.}$$

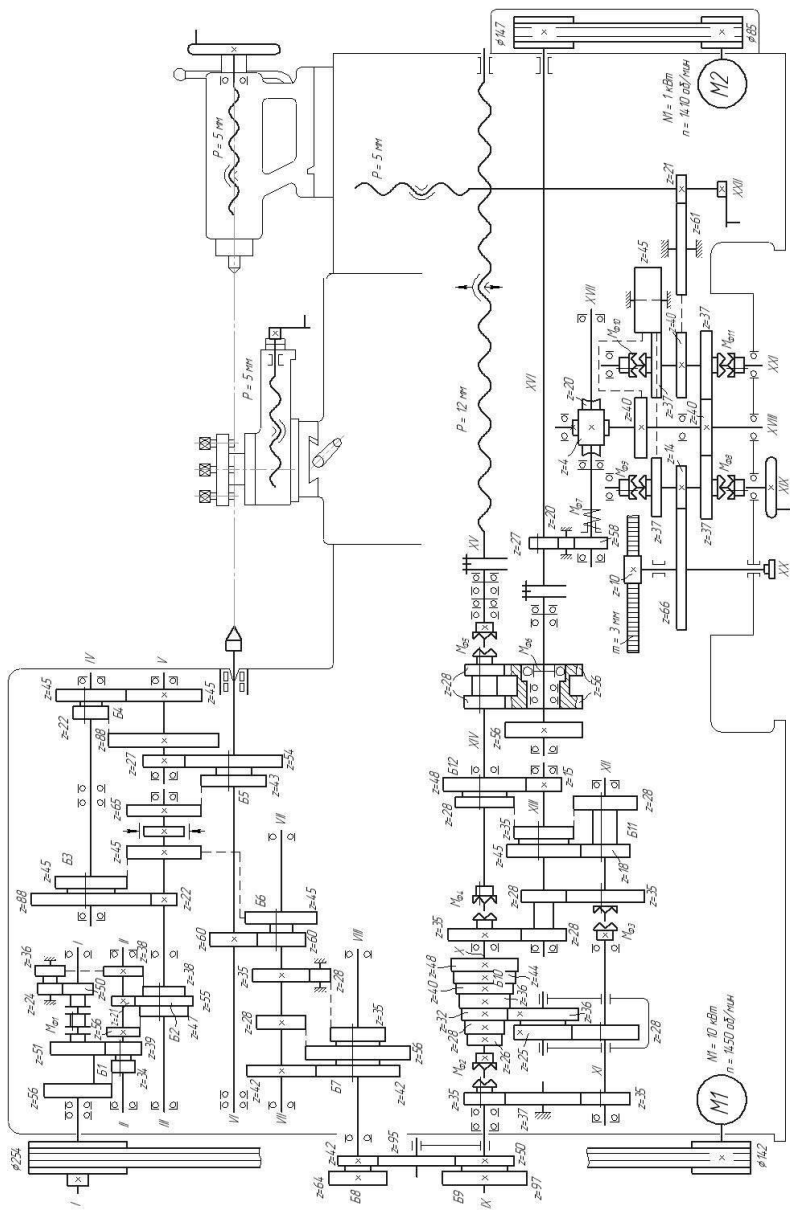


Рис. 4. Кинематическая схема станка ИК62

Анализ формулы показывает, что структура коробки скоростей

$$z = 2 \cdot 3(1 + 3) = 24.$$

Аналогичный вид имеет уравнение для левого вращения, определяющее 12 ступеней частот оборотов.

Картина частот оборотов, показывающая графически структуру коробки скоростей, все передачи и их передаточные отношения, все возможные включения, обеспечивающие ступенчатое регулирование скоростей по геометрическому ряду со знаменателем  $y = 1,26$ , приведена на рис. 5.

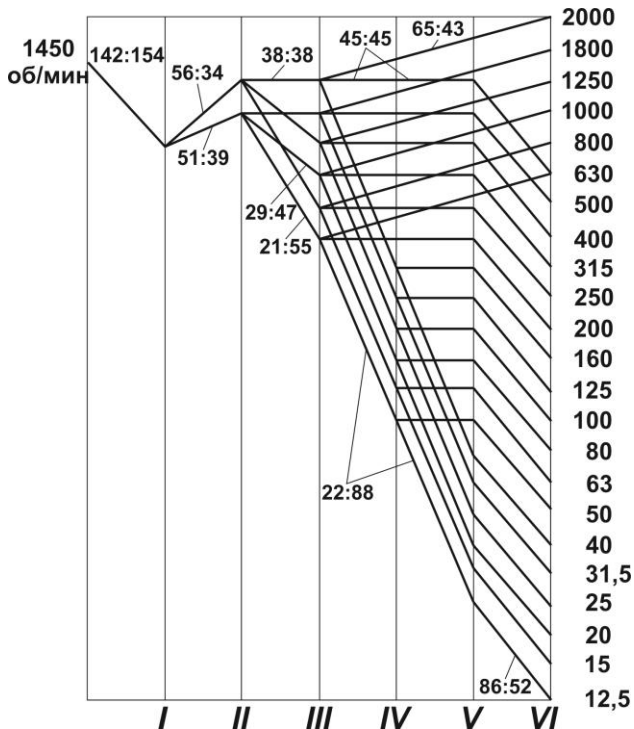


Рис. 5. Картина частот оборотов коробки скоростей станка 1К62



#### 4. МЕХАНИЗМ ПОДАЧ И ЕГО НАЛАДКА

Механизм подачи станка обеспечивает поступательное перемещение инструмента относительно заготовки в продольном или поперечном направлении с различными скоростями  $S_0$ , об/мин.

Механизм состоит из устройства реверса, гитары сменных колёс, коробки подач и механизмов преобразования вращательного движения в поступательное, ходового винта с разъемной маточной гайкой (для включения и выключения подачи) и ходового валика в сочетании с реечной парой (реечной шестерни  $z = 10$ ,  $m = 3$  и рейки, закреплённой на станине). Винтовая пара продольной подачи используется для привода суппорта только при нарезании резьб (для сохранения точности передачи), а реечная пара – при остальных видах токарной обработки.

При нарезании резьбы необходимо за счёт настройки цепи подач обеспечить условие – за 1 оборот заготовки резец должен переместиться в продольном направлении точно на шаг резьбы (шаг спирали для многозаходных резьб).

Поэтому уравнение цепи подач в сокращённом виде можно записать:

$$1_{об.инт} \cdot i_{пост} \cdot i_{пер} \cdot P_{х.в} = P_{н.р},$$

где  $i_{пост}$  – общее передаточное отношение постоянных передач цепи;  $i_{пер}$  – общее передаточное отношение регулируемых передач цепи;  $P_{х.в}$  – шаг ходового винта;  $P_{н.р}$  – шаг нарезаемой резьбы, мм.

Шаг спирали однозаходных метрических резьб задаётся в миллиметрах, для дюймовых резьб он задаётся числом ниток  $k$  на дюйм длины и подсчитывается по формуле

$$P = \frac{25,4}{k},$$

для модульной – модулем  $m$ ,  $P = \pi \cdot m$ ,

для питчевой – питчем  $\Pi$ ,  $P = \pi \cdot 25,4/\Pi$ .

Настройка цепи подач при нарезании резьбы с заданным шагом состоит из расчёта и подбора  $i_{пер}$  за счёт механизмов подач из условия

$$i_{пер} = \frac{P_{н.р}}{i_{пост} \cdot P_{х.в}}. \quad (2)$$

Вал IX коробки получает вращение от шпинделя через зубчатые колёса 60/60, реверсивный механизм (зубчатые колёса 42/42, 58/56 или 35/28/35) и сменные колёса гитары 42/95/50 (при обычных подачах и нарезке метрических и дюймовых резьб) или 64/95/97 (при нарезке модульных и питчевых резьб), которые позволяют с достаточной точностью обеспечить шаги резьб, в расчёт которых входит иррациональное число  $\pi$ .

С вала IX движение может быть передано по двум направлениям. При нарезании дюймовых и питчевых резьб (первое направление) движение от вала I через зубчатые колёса 32/37/35 передаётся к валу X, затем через накидную шестерню 36 на семиступенчатый конус зубчатых колёс – к валу IX, далее через колёса 35/28/28/35 к валу XII, затем через множительный механизм, состоящий из скользящих блоков  $B_8$  и  $B_9$  и зубчатых колёс 45, 35, 15, к валу XIII и от вала XIV, который получает 56 частот оборотов, движение передаётся или на ходовой валик, как показано на схеме (см. рис. 4), или на ходовой винт (если включить муфту  $M_5$ ). Кинематическое уравнение цепи подач при этом имеет вид

$$I_{об.шп} \cdot \frac{60}{60} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{28}{56} \cdot \underbrace{\frac{35}{28} \cdot \frac{28}{35}}_{\text{реверс}} \cdot i_{см} \cdot \frac{35}{37} \cdot \frac{37}{35} \cdot \frac{28}{25} \cdot \frac{36}{\text{ступ. конус}} \cdot \frac{35}{28} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{45} \cdot \frac{15}{48} \cdot \frac{35}{28} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{15}{28} \cdot M_5 \cdot 12 = P_{н.р}.$$

Имеющийся ряд зубчатых колёс ступенчатого конуса обеспечивает с достаточным приближением по точности нарезания стандартных дюймовых резьб с  $k = 2; 3; 3,25; 4; 4,5; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 14; 16; 18; 20; 24$ .

При нарезании метрических и модульных резьб поворотом рукоятки 14 (см. рис. 2) включаются муфты  $M_2$  и  $M_4$  (см. рис. 4). В этом случае движение от вала IX через вал XI и конус шестерён передаётся на вал X (второе направление), затем последовательно на валы XII, XIII, XIV. Вал XIV также получает 56 чисел оборотов. Кинематическое уравнение для этого направления имеет вид

$$1_{\text{об.вин}} \cdot \frac{60}{60} \cdot \underbrace{\left( \frac{35}{28} \cdot \frac{28}{35} \right)}_{\text{реверс}} \cdot \left. \begin{array}{l} \frac{42}{42} \\ \frac{28}{56} \end{array} \right\} i_{\text{см}} \cdot M_2 \cdot \frac{\text{ступ. конус}}{36} \cdot \frac{25}{28} \cdot M_4 \cdot \left. \begin{array}{l} \frac{18}{45} \\ \frac{15}{28} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \frac{48}{35} \\ \frac{15}{28} \end{array} \right\} \cdot M_5 \cdot 12 = P_{н.р} \cdot$$

Включение колёс 42/42 между валов VII и VIII и переключение передач ступенчатого конуса и множительного механизма обеспечивает 28 различных шагов метрических резьб, из них 19 стандартных: 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,5; 3...12 мм.

При нарезании резьбы с повышенной точностью движение на ходовой винт передаётся через коробку подач напрямую. Для этого включаются муфты  $M_2$ ,  $M_4$ ,  $M_5$ . В результате количество передач в цепи и погрешность резко сокращаются. Подбор требуемого передаточного отношения цепи определяется из условия (2) и достигается сменными колёсами гитары, которые изготавливаются в соответствии с расчётом. Включение всех муфт коробки подач осуществляется поворотом рукоятки 14 (см. рис. 2), переключение блоков – поворотом ручки 13.

Суппорт с ходовым винтом соединяется разъёмной маточной гайкой, которая включается поворотом рукоятки 5.

При нарезании резьбы с шагом, увеличенным в 2,8 и 32 раза, движение к валу VII передаётся непосредственно от вала III через шестерни 45/45, т.е. связь шпинделя с валом VII осуществляется через промежуточную передачу с передвижением блоками 22-45 и 45-88 перебора, с помощью которых производится переключение диапазонов скоростей. Поэтому увеличение шага в 32 раза может быть достигнуто только при скоростях шпинделя  $n_{1-6} = 12,5 - 40$  об/мин, в 8 раз – при  $n_{7-12} = 50 - 160$  об/мин и в 2 раза – при  $n_{13-18} = 210 - 630$  об/мин. Приближение фактической скорости резания к заданной может осуществляться только переключением частот оборотов в соответствующем диапазоне.

При нарезании многозаходных резьб механизм подачи настраивается на шаг спирали:

$$P = P_{н.р} \cdot z_{зах}.$$

После нарезания одной спирали канавки шпиндель останавливается, производится деление. Поворотом рукоятки 2 (см. рис. 2) сдвигается блок  $B_6$  (см. рис. 4) и цепь подачи отключается от шпинделя. Шпиндель поворотом рукоятки б вверх включается на правое вращение и вручную патронным ключом с задней стороны поворачивается против часовой стрелки на  $1/z_{зах}$  оборота. Отсчёт угла поворота производится по диску с шестидесятью делениями, расположенному на задней шейке шпинделя. После деления рукоятка 2 устанавливается в прежнее положение и производится нарезание следующей канавки и т.д.

Точение с продольными и поперечными подачами осуществляется движением как по первой, так и по второй цепи коробки подач. С вала XIV движение передаётся на ходовой вал XVII через две пары зубчатых колёс 28/56 и муфту обгона  $M_o$ ; с ходового вала дви-

жение передаётся на вал XVIII через зубчатые колёса 27/20/28 и предохранительную муфту  $M_n$  и далее через червячную и зубчатые передачи - реечной шестерне или поперечному ходовому винту.

В фартуке станка расположены четыре кулачковые муфты  $M_6$ ,  $M_7$ ,  $M_8$  и  $M_9$ , которые служат для включения и реверсирования продольной и поперечной подач поворотом рукоятки 8 (см. рис. 2) в направлении подачи. Реверсирование осуществляется включением в цепь дополнительного паразитного колеса 45, находящегося в зацеплении с шестерней 40 на валу XIX, и колёсами 37, замыкаемыми муфтами  $M_6 - M_9$ .

Кинематические уравнения подач с учётом уравнения (6) имеют вид:

для продольной подачи, мм/об

$$1_{об.вин} A \cdot \frac{28}{56} \cdot \frac{27}{20} \cdot \frac{20}{28} \cdot \frac{4}{28} \cdot \frac{40}{37} \cdot M_7 \cdot \frac{14}{65} \left. \vphantom{\frac{40}{37}} \right\} \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10 = S_{пр};$$

$$\frac{40}{45} \cdot M_6 \cdot \frac{45}{37}$$

для поперечной подачи

$$1_{об.вин} A \cdot \frac{28}{56} \cdot \frac{27}{20} \cdot \frac{20}{28} \cdot \frac{4}{28} \cdot \frac{40}{37} \cdot M_9 \left. \vphantom{\frac{40}{37}} \right\} \cdot \frac{40}{61} \cdot \frac{61}{20} \cdot 5 = S_{поп}.$$

$$\frac{40}{45} \cdot M_8 \cdot \frac{45}{37}$$

В фартуке предусмотрен блокировочный механизм, который препятствует одновременному включению подачи от ходового винта и ходового вала. При работе от ходового винта реечная шестерня выводится из зацепления с рейкой выдвиганием пальца 12 (см. рис. 2).

Суппорт может получать быстрые (холостые) движения, которые через ремённую передачу передаются от отдельного электромотора  $N = 1$  кВт,  $n = 1410$  об/мин на ходовой вал XVII и далее – к суппор-

ту. Благодаря наличию в цепи подач роликовой обгонной муфты  $M_0$  быстрое движение может осуществляться без выключения рабочей подачи. При быстром вращении вала XV заклинивания роликов в муфте не происходит, зубчатые колёса 56 с валом не соединяются и движение от коробки подач на вал XV не передаётся.

При нарезании торцовых спиралей двойной блок 28 - 28 вала XIV передвигается влево и тогда движение к ходовому валу передаётся через пару левых зубчатых колёс 28/56, что исключает возможное проскальзывание в муфте обгона и обеспечивает точность передачи.

Наладка станка на нарезание резьбы производится в следующем порядке:

1. По заданной скорости резания и диаметру заготовки по формуле (1) рассчитывается необходимое число оборотов шпинделя; по таблице в паспорте станка выбирается ближайшее меньшее и устанавливается рукоятками 1 и 4 (см. рис. 2).

2. Переключением рукояток 2, 3, 13, 15 и, если требуется, перестановкой зубчатых колёс гитары в соответствии с указаниями, приведенными в таблице, настраивается заданный шаг резьбы.

3. Резьбовой резец устанавливается и закрепляется в резцедержателе строго перпендикулярно оси детали. Вершина его по высоте должна располагаться на оси центров, что обеспечивается подбором прокладок.

4. Рукоятками 10 и 12 резец подводится до касания с заготовкой, кольцевой лимб поперечного перемещения устанавливается на ноль.

5. Резец вручную отводится от заготовки на один оборот рукоятки 10 и вправо маховиком 12 – в исходное положение, а затем по лимбу производится врезание на 0,05 мм для пробного прохода.

6. Рукояткой 11 маточная гайка замыкается на ходовом винте.

7. Нажатием на кнопку «Пуск» включается электродвигатель и поворотом рукоятки 6 или 14 вверх – правое вращение шпинделя – производится пробный проход. В конце прохода рукояткой 10 резец

выводится из контакта и реверсированием вращения шпинделя рукояткой *б* возвращается в исходное положение (вправо), после чего производится останов шпинделя путём постановки рукоятки *б* в нейтральное положение. Резьбомером или штангенциркулем проверяется правильность настройки станка на заданный шаг.

8. Периодическим врезанием на 0,1...0,5 мм в том же порядке производится последовательное нарезание резьбы до образования «полной» нитки. В конце нарезания глубина врезания уменьшается, а последние 1 – 2 прохода осуществляются без поперечной подачи для зачистки резьбы.

9. Проверяется нарезанная резьба.

10. При нарезании дюймовых и питчевых резьб рассчитывается относительная погрешность шага.

Наладка станка на обработку конусов состоит в следующем.

При обточке и расточке крутых коротких конусов (рис. 6, *б*) заготовка закрепляется в патроне. Верхние салазки суппорта вместе со средней поворотной частью поворачиваются на угол конуса и подача резца вдоль образующей конуса осуществляется вручную в пределах хода салазок.

При обработке длинных и пологих конусов (рис. 6, *а*) заготовка закрепляется в центрах. Задний центр смещается относительно оси шпинделя на расчетную величину *h* так, чтобы образующая конуса совпала с направлением движения продольной подачи резца, которая осуществляется автоматически. Значение *h* определяется по формуле

$$h = \frac{L}{\sin \alpha} = \frac{d_2 - d_1}{2 \cdot l}.$$

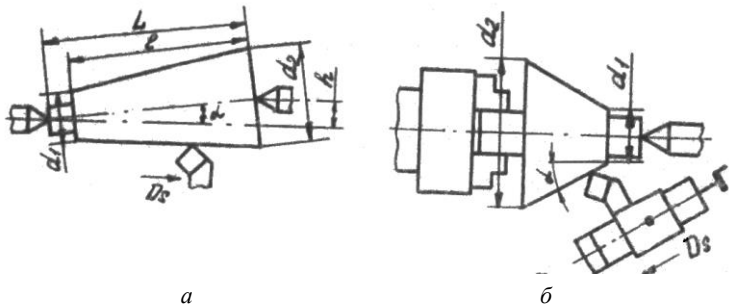


Рис. 6. Наладка станка на обточку коротких (крутых) (а) и длинных (пологих) конусов (б)

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислить основные части станка.
2. Перечислить рабочие органы станка.
3. Перечислить виды работ, выполняемых на станке.
4. Как определяется количество вариантов передач в коробке скоростей?
5. Определить количество вариантов передач в коробке подач станка.
6. Составить кинематическое уравнение ускоренных продольных перемещений суппорта.
7. Составить кинематическое уравнение ускоренных поперечных перемещений суппорта.
8. Как производить реверс шпинделя?
9. Определить, во сколько раз левое вращение шпинделя быстрее правого?
10. Как увеличить шаг резьбы в 2,8 или 32 раза?
11. Преимущества и недостатки фрикционной муфты.
12. Каким образом производится реверсирование подачи при точении?



13. Как производится настройка станка на обточку длинных конусов?
14. Как производится настройка станка на обточку коротких конусов?
15. Каким образом исключается одновременное включение продольной и поперечной подач суппорта?
16. Как обеспечить сверление детали с механической подачей?
17. Определить диапазон регулирования частоты вращения шпинделя и знаменатель геометрического ряда частот.
18. Составить кинематическое уравнение наибольшей (наименьшей) продольной подачи.
19. Определить ( $n_{\max}$ ) и сравнить с данными на станке.
20. Определить  $S_{\min}$  ( $S_{\max}$ ) и сравнить с данными на станке.
21. Назначение и работа обгонной муфты.
22. Проанализировать передаточные отношения во множительном механизме.
23. Как осуществляется нарезание многозаходных резьб?
24. Каким образом осуществляется нарезание торцовых спиралей?

**Лабораторная работа №2**  
**ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И КИНЕМАТИКИ**  
**ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА 16Б16КПФ10**

*Цель работы:* изучить назначение, принцип работы, основные части, конструктивные элементы и кинематику станка, а также его наладку на различные виды работ.

***ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ***

1. Ознакомиться с принципом работы и основными частями станка, его рабочими органами и движениями, а также органами управления.
2. Изучить принципиальную конструкцию основных сборочных единиц станка.
3. Выполнить по заданию преподавателя расчеты, связанные с настройкой станка на нарезание заданной резьбы и произвести его наладку.
4. Под руководством учебного мастера провести нарезание резьбы и ее контроль.
5. Выполнить индивидуальное задание преподавателя.
6. Составить отчет по работе.

**1. НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКАЯ**  
**ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКА**

Универсальный токарно-винторезный станок предназначен для выполнения разнообразных токарных работ: обточки наружных и расточки внутренних цилиндрических, конических и фасонных поверхностей, подрезки торцов, прорезки канавок и отрезки заготовок; нарезания метрических, дюймовых, модульных и питчевых резьб

резцами, гребенками, метчиками и плашками; нарезания торцовых спиралей. На станке можно также производить сверление, зенкерование, развертывание и др. операции.

Необходимо иметь в виду, что станок 16Б16КПФ10 является моделью повышенной точности и, во избежание потери точности, не следует использовать его для черновой обработки.

Обрабатываемая заготовка закрепляется в самоцентрирующемся трехкулачковом патроне (рис. 1), закрепленном на передней части шпинделя станка, и может поддерживаться задним центром (рис. 2), установленным в пиноле задней бабки. Заготовка может также закрепляться в центрах и вращаться с помощью поводкового патрона и хомутика. Схема такого закрепления заготовки представлена на рис. 3.

Заготовка получает вращательное (главное) движение с заданной скоростью резания  $v$  (м/с). По скорости  $v$  и диаметру заготовки  $d$  (мм) определяется частота вращения шпинделя (об/мин):

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi d} \cdot 60.$$

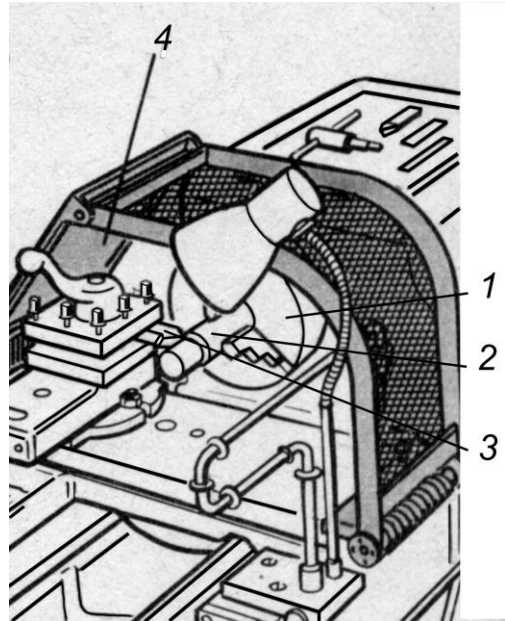


Рис. 1. Схема закрепления заготовки в самоцентрирующемся трехкулачковом патроне:  
1 – патрон; 2 – заготовка; 3 – резец;  
4 – защитный экран

Резцы устанавливаются во втором рабочем органе станка - поворотном резцедержателе суппорта и перемещаются поступательно в продольном или поперечном направлении, совершая движения подачи  $D_{S_{np}}$  (продольное) или  $D_{S_{поп}}$  (поперечное), скорость которых задается в миллиметрах на один оборот шпинделя (мм/об).

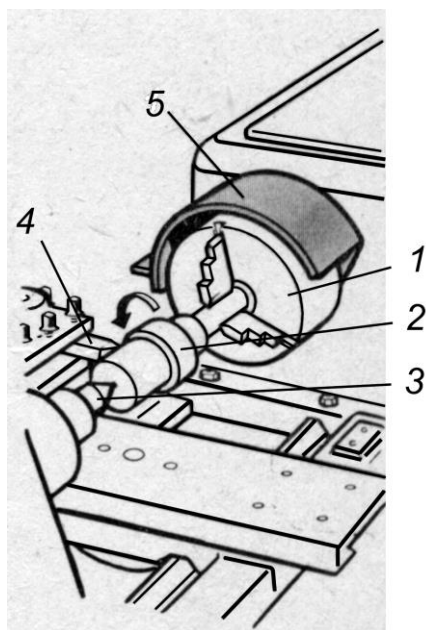


Рис. 2. Схема закрепления заготовки в патроне с поджатием центром задней бабки:

1 – патрон; 2 – заготовка; 3 – задний центр; 4 – резец; 5 – защитный кожух

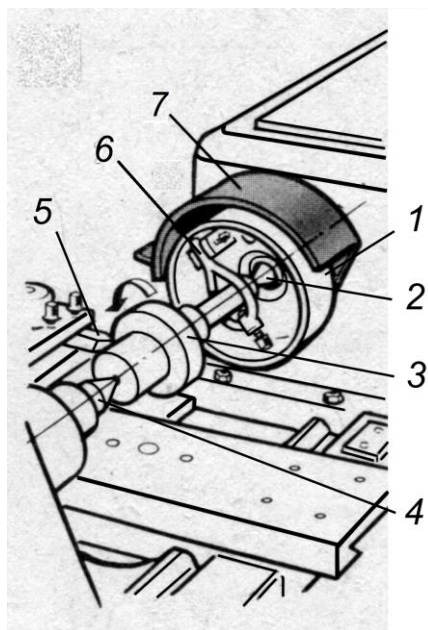


Рис. 3. Схема закрепления заготовки в центрах:

1 – поводковый патрон; 2 - передний центр; 3– заготовка; 4 – задний центр; 5 – резец; 6 – хомутик; 7 – защитный кожух

### *Техническая характеристика станка*

Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки над станиной, мм .....	320
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки над суппортом, мм .....	180
Диаметр прутка, проходящего через отверстие в шпинделе, мм .....	36
Пределы частоты вращения шпинделя, об/мин .....	20...2000
Количество скоростей прямого вращения .....	21
Количество скоростей обратного вращения .....	18
Мощность электродвигателя главного движения, кВт .....	7,1
Мощность электродвигателя привода быстрого хода, кВт .....	0,37

## **2. ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ, СБОРОЧНЫЕ ЕДИНИЦЫ И РАБОЧИЕ ОРГАНЫ СТАНКА**

Расположение основных частей станка представлено на рис. 4, а расположение и перечень органов управления указаны на рис. 5.

### *2.1. Станина*

Основной частью станка является чугунная литая станина коробчатой формы с поперечными П-образными ребрами, которая имеет две призматические и две плоские направляющие и устанавливается на тумбе. В нише правого торца станины размещен двигатель ускоренных ходов каретки. На задней стенке у левого торца тумбы смонтирована коробка скоростей, у правого – станция смазки, а внутри тумбы установлен электродвигатель главного привода.

В нише правого торца тумбы расположены бачок для охлаждения жидкости и насос системы охлаждения.

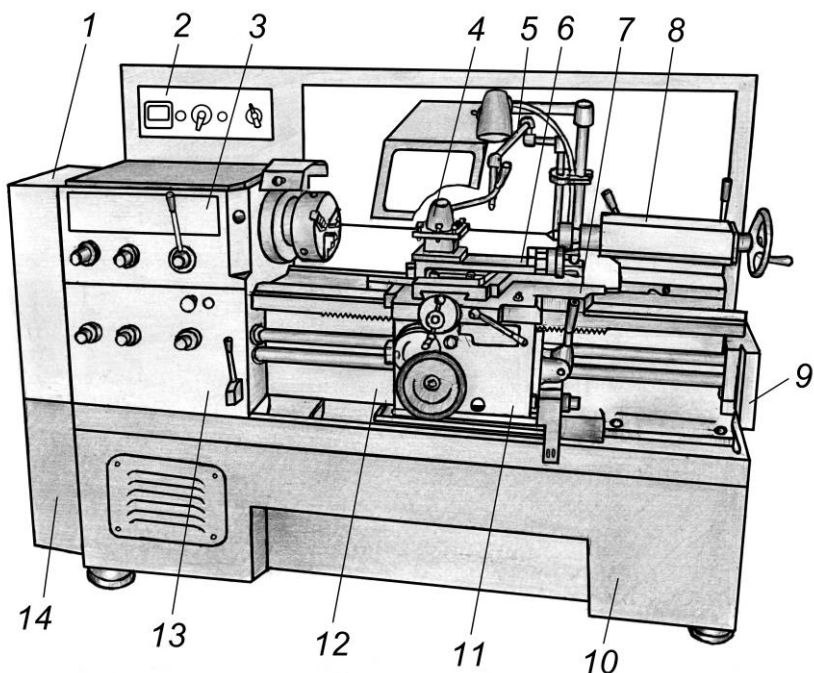


Рис. 4. Расположение составных частей станка:

- 1 – коробка передач; 2 – электрооборудование; 3 – бабка шпиндельная;
- 4 – резцедержатель; 5 – устройство охлаждения; 6 – суппорт; 7 – каретка;
- 8 – бабка задняя; 9 – привод ускоренного хода; 10 – тумба; 11 – фартук;
- 12 – станина; 13 – коробка подач; 14 – шкивы главного привода

## 2.2. Коробка скоростей

Установка частоты вращения шпинделя осуществляется рукоятками 5, 36, расположенными на панели шкафа с электрооборудованием и шпиндельной бабке станка (см. рис. 5). В станке использована автоматическая коробка передач (АКП), имеющая форму параллелепипеда с расточками для валов, которая крепится к задней наружной стенке левого торца тумбы.

Управление АКП производится с помощью переключателя 5. Механизм коробки скоростей приводится в движение от электродвигателя через зубчатую ременную передачу. Определенная комбинация включения электромагнитных фрикционных муфт АКП дает соответствующую ступень частоты вращения выходного вала согласно табл. 1.

Таблица 1

Частоты вращения выходного вала АКП 109-6,3

Частота вращения выходного вала, мин <sup>-1</sup>	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	Тормоз
Порядковый номер включенных муфт	m <sub>3</sub> ; m <sub>6</sub>	m <sub>2</sub> ; m <sub>6</sub>	m <sub>1</sub> ; m <sub>6</sub>	m <sub>3</sub> ; m <sub>5</sub>	m <sub>2</sub> ; m <sub>5</sub>	m <sub>1</sub> ; m <sub>5</sub>	m <sub>3</sub> ; m <sub>4</sub>	m <sub>2</sub> ; m <sub>4</sub>	m <sub>1</sub> ; m <sub>4</sub>	m <sub>4</sub> ; m <sub>6</sub>

Кинематическая схема АКП представлена на рис. 6.

Коробка передач автоматическая АКП109-6,3 имеет дополнительную муфту ЭТМ-52 (m<sub>7</sub>), установленную на среднем валу и предназначенную для исключения проворота выходного вала при отключенных остальных муфтах и вращающемся входном валу.

На станке могут быть получены 21 частота прямого и 18 частот обратного вращения шпинделя (рис. 7). Кинематическое уравнение цепи главного движения выглядит следующим образом:

$$n_{\text{ун}} = 1500 \cdot \frac{23}{27} \cdot m_2 \cdot \frac{32}{40} \cdot m_3 \cdot \frac{28}{44} \cdot m_4 \cdot \frac{44}{28} \cdot m_5 \cdot \frac{32}{40} \cdot m_6 \cdot \frac{20}{51} \cdot \left[ \frac{33}{33} \cdot \frac{48}{64} \cdot \frac{20}{60} \cdot \frac{22}{44} \cdot \frac{22}{44} \cdot \frac{20}{60} \right] = 20 \dots 2000 \text{ об/мин.}$$

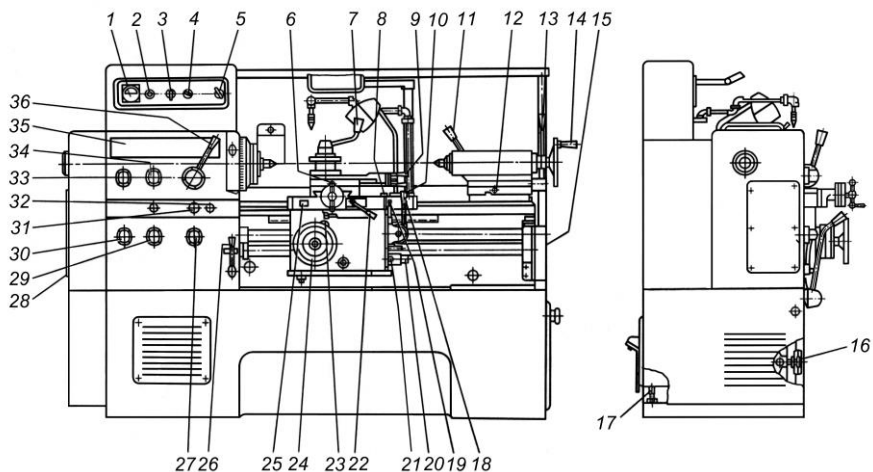


Рис. 5. Органы управления станком:

1 – указатель нагрузки; 2 – лампа сигнальная; 3 – рукоятка включения электрооборудования станка в сеть; 4 – рукоятка включения насоса охлаждения; 5 – рукоятка управления автоматической коробкой передач (АКП); 6 – рукоятка перемещения поперечных салазок суппорта; 7 – рукоятка поворота и зажима резцедержателя; 8 – винт закрепления каретки на станине; 9 – рукоятка перемещения верхних салазок суппорта; 10 – кнопка включения двигателя ускоренного хода; 11 – рукоятка зажима пиноли задней бабки; 12 – винт поперечного смещения задней бабки; 13 – рукоятка крепления задней бабки к станине; 14 – маховик перемещения пиноли задней бабки; 15 – винт натяжения ремня электродвигателя ускоренного хода; 16 – винт натяжения ремня главного электродвигателя; 17 – винт натяжения ремня привода шпиндельной бабки; 18 – рукоятка управления перемещениями каретки и салазок суппорта; 19 – рукоятка включения гайки ходового винта; 20 – гайка регулировки усилия отключения фартука по упору; 21 – рукоятка включения муфты перегрузочного механизма фартука; 22, 26 – рукоятки пуска станка и реверсирования шпинделя; 23 – рукоятка включения и выключения реечной шестерни; 24 – маховик ручного перемещения каретки суппорта; 25 – рукоятка масленки; 27, 29, 30 – рукоятки установки величины подачи, типа и шага резьбы; 28 – крышка коробки передач; 31 – кнопка аварийная; 32 – кнопка пуска главного электродвигателя; 33 – рукоятка включения нормального или увеличенного шага; 34 – переключатель на левую или правую резьбу; 35 – таблица частот оборотов и подач станка; 36 – рукоятка включения переборов



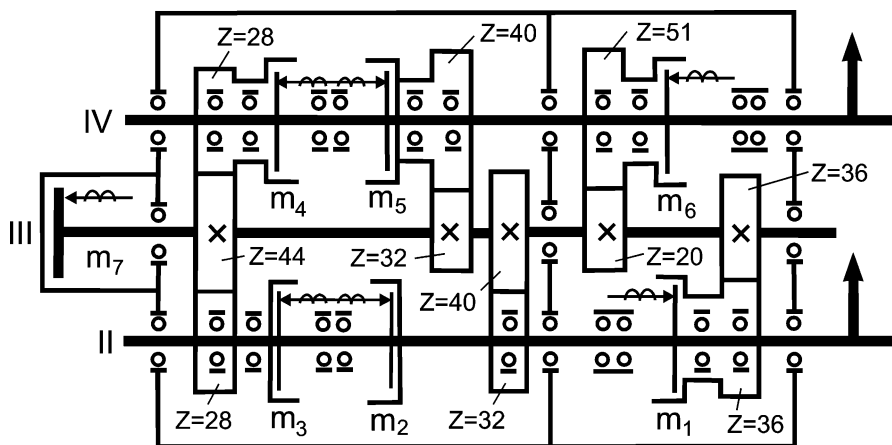


Рис. 6. Кинематическая схема АКП

Механизм передней бабки получает движение от коробки скоростей через зубчатый ремень и разгруженный приемный шкив 1, установленный на конусе муфты-шестерни 2, которая в свою очередь жестко закреплена на шпинделе станка II (рис. 8). При этом шпиндель станка девять наивысших частот вращения получает напрямую, а остальные частоты вращения – через переборы с передаточными отношениями 1:4 и 1:16, образуемые соответственно шестернями 2, 3, 10, 9 и 2, 3, 5, 4, 7, 8, 10, 9 (см. рис. 8).

Для включения переборных муфт, зубчатой муфты-шестерни б (см. рис. 8) или отключения шпинделя, в случае деления на заходы при нарезании многозаходных резьб, служит рукоятка 36 (см. рис. 5), которая осуществляет это с помощью переводок через систему рычагов, управляемых кривыми кулачками. Надежная фиксация оси рукоятки от проворота в рабочем положении производится подпружиненным шариком, расположенным в стакане на задней стенке корпуса шпиндельной бабки.



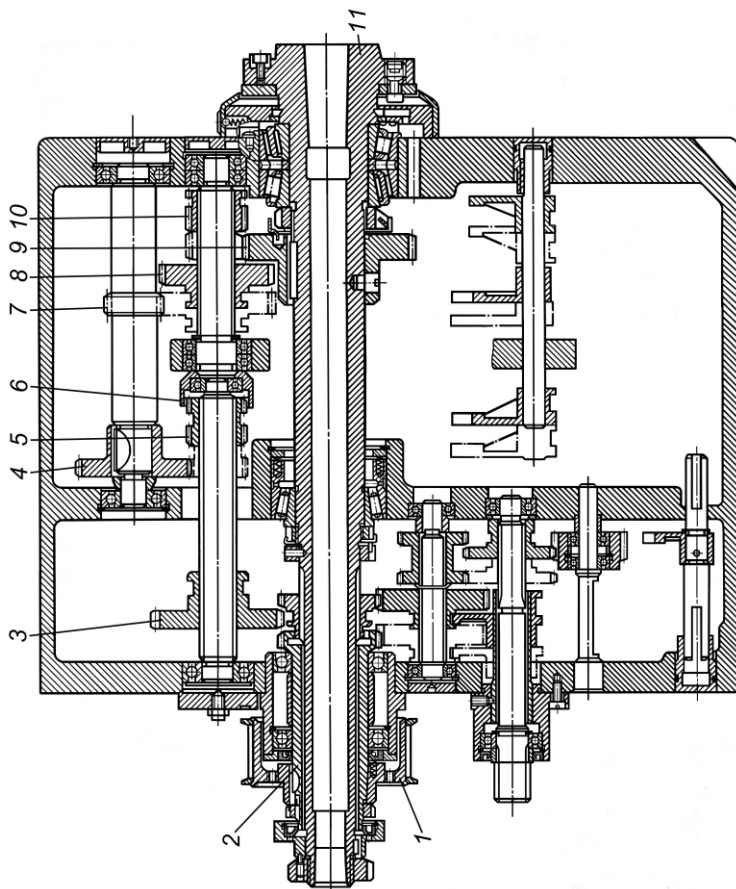


Рис. 8. Шпиндельная бабка

График чисел оборотов шпинделя представлен на рис. 9.

Механизм передней бабки позволяет:

- производить нарезание резьб с увеличенным шагом в 4 и 16 раз;
- нарезать правые и левые резьбы;
- производить нарезание многозаходных резьб при работе с переборами 1:4, 1:16 с числом заходов 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30, а при работе напрямую с числом заходов 2, 3, 4, 6, 12.

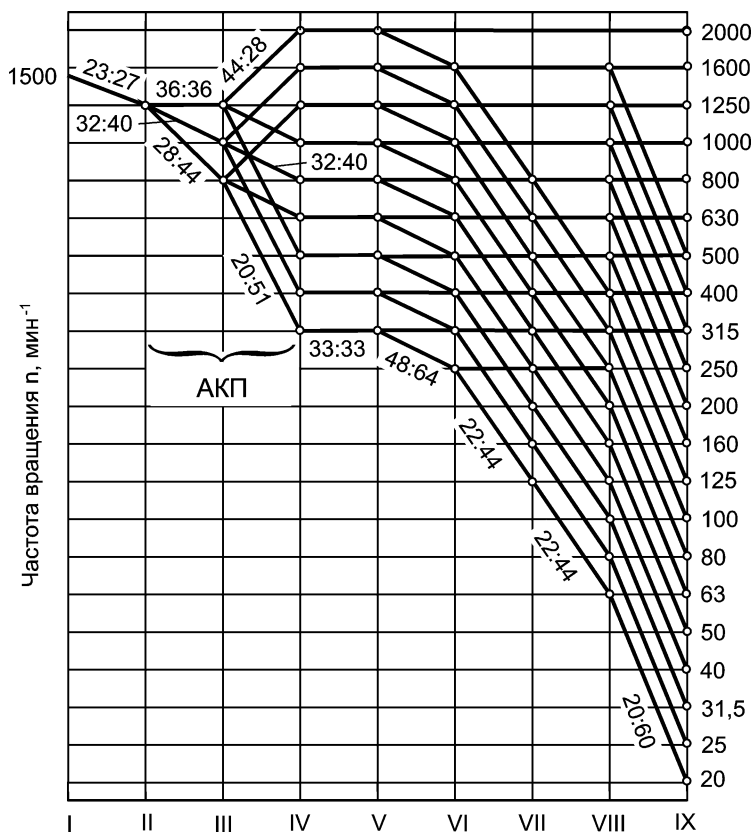


Рис. 9. Картина частот оборотов коробки скоростей привода шпинделя

### 2.3. Коробка передач

Коробка передач служит для передачи движения от выходного вала передней бабки к приводному валу коробки подач. Для получения подач и нарезания метрических и дюймовых резьб устанавливаются шестерни основного набора с передаточным отношением  $\frac{40}{73} \cdot \frac{73}{64}$  (рис. 10), а для нарезания модульных и питчевых резьб –  $\frac{60}{73} \cdot \frac{86}{36}$ . Ограждение коробки передач снабжено электрической блоковой, исключающей случайное включение станка при открытом кожухе ограждения.

### 2.4. Коробка подач

Коробка подач получает движение от выходного вала через сменные зубчатые колеса коробки передач.

Необходимые подачи и шаги резьбы устанавливаются поворотом рукояток 27, 30 (см. рис. 5), расположенных на передней крышке коробки подач (рис. 11, поз. 2, 4). Включение ходового винта или ходового валика, выбор типа резьбы производится рукоятками 19, 23, 29 (см. рис. 5 и рис. 11, поз. 3).

Для осуществления быстрых перемещений суппорта в коробке подач смонтирована обгонная муфта 1 (см. рис. 11). При включении кнопки двигателя ускоренного хода обгонная муфта отключает коробку подач.

Механизм переключения шестерен коробки подач собран на одной плите 5 (см. рис. 11), которая крепится к корпусу коробки подач. Переключение шестерен осуществляется с помощью системы рычагов, тяг и кулачков (см. сечение В-В, рис. 11). Фиксация рабочего положения шестерен обеспечивается подпружиненными шариками, находящимися в рукоятках переключения.

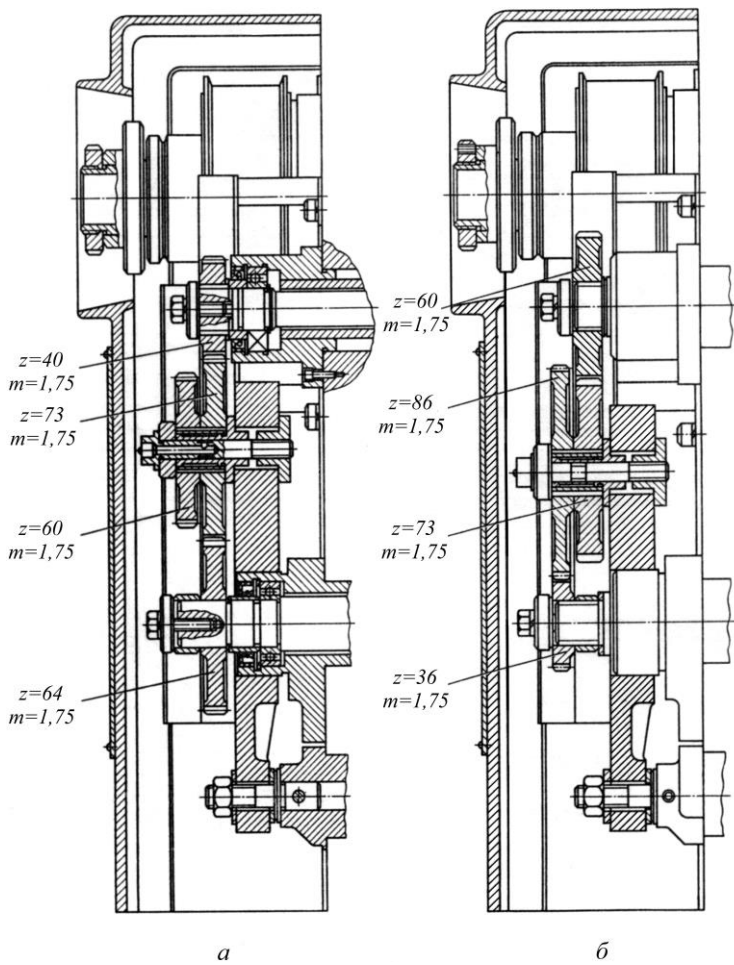


Рис. 10. Коробка передач (сменные шестерни):  
 а – набор для обеспечения подач и нарезания метрических и дюймовых резьб;  
 б – набор для нарезания модульных и питчевых резьб

Кинематическое уравнение цепи продольных подач выглядит следующим образом:

$$S_{np} = 1_{об.шп} \cdot \frac{48}{54} \cdot \frac{33}{44} \cdot i_{к.л.} \cdot \left[ \frac{28}{28} \cdot \left( \frac{32}{32} \right) \cdot \frac{25}{28} \cdot \left( \frac{32}{32} \right) \cdot \left[ \frac{18}{45} \cdot \frac{35}{28} \right] \cdot \frac{23}{15} \cdot \frac{24}{39} \cdot \frac{28}{35} \cdot \left[ \frac{35}{28} \cdot \frac{15}{15} \cdot \frac{28}{48} \right] \cdot \left[ \frac{28}{28} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{30}{30} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{38}{34} \cdot \frac{30}{35} \cdot \frac{30}{33} \right] \cdot \left( \frac{24}{24} \right) \right]$$

$$\cdot \frac{30}{32} \cdot \frac{32}{32} \cdot \frac{32}{30} \cdot \frac{4}{21} \cdot \frac{36}{41} \cdot \frac{41}{41} \cdot \frac{17}{66} \cdot \pi \cdot m \cdot 12 = 0,05...2,8 \text{ мм/об.}$$

### 2.5. Фартук

Имеет четыре пары кулачковых муфт 1, 2, 3, 4 (рис. 12), которые позволяют осуществлять прямой и обратный ход каретки и суппорта. Управление перемещениями каретки и салазок суппорта осуществляется рукояткой 19. Направление включения рукоятки совпадает с направлением перемещения каретки и суппорта. Включение быстрых перемещений суппорта в указанных четырех направлениях осуществляется дополнительным нажатием кнопки 18, встроенной в рукоятку. При этом включается электродвигатель ускоренного хода, который через клиноременную передачу сообщает движение ходовому валу.

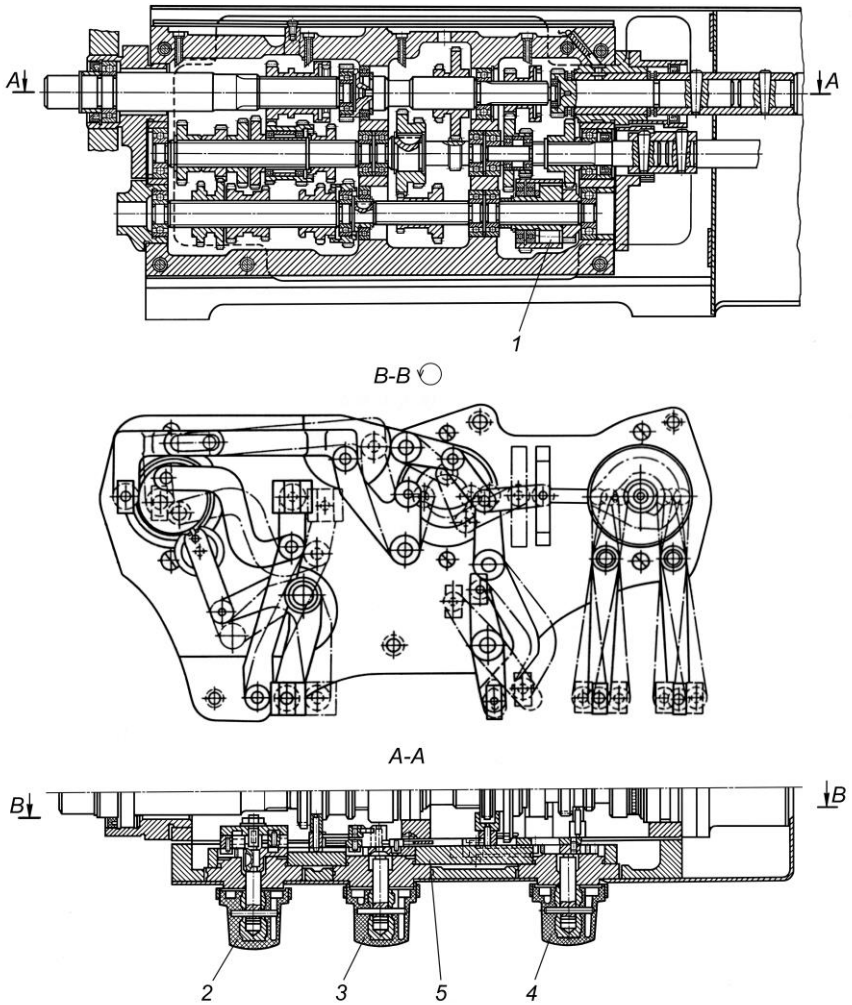


Рис. 11. Коробка подач

Фартук имеет блокирующее устройство, препятствующее одновременному включению продольной и поперечной подач суппорта и маточной гайки станка.



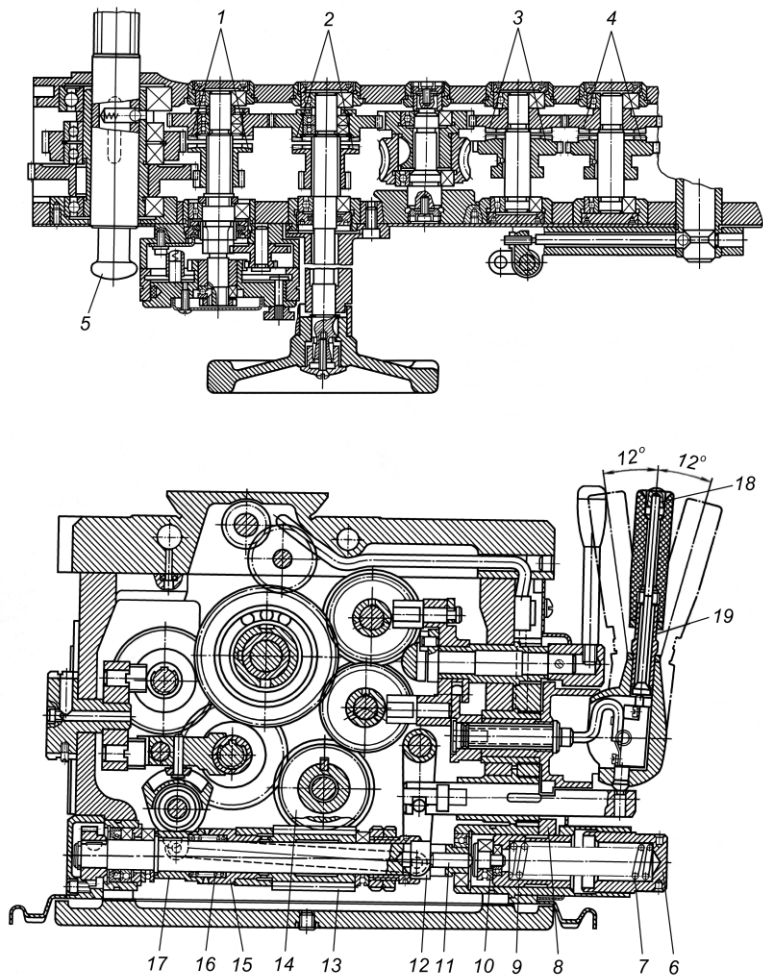


Рис. 12. Фартук

В фартук встроен предохранительный механизм от перегрузки станка, отрегулированный на максимальную величину усилия отключения фартука, равную  $6000 \pm 500$  Н.

При работе по упорам усилие отключения фартука можно снизить до необходимой величины, отвертывая гайку 6 и ослабляя пружину 7.

Предохранительный механизм работает следующим образом. При встрече каретки с упором или при перегрузке и, следовательно, остановке червячной шестерни 14 червяк 13, продолжая вращаться, вывертывается и через сухарь 12, толкатель 11, упорный подшипник 10, сжимая пружины 7, толкает стакан 9 вправо. Защелка 8, попадая в прорезь стакана 9, препятствует возвращению червяка в исходное положение.

При дальнейшем вращении червяка происходит смещение муфты 15 вправо. Под воздействием пружины 16 мелкозубая часть муфты 15 выходит из зацепления с муфтой 17. Червяк прекращает вращение. Чтобы включить фартук, необходимо освободить стакан 9, подняв защелку 8 с помощью рукоятки 21 (см. рис. 5). Пружина 7 включит расцепленные зубчатые муфты 15, 17 и червяк (см. рис. 12).

Для нарезания резьбы необходимо рукоятку 19 (см. рис. 12) поставить в нейтральное положение и рукояткой 19 (см. рис. 5) включить маточную гайку, при этом реечную шестерню следует вывести из зацепления, вытянув рукоятку (см. рис. 5, поз. 23 и рис. 12, поз. 5) на себя.

## **2.6. Суппорт**

Резцедержатель с помощью суппорта (рис. 13) может перемещаться вдоль и поперек станины от механического привода на рабочей подаче и ускоренно, а также от руки. Каретка и поперечная ползушка суппорта имеют ограничения хода в обе стороны, предусмотренные для избежания поломок станка, так как при перемещении суппорта до упора срабатывает механизм отключения фартука.

При необходимости каретка суппорта с помощью винта может быть закреплена в любом месте станины.

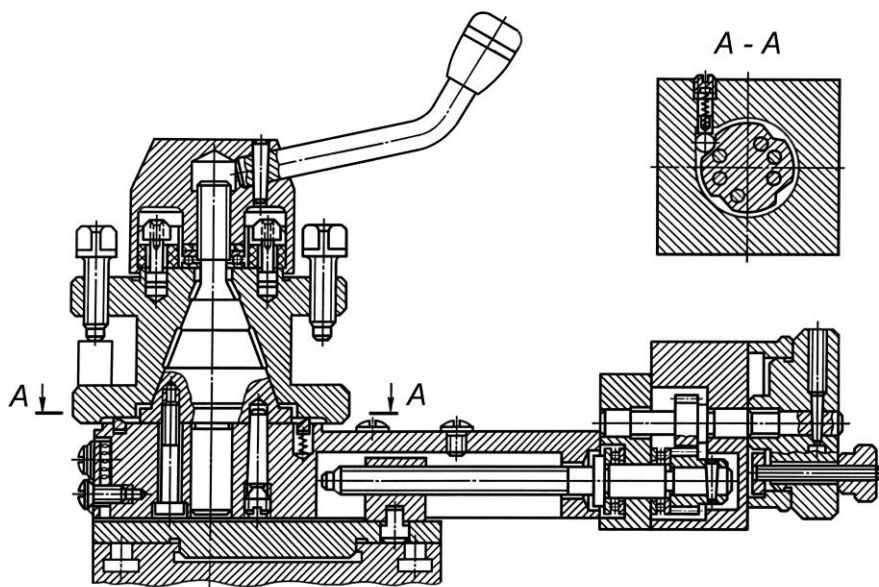


Рис. 13. Верхний суппорт с 4-позиционным резцедержателем

### 2.7. Задняя бабка

Задняя бабка крепится к станине через систему рычагов и эксцентрик рукояткой 1 (рис. 14). Перемещение пиноли 2 в осевом направлении осуществляется за счет вращения маховика, соединенного с винтом 4. При необходимости поперечное смещение корпуса по низку осуществляется винтами 1 и 2 (рис. 15) при отжатом положении рукоятки зажима (см. рис. 14, поз. 1). Зажим пиноли 2 (см. рис. 14) осуществляется рукояткой 3 (см. рис. 14 и 15). Максимальный ход пиноли 120 мм.

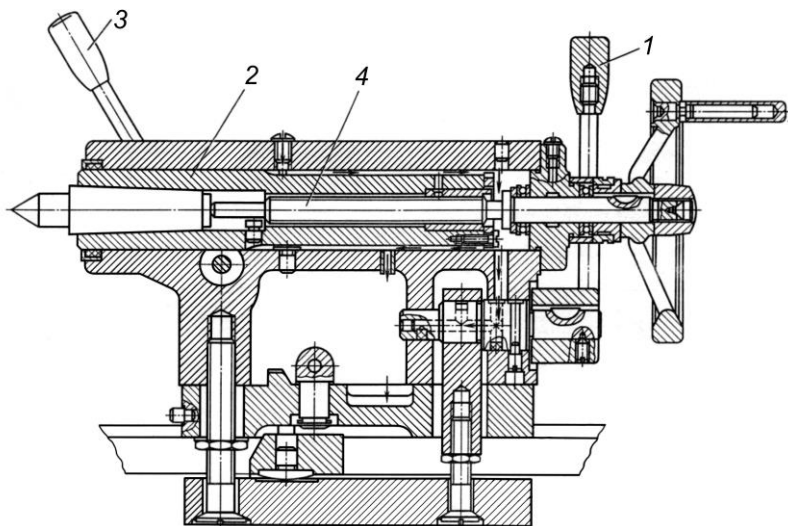


Рис. 14. Задняя бабка

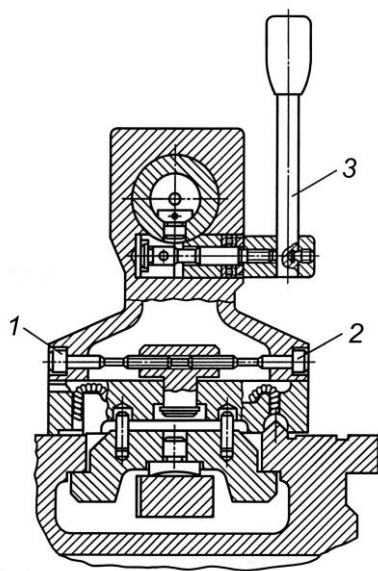


Рис. 15. Устройство поперечного перемещения задней бабки

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какие схемы закрепления заготовки предусмотрены на станке?
2. Какое дополнительное приспособление необходимо для обработки заготовки в центрах?
3. Назовите рабочие органы станка.
4. Для чего служит винт поперечного смещения задней бабки?
5. Сколько электродвигателей у станка и для чего они используются?
6. Для чего служит дополнительная электромагнитная муфта АКП и для чего она используется?
7. Во сколько раз можно увеличить шаг нарезаемых резьб?
8. Какие шестерни используются в коробке передач при нарезании модульных и питчевых резьб?
9. Какое число заходов можно обеспечить при нарезании многозаходных резьб?
10. Чему равно максимальное усилие, воспринимаемое фартуком суппорта?
11. Как регулируется усилие отключения фартука суппорта?
12. Каким образом производится фиксация резцедержателя в требуемом положении?
13. Как обеспечивается фиксация задней бабки в продольном направлении?
14. Как обеспечивается фиксация пиноли задней бабки?
15. Как производится поперечное смещение пиноли задней бабки и для чего оно нужно?
16. Каким образом обеспечивается нарезание левых резьб?
17. Составьте кинематическое уравнение цепи для нарезания метрических и дюймовых резьб.
18. Составьте кинематическое уравнение цепи для нарезания модульных и питчевых резьб.
19. Составьте кинематическое уравнение цепи для нарезания точных резьб.

**Лабораторная работа №3**  
**ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И КИНЕМАТИКИ**  
**ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА 6Т82Г-1**  
**И УНИВЕРСАЛЬНОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ**

***Цель работы:***

- изучить назначение, принцип действия, основные части, узлы, рабочие органы и органы управления, кинематику и механизмы фрезерного станка 6Т82Г-1, универсальную делительную головку (УДГ);
- методы деления; наладку станка и УДГ на нарезание зубчатых колёс и другие виды работ.

***ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ***

1. Ознакомиться с основными частями станка, рабочими органами и органами управления.
2. Детально изучить конструкцию, кинематику и механизмы станка.
3. Изучить устройство УДГ и методы её наладки на различные способы деления и виды работ.
4. Выполнить расчёты, связанные с настройкой станка и УДГ, по групповому заданию преподавателя.
5. После проверки расчётов преподавателем или учебным мастером произвести наладку станка и УДГ и нарезать зубчатое колесо.
6. Произвести уборку станка.
7. Выполнить индивидуальные задания.
8. Составить отчёт по работе.

# 1. НАЗНАЧЕНИЕ, ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ, УЗЛЫ И РАБОЧИЕ ОРГАНЫ СТАНКА

Горизонтальный консульно-фрезерный станок 6Т82Г-1 предназначен для обработки вертикальных и горизонтальных плоскостей, пазов, углов, уступов, фасонных поверхностей, прямых канавок, впадин шлицевых валиков, а также цилиндрических и конических зубчатых колёс с прямым зубом. Возможность настройки станка на различные полуавтоматические и автоматические циклы позволяет организовать многостаночное обслуживание, успешно использовать станки для выполнения различных работ в поточном производстве. В качестве инструмента применяются цилиндрические, торцовые, дисковые, фасонные, концевые и шпоночные фрезы (рис. 1).

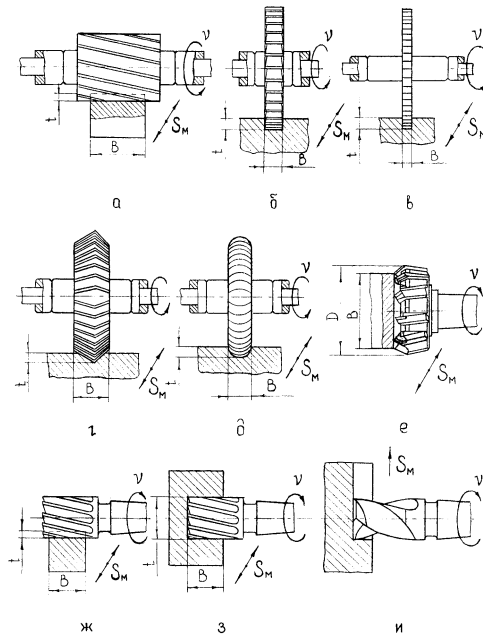


Рис. 1. Основные виды фрезерования:

а – цилиндрическое; б, в – дисковое; z, д – фасонное; с – торцовое;

ж, з, и – концевое

Станок состоит из основания *A* (рис. 2) и станины коробчатой формы *B*, которые отлиты из чугуна. В полости основания находится резервуар для смазывающе-охлаждающей жидкости. В боковых нишах нижней части станины размещается электрооборудование, в средней – коробка скоростей и селективный механизм управления ею, в верхней – горизонтальный шпиндель *B* на опорах качения, приводимый во вращение от электродвигателя *E*. Шпиндель станка оснащён комплектом устройства для электромеханического зажима инструмента.

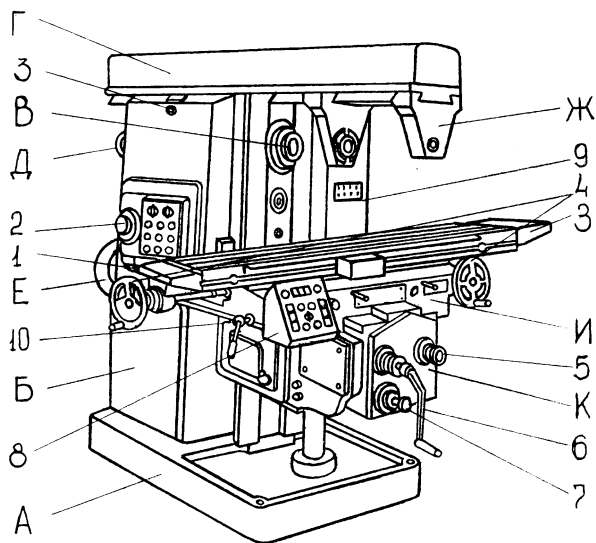


Рис. 2. Общий вид горизонтального консольно-фрезерного станка 6Т82Г-1.

Органы управления:

1,2 – рукоятки включения частоты вращения шпинделя; 3 – квадрат для перемещения балки; 4 – маховики ручного продольного перемещения стола; 5 – квадрат для ручного перемещения салазок; 6 – рукоятка вертикального перемещения консоли; 7 – рукоятка переключения селективного механизма коробки подач; 8 – пульт управления; 9 – электрошкаф управления; 10 – рукоятка зажима салазок



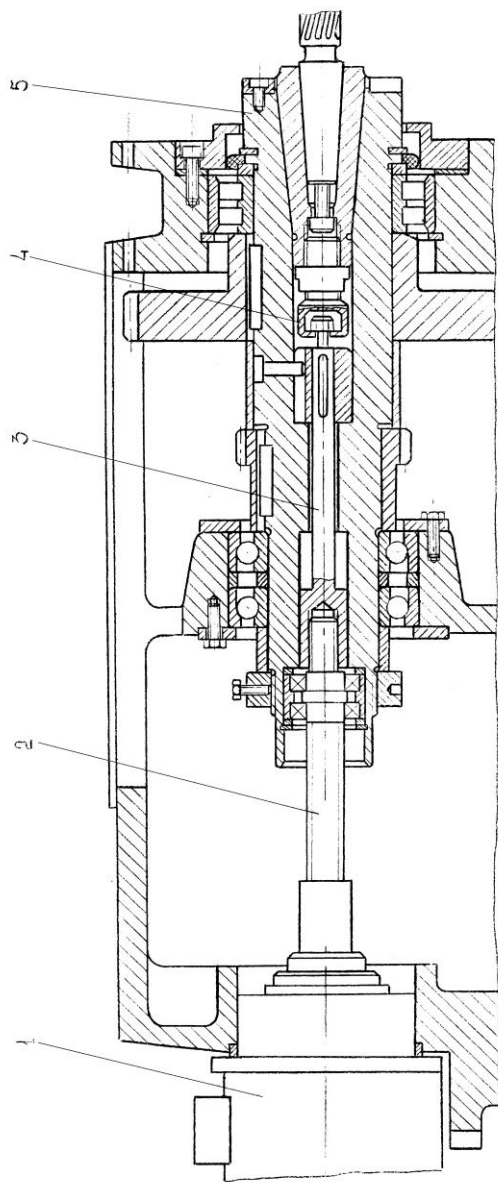


Рис. 3. Устройство электромеханического зажима инструмента

Затяжка и выталкивание инструмента производится с помощью перемещающейся тяги 3 (рис. 3), расположенной внутри шпинделя 5. Возвратно-поступательное перемещение тяги 3 обеспечивается резьбовым соединением её со шлицевым валиком 2, получающим вращательное движение от головки электромеханического зажима инструмента 1, оснащённого электродвигателем  $D$  мощностью 0,18 кВт (см. рис. 2). На конце тяги 3 имеется Т-образная головка, которая соединяется с Т-образным пазом захвата 4, ввернутого в оправку с фрезой. Захват 4 (рис.4) должен быть установлен таким образом, чтобы Т-образный паз захвата был перпендикулярен ведущим пазам оправки 2 и при этом выдержан размер  $43 \pm 1$  мм.

Сверху на станине (см. рис. 2) расположена передвижная балка  $\Gamma$ , на которой устанавливается серьга  $\mathcal{Ж}$  с подшипником для дополнительной опоры оправки с инструментом.

В зависимости от длины оправки серьга устанавливается ручным перемещением по направляющим балки и закрепляется стяжным болтом с гайкой.

К передней части станины крепится консоль  $K$ , которая может по направляющим перемещаться вверх и вниз. В консоли размещаются привод подачи с коробкой скоростей, механизм замедления подачи

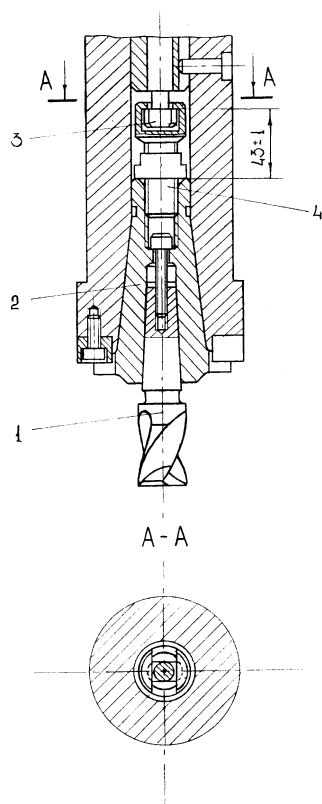


Рис. 4. Установка фрезы и захвата на оправке:  
1 – фреза; 2 – оправка;  
3 – тяга; 4 – захват

и механизм управления. По консоли в поперечном направлении перемещаются салазки *И*, на которых размещён стол *З*, перемещающийся в продольном направлении. На столе устанавливаются приспособления для крепления детали или универсальная делительная головка и задняя бабка. Крепление приспособлений осуществляется прихватами, располагаемыми в Т-образных пазах стола. Корпусные детали могут крепиться непосредственно на столе.

К рабочим органам станка относятся шпиндель, обеспечивающий главное вращательное движение инструмента с частотой *n* (об/мин) и скоростью *v* (м/с) и перемещающийся по трём координатным осям с заданной скоростью подачи *S<sub>м</sub>* (мм/мин) стол с закреплённой на нем заготовкой. Частота вращения инструмента и скорость движения стола определяются по следующим формулам:

$$n = \frac{1000 \cdot v \cdot 60}{\pi \cdot d_{\phi}},$$

где *d<sub>φ</sub>* – диаметр фрезы, мм; *v* – скорость резания, м/с;

$$S_{\text{м}} = S_z \cdot Z_{\phi} \cdot n,$$

где *S<sub>z</sub>* – подача на зуб фрезы, мм/зуб; *Z<sub>φ</sub>* – число зубьев фрезы.

### Техническая характеристика станка

Размеры стола, мм .....	1250x320
Наибольшее перемещение стола в продольном поперечном и вертикальном направлениях, мм .....	800, 320, 420
Число ступеней оборотов шпинделя 18 (в пределах от 31,5 до 1600 об/мин)	
Мощность главного электродвигателя, кВт .....	7,5
Мощность электродвигателя привода подач, кВт .....	2,2
Число ступеней продольных, поперечных и вертикальных подач стола .....	22

Пределы подач, мм/мин:

продольных и поперечных .....	12,5...1600
вертикальных .....	4,1...530

Скорость быстрых перемещений стола, мм/мин:

продольного, поперечного.....	4000
вертикального .....	1330

## 2. МЕХАНИЗМ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ

Привод главного движения (рис. 5) осуществляется от фланцевого электродвигателя *М1* через упругую муфту и коробку скоростей с двумя тройными скользящими блоками зубчатых колёс *Б1*, *Б2* и одним двойным *Б3*. Переключение блоков осуществляется механизмом селективного управления с помощью рукояток *1* и *2* (см. рис. 2). Для установления требуемой частоты вращения шпинделя рукоятку *1* отжимают вниз, выводя из фиксирующего паза, и отводят от станины. Этим селективный механизм подготавливается к переключению. Затем вращением рукоятки с лимбом *2* устанавливают заданную частоту вращения против указателя и поворотом рукоятки *1* к станине осуществляют переключение.

Кинематическое уравнение привода главного движения в общем виде

$$n_{1-18} = 1455 \cdot \frac{27}{53} \cdot \frac{19}{35} \cdot \left. \begin{array}{l} \frac{22}{32} \left. \frac{38}{26} \right\} \frac{82}{38} \\ \frac{27}{37} \left. \frac{38}{19} \right\} \\ \frac{16}{38} \left. \frac{17}{46} \right\} \frac{69}{19} \end{array} \right\} = 31,5...1600 (\text{об/мин}).$$

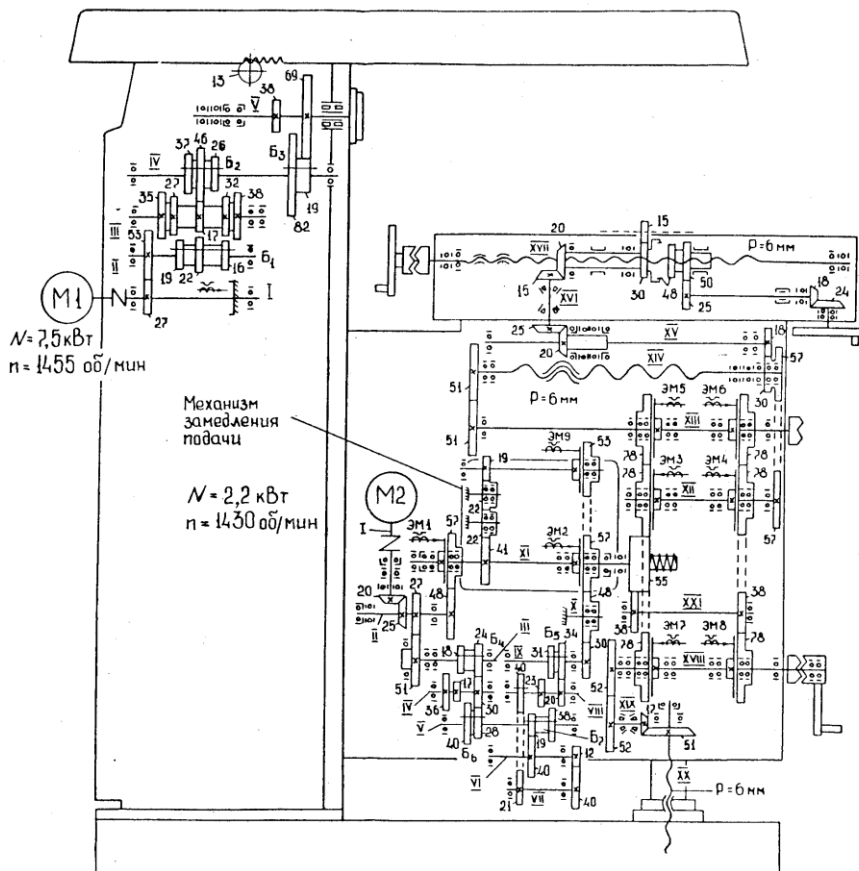


Рис. 5. Кинематическая схема станка 6Т82Г-1

Карта частот оборотов коробки скоростей показана на рис. 6. Обороты на шпинделе изменяются по геометрическому ряду со стандартным знаменателем  $\varphi = 1,26$ . Диапазон регулирования  $D = n_{\max} / n_{\min} = 50$ .

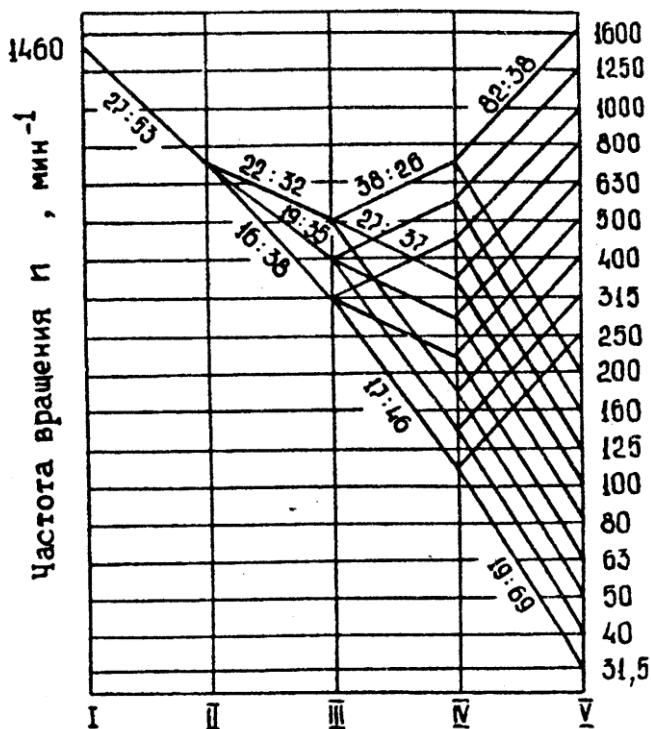


Рис. 6. Картина частот оборотов коробки скоростей привода шпинделя

### 3. МЕХАНИЗМ ПОДАЧ

Стол с закреплённой на нём обрабатываемой заготовкой получает поступательное движение подачи в продольном, поперечном и вертикальном направлениях от электродвигателя  $M2$  через коробку подач, смонтированную в консоли, и через соответствующие винтовые пары (см. рис. 5). Коробка подач посредством четырёх скользящих двухвенцовых зубчатых блоков  $B_4, B_5, B_6, B_7$  и расположенного на валу VIII подвижного зубчатого колеса с  $Z = 40$ , включающего и выключающего перебор  $19/40 \cdot 12/40 \cdot 21/40$ , обеспечивает получение 22 различных подач.

Кинематическое уравнение цепи продольных подач имеет вид

$$S_{np} = 1430 \cdot \underbrace{\left. \begin{array}{l} \frac{20}{25} \cdot \frac{27}{51} \cdot \frac{24}{30} \left\{ \frac{30}{28} \left\{ \frac{38}{20} \right\} \frac{19}{40} \cdot \frac{12}{40} \cdot \frac{21}{40} \right\} \frac{23}{31} \cdot \frac{30}{48} \cdot \frac{48}{57} \cdot \frac{55}{78} \cdot \frac{ЭМ3}{ЭМ2} \\ \frac{18}{36} \left\{ \frac{17}{40} \left\{ \frac{19}{40} \right\} \right\} \frac{20}{34} \cdot \frac{55}{38} \cdot \frac{38}{78} \cdot \frac{ЭМ4}{\text{реверс}} \end{array} \right\} A$$

$$\frac{57}{57} \cdot \frac{30}{18} \cdot \frac{20}{25} \cdot \frac{15}{20} \cdot 6 = 12,5 \dots 1600 \text{ мм/мин.}$$

Карта продольных подач показана на рис. 7

Поперечные подачи включаются электромагнитными муфтами ЭМ5 и ЭМ6 (реверс, см. рис. 5). Кинематическое уравнение цепи поперечных подач можно записать:

$$S_{non} = A \cdot \frac{48}{57} \cdot \frac{ЭМ2}{ЭМ5} \cdot \frac{55}{78} \cdot \frac{78}{78} \cdot \frac{ЭМ5}{ЭМ6} \cdot \frac{55}{38} \cdot \frac{38}{76} \cdot \frac{78}{78} \cdot \frac{ЭМ6}{\text{реверс}} \cdot \frac{51}{51} \cdot 6 = 12,5 \dots 1600 \text{ мм/мин.}$$

Движение салазкам передаётся поперечным ходовым винтом с теми же значениями подач, что и при продольном фрезеровании (передаточное отношение цепи не изменяется).

Вертикальные подачи включаются электромагнитными муфтами ЭМ7 и ЭМ8 (реверс) с передачей движения через вертикальный винт привода консоли станка. Величина вертикальных подач составляет  $\approx 1/3$  от продольных. Кинематическое уравнение цепи вертикальных подач имеет следующий вид:

$$S_{\text{верт}} \cdot A \cdot \frac{48}{57} \cdot \text{ЭМ2} \cdot \underbrace{\frac{55}{38} \cdot \frac{38}{78} \cdot \text{ЭМ8}}_{\text{реверс}} \cdot \frac{55}{78} \cdot \text{ЭМ7} \left\{ \frac{52}{52} \cdot \frac{17}{51} \cdot 6 = 4,1 \dots 530 \text{ мм/мин.} \right.$$

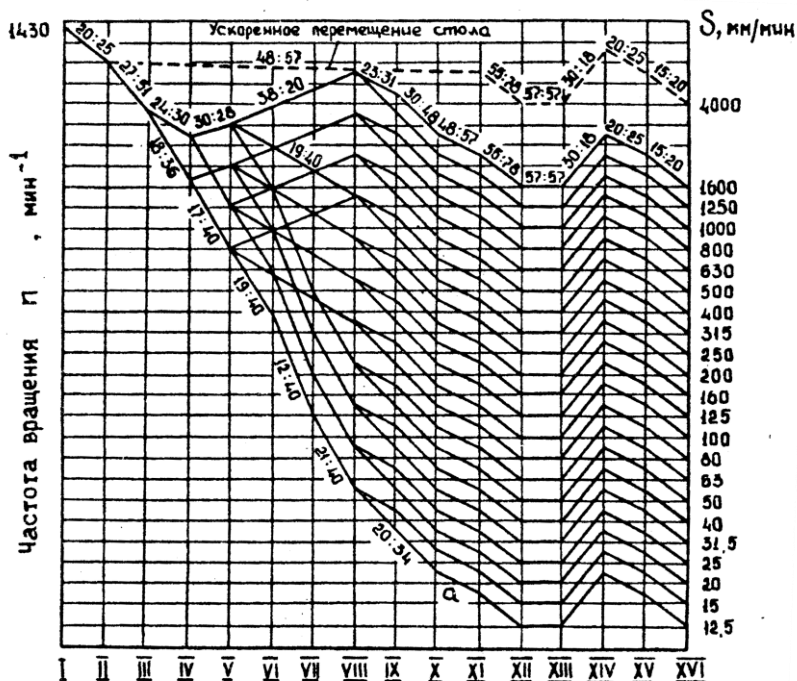


Рис. 7. Карта продольных подач

Включение 22 рабочих подач, первые восемь из которых получаются при включенном переборе, а четырнадцать остальных (ускоренных) при выключенном, осуществляется электромагнитной муф-



той ЭМ2. Переключение подач осуществляется одной рукояткой с лимбом 7 (см. рис. 2) с помощью селективного механизма. Для этого необходимо нажать кнопку 10 (рис. 8) и вытянуть грибок 9 на себя до отказа, затем повернуть его вокруг оси до установки по лимбу 8 требуемой величины подачи против стрелки указателя 7. Программа переключения блоков зубчатых колёс задана комбинацией отверстий в двух дисках 2 и 5, расположенных на валу 4. Вытягивание грибка 9, связанного с валом 6, приводит к раздвижению дисков 2 и 5 в противоположные стороны и расфиксации их с коробкой подач при помощи рейки 1 и шестерни 2. Поворот грибка 9 приводит к повороту дисков 2 и 5, которые, воздействуя на торцы штанг 3, перемещают их и связанные с ними блоки переключаемых шестерён в осевом направлении. Заданное направление перемещения штанг (вправо-влево) обеспечивается наличием в дисках отверстий, расположенных против соответствующих торцов штанг.

Механизм подачи при рабочих ходах предохраняется от перегрузки шариковой муфтой, смонтированной в ступице широкого колеса с  $Z = 55$  и установленной на валу XI коробки подач.

Кроме рабочих подач столу могут сообщаться замедленные подачи, пропорционально сниженные по сравнению с рабочим в два раза и предназначенные для врезания и выхода инструмента, что позволяет значительно повысить его стойкость. Замедленные перемещения осуществляются с помощью понижающего редуктора (см. рис. 5), в который входят: приёмное зубчатое колесо 53, промежуточные 19, 22, 22 и выходное 41. Передачу движения на вход механизма замедления подачи (понижающего редуктора) осуществляет зубчатое колесо 57, которое при выключенной электромагнитной муфте ЭМ2 свободно вращается на валу XI. При включенной электромагнитной муфте ЭМ9 движение с редуктора передаётся на зубчатое колесо 41, жёстко связанное с валом XI. Передаточное отношение понижающего редуктора:

$$i_{ред} = \frac{57}{53} \cdot \frac{19}{22} \cdot \frac{22}{22} \cdot \frac{22}{41} \cong \frac{1}{2}.$$

Так, например, кинематическое уравнение цепи для замедленных продольных подач имеет вид

$$S_{пр.замед} = A \cdot \frac{48}{57} \cdot \frac{57}{53} \cdot \underbrace{\text{ЭМ9} \cdot \frac{19}{22} \cdot \frac{22}{22} \cdot \frac{22}{41}}_{\substack{\text{механизм} \\ \text{замедления} \\ \text{подачи}}} \cdot \underbrace{\frac{55}{38} \cdot \frac{38}{78}}_{\text{реверс}} \cdot \frac{55}{78} \cdot \text{ЭМ3} \left\{ \frac{57}{57} \cdot \frac{30}{18} \cdot \frac{20}{25} \cdot \frac{15}{20} \cdot 6 = \right.$$

$$= 6,2 \dots 800 \text{ мм/мин.}$$

Ускоренные (быстрые) перемещения стола во всех направлениях осуществляются от двигателя подачи по укороченной кинематической цепи. Включение ускоренного перемещения осуществляется нажатием на кнопку «Быстро». При этом включается электромагнитная муфта ЭМ1, связывающая колесо 57 с валом XI, одновременно выключаются электромагнитные муфты ЭМ2 и ЭМ9, отключающие коробку подач и механизм замедления подачи. Например, быстрое перемещение стола в продольном направлении происходит по следующей кинематической цепи:

$$S_{пр.б} = 1430 \cdot \frac{20}{25} \cdot \frac{48}{57} \cdot \text{ЭМ1} \frac{55}{78} \cdot \text{ЭМ3} \frac{57}{57} \cdot \frac{30}{18} \cdot \frac{20}{25} \cdot \frac{15}{20} \cdot 6 = 4000 \text{ мм/мин.}$$

Направление движения стола на быстром ходу совпадает с направлением включения рабочей подачи.

Реверсирование быстрых подач осуществляется переключением тех же электромагнитных муфт, что и для рабочих подач.

#### 4. УСТРОЙСТВО И НАЛАДКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ

Универсальные делительные головки (УДГ) предназначены для различных фрезерных, зубофрезерных, расточных, сверлильных,

разметочных и других работ, связанных с поворотом детали на заданную величину.

На фрезерных станках УДГ предназначены для выполнения следующих операций:

- периодического поворота заготовки вокруг оси на определённые углы – деления (фрезерование впадин зубчатых колёс, канавок фрез, зенкеров, пазов, шлиц, граней и т.д.);
- непрерывного вращения заготовки при нарезании спиральных канавок (свёрл, зенкеров, винтовых зубьев);
- установки оси обрабатываемой заготовки под требуемым углом относительно стола станка (при нарезании конических зубчатых колёс, зенкеров и т.д.).

Основные части и кинематика приведены на рис. 9, а. Делительная головка устанавливается и закрепляется болтами на столе станка. Заготовка закрепляется в трёхкулачковом патроне, установленном на передней части шпинделя 8 или в центрах 3 с приводом от поводкового патрона.

*Головка позволяет производить деление тремя методами.*

1. Непосредственное деление применяется при делении окружности на число, кратное 24, т.е. на 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, и осуществляется по лимбу 4 с помощью фиксатора 6. Для этого однозаходный червяк выводится из зацепления с червячным колесом 40 путём поворота эксцентрика 5, и освобождается от зацепления фиксатор лимба непосредственного деления 6. После чего шпиндель 8 раскрепляется рукояткой 7 и поворачивается за счёт вращения от руки патрона или лимба непосредственного деления 4. Отсчёт требуемого угла поворота производится по лимбу. Фиксатор 6 вновь вводится в зацепление, а шпиндель 8 закрепляется в новом положении рукояткой 7.

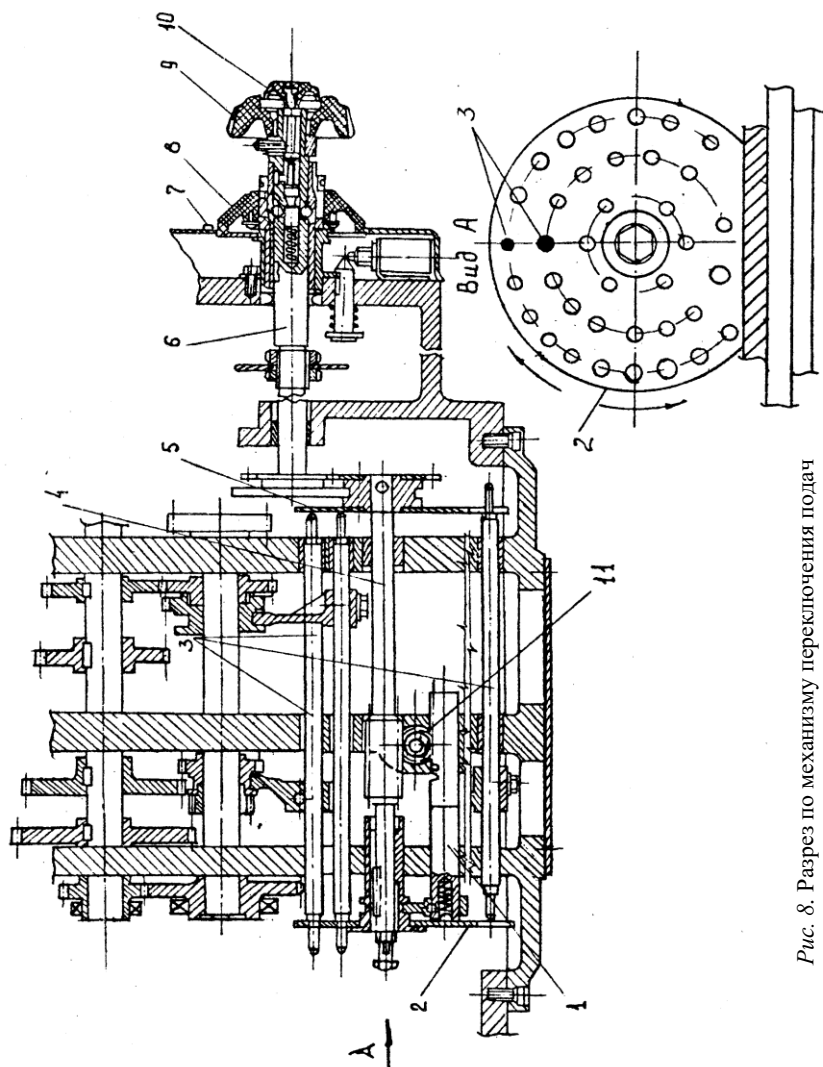


Рис. 8. Разрез по механизму переключения передач

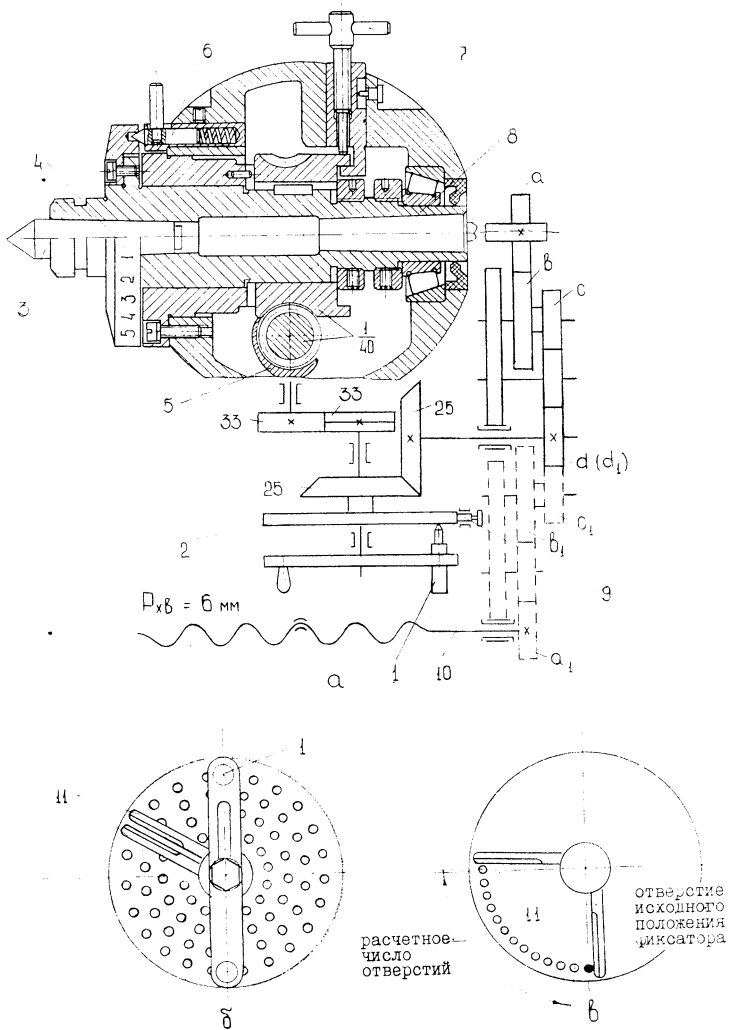


Рис. 9. Основные части и кинематика УДГ (а), диск деления (б),  
 схема настройки поворотных линеек (в)

2. Простое деление осуществляется при зацеплённой червячной паре и производится вращением рукоятки  $I$  с фиксатором (рис. 9,  $a$ ) с передачей движения через шестерни 33/33 и червячную пару 1/40 к шпинделю 8.

Угол поворота рукоятки  $I$  отсчитывается по отверстиям, которые расположены на концентрических окружностях делительного диска 2. На каждом торце диска (рис. 9,  $b$ ) имеется по 8 рядов отверстий со значениями: 16, 17, 19, 21, 23, 29, 30, 31 – на одном торце и 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49, 54 – на другом. Если  $Z$  – число делений, на которое необходимо разделить заготовку, а  $n$  – число оборотов рукоятки, соответствующее повороту заготовки (шпинделя) на  $1/z$ , то можно записать кинематическое уравнение

$$\frac{33}{33} \cdot \frac{1}{40} = \frac{1}{Z}, \text{ из которого вытекает } n = \frac{40}{Z}.$$

Число 40 называется характеристикой делительной головки. Число оборотов  $n$  может быть целым или дробным. Для поворота на дробную часть числа  $n$  эту величину приводят к такому виду, чтобы знаменатель был равен числу отверстий на одной из окружностей диска, против которой и устанавливается фиксатор поворотной рукоятки. При этом значение числителя будет соответствовать числу отверстий, на которое нужно повернуть рукоятку. Для того чтобы каждый раз при делении не производить отсчёт отверстий, пользуются поворотными линейками II (рис. 9,  $b$ ), которые раздвигаются на угол, охватывающий нужное число отверстий.

**Пример.** Пусть требуется нарезать зубчатое колесо с  $Z=18$ .

Определить число оборотов рукоятки:

$$n = \frac{40}{18} = 2\frac{2}{9} = 2\frac{12}{54}.$$

Число  $2\frac{12}{54}$  показывает, что после фрезерования каждый впадины рукоятку необходимо повернуть на два полных оборота и двена-

дцать отверстий на окружности с числом 54. При этом число отверстий между линейками II должно быть на единицу больше числа, полученного при подсчёте для исходного положения фиксатора (рис. 9, в).

3. Сложное деление применяется, когда простое деление невозможно, например для  $Z = 61, 63, 87$  и т.д. При сложном методе деления требуемый угол поворота заготовки получается в результате вращения рукоятки I относительно делительного диска и самого диска, которому шпиндель 8 сообщает вращение через сменные зубчатые  $a, b, c, d$  и конические колёса  $22/25$ . При этом стопорная защёлка 9 диска отведена. Число оборотов рукоятки определяется:

$$n = n_1 + n_2, \quad (1)$$

где  $n = \frac{40}{z}$  – общее число оборотов рукоятки относительно корпуса головки, соответствующее повороту шпинделя и детали на  $1/z$  её оборота;

$n_1 = \frac{40}{z_1}$  – число оборотов рукоятки относительно диска, полученное как бы при делении простым методом на производственное число зубьев  $Z_1$ , которое выбрано близким к  $Z$ ;

$n_2 = \frac{1}{z}i$  – число оборотов делительного диска, соответствующее повороту детали на  $1/z$  её оборота;

$i = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{25}{25}$  – передаточное отношение от шпинделя к делительному диску, равное передаточному отношению сменных зубчатых колёс гитары ( $i_{cm}$ ).

Подставив приведенные значения  $n_1$  и  $n_2$  в выражение (1), получим

$$\frac{40}{z} = \frac{40}{z_1} + i_{cm} \frac{1}{z}. \quad (2)$$

Из выражения (2) получим настроечное уравнение гитары

$$i_{cm} = \frac{40}{z_1} (z_1 - z). \quad (3)$$

Для получения необходимого  $i_{cm}$  к головке прикладываются зубчатые колёса: 25, 30, 35, 40, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100.

Если  $Z_l > Z$ , то направление вращения делительного диска должно совпадать с направлением вращения рукоятки. Если  $Z_l < Z$ , то  $i_{cm}$  отрицательное, т.е. направление вращения делительного диска должно быть противоположным направлению вращения рукоятки. В этом случае в гитару необходимо вставить дополнительное паразитное колесо. Отсчёт числа отверстий по диску при сложном делении производится так же, как и при простом на приведенное число  $Z_l$ .

Фрезерование винтовых канавок осуществляется на универсальных и широкоуниверсальных фрезерных станках, у которых плоскость вращения фрезы за счёт поворота стола (универсальные) или фрезерной головки (широкоуниверсальные) можно установить вдоль канавки, под углом  $\beta$  к оси детали (рис. 10). Причём фрезерование производится при продольном перемещении стола фрезерного станка и одновременном непрерывном вращении шпинделя делительной головки с закреплённой на нём заготовкой, которое осуществляется от винта продольной подачи станка по следующей кинематической цепи:

$$\frac{P_{ec}}{P_{xg}} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{1}{40} = 1_{об.заг},$$

где  $P_{xg} = 6$  – шаг ходового винта, мм;

$P_{ec} = \pi d / \operatorname{tg} \beta$  – шаг винтовой спирали детали, мм;

$d$  – диаметр заготовки, соответствующий углу наклона спирали  $\beta$ .



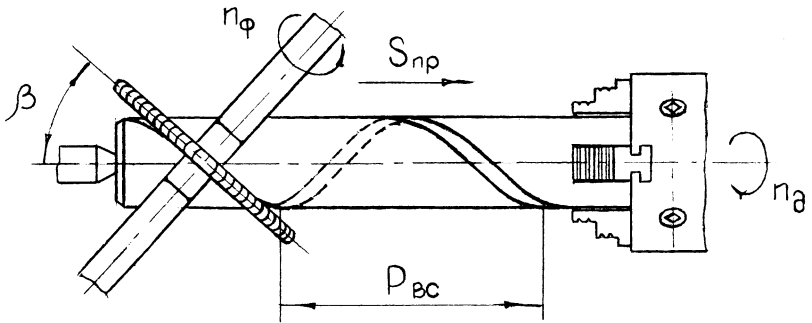


Рис. 10. Схема фрезерования винтовой канавки

Для согласованного вращения детали с продольным перемещением стола на приклоне УДГ устанавливается гитара с набором сменных зубчатых колёс  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$ ,  $d_1$ , которые передают вращение от ходового винта 10 станка шпинделя 8 УДГ (см. рис. 9, а).

Из выражения (4) получаем настроечное уравнение

$$\frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{40P_{xв}}{P_{вс}} \quad \text{или} \quad \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{240}{P_{вс}}. \quad (5)$$

При нарезании делительный диск отсоединяется от корпуса и через фиксатор рукоятки передаёт движение валу. При нарезании винтовых зубчатых колёс и многозаходных спиралей деление осуществляется только простым методом.

Фрезерование зубьев конических колёс: шпиндель делительной головки вместе с заготовкой поворачивается в вертикальной плоскости (рис. 11) на угол

$$\varphi = \delta - \gamma,$$

где  $\delta$  – половина угла делительного конуса конического колеса, град;  
 $\gamma$  – угол ножки зуба, град.

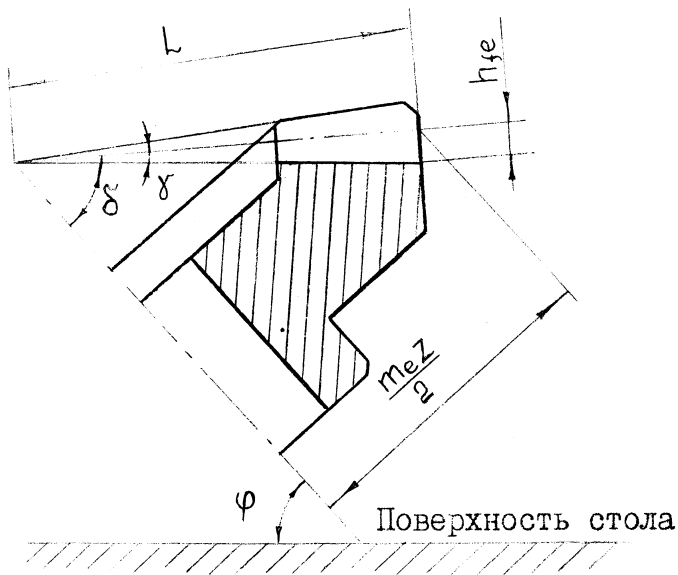


Рис. 11. Схема установки заготовки конического колеса при фрезеровании впадин зуба

Угол ножки зуба рассчитывается по формуле

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{h_{fe}}{L} = \frac{2,5 \sin \delta}{z},$$

где  $h_{fe} = 1,25m_e$  – высота ножки зуба, мм;

$m_e$  – модуль колеса, мм;

$L = \frac{m_e z}{2 \sin \delta}$  – длина образующей делительного конуса, мм.

## **5. НАЛАДКА СТАНКА 6Т82Г-1 И УДГ НА НАРЕЗАНИЕ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА**

Для наладки станка и УДГ задаются основные параметры зубчатого колеса ( $m, z, d_{заг.}, v_{заг.}$ ), модульной фрезы ( $d_f, z_f$ ) и режим обработки ( $v, S_z, t$ ). По этим данным рассчитываются и подбираются по станку частота оборотов шпинделя и минутная подача стола, определяется метод деления и производятся необходимые расчёты, настраиваются станок и УДГ. Для установленного режима обработки составляются кинематические уравнения цепей главного движения и подач. При этом используются плакат кинематической схемы, картины частот оборотов и подач.

При нарезании цилиндрических и конических колёс с прямым зубом, фрезеровании шлиц и прямолинейных канавок фреза устанавливается на оправке, а заготовка – в центрах делительной головки и задней бабки с осью, параллельной продольному ходу стола. Производится нарезание зуба и определяется машинное время обработки, которое сопоставляется с расчётом.

Отчёт по работе оформляется на специальном бланке в соответствии с поставленными вопросами, групповым и индивидуальным заданиями.

### ***КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ***

1. Перечислить основные части станка.
2. Перечислить рабочие органы станка.
3. Перечислить виды работ, выполняемых на станке.
4. Как осуществляется крепление детали на столе станка?
5. Как определяется количество вариантов передач в кинематической схеме?
6. Каким образом устанавливается требуемая частота вращения основного шпинделя?

7. Написать кинематическое уравнение цепи ускоренных вертикальных перемещений стола.
8. В чём преимущества селективного механизма?
9. Как установить необходимую подачу на станке?
10. Назначение универсальной делительной головки (УДГ).
11. Как осуществляется простое деление на УДГ?
12. Как осуществляется непосредственное деление на УДГ?
13. Как осуществляется сложное деление на УДГ?

**Лабораторная работа №4**  
**ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И КИНЕМАТИКИ**  
**ЗУБОДОЛБЁЖНОГО ПОЛУАВТОМАТА 5122.**  
**НАЛАДКА СТАНКА НА НАРЕЗАНИЕ**  
**ПРЯМОЗУБОГО КОЛЕСА**

*Цель работы:* изучить принцип нарезания зубчатых колёс по методу обкатки зуборезными долбяками, рабочие органы, основные части, конструктивные узлы и элементы, кинематику и гидравлику зубодолбёжного полуавтомата 5122, его наладку на нарезание прямозубых колёс; ознакомиться с приводными устройствами и органами управления.

***ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ***

1. Ознакомиться с принципом работы, основными частями, рабочими органами и движениями, органами управления.
2. Детально изучить конструкцию, кинематику и механизм станка.
3. Выполнить расчёты, связанные с настройкой станка (по заданию преподавателя), и произвести его наладку.
4. После проверки наладки станка под руководством преподавателя или учебного мастера произвести нарезание зубчатого колеса.
5. Предъявить преподавателю нарезанное колесо и результаты его обмера.
6. Произвести уборку станка.
7. Составить отчёт по работе.

## 1. НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП РАБОТЫ ЗУБОДОЛБЁЖНОГО ПОЛУАВТОМАТА

Зубодолбёжный полуавтомат 5122 предназначен для черного и чистового нарезания цилиндрических прямозубых колёс наружного и внутреннего зацепления. Нарезание производится зуборезным долбяком по методу обкатки. Профиль зуба колеса получается, как огибающая семейства кривых зуба долбяка в относительном обкаточном движении.

Чем больше число резов при обкатке впадины колеса, тем выше точность и ниже шероховатость профиля зуба.

Рабочий цикл станка автоматизирован в пределах изготовления одного колеса. Обработка может производиться в один, два или три прохода с автоматическим переключением режимов резания между проходами.

## 2. СХЕМА ЗУБОДОЛБЛЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ДВИЖЕНИЯ

На рис. 1 показаны основные движения при зубодолблении:

1. Возвратно-поступательное (главное) вертикальное движение долбяка с заданной скоростью резания  $v$ , м/с. Перемещение долбяка вниз – рабочий ход, вверх – холостой. Число двойных ходов долбяка в минуту подсчитывается по формуле

$$n = \frac{1000 \cdot 60 \cdot v}{2 \cdot l}, \quad (1)$$

где  $v$  – скорость, м/с;

$l = b + 2a$ , мм;

$b$  – ширина зуба колеса, мм;

$a$  – величина подвода и перебега инструмента, мм.

Значение  $a = 1 \dots 4$  мм для  $b = 10 \dots 50$  мм.

2. Вращение долбяка, обеспечивающее круговую подачу  $S_{кр}$ , мм дуги по делительной окружности при повороте долбяка за один

двойной ход. С уменьшением круговой подачи увеличивается число резов во впадине зуба колеса, повышается точность, снижается шероховатость.

3. Вращательное движение заготовки, строго согласованное с вращением долбяка из условия обкатки (зацепления):

$$\frac{n_z}{n_d} = \frac{z_d}{z_z} \text{ или } \frac{1}{z_d} \cdot i = \frac{1}{z_z}, \quad (2)$$

где  $z_d$  – число зубьев долбяка;

$z_z$  – число зубьев нарезаемого колеса;

$i$  – передаточное отношение кинематической цепи вращения от долбяка к заготовке.

4. Движение радиальной подачи заготовки для обеспечения постепенного врезания долбяка на заданную глубину. Радиальная подача  $S_p$  задаётся в мм/дв.ход. и составляет  $(0,1 \dots 0,2) S_{кр}$ .

5. Радиальный отвод долбяка от заготовки в нижнем его положении за счёт качательного движения штосселя для образования зазора, что позволяет устранить трение между поверхностью нарезаемого зуба и режущей кромки (задней поверхностью) инструмента при его обратном (холостом) ходе. Перед рабочим ходом долбяк снова занимает исходное положение.

### **Техническая характеристика станка**

Наибольший диаметр делительной окружности и ширина нарезаемого зубчатого колеса, мм .....	200 и 50
Наибольший модуль, мм .....	5
Номинальный диаметр делительной окружности долбяка, мм .....	100
Отверстие шпинделя с конусом Морзе .....	5
Класс точности полуавтомата по ГОСТ 8-82.....	Н
Габаритные размеры: $L \times B \times H$ , мм .....	2000×1450×1965
Масса, кг .....	4400

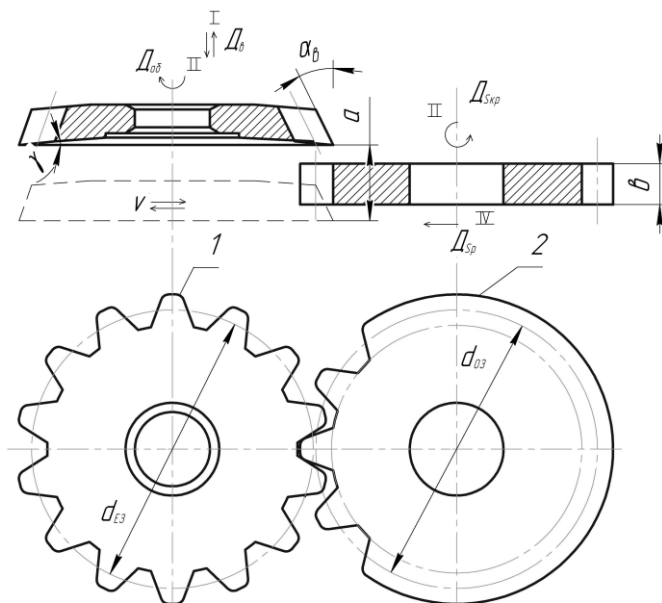


Рис. 1. Схема зубодолбления и основные движения

### 3. ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ И ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ СТАНКОМ

Станина *A* полуавтомата имеет коробчатую форму. Внутри станины расположены резервуары для смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ) и масла гидросистемы, ёмкость для стружки, электродвигатель ускоренного вращения стола, насос охлаждения. В станине может быть смонтирован транспортёр стружки с двигателем и редуктором (рис. 2).

Станина имеет плоские направляющие, по которым с помощью гидропривода перемещается *стол В*. Зазоры в направляющих стола и в подшипниках регулируются клиньями и промежуточными кольцами. В столе находятся шпиндель изделия (заготовки), вращающийся с помощью червячной пары (см. рис. 3). Червяк установлен в



корпусе стола на высокоточных подшипниках качения. Червячное кольцо вместе со шпинделем установлено в подшипниках скольжения. Снизу шпинделя стола может быть закреплён гидропатрон для зажима изделия (по спецзаказу).

*Средняя часть Б* является промежуточным звеном между станиной и стойкой. В ней размещаются механизм гидропривода подачи стола (см. рис. 2, 3) и вал XVII привода колеса вращения стола от шестерни *d* гитары деления.

*Стойка Г или верхняя станина.* В ней размещаются главный двухскоростной электродвигатель со ступенчатыми сменными шкивами механизма главного движения (см. рис. 2, 3), суппорт *Ж*, подвешенный на подвижных кронштейнах, приводной вал II с кривошипно-кулисным механизмом качания штосселя с долбяком *Д*. Снизу и сзади стойки на кронштейне смонтирован приклон гитары деления 23. Спереди и справа на стойке располагается пульт управления 15. Обозначение переключателей и кнопок приведено на рис. 4.

*Коробка круговых подач Е* размещается сверху стойки. В ней находятся механизмы привода вращательного движения долбяка и гитара круговых подач, механизм реверса долбяка, гидравлический механизм вывода штосселя в верхнее положение, тормозной электромагнитный механизм главного привода.

*Заготовка З.*

*Электрошкаф И* (см. рис. 2). В нем размещена вся электроаппаратура по питанию электродвигателей и управлению станком.

*Гидростанция К* выполнена отдельным узлом и установлена на небольшом расстоянии от станины. В ней размещаются насосная установка с контрольно-регулирующей гидроаппаратурой, пластинчатый и магнитный фильтры, золотники с электрическим управлением и т.д. Гидростанция подключается к станку гибкими рукавами.

*Механический счётчик Л* с кулачково-храповым механизмом.

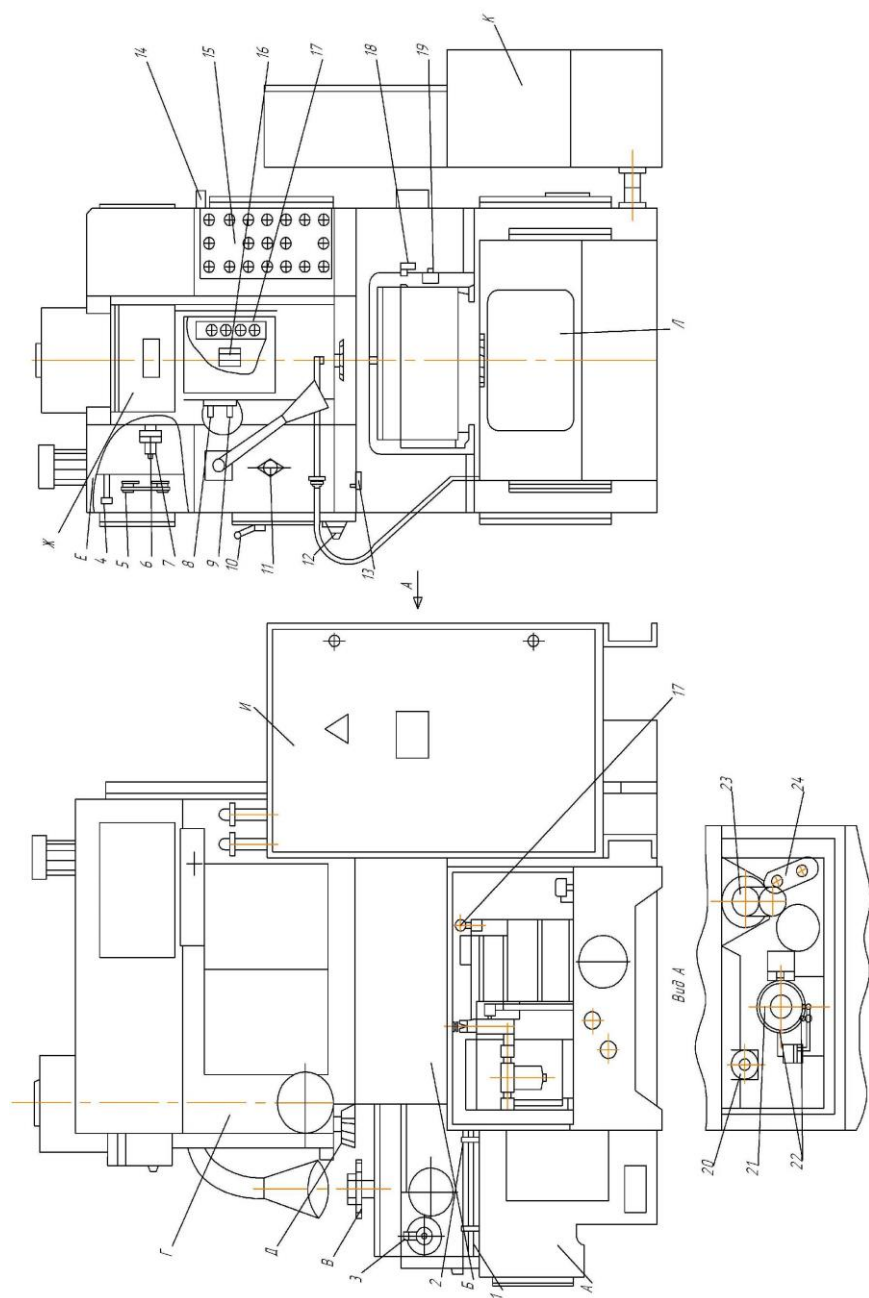


Рис. 2. Основные части станка 5122

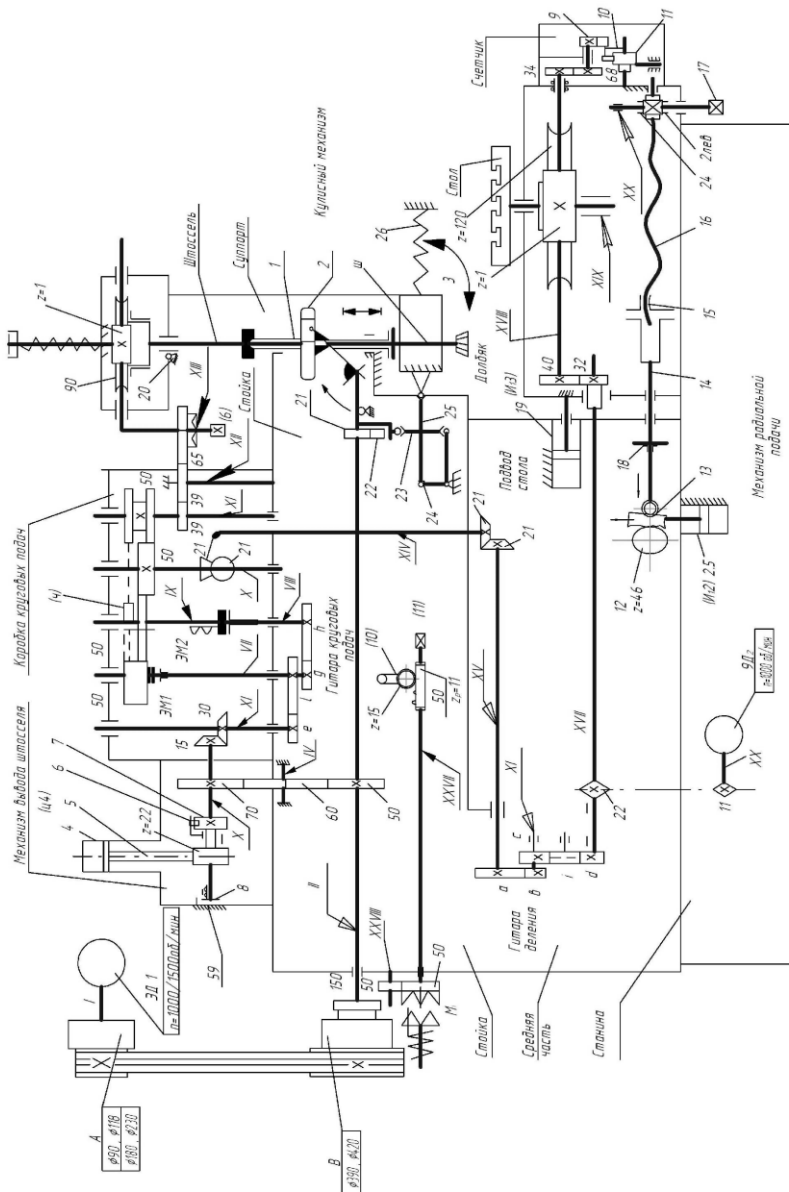


Рис. 3. Кинематическая схема станка 5122

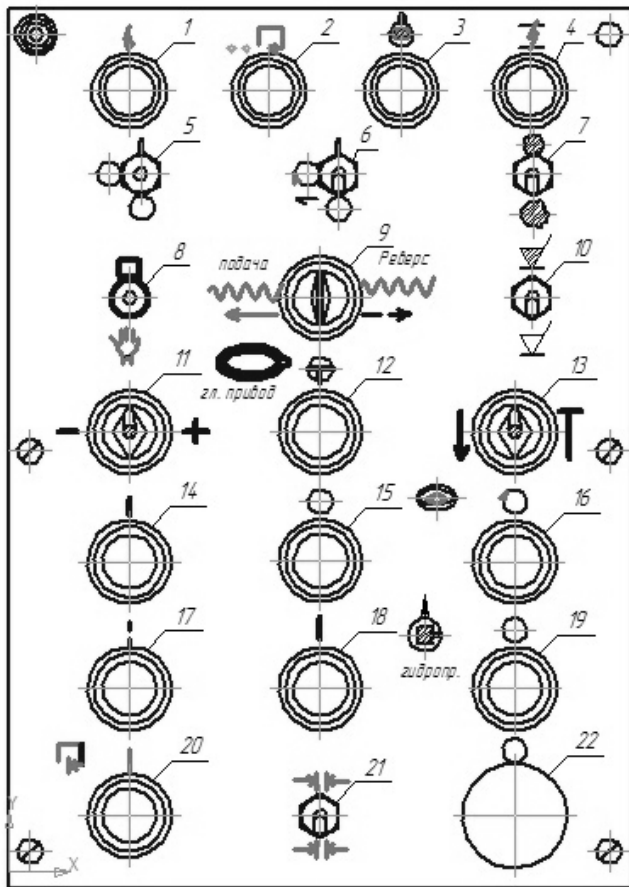


Рис. 4. Пульт управления станка 5122:

1...4 – сигнальные лампы (напряжение, исходное положение, включение гидравлики, пробой на корпус); 5 – включение (вверх) охлаждения; 6 – включение круговой подачи; 7 – переключение на внутреннее (вверх) или наружное зубодолбление; 8 – включение на автоматический цикл и на режим наладки (вниз); 9 – включение радиальной подачи и отвод стола в исходное положение (реверс); 10 – включение черновой (вверх) или чистой (вниз) круговой подачи; 11 – включение скоростей вращения главного привода ЭД1 («+» - быстро, «-» - медленно); 12 – толчковая кнопка ЭД1; 13 – включение подвода и отвода стола; 14, 15 – включение и выключение главного привода; 16 – ускоренное вращение стола; 17 – продолжение цикла; 18, 19 – включение и выключение гидравлики; 20 – включение цикла; 21 – зажим (вниз) и разжим (вверх) гидропатрона; 22 – всё стоп (отключение гидравлики и полный останов станка)

#### 4. МЕХАНИЗМ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ

Главное движение резания осуществляется от двухскоростного электродвигателя ЭД1 через клиноременную передачу с двухступенчатыми шкивами *A*, *B* на приводной вал II, который через механизм с движущейся кулисой 2 передаёт возвратно-поступательное движение каретке 1 со штосселем III. На штосселе закреплён долбяк 3. Число двойных ходов штосселя изменяется за счёт перекидки клиновых ремней на блоках *A*, *B*, замены блока *A* и переключения скоростей двигателя ЭД1. Последнее осуществляется переключателем II на пульте управления (см. рис. 4). При установке переключателя на «-» включается частота вращения  $n_{\text{од1}} = 1000 \text{ мин}^{-1}$ , на «+»  $n_{\text{од1}} = 1500 \text{ мин}^{-1}$ . Переключение частот ЭД1 может происходить автоматически при переходе на чистовой проход. Уравнение кинематической цепи имеет вид

$$n_{\text{ум}} = n_{\text{од1}} \frac{A}{B} \eta, \quad (3)$$

где  $\eta \approx 0,93$  – коэффициент проскальзывания ремня.

В развёрнутом виде уравнение запишется

$$n_{\text{ум}} = \left. \begin{array}{l} \frac{90}{420} \\ \frac{118}{390} \\ \frac{180}{420} \\ \frac{230}{390} \end{array} \right\} 1000 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} 0,93 = 200 \dots 850 \text{ дв.хд./мин.} \quad (4)$$

Из уравнения (3) можно получить уравнение настройки

$$\frac{A}{B} = \frac{n_{\text{ум}}}{n_{\text{од1}} \cdot \eta}. \quad (5)$$

Требуемое число двойных ходов  $n_{\min}$  определяется по формуле (1) или по лучевой диаграмме скоростей (рис. 5).

Натяжение ремней при смене шкивов осуществляется путём перемещения салазок с электродвигателем вращением винта через квадрат 14.

Длина хода долбяка регулируется изменением радиуса кривошипа кулисного механизма через квадраты настройки и фиксации 8 и 9 (см. рис. 2).

Изменение зоны долбления осуществляется перемещением ползушки вместе со штосселем в каретке суппорта с помощью вращения реечной шестерни через квадрат 17 после раскрепления фиксирующих винтов, с отчётом по шкале 16 (см. рис. 2).

Для выбора зазора в звеньях механизма главного движения, а также для избежания самопроизвольного опускания штосселя после окончания цикла в верхней части суппорта установлена пружина (см. рис. 3).

Во время настройки станка ручное возвратно-поступательное движение долбяку можно сообщить вращением приводного вала II через колёса 50-50 после их соединения с колесом 150 на блоке В (см. рис. 3) с помощью рукоятки 10 и квадрата 11 (см. рис. 2). Упругая кулачковая муфта  $M_1$  связывает колесо 50 с валом XXVIII и предохраняет механизм от поломок при силовых перегрузках.

При обработке зубчатых колёс с внутренним зацеплением в конце цикла предусмотрен автоматический вывод инструмента в верхнее положение. Это осуществляется с помощью гидропривода 4 (см. рис. 3). При ходе штока поршня 5 с рейкой вниз реечное колесо  $z = 22$  вращается и с помощью собачки 6 через храповое колесо 7 поворачивает вал V, а через колёса 70-60-50 – приводной вал II и кулисный механизм, поднимающий штоссель вверх. Вывод инструмента осуществляется за один ход поршня. Выключение механизма в верхнем положении штосселя осуществляется бесконтактным вы-

ключателем на валу II. При реверсе поршня шток-рейка 5 перемещается вверх до упора, а собачка 6 отжимается от храпового колеса 8 (проскальзывает).

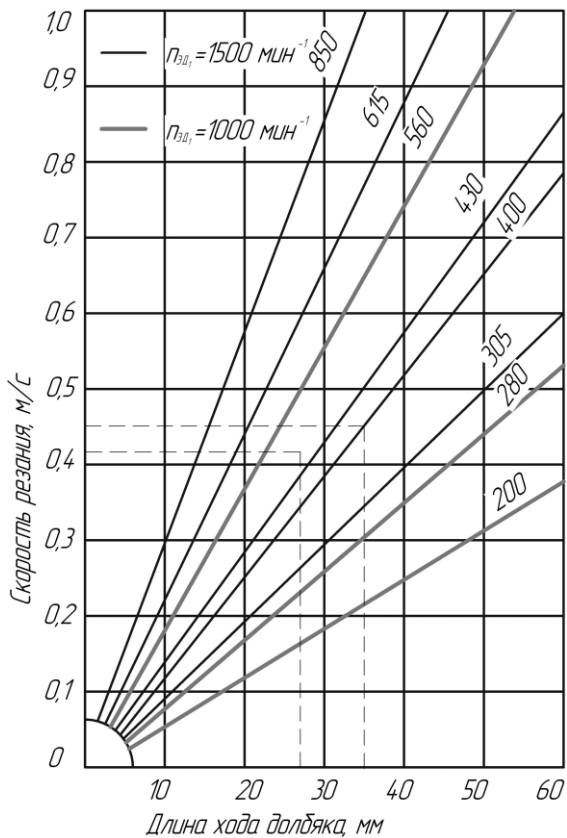


Рис. 5. Лучевая диаграмма скоростей

## 5. МЕХАНИЗМ КРУГОВОЙ ПОДАЧИ

Вращательное движение долбяк получает от приводного вала II через зубчатые колёса 50-60-70, коробку подач с гитарой сменных колёс  $e/f$  и  $g/h$ , зубчатые колёса 50-50, 39-39-65 и червячную передачу 1/90. Червяк вращается в высокоточных подшипниках качения. Зазор в делительной паре выбирается смещением корпуса червяка в осевом направлении.

На станке имеется цепь черновых и чистовых подач. Приводим кинематические уравнения цепей:

а) цепь черновых подач

$$S_{кр.черн.} = 1_{об_{11}} \frac{50}{60} \frac{60}{70} \frac{15}{30} \frac{e}{f} ЭМ1 \frac{50}{50} \frac{50}{50} \frac{50}{50} \left\{ \frac{39}{39} \frac{39}{65} \frac{1}{90} \right\} \times \pi \cdot m \cdot z_{\delta}. \quad (6)$$

мех. реверса

Настройка цепи производится сменными колёсами  $e$  и  $f$ , передаточное отношение которых определяется по формуле

$$e/f = 134 \frac{S_{кр.черн.}}{m \cdot z_{\delta}}. \quad (7)$$

При черновом проходе электромагнитная муфта ЭМ2 выключена;

б) цепь чистовых подач используется при нарезании колеса в один проход и на последнем обороте колеса при нарезании в 2 или 3 прохода:

$$S_{кр.чист} = 1_{об_{11}} \frac{50}{60} \frac{60}{70} \frac{15}{30} \frac{e}{f} \frac{\partial}{h} ЭМ2 \frac{50}{50} \frac{50}{50} \frac{50}{50} \left\{ \frac{39}{39} \frac{39}{65} \frac{1}{90} \right\} \times \pi \cdot m \cdot z_{\delta}. \quad (8)$$

мех. реверса



Настройка цепи производится сменными колёсами гитары  $g$  и  $h$  при выбранных  $e$  и  $f$  по формулам:

$$\frac{g}{h} = 134 \frac{f S_{кр.чист}}{e m \cdot z_{\delta}},$$

$$e + f = g + h = 100. \quad (9)$$

При чистовом проходе электромагнитная муфта ЭМ2 включается, а муфта ЭМ1 выключается. Переключение электромагнитных муфт осуществляется тумблером 10. Включение *вверх* – черновая обработка, *вниз* – чистовая (см. рис. 4). При работе в два или три прохода переключение осуществляется автоматически. Реверс вращения долбяка производится перемещением колеса  $z = 50$  на валу IX (см. рис. 3) с помощью рукоятки 4 (см. рис. 2), одновременно происходит и реверсирование вращения заготовки. Реверсирование осуществляется для более равномерного износа долбяка один раз за период его стойкости.

Сменные колёса гитары круговых подач имеют  $m = 2$  и числа зубьев: 26, 31, 39, 41, 44, 47, 53, 56, 59, 61, 64, 69, 74.

Ручное вращение шпинделя инструмента при наладке осуществляется поворотом вала XIII с помощью квадрата б (см. рис.2 и 3).

## 6. МЕХАНИЗМ ЦЕПИ ОБКАТКИ (ДЕЛЕНИЯ)

Цепь деления связывает вращение инструмента и изделия и настраивается из условия обкатки. Уравнение кинематической цепи обкатки имеет следующий вид:

$$\frac{1}{z_{\delta}} \cdot \frac{90}{1} \cdot \frac{65}{39} \cdot \frac{39}{39} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{21}{21} \cdot \frac{21}{21} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{32}{40} \cdot \frac{1}{120} = \frac{1}{z_3}, \quad (10)$$

откуда получаем формулу настройки гитары деления

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{z_{\delta}}{z_3}. \quad (11)$$

При наладке гитары деления необходимо обеспечить условия

$$c \leq 96; a + b = 120; c + d \geq 107.$$

При наладке станка на обработку зубчатых колёс с внутренним зацеплением между сменными колёсами  $c$  и  $d$  вводится паразитное колесо  $i$ , закрепляемое на дополнительном приклоне.

Для настройки гитары деления используются колёса  $m=1,5$  с числом зубьев: 24, 24, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 43, 44, 45, 47, 48, 50, 52, 54, 57, 58, 59, 60, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 92, 96, 98.

Для выверки изделия при наладке станка предусмотрено ускоренное вращение шпинделя изделия от электродвигателя ЭД2 по кинематической цепи

$$n_{\text{изд. ууск}} = 1000 \frac{11}{22} \cdot \frac{32}{40} \cdot \frac{1}{120} = 3,3 \text{ об/мин.}$$

При этом остальная часть кинематики станка отключается размыканием гитары деления. Включение ускоренного вращения изделия производится кнопкой 16 пульта управления (см. рис.4).

Отсчёт одного оборота изделия осуществляется с помощью механического счётчика. Вращение на счётчик передаётся от вала червяка XVIII делительной пары стола через колёса 34-68, эксцентрик 9, храповой механизм 10, 11. За два оборота червяка собачка 10 поворачивает храповое колесо с  $z = 60$  на один зуб. За один оборот изделия храповое колесо делает полный оборот и концевой выключатель включает механизм радиальной подачи.

## 7. МЕХАНИЗМ РАДИАЛЬНОЙ ПОДАЧИ И РЕГУЛИРОВКА МЕЖОСЕВОГО РАССТОЯНИЯ

Радиальная подача, подвод и отвод стола осуществляются гидроцилиндром привода стола 19. Управление радиальной подачей осуществляется перемещением клиновой ползушки 13 с помощью гидроцилиндра 25 (см. рис. 3), управляемого дросселем 20 (см. рис. 2).

Величина радиальной подачи (табл. 1) (*мм/дв.ход.*) выбирается ориентировочно  $S_p = (0,1 \dots 0,2)S_{кр.}$  и определяется расходом масла, подаваемого в цилиндр врезания. Подача устанавливается по лимбу дросселя в соответствии с имеющимся (настроенным) числом двойных ходов долбяка. Показания лимба определяются по табл. 1.

Включение подачи осуществляется золотниками с электрическим управлением посредством переставных упоров 22 на диске 21 (см. рис. 3), расположенном на оси реечного колеса 12 (см. рис. 3). При движении ползушки вверх (см. рис. 3) ролик вместе с пинолью 14, гайкой 15, винтом 16 и столом под действием гидропривода 19 перемещается влево. Положение упоров устанавливается по лимбу диска 21 в зависимости от числа проходов и глубин врезания на каждом проходе. Установка упоров глубины врезания производится по схеме рис. 6.

Таблица 1

Величина радиальных подач

Показание лимба дросселя	Число двойных ходов долбяка в минуту							
	200	280	305	400	430	560	615	850
1	0,030	0,021	0,019	0,015	0,014	0,011	0,010	0,007
2	0,045	0,032	0,028	0,023	0,020	0,016	0,014	0,011
3	0,076	0,055	0,048	0,038	0,036	0,028	0,025	0,018
4	0,123	0,107	0,077	0,062	0,057	0,043	0,040	0,029
5	0,153	0,109	0,097	0,076	0,071	0,055	0,049	0,036
6	0,195	0,139	0,124	0,098	0,090	0,089	0,063	0,046
7	0,238	0,170	0,152	0,119	0,110	0,085	0,078	0,056
8	0,286	0,204	0,182	0,173	0,133	0,102	0,093	0,067
9	0,358	0,255	0,226	0,179	0,168	0,128	0,116	0,084
10	0,429	0,306	0,272	0,215	0,200	0,153	0,140	0,100

Упор 5, включающий радиальную рабочую подачу через рычаг 3 и контактный включатель 1, устанавливается по шкале диска напротив деления, которое соответствует полной величине врезания ( $t = 2,25m$ ). При работе в три прохода величина врезания разбивает-

ся на три части. Включение второго и третьего врезания осуществляется после полного обкаточного оборота заготовки через концевой выключатель, работающий в паре с механическим счётчиком.

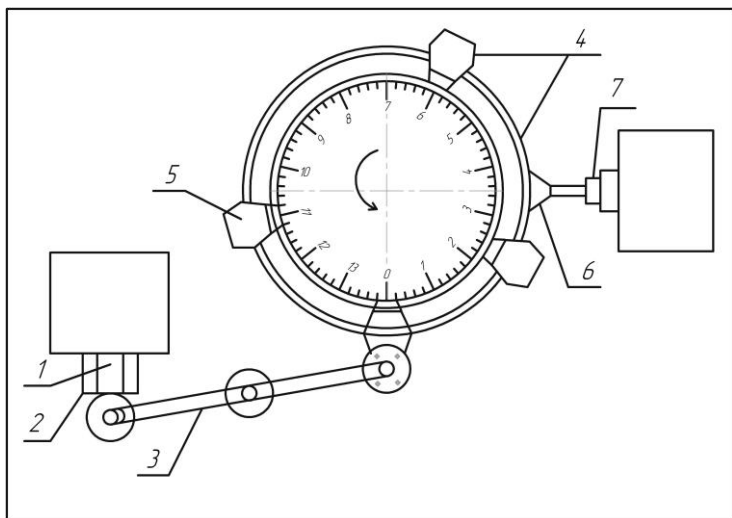


Рис. 6. Схема установки упоров глубины врезания

Выключение радиальной подачи в конце каждого промежуточного врезания осуществляется упорами 4, которые воздействуют на концевой выключатель 2 через спаренный рычаг 3. Расстояние между упором 5 и первым упором 4 соответствует глубине первого врезания  $t_1 = (1 \dots 1,2)m$ , расстояние между первым упором 4 и вторым упором 4 соответствует глубине второго врезания  $t_2 = (1 \dots 0,7)m$ . Глубина третьего врезания будет определяться расстоянием по шкале от нулевого деления до второго упора 4. Последнее врезание прекращается упором 6 через концевой выключатель 7. Положение упора 6 на диске устанавливается на заводе и регулировке не подлежит.

При работе в один проход величина врезания устанавливается одним упором 5, упоры 4 снимаются. При этом упор 5 включает радиальную подачу, а упор 6 выключает. При работе в два прохода снимается один упор 4.

При чистовом обкате после последнего врезания пиноль 14 своим буртом упирается в упор 18, между роликом и клиновой ползушкой образуется зазор. При обратном ходе ползушки 13 вниз стол через пиноль и винт отводится назад в исходное положение.

Регулирование межосевого расстояния осуществляется перемещением гайки 15 с пинолью 14 с помощью винта 16 от квадрата 17 через червячную передачу 2/24 (см. рис. 3).

## 8. МЕХАНИЗМ ОТВОДА ДОЛБЯКА

Суппорт подвешивается на стойке при помощи кронштейнов и цапф 20 (см. рис. 4), приводимых в движение от электродвигателя ЭДЗ через планетарный редуктор 28 и цепную передачу 14/28.

## 9. ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СТАНКА

Гидравлическая система станка (рис. 7) предназначена: для зажима изделия с помощью гидроцилиндра Ц1; подвода и отвода стола Ц3; привода механизма врезания через клиновую ползушку, приводимую в движение от цилиндра Ц2, управляемого регулятором потока масла РП с обратным клапаном; привода механизма подъёма штосселя – Ц4. Питание системы осуществляется турбинным маслом из бака с помощью пластинчатого насоса НП, приводимого в движение двигателем М1, через пластинчатый фильтр Ф1. Рабочее давление в системе 2,0 МПа регулируется клапаном К1 и контролируется по манометру МН. Все гидроцилиндры управляются реверсивными распределителями с электрическими переключателями ЭМ1-ЭМ6. Масло из гидросистемы также поступает на смазку сис-

темы I с давлением 0,2 МПа и системы II с давлением 6 МПа, а затем по трубкам подводится к точкам смазки и стекает в бак.

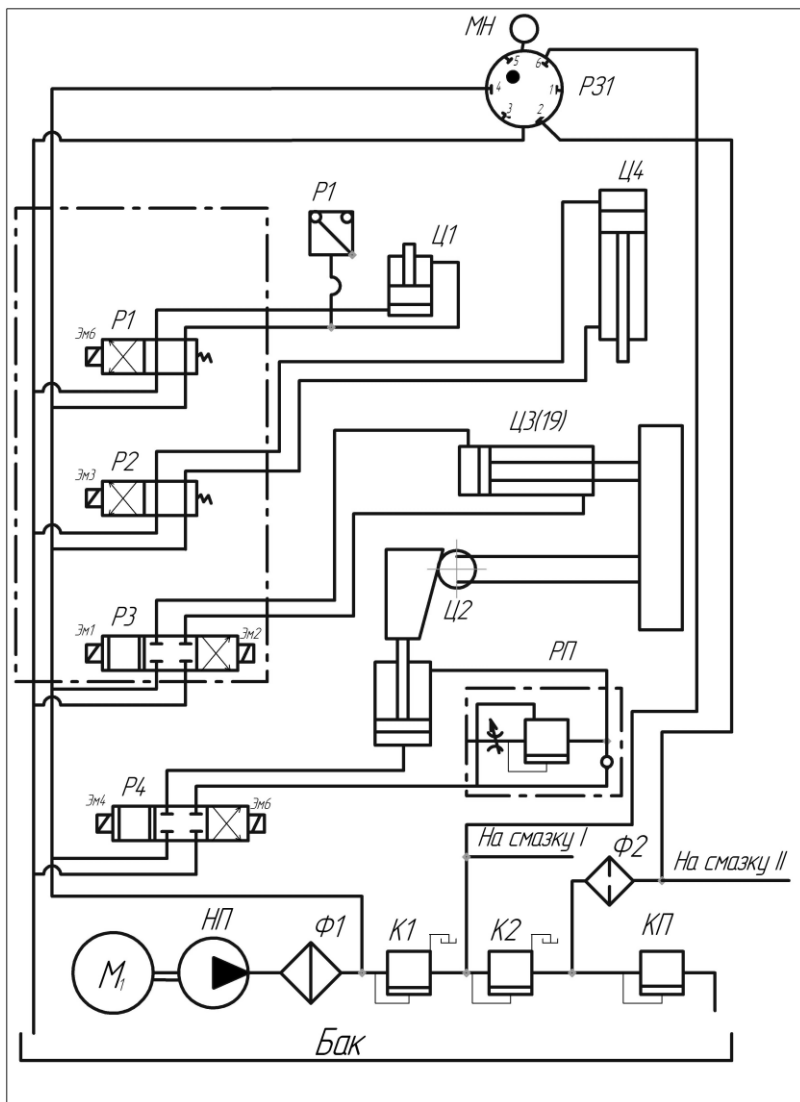


Рис. 7. Гидравлическая схема станка 5122

## 10. ОПИСАНИЕ ЦИКЛА РАБОТЫ ПОЛУАВТОМАТА

Полуавтомат обеспечивает работу на двух режимах: наладочном и полуавтоматическом. Управление станком осуществляется при помощи электро-и гидроаппаратов с пульта управления (см. рис. 5).

### 11. НАЛАДОЧНЫЙ РЕЖИМ

При работе в наладочном режиме переключатель 8 устанавливается в положение «*наладка*» (вниз), кнопкой 18 включается гидропривод, переключатель 21 устанавливается в положение «*зажим*». Далее в любой последовательности могут выполняться следующие операции:

- переключение скоростей станка кнопкой 11;

- пуск;

- останов и кратковременное включение главного электродвигателя кнопками 14, 15 и 12;

- подвод и отвод стола переключателем 13;

- включение радиальной подачи поворотом переключателя 9 влево и реверсирование ползушки врезания в исходное положение – вправо;

- ускоренное вращение стола кнопкой 16 (при разъединённой гитаре деления);

- включение и выключение охлаждения переключателем 5 (при включённом главном приводе);

- выключение гидравлики с полным остановом станка кнопкой 22.

### 12. ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЙ ЦИКЛ ОБРАБОТКИ

При нарезании зубчатого колеса в один, два или три прохода с постоянной или переменной скоростью управление работой станка производится автоматически в пределах всего цикла изготовления детали.

Перед началом цикла все механизмы должны находиться в исходном положении:

- переключатель 9 – в положении «реверс»;
- ползушка - в нижнем положении, стол – в отведённом состоянии;
- шпиндель инструмента – в верхнем положении (при включении переключателя 7 вверх);
- переключатель 5 при работе с охлаждением должен быть включён;
- переключатель 10 при многопроходной обработке должен находиться в положении «черновая»;
- переключатель 21 – в положении «зажим»;
- на счётчике одного оборота стола произведён сброс отсчёта;
- электромагнитные муфты коробки круговых подач отключены;
- рукоятка реверса цепи деления 4 (см. рис. 2) находится в одном из включённых положений;
- рукоятка включения ручного поворота приводного вала 10 (см. рис. 2) находится в положении, соответствующем включению колёс 50-50 (см. рис. 3);
- гитары деления и круговых подач настроены;
- переключатель 8 включен в положение полуавтоматического цикла (вверх).

Для включения полуавтоматического цикла кнопкой 18 включить привод гидравлики. Если все механизмы находятся в исходном положении, то на пульте управления загорается сигнальная лампочка 2. Радиальная подача включается переключателем 9, а круговая подача – переключателем 6 (вверх). Если предусмотрена обработка при врезании без круговой подачи, переключатель 6 устанавливается в положение «выключено». Пуск цикла осуществляется нажатием на кнопку 20.

Механизмы работают в следующей последовательности:



- производится зажим заготовки гидропатроном и стол с заготовкой подводится к инструменту;
- упором 1 (см. рис. 2) включается главный привод, а затем радиальная подача на врезание, меньшая круговая подача, система охлаждения;
- осуществляется радиальное врезание гидроприводом стола при перемещении ползушки вверх. Ползушка через рейку и колесо вращает фланец с упорами, которые воздействуют на соответствующие конечные электрические выключатели. При достижении необходимой глубины врезания первого прохода (при многопроходном цикле) первый упор 4 (см. рис. 6) нажимает на конечный выключатель, цепь врезания отключается, ползушка останавливается;
- муфтой ЭМ1 включается черновая круговая подача;
- включается счётчик одного оборота изделия и производится первая обкатка нарезаемого колеса;
- после того как изделие сделает один оборот, счётчик выключается и включается цепь врезания;
- муфтой ЭМ2 включается меньшая круговая подача и повторяется цикл, описанный выше (второй черновой проход);
- после достижения полной глубины врезания (последний проход) упор 6 (см. рис. 6) нажимает на конечный выключатель конца врезания, происходит переключение числа двойных ходов на ускоренное значение (если переключатель 11 главного привода был поставлен в положение «+»);
- после окончания последнего прохода обкатки выключается счётчик одного оборота изделия, при этом выключается главный привод, включается реверс ползушки (она возвращается в исходное положение), выключается система охлаждения, выключаются электромагнитные муфты ЭМ1 и ЭМ2, включается тормоз главного привода;

- после торможения привода включается механизм вывода штосселя вверх (если переключатель 7 установлен в положение «внутреннее долбление»);
- после вывода инструмента в верхнее положение стол с изделием выходит из зоны обработки в исходное положение и производится разжим заготовки. Остановка стола осуществляется упором 2 (см. рис. 2).

Если по какой-то причине цикл был прерван, после её устранения цикл может быть продолжен одновременным нажатием кнопок 20 и 17.

### 13. НАЛАДКА СТАНКА

Наладка станка на нарезание зубчатого колеса производится в следующей последовательности:

1. Крепление инструмента на оправке, установленной и закреплённой винтами в конусном отверстии штосселя.

2. Закрепление заготовки на оправке, установленной в отверстии шпинделя изделия. При нарезании точных колёс включением кнопок 16 (см. рис. 4) ускоренного вращения производится выверка биения изделия по индикатору.

3. Установка величины хода шпинделя инструмента. Величина хода шпинделя инструмента приближённо определяется по формуле

$$l = 2R = b/0,87,$$

где  $R$  – радиус кривошипного пальца приводного вала;

$b$  – ширина заготовки, мм.

Измерение  $R$  производится вращением квадрата 8 (рис. 7) по шкале после раскрепления клина квадратом 9. Затем клин затягивают квадратом 9.

4. Установка положения инструмента относительно изделия:

- а) стол с заготовкой подводится к инструменту;

б) вращением квадрата 11 (см. рис. 2) инструмент опускается в нижнее положение;

в) открыв переднюю крышку суппорта после раскрепления фиксирующих гаек, проворотом квадрата 17 устанавливают инструмент ниже торца заготовки на величину «а» (см. рис. 1), закрепляют фиксирующие гайки.

5. Установка числа двойных ходов инструмента по заданной скорости резания (см. п. 7) или определение скорости резания по существующей настройке.

6. Установка круговой подачи настройкой гитары (см. п. 8) или чистовой подачи по существующей настройке.

7. Настройка гитары деления (см. п. 9).

8. Установка радиальной подачи врезания по шкале дросселя с помощью таблицы или определение фактической подачи (см. п. 10).

9. Установка величины врезания.

Для установки величины врезания необходимо:

а) отпустить винт крепления упора 5 (см. рис. 7) и сдвинуть против часовой стрелки;

б) в режиме «*наладка*» установить переключатель 9 в положение «*реверс*», стол отойдёт назад;

в) по шкале установить упор 5 на полную величину врезания, упор 4 – на промежуточные врезания (см. п. 10);

г) включить переключатель 9 на подачу – стол переместится влево на глубину врезания, затем переключатель снова поставить в положение «*реверс*» – стол займёт исходное положение.

10. Установка межосевого расстояния:

а) установить переключатель 9 (см. рис. 4) в положение «*подача*»;

б) включением переключателя 13 подвести стол с заготовкой в зону обработки;

в) вращением квадрата 11 (см. рис. 2) инструмент при движении сверху вниз устанавливается на уровне середины изделия. Предварительно вращением квадрата 6 долбяк поворачивается таким образом, чтобы один из его зубьев находился на межосевом перпендикуляре долбяк - изделие;

г) вращением квадрата 19 подвести заготовку до касания с долбяком;

д) квадратом 11 вывести долбяк в верхнее положение;

е) квадратом 19 по лимбу 21 или по шкале 18 установить необходимую глубину врезания;

ж) установить переключатель 9 (см. рис. 4) в положение «реверс» и отвести стол с заготовкой на величину врезания;

з) выставить упор 1 включения главного привода;

и) переключателем 13 (см. рис. 4) отвести стол;

к) выставить упор 2 (см. рис. 2) в зависимости от требуемой величины отвода стола.

После первого пробного нарезания колеса, поскольку глубина врезания  $t < h$ , толщина нарезаемого зуба по делительной окружности будет больше требуемой ( $S = (\pi m)/2$ ) на величину  $\Delta S = S_1 - S$ .

Зная  $\Delta S$ , можно определить дополнительную величину врезания

$$\Delta t = \Delta S / 2 \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $\alpha$  – угол зацепления.

Переместив заготовку в сторону долбяка на величину  $\Delta t$  поворотом квадрата 19 (см. рис. 2), заготовку обрабатывают вторично. Последующие заготовки нарезаются на требуемую глубину.

## 11. Определение машинного времени.

Машинное время определяется по формуле

$$T_m = \frac{\pi m z_3}{S_{кр} n_{шт}} i + \frac{t}{S_p n_{шт}},$$

где  $i$  – число проходов, соответствующее числу врезаний с радиальной подачей;

$S_{кр}$  – круговая подача долбяка, мм/дв.х.;

$S_p$  – радиальная подача заготовки, мм/дв.х.;

$n_{шт}$  – число двойных ходов штосселя, дв. х.;

$z_3$  – число зубьев заготовки;

$t$  – полная глубина врезания.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Основные характеристики долбяка и форма профиля зуба.
2. Преимущества нарезания зубьев по методу обкатки по сравнению с методом копирования.
3. Преимущества и недостатки метода зубодолбления колёс.
4. Из каких соображений выбираются скорость зубодолбления и круговая подача?
5. Как выбираются глубина зубодолбления и число проходов?
6. Как рассчитывается и настраивается длина хода долбяка?
7. Для чего и как производится реверсирование вращения долбяка?
8. Чем отличается настройка станка при нарезании колёс с внутренним зубом по сравнению с наружным? Преимущества зубодолбления?
9. Во сколько раз отличается круговая подача при чистовом проходе от черновых и как это регулируется?
10. Дать описание механизма радиальной подачи станка.
11. Как осуществляется наладка станка на глубину врезания?
12. Для чего и как осуществляется качение суппорта относительно цапфы 20 (рис. 5)?
13. Каково назначение гидроцилиндра 4 и штока 5?
14. Как производится управление глубиной врезания при работе в 2 и 3 прохода?
15. Какие преимущества даёт применение двухскоростного двигателя главного привода?
16. Для чего нужна муфта  $M1$ ?
17. Возможность нарезания косозубого колеса.

**Лабораторная работа №5**  
**ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И КИНЕМАТИКИ**  
**ЗУБОФРЕЗЕРНОГО СТАНКА 5К310. НАЛАДКА**  
**СТАНКА НА НАРЕЗАНИЕ КОСОЗУБОГО КОЛЕСА**

***Цель работы:***

- изучить принцип действия, основные части, конструктивные узлы и элементы, кинематику и гидравлику зубофрезерного станка 5К310, его наладку при нарезании цилиндрических и червячных колёс червячными фрезами;
- ознакомиться с приводными устройствами и органами управления.

***ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ***

1. Ознакомиться с основными частями станка, рабочими органами и органами управления.
2. Детально изучить конструкцию, кинематику и механизмы станка.
3. По заданию преподавателя выполнить расчёты, связанные с настройкой станка.
4. После проверки наладки станка преподавателем или учебным мастером произвести нарезание зубчатого колеса.
5. Предъявить преподавателю нарезанное зубчатое колесо и результаты его обмера.
6. Произвести уборку станка.
7. Составить отчёт по работе.

**1. НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП РАБОТЫ**  
**ЗУБОФРЕЗЕРНОГО СТАНКА**

Зубофрезерный станок 5К310 предназначен для нарезания прямозубых и косозубых цилиндрических колёс внешнего зацепления, а

также червячных колёс способом радиальной подачи. Нарезание производится червячными модульными фрезами по методу обкатки в полуавтоматическом цикле.

На рис. 1 показаны схема установки фрезы относительно заготовки и основные движения при нарезании косозубого колеса:

1. Вращательное (главное) движение фрезы, закреплённой в шпинделе, которое определяется заданной скоростью резания  $v$ , м/с, с частотой вращения, об/мин,

$$n_{\phi} = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d_{a0}} \cdot 60, \quad (1)$$

где  $d_{a0}$  - наружный диаметр фрезы, мм.

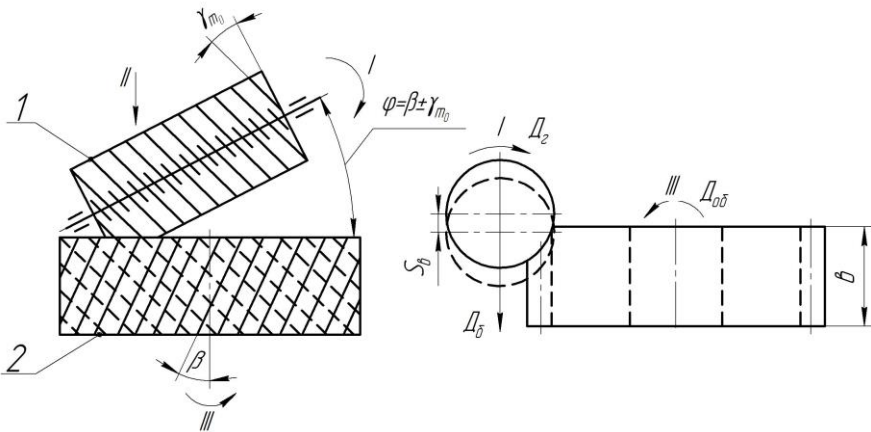


Рис. 1. Схема установки фрезы относительно заготовки и основные движения при нарезании косозубого колеса

2. Поступательное перемещение фрезы вдоль оси заготовки – движение подачи  $S$ , мм/об. заг. Подача может быть направлена вниз (при встречном фрезеровании) и вверх (при попутном). Величина подачи выбирается в зависимости от требуемой шероховатости по-

верхности и точности обработки. Чем ниже шероховатость поверхности зуба и выше точность, тем меньше подача.

3. Вращение заготовки, строго согласованное с вращением фрезы и рассчитанное из условия обкатки:

$$n_z = \frac{z_{\text{зак}}}{z} n_\phi, \quad (2)$$

где  $z_{\text{зак}}$  – число заходов фрезы;

$z$  – число зубьев нарезаемого колеса.

При нарезании косозубых колёс к основному вращению заготовки из условия (2) добавляется дополнительное, в зависимости от шага спирали, её направления и величины подачи.

Фреза устанавливается таким образом, чтобы направление движения режущих зубьев, расположенных по винтовой спирали, совпадало с направлением зубьев нарезаемого колеса. Для этого ось фрезы относительно торца колеса поворачивается на угол

$$\varphi = \beta \pm \gamma_{m0}, \quad (3)$$

где  $\gamma_{m0}$  – угол подъёма витков фрезы;

$\beta$  – угол наклона линии зуба нарезаемого колеса.

Знак «-» относится к одноименным спиралям фрезы и колеса, знак «+» к разноимённым (спираль фрезы – правая, колеса – левая и наоборот).

При нарезании червячного колеса применяется специальная фреза с параметрами, соответствующими червяку, с которым будет работать в паре нарезаемое колесо по  $d_{m0}$ ,  $z_{\text{зак}}$ ,  $\gamma_{m0}$ ,  $m$ ,  $\alpha_0$ ,  $h_0$ . Фреза устанавливается горизонтально ( $\varphi = 0$ ) и симметрично по высоте заготовки (рис. 2). Движения  $n_\phi$  и  $n_z$  выбираются и настраиваются так же, как и в предыдущем случае, а вместо вертикальной подачи используется горизонтальная (радиальная), сообщаемая заготовке. Подача автоматически выключается после врезания фрезы в заготовку на высоту зуба  $n_0$ .



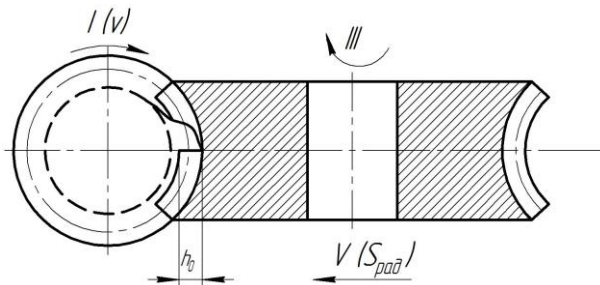


Рис. 2. Схема установки специальной фрезы при нарезании червячного колеса

Наклон зуба на колесе обеспечивается за счёт подъёма витков спирали червячной фрезы ( $\beta = \gamma_{m0}$ ).

На рис. 3 приведён общий вид зубофрезерного станка 5К310, на рис. 4 и 9 – его кинематическая и гидравлическая схемы.

### **Техническая характеристика станка**

Наибольший диаметр и модуль нарезаемого колеса, мм.....	200; 4
Наибольший наклон зубьев нарезаемого колеса .....	60°
Наибольший диаметр и длина фрезы, мм .....	125
Наибольший вертикальный ход суппорта, мм.....	360
Степень точности обработки .....	7
Пределы частот оборотов шпинделя, об/мин; число ступеней .....	63...400; 9
Пределы подач, мм/об. заг.; число ступеней: продольной .....	,63...4,0; 9
радиальной .....	0,31...2,0; 9
Мощность главного электродвигателя, кВт .....	4,0
Габариты станка (L×B×H), мм .....	2000×1300×2040
Масса, кг .....	4000

## 2. ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ И УЗЛЫ СТАНКА

Главной частью станка (рис. 3) является чугунная станина *A* коробчатой формы. Внутри станины размещаются механизмы электропривода и гидропривода, электронасос и резервуар для СОЖ. На станине установлена передняя стойка *B*, по вертикальным направляющим которой перемещаются салазки *E* с поворотным суппортом *Ж* и шпинделем. В шпинделе на оправке устанавливается червячная фреза. Переключение скоростей шпинделя осуществляется рукоятками *1*. Вертикальная подача суппорта включается рукояткой *3*, ручное перемещение осуществляется от квадрата *2*, переключение подач – рукоятками *5*. На горизонтальных направляющих станины *A* установлены салазки с вращающимся столом *3* и оправкой, на которой устанавливается заготовка *18*. Салазки перемещаются в радиальном направлении с помощью винтовой пары автоматически или вручную от рукоятки *20*. На салазках также устанавливается задняя стойка *K* с контрподдержкой *Л* и коническим центром для повышения жёсткости оправки. Контрподдержка перемещается с помощью гидросистемы включением рукоятки *19*.

Рабочие и вспомогательные движения (быстрый подвод инструмента к заготовке в вертикальном направлении, подвод стола с заготовкой к фрезе в радиальном направлении и отвод в исходное положение, зубонарезание и остановка станка) осуществляются автоматически в пределах цикла и управляются настройкой кинематических цепей и системой переставных упоров и конечных выключателей. Управление движениями производится с пульта *Г*.

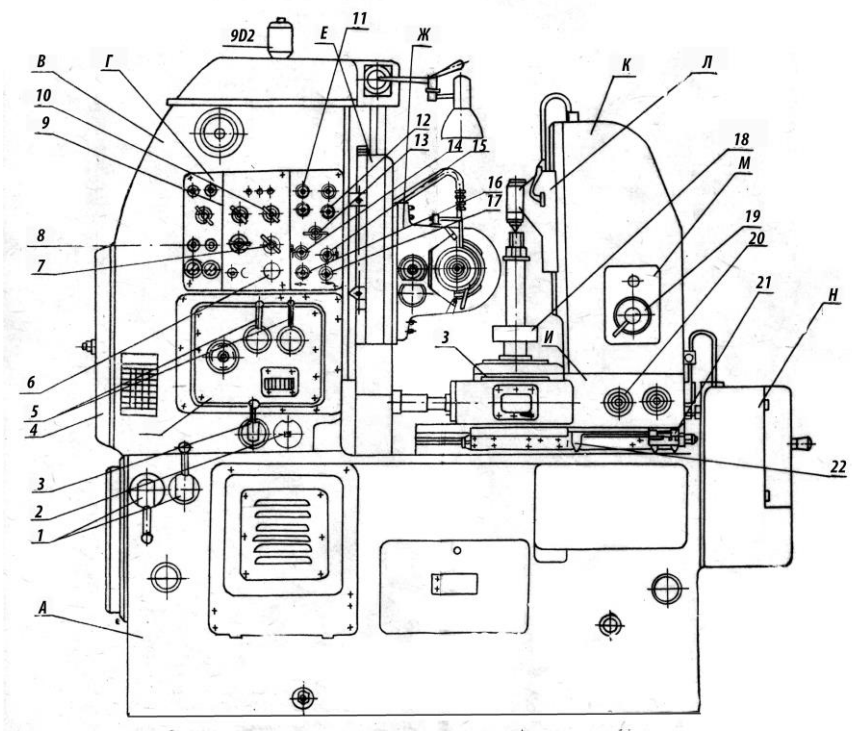


Рис. 3. Общий вид зубофрезерного станка 5К310

### 3. МЕХАНИЗМ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ

Червячная фреза получает вращение от главного электродвигателя ЭД1 мощностью 4 кВт по кинематической цепи (рис. 4):

$$n_{\phi} = 1450 \frac{120}{160} 0,985 \left. \begin{array}{l} \frac{31}{44} \\ \frac{35}{40} \\ \frac{40}{35} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \frac{20}{55} \\ \frac{31}{44} \frac{23}{24} \frac{24}{24} \frac{20}{80} \\ \frac{44}{44} \end{array} \right\} \text{об /мин. (4)}$$



Картина частот оборотов главного привода приведена на рис. 5, лучевая диаграмма скоростей – на рис. 6.

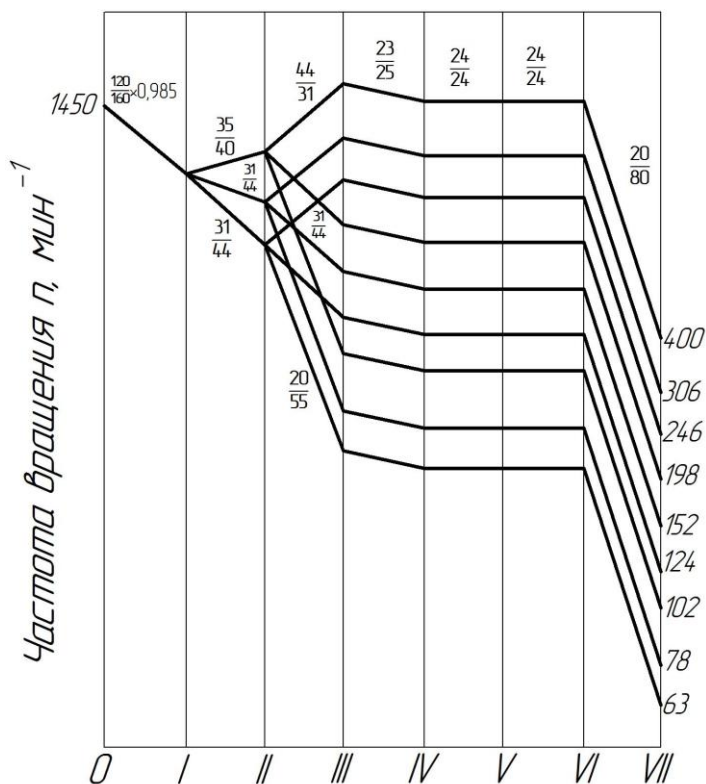


Рис. 5. Картина частот оборотов главного привода

Переключение двух трёхступенчатых блоков с помощью рукояток *I* (рис. 3) обеспечивает девять ступеней частот оборотов фрезы,  $\text{мин}^{-1}$ : 63, 78, 102, 124, 152, 198, 246, 306, 400.

Для повышения стойкости и продления срока службы фрезы, зубья которой на разных витках в процессе обкатки загружены и

изнашиваются неравномерно, шпиндель вместе с оправкой и фрезой может периодически перемещаться вдоль своей оси вращением вала XVIII вручную или механически. Механическое перемещение осуществляется с помощью электродвигателя ЭД2 по кинематической цепи:

$$S_{пер} = 1410 \frac{18}{32} \frac{20}{70} \frac{46}{60} \frac{60}{56} \frac{1}{30} \frac{38}{19} \frac{22}{22} 2\pi = 78 \text{ мм/мин.} \quad (5)$$

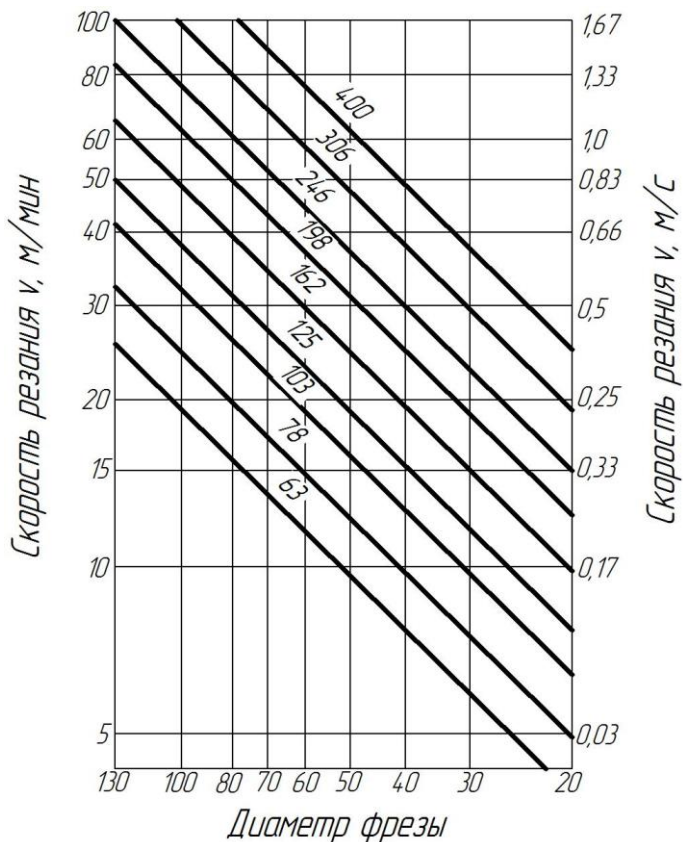


Рис. 6. Лучевая диаграмма скоростей

На валу XVII предусмотрена тормозная электромагнитная муфта ЭМ6, которая служит для осевой фиксации шпинделя во время рабочего вращения.

Поворот суппорта с фрезой на угол  $\varphi$  осуществляется вручную по кинематической цепи:

$$n_{рук} \frac{1}{20} \frac{12}{70} 360 = \varphi^\circ.$$

Отсчёт угла производится по градусной шкале на поворотной головке с нониусом с точностью отсчёта до  $10'$ .

#### 4. МЕХАНИЗМ ПОДАЧИ

При нарезании цилиндрических колёс подача осуществляется вертикальным перемещением фрезерного суппорта с помощью винтовой пары с шагом  $\rho = 2\pi$ . При движении суппорта вниз происходит встречное фрезерование (см. рис. 4), вверх – попутное. Исключение зазора в винтовой паре и вибраций при попутном фрезеровании осуществляется догрузкой суппорта с помощью гидроцилиндра (см. рис. 9).

Ходовой винт получает вращение от электромотора ЭД1 через систему передач. Поскольку величина подачи задаётся перемещением суппорта на один оборот стола, то кинематическое уравнение цепи подач связывает вращательное движение стола и ходового винта и имеет вид

$$S_e = 1_{об.ст} \frac{72}{1} \cdot \frac{36}{74} \cdot \frac{32}{64} \left\{ \begin{array}{l} \frac{42}{54} \\ M1 \rightarrow \\ \frac{28}{56} \cdot \frac{28}{56} \cdot \frac{28}{56} \\ \frac{37}{59} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \frac{42}{56} \text{ЭМ3} \\ \text{ЭМ4} \frac{54}{30} \cdot \frac{25}{60} \\ \frac{42}{42} \text{реверс} \end{array} \right\} \frac{36}{72} \cdot \frac{52}{85} \cdot \frac{85}{60} \text{ЭМ5} \cdot M2 \frac{2}{30} 2\pi. \quad (6)$$

Картина частот оборотов механизма вертикальной подачи суппорта приведена на рис. 7.

Для получения встречной подачи суппорта (вниз) включается муфта ЭМ3, для попутной (вверх) – ЭМ4. Общее выключение подачи вручную осуществляется кулачковой муфтой М2, в автоматическом цикле – муфтой ЭМ5.

При нарезании червячных колёс методом радиальной подачи муфта М2 выключается, а включается электромагнитная муфта ЭМ1 для обеспечения горизонтального движения стола с заготовкой в направлении к фрезе по следующей кинематической цепи:

$$S_p = 1_{об.см} \cdot \frac{72}{1} \cdot \frac{36}{74} \cdot \frac{37}{59} \cdot \left. \begin{array}{l} \frac{32}{64} \\ M1 \rightarrow \\ \frac{28}{56} \cdot \frac{28}{56} \\ \frac{42}{56} \\ \frac{42}{54} \end{array} \right\} \cdot \frac{42}{56} \cdot \frac{36}{72} \cdot \frac{52}{85} \cdot \frac{85}{60} \cdot \frac{60}{40} \cdot \frac{42}{54} \cdot \frac{48}{52} \cdot \frac{22}{22} \cdot \frac{1}{35} \cdot 2\pi. \quad (7)$$

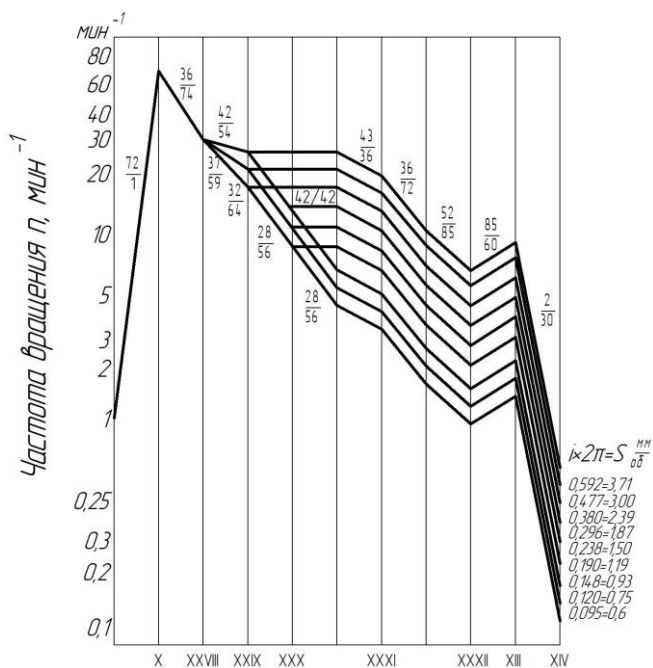


Рис. 7. Картина частот оборотов механизма вертикальной подачи суппорта



Выключение радиальной подачи в конце врезания производится муфтой ЭМ1 с помощью упора и концевого выключателя, при этом включается тормозная электромагнитная муфта ЭМ2, которая служит для фиксации радиальной подачи.

Ускоренное перемещение суппорта и салазок стола осуществляется от электродвигателя ЭД3 по кинематическим цепям:

$$S_{\text{с.у.}} = 1430 \frac{48}{62} \cdot \frac{62}{54} \cdot \frac{54}{42} \cdot \frac{40}{60} \text{ЭМ5М2} \frac{2}{30} 2\pi = 450 \text{ мм/мин. (8)}$$

Электромагнитные муфты ЭМ3 и ЭМ4 при этом отключаются:

$$S_{\text{р.у.}} = 1430 \frac{48}{62} \cdot \frac{62}{54} \text{ЭМ1} \frac{48}{52} \cdot \frac{22}{22} \cdot \frac{1}{35} 2\pi = 210 \text{ мм/мин. (9)}$$

Для автоматического выключения подач на стойке и станине размещаются рабочие и аварийные упоры.

## 5. МЕХАНИЗМ ОБКАТКИ (ДЕЛЕНИЯ)

Согласование частот вращения фрезы и изделия из условия обкатки (2) обеспечивается подбором передаточного отношения сменных колёс  $a, b, c, d$  на гитаре деления (см. рис. 4).

Кинематическое уравнение цепи деления имеет вид

$$1_{\text{об.фр}} \frac{80}{20} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{24}{24} i_{\text{диф}} \frac{e}{f} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{1}{72} = \frac{z_{\text{зах}}}{z}, \quad (10)$$

где  $z_{\text{зах}}$  – число заходов фрезы;

$i_{\text{диф}}$  – передаточное отношение дифференциала.

При нарезании прямозубых колёс дифференциал работает как обычная зубчатая передача и  $i_{\text{диф}} = 1$ . Для фиксации корпуса дифференциала на вал XII надевается шлицевая втулка, связывающая его со станиной. При нарезании косозубых колёс корпусу дифференциала с помощью червячной пары 2/30 сообщается вращение, при этом дифференциал работает как суммирующий механизм и его передаточное отношение отличается от единицы.

При числе зубьев нарезаемого колеса  $z \leq 105 \frac{e}{f} = \frac{48}{48} = 1$ ,

а при  $z > 105 \frac{e}{f} = \frac{32}{64} = \frac{1}{2}$ .

При  $e/f = 1$  и  $i_{\text{диф}} = 1$  из уравнения (10) расчётная формула передаточного отношения гитары деления

$$i_{\text{дел}} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{18 \cdot z_{\text{зах}}}{z}; \quad (11)$$

$$\text{для } \frac{e}{f} = \frac{1}{2}; i_{\text{дел}} = \frac{36 \cdot z_{\text{зах}}}{z}. \quad (12)$$

Для смены направления вращения стола (при использовании фрез с левой спиралью) между колёсами  $e$  и  $f$  устанавливается паразитное колесо.

Набор сменных колёс гитары деления и дифференциала  $m = 2: 25$  (2 шт.), 27, 30 (2 шт.), 32, 34, 35, 36 (2 шт.), 37, 38, 40 (2 шт.), 41, 43, 45, 46, 47, 48 (2 шт.), 50 (2 шт.), 53, 55 (2 шт.), 58, 59, 60 (2 шт.), 61, 62, 64, 65 (2 шт.), 67, 70, 71, 73, 74, 75 (2 шт.), 79, 80, 83, 85, 89, 90, 95, 97, 98, 100.

## 6. МЕХАНИЗМ ЦЕПИ ДИФФЕРЕНЦИАЛА

При нарезании косозубых колёс фрезы, двигаясь в направлении подачи вниз или вверх, должна перемещаться относительно заготовки по винтовой линии с углом спирали, равным углу наклона зуба колеса  $\beta$  по начальной окружности (рис. 8). Для этого при каждом перемещении фрезы на величину подачи  $S_g$  к одному обороту заготовки должна быть добавлена часть, соответствующая дуге  $\Delta x$  по начальной окружности. При перемещении фрезы по вертикали на шаг спирали нарезаемого колеса  $(\sum S_g = \rho)$  заготовка должна сделать один дополнительный оборот  $(\sum \Delta x = \pi d_o)$ .

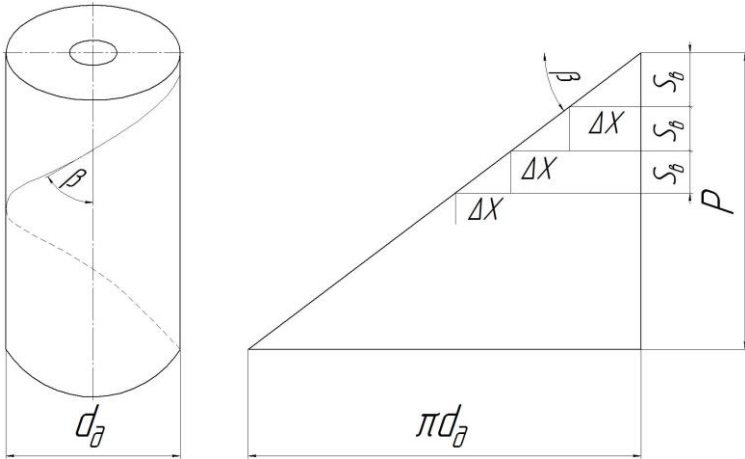


Рис. 8. Перемещение фрезы относительно заготовки при нарезании косозубого колеса

Эта задача выполняется настройкой кинематической цепи дифференциала, сообщаящей необходимую скорость вращения корпусу дифференциала, с помощью которого на основное делительное движение накладывается дополнительное, связанное с доворотом зубчатого колеса.

Кинематическое уравнение цепи дифференциала имеет вид

$$\frac{p}{p_e} \cdot \frac{30}{2} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{2}{30} i_{\text{диф}} \frac{e}{f} i_{\text{дел}} \frac{1}{72} = \pm 1 \text{ об. заг.} \quad (13)$$

Поставив  $i_{\text{диф}} = 2$ ,  $i_{\text{дел}} = \frac{18z_{\text{зак}}}{z}$ ,  $\frac{e}{f} = 1$ ,  $p_e = 2\pi$

и  $\rho = \frac{\pi m_n z}{\sin \beta}$ , получим формулу для определения передаточного отношения гитары дифференциала:

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{4 \sin \beta}{m_n z_{\text{зак}}} \quad (14)$$

Чтобы изменить направление вращения корпуса дифференциала (при перестройке станка с нарезания правой спирали на левую), в

гитару дифференциала необходимо установить дополнительное паразитное колесо.

## 7. ГИДРОПРИВОД И СИСТЕМА СМАЗКИ СТАНКА

Гидропривод станка предназначен для устранения зазора в винтовой паре привода подачи фрезерного суппорта, для перемещения салазок с кронштейном контрподдержки оправки с заготовкой, для смазки станка.

Электродвигатель мощностью  $1,1 \text{ кВт}$  приводит во вращение ротор лопастного насоса 2 производительностью  $5 \text{ л/мин}$ , который через фильтр 1 засасывает масло из резервуара и направляет через пластинчатый фильтр 3 в высоконапорную магистраль 4. Давление в магистрали ограничивается в пределах  $2,5 \dots 3 \text{ МПа}$  предохранительным клапаном 5 с фильтром 7 и контролируется по манометру. Реле давления 6 контролирует минимальное давление в гидросистеме  $2 \text{ МПа}$ .

Из высоконапорной магистрали масло поступает по трубопроводу 19 через полый шток в верхнюю полость цилиндра 18 и отжимает цилиндр вместе с суппортом вверх, тем самым нагружает гайку винтовой пары подачи суппорта. Также из магистрали 4 масло через двухпозиционный кран 12 по трубопроводам 13 или 15 поступает в нижнюю или верхнюю полости гидроцилиндра 14 и обеспечивает перемещение салазок контрподдержки вверх или вниз. Зажим салазок после остановки при ходе вниз осуществляется гидрозажимом 17, который управляется блокировочным золотником 16 (этот золотник срабатывает в момент остановки каретки при ходе вниз). Слив масла осуществляется по трубопроводам 9а и 9 после возвращения штока золотника 16 в исходное положение под действием пружин.

Из фильтра 7 масло также поступает в магистраль смазки и к маслораспределителям смазки узлов 10, 20 и 21. Давление в маги-

страли поддерживается  $0,2...0,3$  МПа при помощи предохранительного клапана 8.

## 8. НАЛАДКА СТАНКА НА НАРЕЗАНИЕ КОСОЗУБОГО КОЛЕСА

Студентам даётся задание, в котором указаны данные:

а) о нарезаемом колесе:  $m_n$  – нормальный модуль,  $d_{a0}$  и  $b$  – наружный диаметр и высота заготовки,  $\beta$  – угол спирали (иногда он определяется по существующей настройке гитары дифференциала), направление спирали;

б) о червячной фрезе:  $m_n, z_{зан}$  – число заходов,  $\gamma_{m0}$  – угол подъёма витков спирали,  $d_{a0ф}$  – наружный диаметр;

в) режим обработки:  $v$  – скорость резания, м/мин,  $S_в$  – вертикальная подача, мм/об, число проходов.

Работа по наладке выполняется в следующем порядке:

1. По заданной скорости резания определяется частота вращения шпинделя по формуле (1) или лучевой диаграмме (см. рис. 6), уточняется по таблице на станке и устанавливается переключением рукояток. Записывается конкретное уравнение цепи главного движения.

2. Устанавливается подача и записывается уравнение цепи подачи.

3. Устанавливается глубина резания. При работе в один проход глубина резания  $t$  принимается равной высоте зуба:  $h_0 = 2,25m$ . При работе в два прохода:  $t = 1,5...1,75/m, t_2 = (0,5...0,75)m$ .

4. Если в задании угол наклона и направления спирали не задаётся, то он определяется по настройке гитары дифференциала из формулы (14) и по углу поворота суппорта.

5. Определяется число зубьев нарезаемого колеса из формулы для расчёта наружного диаметра:

$$d_{a0} = \frac{m_n z}{\cos \beta} + 2m_n. \quad (15)$$

6. Согласно формулам (11) и (12) подбираются сменные шестерни и настраивается гитара деления. При этом проверяется условие сцепляемости:

$$a + b \geq c + 15, c + d \geq b + 15.$$

7. Аналогично, в соответствии с формулой (14), настраивается гитара дифференциала.

8. По углу  $\beta$  и в соответствии с направлением спирали поворачивается суппорт с фрезой.

9. Устанавливается и закрепляется заготовка.

10. Настраивается глубина врезания. Для этого фреза перемещением суппорта устанавливается на уровне середины заготовки, включается вращение фрезы. Заготовка медленным перемещением стола с помощью рукоятки 19 (см. рис. 3) подводится к фрезе до касания. После этого фреза поднимается вверх, нониус радиальной подачи устанавливается на нуль и заготовка подводится на глубину резания. Далее производится включение вертикальной подачи и нарезание колеса. После начала резания по часам засекается время начала и окончания обработки.

При нарезании в два прохода вертикальный подъём суппорта для дополнительного врезания осуществляется вращением рукоятки 2 без разъединения цепи подач муфтой M2 с помощью рукоятки 3.

Включение станка производится после проверки настройки преподавателем или учебным мастером и в их присутствии.

11. Определяется машинное время, мин

$$T_M = \frac{(b + y)z}{S_n n_\phi z_{\text{зих}}}, \quad (16)$$

где  $y$  – длина врезания, которая определяется по приближённой зависимости

$$y = \sqrt{t(d_{a0\phi} - t)}.$$

Расчётное значение  $T_M$  сопоставляется с фактическим. Нарезанное колесо после контроля предъявляется преподавателю.

12. Производится уборка станка.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Определить угол поворота шпиндельной головки при нарезании колеса с углом  $\beta =$  с правой или левой спиралью, дать схему установки.
2. Произвести осевую передвижку фрезы на  $t =$  мм вручную и автоматически.
3. Как изменится настройка цепи деления при изменении частоты вращения шпинделя с  $n_x =$  на  $n_{x+1} =$  ?
4. Описать назначение электромагнитных муфт ЭМ6, ЭМ2.
5. Чем отличается настройка станка при работе по подаче и против подачи? Изобразить схему работы по подаче.
6. Во сколько раз отличается величина радиальной подачи от вертикальной при одинаковой настройке коробки подач?
7. Какие кинематические цепи надо настроить при нарезании червячного колеса?
8. Чем будет отличаться настройка станка при нарезании колеса с правой и левой спиральями и одинаковым углом  $\beta$ ?
9. Для чего нужны электромагнитные муфты ЭМ3, ЭМ4 и ЭМ5 и ЭМ1?
10. Для чего нужен гидроцилиндр 18?
11. Можно ли применять при нарезании цилиндрического колеса радиальное врезание, если да, то как, если нет, то почему?
12. Дать схему движения цикла нарезания зубчатого колеса в один или два прохода.
13. Почему нельзя разъединить муфту М22 при нарезании в два прохода?
14. Основные характеристики червячной модульной фрезы.
15. Функции цепи дифференциала и его передаточные отношения при ведущем вале VIII и корпусе дифференциала.

**Лабораторная работа №6**  
**ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, КИНЕМАТИКИ**  
**И ГИДРОПРИВОДА ПЛОСКОШЛИФОВАЛЬНОГО**  
**СТАНКА 3Г71**

*Цель работы:* изучение конструкции, кинематики, гидропривода станка 3Г71, настройка станка на выполнение различного вида работ.

***ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ***

1. Ознакомиться с общим устройством станка, его назначением и видами работы, основными частями, рабочими органами, движениями и управлением.
2. Детально изучить гидравлическую систему станка, назначение и конструктивное выполнение отдельных узлов гидросистемы.
3. Выполнить расчеты, связанные с настройкой станка на шлифование конкретной детали по заданию преподавателя и проследить за выполнением техпроцесса во время работы станка.
4. Выполнить индивидуальные задания преподавателя.
5. Составить отчет о работе и предъявить преподавателю.

**1. НАЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ ВЫПОЛНЯЕМЫХ РАБОТ**

Плоскошлифовальный станок высокой точности с прямоугольным столом 3Г71 предназначен для обработки деталей периферией круга. Также возможно вести шлифование торцом круга, а при наличии специальных приспособлений – профильное шлифование.

Деталь закрепляется с помощью магнитной плиты или в тисках, устанавливаемых на столе станка.



## 2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАНКА 3Г71

Наибольшее продольное перемещение стола, мм .....	700
Наибольшее поперечное перемещение крестового суппорта, мм .	235
Размеры шлифующего круга, мм .....	250 × 32 × 76
Наибольшие размеры шлифуемых деталей, мм .....	630 × 320 × 200
Поперечная автоматическая подача крестового суппорта на ход, мм .....	0,3 – 4,2
Скорость продольного перемещения стола, м/мин .....	5 – 20
Наибольшее вертикальное перемещение шлифовальной бабки, мм .....	365
Величина автоматической вертикальной подачи, мм .....	0,005 – 0,05

## 3. ВНЕШНИЙ ВИД СТАНКА

Внешний вид станка представлен на рис. 5.

- 1 – лимб установки автоматической вертикальной подачи;
- 2 – маховик ручного продольного перемещения стола;
- 3 – маховик вертикального перемещения шлифовальной бабки;
- 4 – упоры реверса продольной подачи;
- 5 – регулятор скорости движения стола;
- 6 – ручной реверс продольной подачи;
- 7 – маховик поперечной подачи;
- 8 – рукоятка «тонкого» перемещения крестового суппорта;
- 9 – лимб установки величины поперечной подачи;
- 10 – кнопка включения и реверса поперечной подачи;
- 11 – кнопка пуска и останова стола.

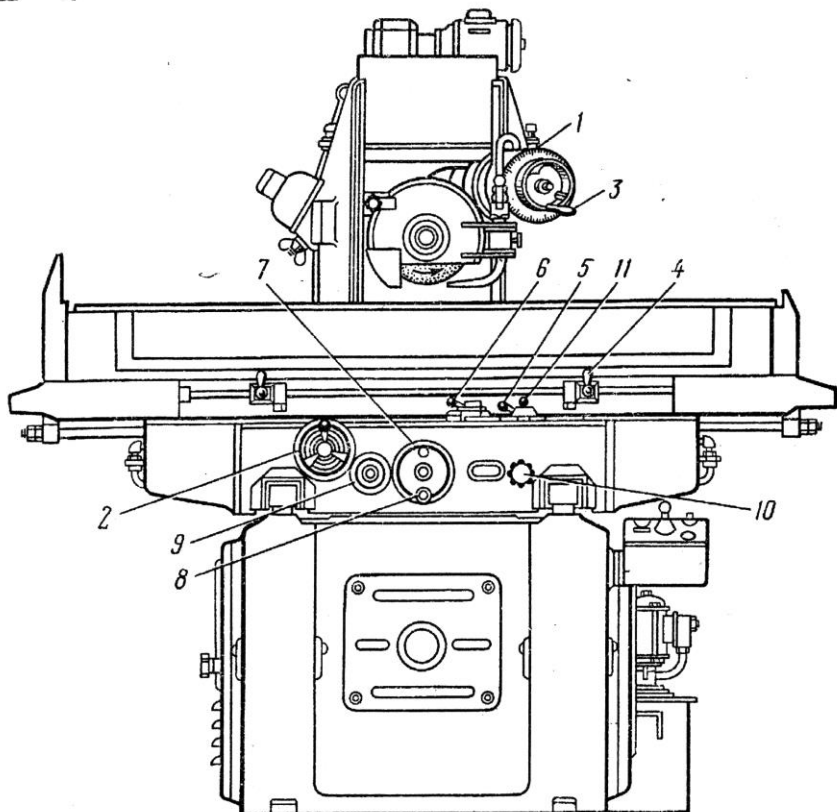


Рис. 1. Плоскошлифовальный станок 3Г71

#### 4. КИНЕМАТИКА СТАНКА

Шлифующий круг получает вращение от электродвигателя  $M1$  через плоскоремennую передачу (рис. 2):

$$n_k = 2860 \cdot \frac{115}{120} = 2740 \text{ мин}^{-1}.$$

Шлифовальная бабка перемещается вертикально вручную маховиком  $1$  или гидравлически сервомотором  $2$  в автоматическом ре-

жиме. Ускоренные перемещения шлифовальной бабки осуществляются электродвигателем  $M2$ :

$$S_{BV} = 1400 \cdot \frac{1}{28} \cdot 5 = 250 \text{ мм/мин.}$$

При ручном перемещении собачка и храповое колесо  $Z=25$  разъединены.

Продольная подача стола осуществляется с помощью гидроцилиндра  $6$  в автоматическом режиме или рукояткой  $5$  вручную. Автоматическое и ручное перемещения заблокированы цилиндром  $7$ . За 1 оборот рукоятки  $5$  стол перемещается на величину

$$S_{1P} = 1 \cdot \frac{13}{26} \cdot \frac{13}{26} \cdot \frac{13}{155} \cdot \pi \cdot 1 \cdot 5 \cdot 155 = 15,3 \text{ мм/об.}$$

Поперечная подача крестового суппорта производится гидравлически сервомотором  $11$  в автоматическом режиме или рукоятками  $9$  и  $10$  вручную. Рукоятка  $10$  позволяет вести «тонкое» перемещение. За 1 оборот этой рукоятки перемещение составляет

$$S_{1T} = 1 \cdot \frac{15}{120} \cdot 6 = 0,75 \text{ мм/об.}$$

Автоматическая и ручная подачи заблокированы. При включении ручной подачи собачка и храповое колесо  $Z=54$  разъединены, а колесо  $Z=40$  на скользящей шпонке устанавливается в нейтральное положение.

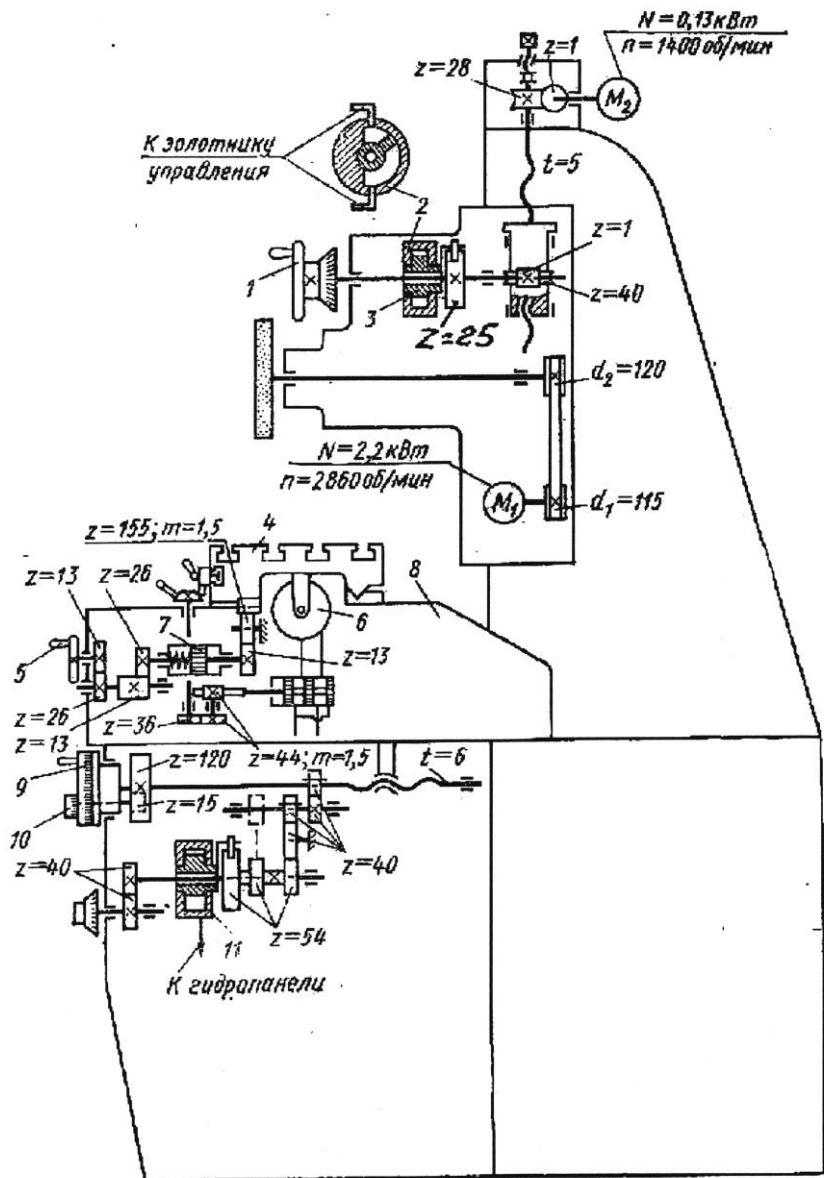


Рис. 2. Кинематическая схема станка 3Г71

## 5. ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СТАНКА

Гидропривод обеспечивает продольное перемещение стола, поперечное перемещение крестового суппорта в конце каждого хода стола и вертикальное перемещение шлифовальной бабки при реверсе крестового суппорта. Включение и выключение гидропривода производится краном 1 (рис. 3).

Продольное перемещение стола осуществляется поршнем цилиндра 2. Как показано на рисунке, высокое давление масла от лопастного насоса 3 через левую выточку реверсивного золотника 4 по трубопроводу 6 направляется в правую полость цилиндра 2. Из левой полости цилиндра при этом через правую выточку золотника 4 и среднюю выточку золотника управления 5 по трубопроводу 7 и через регулируемый дроссель с подпорным клапаном 8 масло сливается в бак. Поршень со столом перемещается справа налево до тех пор, пока упор 9 не надавит на рычаг 10. Поворот рычага через зубчатые колеса сдвинет золотник управления 5 в крайнее левое положение. Давление масла через правую выточку золотника 5 и дроссель с подпорным клапаном 12 поступает в правую полость золотника 4. Из его левой полости в это время через дроссель и левую выточку золотника 5 масло по трубопроводу 13 идет на слив. Золотник 4 смещается в крайнее левое положение, открывая проток маслу через правую выточку золотника 4 в левую полость цилиндра 2. Правая полость цилиндра при этом через левую выточку реверсивного золотника и среднюю выточку управляющего золотника соединяется со сливом. Поршень и стол перемещаются слева направо, пока упор 9 не надавит на рычаг 10, после чего весь цикл повторяется. Для остановки стола открывают кран 15, соединя левую и правую полости цилиндра.

Поперечное перемещение крестового суппорта производится в момент реверса движения стола. При этом золотник 5 сдвигается в крайнее левое положение и давление масла по трубопроводу 11 через правую выточку золотника 5 поступает по трубопроводу 16 к

золотнику 17 и в верхнюю полость золотника 18, который смещается вниз и открывает доступ масла по трубопроводу 27 через верхнюю выточку золотника 18 и трубопровод 19 в левую полость сервомотора поперечной подачи, поворачивая ротор в исходное положение. Правая полость сервомотора трубопроводами 20 и 21 соединена со сливом. Одновременно часть масла по трубопроводу 16 через дроссель поступает в нижнюю полость золотника 17, смещая его вверх, так как верхняя полость в это время трубопроводами 32 и 13 соединена со сливом. В результате верхняя полость золотника 18 соединяется со сливом и под действием плунжера 35 он перемещается вверх, открывая проток высокого давления масла по трубопроводу 20 в правую полость сервомотора, поворачивая ротор на заданную величину, так как левая полость при этом соединена со сливом трубопроводами 19 и 21. Поперечная подача происходит при каждом реверсе продольного движения стола. Реверс поперечной подачи производится вручную рукояткой 22 или автоматически упорами 28 крестового суппорта, воздействующими на рычаг 29. При этом давление масла через нижнюю или верхнюю выточки золотника 24 поступает в левую или правую полости гидроцилиндра 26, поршень которого перемещает зубчатое колесо  $Z=40$ . Для автоматической работы гидросистемы поперечной подачи открывают кран 23.

Вертикальная подача шлифовальной бабки осуществляется сервомотором, управляемым золотником 33. Для этого также открывают краны 34. В момент реверса поперечной подачи золотник 30 перемещается вниз и давление масла через верхнюю выточку золотника 30 поступает в верхнюю полость золотника 24, смещая его вниз и открывая доступ высокого давления в трубопровод 31 и правую полость сервомотора, поворачивая его ротор и перемещая шлифовальную бабку. При этом левая полость сервомотора через трубопроводы 25 и 21 соединена со сливом. Одновременно масло через дроссель поступает в правую полость золотника 33, смещая его влево. Тогда масло через правую выточку золотника 33 поступит в левую

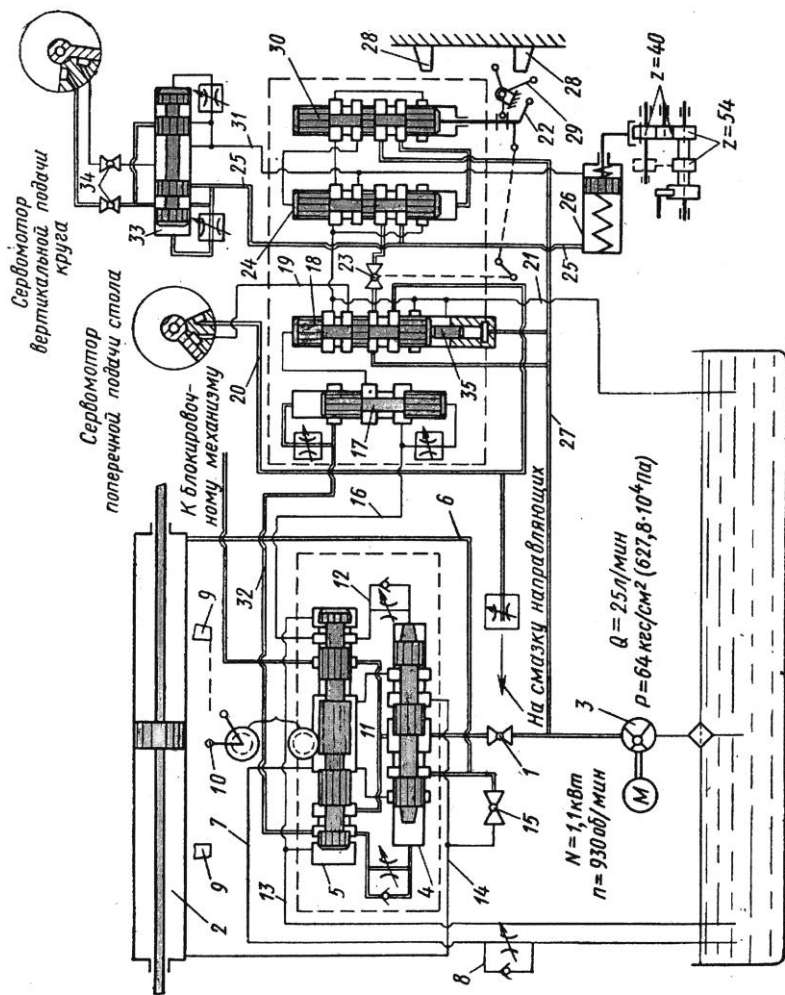


Рис. 3. Гидравлическая схема станка 3Г71

полость сервомотора, а его правая полость соединится со сливом. Ротор сервомотора повернется в исходное положение.

Применяя стандартные условные обозначения узлов станка на гидравлических схемах, можно представить полную или попереходные схемы гидравлической системы станка. Так, например, полуконструктивная схема продольной подачи стола имеет вид, приведенный на рис. 4. Аналогично изображаются другие попереходные схемы или полная гидравлическая система станка.

Некоторые стандартные условные обозначения даны на рис. 5.

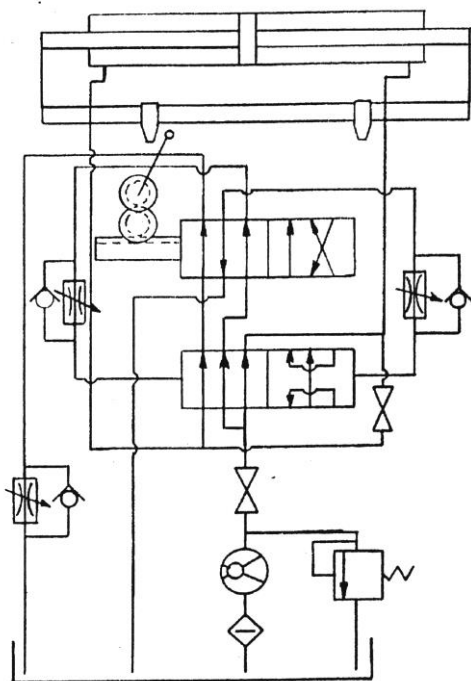


Рис. 4. Гидравлическая схема продольной подачи стола









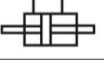
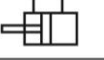









	Насос нерегулируемый
	Насос регулируемый
	Насос лопастной
	Клапан обратный
	Клапан предохранительный
	Дроссель
	Цилиндр
	Цилиндр дифференциальный
	Фильтр
	Вентиль
	Бак
	Соединение трубопроводов
	Пересечение трубопроводов
	Общий вид распределителя
	Распределитель четырехлинейный
	Распределитель пятилинейный
	Гидромотор

Рис. 5. Стандартные условные обозначения

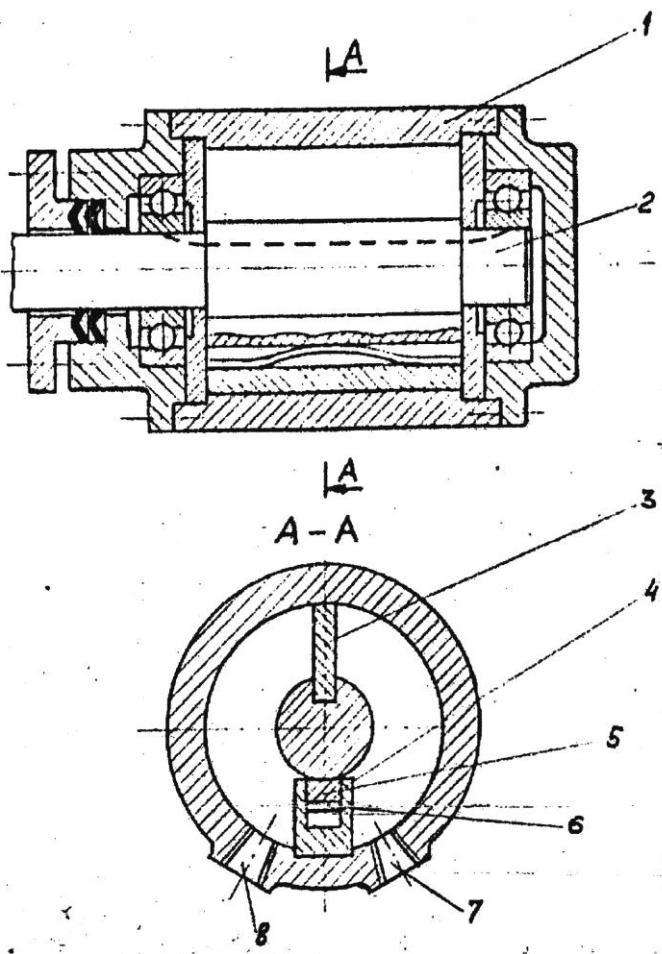


Рис. 6. Однопластинчатый поворотный гидродвигатель

Для поперечной подачи крестового суппорта и вертикальной подачи шлифовальной головки используются гидравлические поворотные двигатели. Управление этими двигателями включает в себя следующие системы. Поэтому они называются сервомоторами.

Например, сервомотор крестового суппорта включается в работу в момент реверса продольной подачи стола. Устройство поворотного гидродвигателя показано на рис. 6. В корпусе 1 вращается ротор 2 с жестко заделанной в него пластиной 3. В нижней части корпуса встроены брус 4, внутри которого находится пластина 5, поджатая к валу пружиной 6. Давление гидросмеси подводится поочередно в отверстия 7 и 8, вызывая поворот ротора сервомотора влево или вправо. Угол поворота ротора в гидродвигателях может достигать  $280^\circ$ . Поворотные гидродвигатели развивают большие крутящие моменты.

## 6. НАСТРОЙКА, НАЛАДКА СТАНКА И РЕЖИМЫ РАБОТЫ

Конструкция узлов станка позволяет выбирать различные режимы шлифования сочетанием различных подач и скоростей стола. Основными технологическими факторами, определяющими режимы шлифования, являются: точность обработки, качество обрабатываемой поверхности, мощность главного привода, стойкость шлифовального круга. При шлифовании мягких материалов применяют твердые шлифовальные круги, а при обработке твердых и закаленных материалов рекомендуется применять более мягкие круги.

Для соблюдения длительной точности станка необходимо избегать перегрузки двигателя главного привода. Полная нагрузка достигается номинального значения при режимах порядка:  $t = 0,05$  мм,  $S_{KC} = 2-3$  мм,  $v_c = 20$  м/мин.

Скорость резания при шлифовании определяется по формуле

$$v = \frac{\pi D_K n_K}{1000 \cdot 60} \text{ м/с.}$$

Машинное время обработки

$$T_M = \frac{l \cdot l_{KC} \cdot h \cdot K_B}{S_{PP} \cdot S_{II} \cdot S_{\ell}} \text{ мин,}$$

где  $K_B$  – коэффициент выхаживания ( $K_B = 1,2$ ).

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Как регулируется скорость движения стола?
2. Как регулируется скорость движения крестового суппорта?
3. Как регулируется вертикальная подача шлифовальной бабки?
4. Как осуществляется реверс стола?
5. Как осуществляется реверс крестового суппорта?
6. Как выполняется остановка стола?
7. Как производится включение автоматического перемещения крестового суппорта?
8. Как производится блокировка автоматического и ручного движения стола?
9. Какой угол поворота ротора сервомотора соответствует минимальному и максимальному перемещению крестового суппорта за 1 ход?
10. На сколько зубьев повернется храповое колесо  $Z=54$  при перемещении крестового суппорта на 0,3 мм за 1 ход?
11. Изобразите золотник 17 на рис. 3 стандартными условными обозначениями.
12. Изобразите гидравлическую систему поперечной подачи суппорта стандартными условными обозначениями.

**Лабораторная работа №7**  
**ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, КИНЕМАТИКИ**  
**И СИСТЕМЫ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО**  
**УПРАВЛЕНИЯ ТОКАРНОГО СТАНКА 16К20Т1**

*Цель работы:* изучение кинематики, конструктивных особенностей станка 16К20Т1 и получение практических навыков в управлении станком и программировании.

***ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ***

1. Изучить технические характеристики станка.
2. Изучить конструктивные особенности узлов станка.
3. Найти основные отличия в конструкции токарно-винторезного станка и токарного станка с ЧПУ.
4. В чём отличие шариковинтовой пары и обычной винтовой пары?
5. Какой узел определяет скорость холостых ходов узлов станка?
6. Чем определяется точность обработки станка с ЧПУ?
7. Что такое гибридный подшипник, игольчатый, роликовый или шариковый упорный и чем вызвано использование их в конструкции токарного станка?

**1. НАЗНАЧЕНИЕ СТАНКА И ЕГО**  
**ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА**

Станок модели 16К20Т1 с устройством ЧПУ НЦ 230 предназначен для обработки пространственных изделий сложной формы, например, различных резьб, конических, радиусных поверхностей, а также их сопряжений (рис. 1) [8,9,10].

Пространственная обработка достигается сочетанием вращения обрабатываемой детали и движения резцедержки с инструментом,

установленным в револьверной головке, в горизонтальной плоскости (по двум координатам  $X$ ,  $Z$ ).

Координата  $Z$  соответствует продольному перемещению резцедержки, а координата  $X$  – поперечному перемещению. Обработка может производиться резцами различных конструкций, а также свёрлами. Для управления станком применено устройство числового программного управления (УЧПУ) типа НЦ 230.

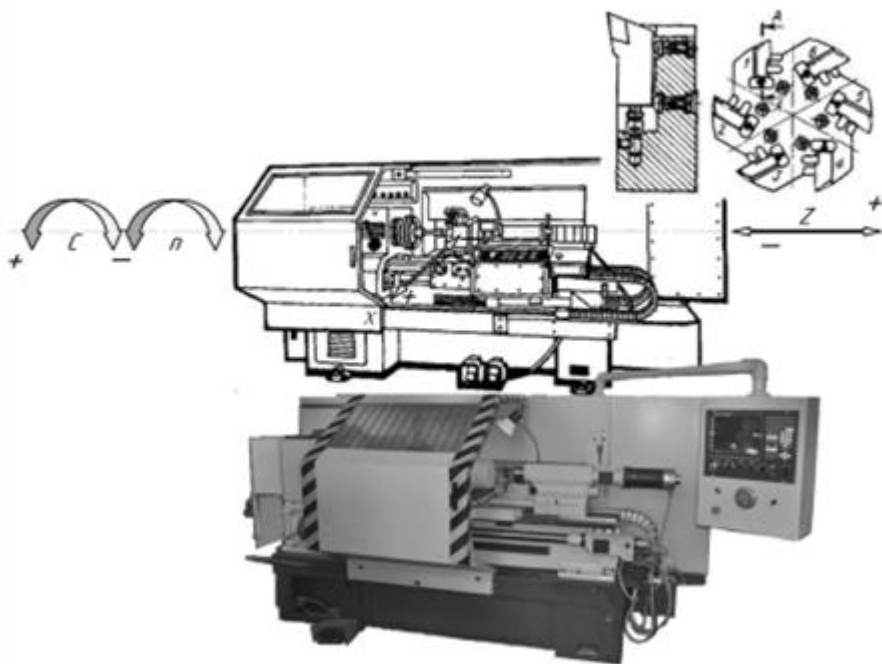


Рис. 1. Станок токарный с числовым программным управлением мод. 16К20Т1

Устройство позволяет управлять перемещением одновременно по двум координатам  $X$ ,  $Z$  следящими приводами станка [4]. В составе УЧПУ имеется программируемый контроллер (ПК), позволяющий организовать работу автоматики и вспомогательных узлов станка, а также формировать управление узлами станка. УЧПУ пол-

ностью параметризовано для управления токарным станком и оснащено программой функционирования ПК (программируемый контроллер). Для удобства работы и оперативного поиска неисправностей на дисплее УЧПУ выводятся сообщения об ошибках в работе станка, передаваемые из ПК.

Технические характеристики системы числового программного управления приведены в табл. 1.

*Таблица 1*

*Технические характеристики ЧПУ*

Количество управляемых координат, включая шпиндель	2,5
Количество каналов датчика перемещений	3
Количество каналов ЦАП (14 разрядов)	5
Количество каналов электронного штурвала	1
Количество каналов датчика касания	1
Количество дискретных каналов вх./вых.	32/24
Ёмкость памяти: - ОЗУ (память УЧПУ + буфер кадра)- SDRAM -ЗУ – HDD	(56+8) MB 504 MB
Дисплей	Монохромный монитор
Клавиатура	79 клавиш
Габаритные размеры	439×340×140мм
Масса	не более 9,7 кг

## **2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Технические характеристики станка 16K20T1 приведены в табл. 2. Общий вид станка с обозначениями основных узлов и органов управления приведен на рис. 1 и 2.

Станок устанавливают на бетонном полу цеха (без специального фундамента) и закрепляют четырьмя фундаментными болтами. Выверку станка с точностью 0,02 мм на 1000 мм следует производить с помощью клиньев или башмаков по уровням, расположенным на суппорте параллельно и перпендикулярно оси центров, перемещающая суппорт на всю длину хода.

Таблица 2

## Технические характеристики станка 16К20Г1

Класс точности станка по ГОСТ 8-82	П	
Наибольший диаметр устанавливаемого изделия, мм		
- над станиной	500	
- над суппортом	215	
Наибольшая длина устанавливаемого изделия, мм	1000	
Наибольшая длина хода суппорта, мм		
- продольного	905	
- поперечного	210	
Количество частот вращения шпинделя	Бесступенчатое регулирование	
Пределы частот вращения шпинделя, управляемых вручную, об/мин:	10-2000	12,5-2000
1-й диапазон	10...2000	12,5...2000
2-й диапазон	20...2000	50...800
3-й диапазон		125...800
Пределы шагов нарезаемых резьб, мм	0,01-40,959	
Пределы величин оборотных подач, мм/об:		
- продольных	0,01-2,8	
- поперечных	0,005-1,4	
Максимальная скорость рабочей подачи, мм/ мин	2000 (продольная) 1000 (поперечная)	
Скорость быстрых ходов, мм/мин:		
- продольных	6000	
- поперечных	5000	
Дискретность перемещений, мм:		
- продольных	0,01	
- поперечных	0,005	
Количество позиций автоматической поворотной резцовой головки, шт	6	
Высота резца, устанавливаемого в поворотной резцовой головке, мм	25	
Наибольший крутящий момент на шпинделе, кГм (Нм)	100 (981)	
Габаритные размеры станка, мм:		
- длина	3175	
- ширина	1700	
- высота	1700	
Масса станка, кг, не более	3800	4100



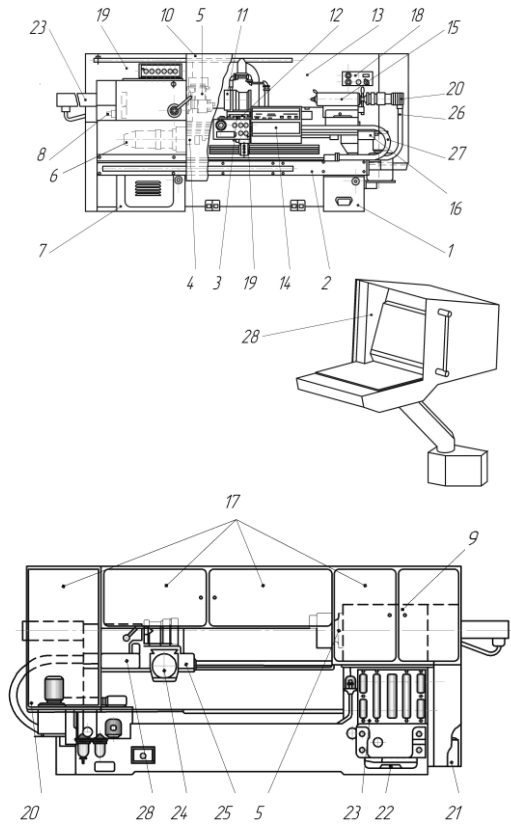


Рис. 2. Узлы, агрегаты, а также органы управления:

1 – основание; 2 – станина; 3 – каретка; 4 – опора левая винта продольного перемещения; 5 – бабка шпинделя; 6 – привод продольного перемещения; 7 – неподвижное ограждение; 8 – привод датчика резбонарезания; 9 – шкаф управления; 10 – подвижное ограждение; 11 – головка автоматическая универсальная (револьверная); 12 – винтовая шариковая пара (ШВП) поперечного перемещения; 13 – шкаф управления; 14 – винтовая шариковая пара (ШВП) продольного перемещения; 15 – бабка задняя; 16 – опора правая винта продольного перемещения; 17 – электрооборудование; 18 – пульт управления; 19 – блок ручного управления; 20 – электромеханический привод пиноли задней бабки; 21 – смазка централизованная; 22 – установка моторная; 23 – патрон механизированный с электромеханическим приводом; 24 – привод поперечного перемещения; 25 – редуктор поперечной подачи; 26 – разводка коммуникаций по станку; 27 – разводка коммуникаций по каретке; 28 – установка дисплея

### ***Привод главного движения***

Привод главного движения – вращения шпинделя включает моторную установку с асинхронным электродвигателем *М1* и шпиндельную бабку, соединенные клиновыми или поликлиновыми ременными передачами (рис. 3) [15,16].

От шкива Ø 105 мм электродвигателя МР 132 (НРБ) вращение передается посредством ременной передачи на шкив Ø 264 мм шпиндельной бабки. В случае использования в качестве привода электродвигателя постоянного тока «РАЗМЕР 2М-5-21» производства Новосибирского «Сибэлектротрансмаша» и НИИКЭ<sup>1</sup> в качестве ремня используется поликлиновый ремень 2240Л20 с передаточным отношением 1:2,5. В случае применения высокомоментного электропривода постоянного тока, производства НРБ «Кемтор», передаточное отношение ремня составляет 1:2.

Если в качестве привода главного движения используется частотно-регулируемый асинхронный (синхронный вентильный) электродвигатель, то диапазон его регулирования с постоянной мощностью привода составляет 1500-4500 об/мин. Электроприводы постоянного тока обеспечивают постоянную мощность в диапазоне частот вращения 1000-3500 об/мин.

Шпиндель станка смонтирован в конических двух- и однорядном подшипниках. Подшипники регулируются на заводе-изготовителе станка и не требуют регулировки в процессе эксплуатации. Регулировка положения оси шпиндельной бабки на станке производится двумя винтами.

Для обеспечения возможности продольного, поперечного базирования и резбонарезания на шпиндельной бабке устанавливается датчик резбонарезания ВЕ-178. Датчик угловых перемещений ВЕ-178<sup>2</sup> служит для преобразования угловых перемещений в электри-

---

<sup>1</sup> Морально устарел, в настоящее время не выпускается.

<sup>2</sup> Производство Оршанского инструментального завода (Беларусь).

ческие импульсы и предназначается для информационной связи по положению между позиционируемым объектом и устройством числового программного управления (УЧПУ) или устройством цифровой индикации (УЦИ). В настоящее время датчик ВЕ-178 заменяется абсолютными датчиками углового положения (абсолютный энкодер) ЛИР-МА158.

Номера 1-11 и 31-32 соответствуют шестерням, для каждой из которых указано количество зубьев  $Z$ . Номер 19 соответствует редуктору продольных перемещений.

Номер 22 – установка моторная (автоматическая головка), поставляется как готовый узел.

Ранее использовалась автоматическая шестипозиционная головка УГ9321<sup>3</sup>. Головка УГ9321 служит для автоматической индексации режущих и вспомогательных инструментов, устанавливаемых в инструментальном диске с горизонтальной осью поворота.

В шпиндельной бабке станка 16К20Т1 предусмотрено переключение вручную с помощью рукоятки трёх диапазонов частот вращения шпинделя. Переключение диапазонов частот вращения шпинделя осуществляется вручную с помощью рычага, установленного на коробке скоростей станка. В табл. 3 приведено положение рычага, соответствующего разным диапазонам вращения шпинделя.




---

<sup>3</sup> Производство РУП «Гомельский завод станочных узлов».



Таблица 3

## Ручное регулирование диапазонов частот вращения шпинделя станка

Положение рукоятки на шпиндельной бабке	Номер переключаемого диапазона	Частота вращения в каждом диапазоне (для разных электродвигателей)	
		Асинхронный глубокорегулируемый «РАЗМЕР 2М-5-21»	Электродвигатель постоянного тока МР132М (НРБ)
	1	20...325	12,5...200
	2	63...900	50...800
	3	160...3240	125...2000

В табл. 4 указаны предельные и некоторые промежуточные значения частот вращения шпинделя и расчётные значения мощности и крутящего момента для трёх диапазонов частот вращения шпинделя при установке асинхронного глубокорегулируемого электродвигателя «РАЗМЕР 2М-5-21» ( $N = 11$  кВт при  $n = 1500-4500$  об/мин). При использовании электродвигателей МР132М ( $N = 11$  кВт при  $n = 1000-3500$  об/мин) выходные параметры на шпинделе примерно аналогичные.

Зависимость мощности электропривода («РАЗМЕР 2М-5-21») на различных частотах вращения показана на рис. 4.

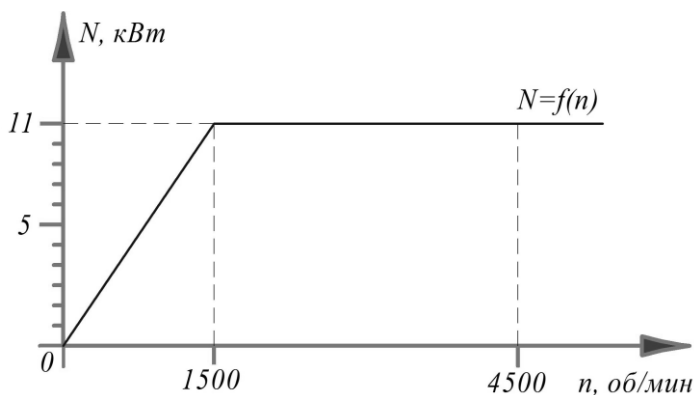


Рис. 4. Мощность привода («РАЗМЕР 2М-5-21») шпинделя на различных частотах вращения

С вала двигателя  $M2$  вращение передаётся посредством цилиндрической зубчатой передачи через колёса 31 ( $z_4=0$ ) и 32 ( $z=40$ ) на винт поперечной шариковинтовой передачи (далее ШВП). Перемещение пиноли задней бабки осуществляется электроприводом  $M3$ . С вала двигателя  $M4$  вращение передаётся посредством цилиндрической зубчатой передачи  $Z=25$  (50) и  $Z=50$  на винт продольной ШВП.

В приложении Л приведён перечень элементов к кинематической схеме.

Таблица 4

Изменения частот вращения, мощности и крутящего момента на шпинделе

Электропривод			Шпиндельная бабка						3240...160			3240...20 об/мин			325...20			
М, КГМ	N, кВт	n, об/мин	III диапазон			II диапазон			I диапазон			M, КГМ	N, кВт	M, КГМ	n, об/мин	I диапазон		
			n, об/мин	N, кВт	M, КГМ	n, об/мин	N, кВт	M, КГМ	n, об/мин	N, кВт	M, КГМ							
2,8		4500																
3,5		3500																
4,5	11	2809																
5,6		2240	3240		5,5													
6,9		1800	1600		6,9													
8,1		1400	1400		8,1													
		1120	1120		9,6													
		900	900		11,9			900				13,8						
		710	710					710				17,5						
8,5		560	560		9,5			560			11							
		450	450		6,0			450										
		355	355		4,2	13		315										
					250	3,3		250							325			38
					209	2,6		200							250			48,5
					160	2,1		160							200			62
								125							165			79
								102							125			100
								69							108			
								63							89			8,5
															63			6,8
															50			5,4
															40			4,3
															28			3,0
															20			2,4

Самые важные особенности высокомоментного электропривода постоянного тока Кемтор:

- безтрансформаторное подсоединение к сети 380 Вольт;
- двузонное регулирование скорости;
- двуконтурная регулирующая структура с подчинённым контуром тока якоря;
- ПИ регуляторы тока якоря, возбуждения и скорости;
- возможность двухкратной перегрузки по моменту;
- возможность одностепенного ограничения момента при помощи внешнего сигнала;
- номинальная мощность до максимальной скорости.

### **3. УЗЛЫ СТАНКА**

#### *3.1. Станина*

Станина является основным базовым узлом, на котором монтируются узлы и механизмы станка.

Станина станка литая, чугунная, коробчатой формы с поперечными П-образными рёбрами, имеет две призматические и две плоские направляющие. Направляющие подвергнуты термообработке с последующим шлифованием. Жёсткость конструкции станины достигается за счёт развитого основания и большого числа рёбер.

Станина устанавливается на одной общей пустотелой тумбе. В тумбе выполнено корыто с привёрнутым козырьком для удаления стружки. В левой части тумбы слева крепится электродвигатель главного движения. Сзади установлен на кронштейнах электрошкаф. Под козырьком для удаления стружки на фундаменте установлен резервуар для смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).



### 3.2. Шпиндельная бабка

Шпиндельная бабка (рис. 5) получает движения от электродвигателя основного привода через ременную передачу. Приёмный шкив вращается на двух радиально-упорных подшипниках 1, зазор между которыми выбирается с помощью пружины 2.

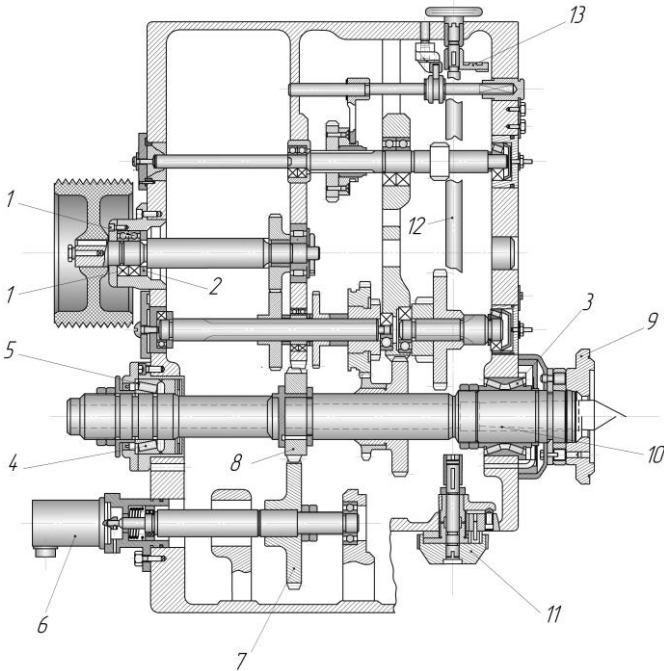


Рис. 5. Шпиндельная бабка станка

Шпиндель станка вращается на двух упорных роликоподшипниках. Передний подшипник 3 шпинделя – двухрядный с коническими роликами, суммарный зазор в котором отрегулирован на заводе-изготовителе. Задний подшипник 4 нагружен в осевом направлении пружинами 5. Благодаря постоянно действующей осевой нагрузке зазор в первом ряду переднего подшипника 3 и в заднем подшипнике 4 всегда выбран, поэтому шпиндельные опоры не нуждаются в регулировке в процессе эксплуатации.

На левом торце шпинделя бабки устанавливается фотоэлектрический датчик 6 с приводом от шпинделя через цилиндрические зубчатые передачи 7-8.

Шпиндель имеет фланцевый конец 9 с условным размером 6 по ГОСТ 12593-72 (с поворотной шайбой) и отверстие 10 с конусом Морзе 6. Наибольший диаметр прутка, проходящего через шпиндель, равен 50 мм.

Переключение диапазонов вращения шпинделя осуществляется с помощью рукоятки 11, поворачивающей вал 12 и муфты 13.

Важное значение для нормальной эксплуатации и сохранения долговечности станка имеет правильное и регулярное смазывание, которое необходимо производить строго в соответствии с картой и схемой смазывания.

Система смазывания шпиндельной бабки – автоматическая. Шестеренный насос, приводимый во вращение через ременную передачу от электродвигателя главного привода, всасывает масло из резервуара и подаёт его через сетчатый фильтр к подшипникам шпинделя и зубчатым колёсам. Примерно через 1 мин после включения электродвигателя главного привода начинает вращаться диск маслоуказателя, расположенного на корпусе коробки скоростей. Его постоянное вращение свидетельствует о нормальной работе системы смазывания. При прекращении вращения диска необходимо тут же отключить станок и очистить фильтр, промыв его элементы в керосине. Фильтр следует очищать не только при его засорении, но и регулярно не реже 1 раза в месяц. Из шпиндельной бабки масло через сетчатый фильтр с магнитным патроном сливается в резервуар. Ежедневно перед началом работы необходимо проверять по риске маслоуказателя уровень масла и при необходимости доливать его.

Смазывание направляющих суппорта и станины осуществляется автоматически от станции смазывания, установленной в основании. Шестерённый насос станции включается одновременно с включени-

ем станка и в дальнейшем периодически по команде от моторного реле времени, с помощью которого устанавливается промежуток времени 10-240 мин между подачами масла. Дозирование подачи масла осуществляется с помощью пневматического реле времени, настроенного на 3-5 с. За это время необходимая порция масла поступает от разветвительной коробки ко всем точкам смазки направляющих. Если необходимо осуществить дополнительную подачу масла к направляющим, следует нажать кнопку «Толчок смазки». Подача масла осуществляется в течение всего времени нажатия кнопки.

На станке модели 16К20Т1 используются гидропривода для продольной и поперечной подач. Гидрообрудование станка состоит из следующих элементов: гидростанции 7,5/1500 Г48-44, в которую входят резервуар для масла, регулируемый насос с приводным электродвигателем, элементы фильтрации и охлаждения рабочей жидкости, контрольно-регулирующая аппаратура; гидропривода продольного хода каретки Э32Г18-23; гидропривода поперечного хода суппорта Э32Г18-22; магистральных трубопроводов, соединяющих между собой гидравлические узлы и аппаратуру. Станция смазки смонтирована на основании станка.

### ***3.3. Привод продольной подачи***

Привод продольных подач (рис. 6) состоит из двух кронштейнов 1 и 2, жёстко закреплённых на станине 3, и фартука, установленного на карте.

На правом кронштейне 1 смонтирована опора с ходовым винтом 4, состоящая из комбинированного роликового подшипника 5, плиты 6 с высокомоментным двигателем 7. Передача вращения с вала двигателя 7 на ходовой винт 4 осуществляется посредством мембранной муфты 8. Натяг в подшипнике 5 обеспечивается гайкой, которая стопорится хомутом.

На левом кронштейне 2 с помощью фланца 9 монтируется вторая опора ходового винта 4, состоящая из подшипника 10 и измерительного фотоэлектрического преобразователя 11, вал которого соединён с помощью упругой муфты 12 с насадкой, закреплённой на шейке ходового винта 4.

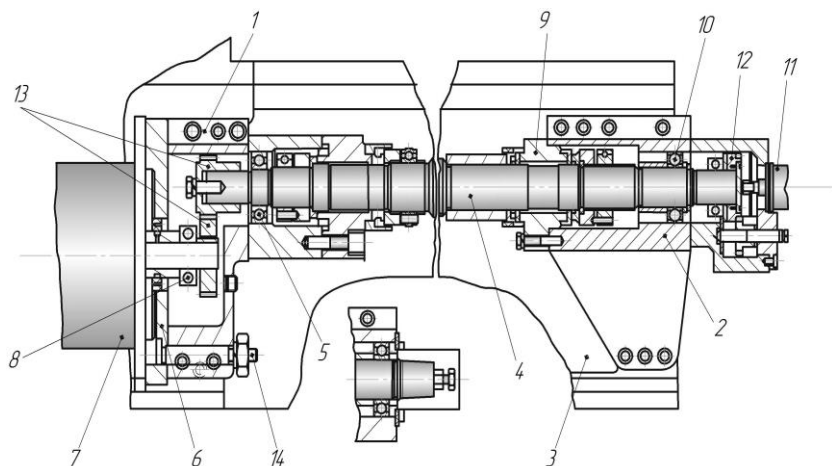


Рис. 6. Привод продольных подач (ось Z)

В подвижном кронштейне фартука монтируется гайка винтовой пары качения (ШВП). Ходовой винт 4 надёжно защищён от загрязнения грязеочистителями, кожухами-гармошками и щитком (на рис.6 не показаны).

Одноступенчатый редуктор 13 привода продольной подачи (передаточное отношение 1:1) имеет два исполнения: для гидравлического шагового привода и для установки электродвигателя постоянного тока. В качестве привода продольных подач до 2000 г. использовали высокомоментный электропривод постоянного тока производства НРБ, Кемтор.

В случае использования в приводе продольной подачи асинхронного двигателя 7 с частотным регулированием (4АХБП-100L-

4ПБ УХЛ4) одноступенчатый редуктор 13 имеет передаточное отношение 1:2.

Выбор зазора в зубчатом зацеплении редуктора 13 производится перемещением переходной плиты 6 с электродвигателем 7 при помощи поворота эксцентрика 14.

#### **3.4. Суппорт и привод поперечных подач**

Суппорт состоит из каретки, перемещающейся по призматической передней и плоской задней направляющим станины, и поперечной ползушки, перемещающейся по верхним направляющим каретки типа «ласточкин хвост» (см. рис. 1).

Перемещение ползушки обеспечивает привод поперечных подач, состоящий из высокомоментного электродвигателя 1, зубчатых колёс 2,3 и винтовой пары качения 4 (ШВП). Зазор в зубчатой передаче выбирается при сборке за счёт сближения осей шестерён 2-3 путём поворота эксцентриковой оси (на рис.7 не показана), шестерни 2 и эксцентрикового кольца 5, в котором центрируется двигатель 1 (рис. 7).

Винт пары качения 4 (ШВП) установлен в радиальных подшипниках 6, натяг в которых создаётся двенадцатью пружинами 7, вставленными в специальные втулки 8. От осевого смещения винт качения 4 (ШВП) удерживается упорными подшипниками 9, натяг в которых создаётся сжатием пружин.

Корпус электропривода 1 крепится к каретке с помощью фланцев электродвигателя. Задняя опора винта радиального подшипника состоит из радиального подшипника 6 и комбинированного роликового подшипника 9.

На втором конце винта радиального подшипника, который поддерживается игольчатым радиальным подшипником, жестко закреплена втулка, имеющая отверстие с внутренним шестигранником под рукоятку для ручного перемещения суппорта в поперечном направлении.

С винтом качения 4 (ШВП) поперечной подачи с помощью насадки 10 и упругой муфты 11 соединён измерительный фотоэлектрический преобразователь 12, осуществляющий обратную связь между винтом качения 4 (ШВП) и электродвигателем 1 (рис. 7).

В приводе поперечных подач использован высокомоментный электропривод 1 постоянного тока Кемтор.

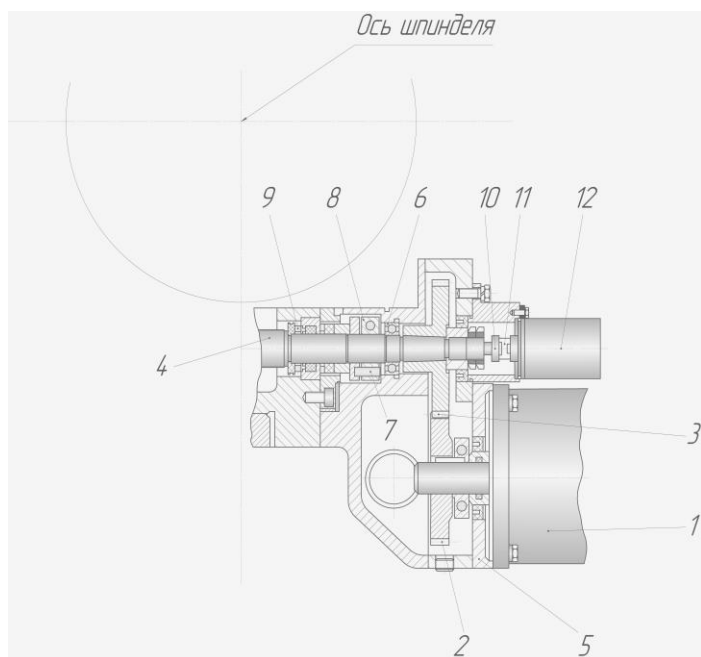


Рис. 7. Суппорт и привод поперечных подач (ось X)

Выбор зазора и регулировку натяга в паре винт-гайка качения 4 (ШВП) производят поворотом относительно другу друга двух полу-гаек с помощью регулировочного колеса, поворот которого на один зуб относительно первой полугайки приводит к осевому смещению гайки относительно винта качения 4 (ШВП) на 1 мкм.

Привод продольной подачи имеет конструкцию, аналогичную конструкции привода продольной подачи. Конструкция привода продольной подачи включает одноступенчатый редуктор, опоры ходового винта и шариковую передачу винт-гайка качения 4 (ШВП) с условным диаметром 63 мм, шагом 10 мм (в поздних моделях 8 мм). Редуктор (шестерни 2-3) имеет два исполнения: для гидравлического шагового привода и для установки электродвигателя постоянного тока.

### *3.5. Резцедержатель*

В качестве переднего резцедержателя используется автоматическая шестипозиционная резцедержка агрегатного типа У16-520.000 с горизонтальной осью вращения, монтируемая на поперечной ползушке (рис. 8). В комплект резцедержки входят 4 державки концевоего инструмента.

Инструментальный диск съёмный устанавливается на валу 11 резцедержки и жёстко связан с подвижной частью 2 плоскозубчатой муфты. Поворот относительно горизонтальной оси инструментального диска осуществляется от электродвигателя 1 через понижающую зубчатую 5 и 6, червячную 7 и 8 передачи и далее на кулачковую полумуфту 9, другая половина которой 10 жёстко связана с валом резцедержки.

При подаче команды на смену инструмента по адресу T... включается электродвигатель 1, который передаёт вращение через кулачковую полумуфту 9, воздействуя своими торцевыми зубьями на зубья полумуфты 10 и заставляя её вращаться.

Поскольку нарезка зубьев у полумуфт 10 и 9 выполнена по винтовой линии, а полумуфта 10 жёстко связана с валом 11, то последний начнёт перемещаться под действием пружины 19, выводя из зацепления плоскозубчатые полумуфты 2 и 3.

После расцепления происходит поворот в нужную позицию, которая контролируется датчиком положения 12. Выданный датчиком

сигнал поступает на декадный выключатель и далее в ЧПУ. ЧПУ выдаёт команду на реверс электродвигателя.

Полумуфта 2 с инструментальным диском удерживается от поворота в противоположную сторону фиксатором 13, и подвижная часть 2 плоскозубчатой муфты фиксируется на зубьях неподвижной полумуфты 3. Сигнал от датчика – конечника зажима 14 передаётся в ЧПУ, которое даёт команду на отключение электродвигателя и продолжение цикла обработки. Для ручного поворота и зажима резцедержки в наладочном режиме на валу электродвигателя 1 предусмотрена головка под ключ (рис. 8).

Под специальный заказ могут быть поставлены однопозиционные резцедержки задние и передние.

Инструментальный диск 9 (рис. 8), на лицевой стороне которого имеются пазы для крепления шести резцов-вставок или резцовых блоков, съёмный, он смонтирован на коническом выступе вала 1 и прижат к задней торцовой поверхности подвижного плоскозубчатого колеса 2 с выпуклыми круговыми зубьями. В свою очередь, полумуфта жёстко скреплена с валом 1. Неподвижная полумуфта 3 с вогнутыми круговыми зубьями скреплена с корпусом головки 4.

Момент достижения револьверной головкой требуемой позиции фиксируется срабатыванием герметизированных электрических контактов 7 (герконов) шестипозиционного командоаппарата 5, на которые воздействует вращающийся синхронно с валом 1 магнит 6. При достижении заданной позиции включается реле совпадения, которое даёт команду на реверс двигателя, но подвижное плоское колесо 2 вместе с инструментальным диском 9 удерживается от поворота фиксатором 8. По окончании зажима сигнал от реле максимального тока отключает электродвигатель поворота и даёт команду в устройство ЧПУ на продолжение автоматического цикла.



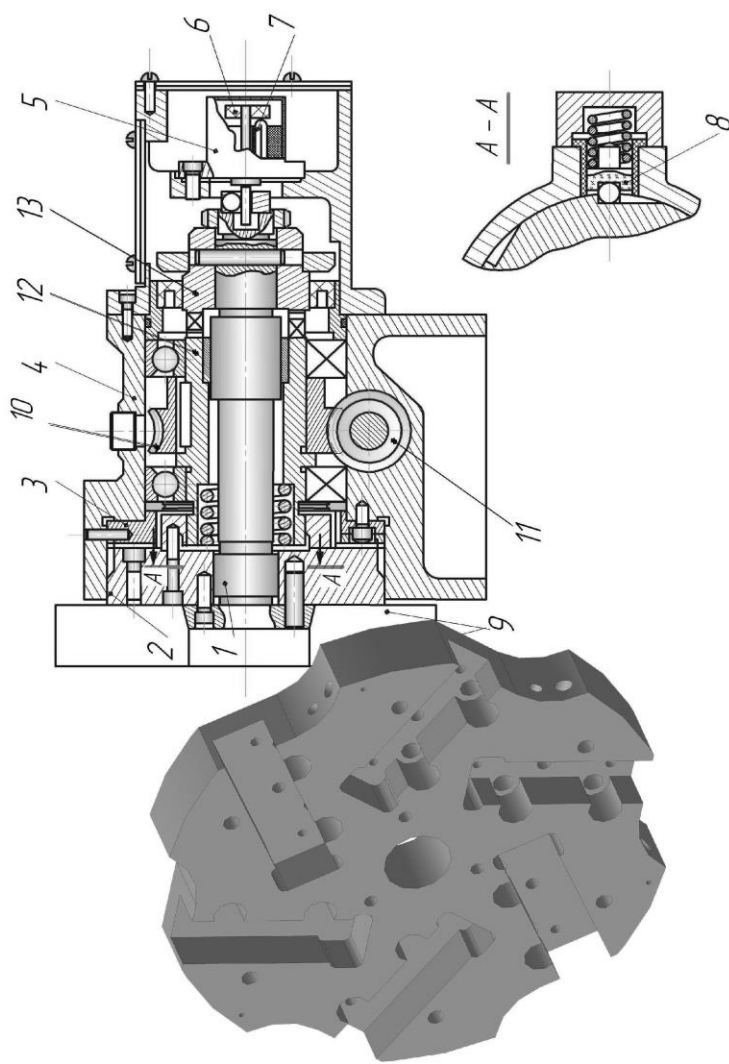


Рис. 8. Револьверная головка станка 16К20Г1

Максимальная высота державки резца равна 25 мм. Поворотная шестипозиционная револьверная головка с горизонтальной осью поворота, параллельной оси шпинделя, имеет на поперечных салазках два смещённых на 75 мм вдоль оси одно относительно другого рабочих положения, в каждое из которых она может быть переставлена по мере необходимости.

Привод резцедержки (поворотной) обеспечивает поворот и зажим инструментального диска и состоит из асинхронного двигателя, зубчатой передачи 10, червячной передачи 11 и пары торцевых кулачков 12-13.

### **3.6. Задняя пиноль (задняя бабка)**

Задняя бабка (рис. 9) перемещается по направляющим станины и крепится к ней в нужном месте рукояткой 18 через эксцентрик 19. Задняя бабка представляет собой чугунный корпус 20, в котором перемещается пиноль 1, приводимая в движение электродвигателем 2 через цилиндрическую зубчатую передачу 4 и 5 и винтовую передачу 3 и 6. Стабильное положение пиноли обеспечивается поджимом её к корпусу при помощи пружины 8 и гайки 7.

Поперечное смещение корпуса задней бабки 20 по плите 21 для совпадения осей центров шпиндельной и задней бабок осуществляется винтами 22 и 23.

При упоре центра в устанавливаемую заготовку винт начинает вывёртываться из гайки 6 и сжимать пружину 7, состоящую из отдельных дисков. При этом вместе с винтом вправо перемещаются зубчатое колесо 5, диск 9 и валик 10, соединённый в осевом направлении с помощью канавки с диском.

В конце перемещения, величина которого устанавливается поворотом валика 10 и маховика 11, определяется усилие поджима заготовки, кулачок 12 торцевой спиралью воздействует через рычаг 13 на наконечник 14 и останавливает двигатель.

При обратном движении пиноли до упора винт ввертывается в гайку, пружина сжимается в другую сторону, упор 15 воздействует через рычаг 16 на конечный выключатель 17 и останавливает двигатель.

Усилие поджима заготовки пинолью регулируется от 200 кг до 500 кг с помощью маховика 11. После установки необходимого усилия маховик фиксируется винтом 26.

На заднем торце плиты основания крепится на кронштейне конечник ограничения максимальных перемещений в «Z» при работе с задней бабкой.

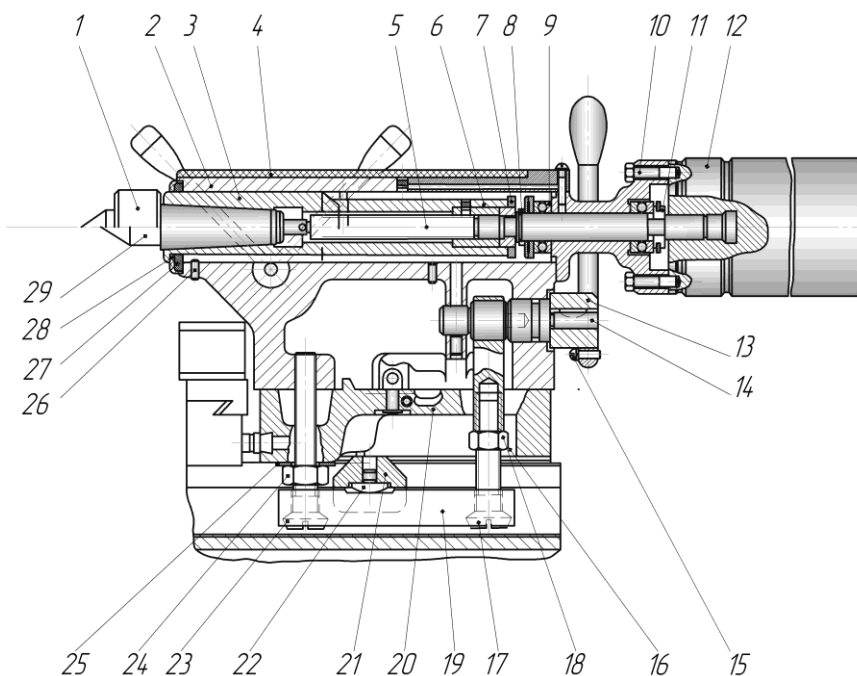


Рис. 9. Задняя пиноль станка 16К20Т1 (задняя бабка)

## 4. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

Электроаппаратура (за исключением нескольких аппаратов) смонтирована в шкафу управления 17 (см. рис. 2), расположенном с задней стороны станка.

Электрооборудование станка предназначено для подключения к трёхфазной сети переменного тока с глухозаземленным или изолированным нейтральным проводом.

В электросхеме предусмотрена блокировка, отключающая вводной автоматический выключатель при открывании двери шкафа управления. При включенном вводном автоматическом выключателе открывание дверей шкафа приводит к срабатыванию путевого выключателя.

На лицевой стороне электрошкафа управления имеются следующие органы управления 28 (см. рис. 2):

- рукоятка включения вводного автоматического выключателя с максимальным и дистанционным расцепителями;
- сигнальная лампа с линзой белого цвета, сигнализирующая о включенном состоянии вводного автоматического выключателя;
- переключатель для включения и отключения электронасоса охлаждения;
- указатель нагрузки, показывающий загрузку электродвигателя главного привода.

Периодичность профилактических ремонтов устанавливается в зависимости от производственных условий, но не реже одного раза в год.

При профилактических ремонтах должна производиться разборка электродвигателей, очистка внутренних и наружных поверхностей и замена смазки подшипников.

Замену смазки подшипников при нормальных условиях эксплуатации следует производить через 4000 часов работы, а при работе

электродвигателя в пыльной и влажной среде – чаще (по мере необходимости).

В настоящее время датчики обратной связи наиболее широко используются на специальных станках с ЧПУ, предназначенных для обработки габаритных деталей, на станках с высокими частотами вращения шпинделя ( $n \leq 10000$  об/мин и больше), а также с высокими подачами ( $S_{\text{мин}} \leq 50\,000$  мм/мин), где точность позиционирования достигает 0,001 мм, и на высокоточных станках (обработка осуществляется с точностью менее 1 мкм). В указанных случаях использование датчиков обратной связи необходимо для исключения погрешностей позиционирования исполнительных органов, обусловленных инерционностьюдвигающихся узлов и агрегатов станка.

Многие производители электроприводов в ряде своих изделий устанавливают датчики обратной связи непосредственно в корпус самого электродвигателя (FANUC, Simens и др.).

Мировым лидером, производящим высокоточные датчики обратной связи (фотоэлектрические, дифракционные, интерференционные и др.), является швейцарская фирма HAIDENHAIN. В РФ фотоэлектрические датчики производит СКБ Измерительных Систем (СПб) (рис. 10).

Датчики обратной связи решают среди прочих следующие задачи:

- точное позиционирование исполнительных органов станка в требуемой точке рабочего пространства станка;
- поддержание требуемых режимов обработки деталей (обеспечение требуемых величин подач, обеспечение требуемой скорости резания, поворот исполнительного органа на требуемый угол (делительная головка)).

На рис. 11 показана блок-схема взаимодействия датчика обратной связи и электродвигателя, управляемых оператором через систему ЧПУ.



Рис. 10. Энкодер (угловой датчик) производства СКБ Измерительные Системы (СПб)

Любой станок с ЧПУ оснащён большим количеством концевых выключателей, ограничивающих движение исполнительных органов по управляемым осям станка, обеспечивающих безопасность эксплуатации станочного оборудования, а также обеспечивающих аварийную остановку станка по требованию оператора и др.

Нарезание резьбы достигается согласованием сигналов, поступающих от фотоэлектрического датчика резьбонарезания 11 (см. рис. 11) в шпиндельной бабке, и сигналов, поступающих в электродвигатель 7.

Благодаря этому вращение шпинделя согласуется с продольным перемещением суппорта. Согласование осуществляет система ЧПУ.

В ней же переключателем настраивают соотношение движений, необходимое для заданного шага  $P_d$  нарезаемой резьбы. При этом одному обороту шпинделя (1 об.шп.) соответствует перемещение стола станка на один шаг резьбы  $P_d$  мм.

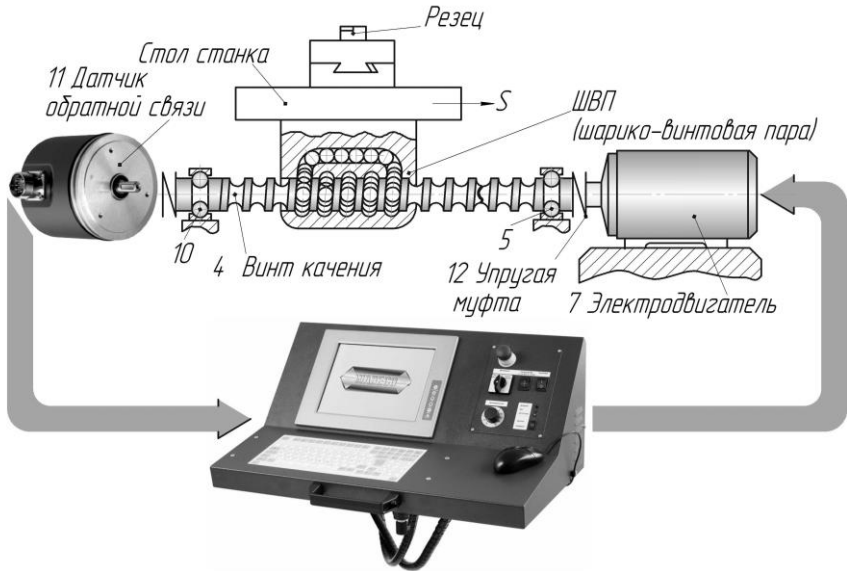


Рис. 11. Блок-схема организации обратной связи между электродвигателем продольных перемещений и датчиком обратной связи

Перемещение суппорта выражают через число импульсов. Количество импульсов, генерируемых датчиком обратной связи 11, определяют точность обработки детали. Отечественные датчики обратной связи 11, как правило, способны за один оборот сгенерировать 750 или 1000 импульсов. Шаг ШВП обычно равен 8 мм. По этой причине на один импульс датчика обратной связи 11 приходится следующее перемещение стола станка:

–  $8 / 750 = 0,01$  мм (при использовании датчика 11 с 750 импульсами на выходе за один оборот винта качения 4 ШВП);

–  $8 / 1000 = 0,008 \text{ мм}$  (при использовании датчика *11* с 1000 импульсами на выходе за один оборот винта качения 4 ШВП).

На оси *Z* устанавливают обычно датчик *11* с меньшим количеством импульсов на один оборот. Это объясняется тем, что при токарной обработке точность обработки размеров по оси *Z* меньшая, чем по оси *X*.

Упругие муфты *12* необходимы для того, чтобы компенсировать возможные биения валов как в радиальном, так и в осевом направлении. Это позволяет резко снизить вероятность преждевременного износа подшипников вала датчика. Уже незначительный, возникший в осевом направлении вала, люфт может привести к полному электрическому отказу энкодера (рис. 12). Это связано с тем, что для

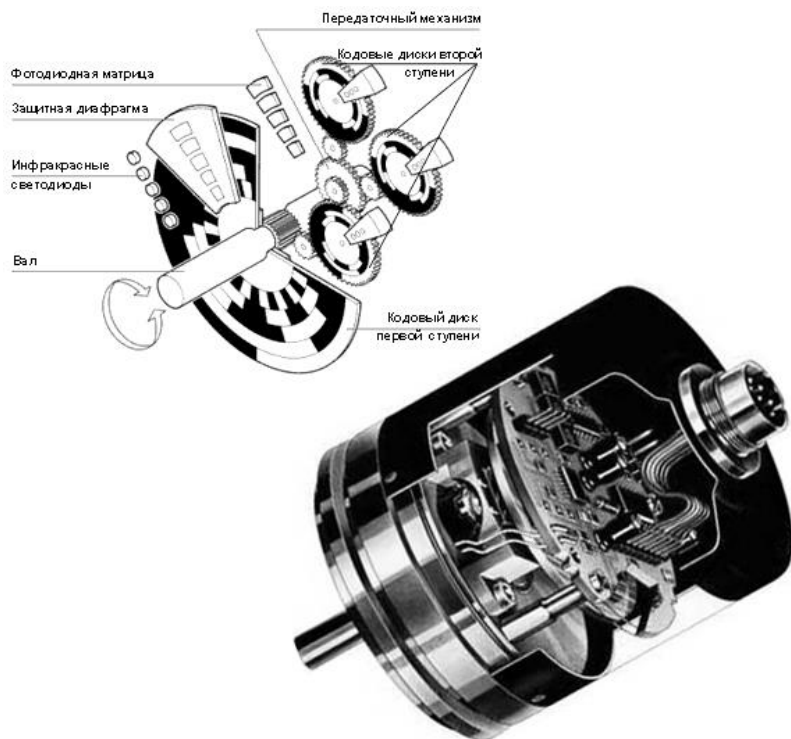


Рис. 12. Конструкция шагового энкодера



достижения высокого разрешения оптический диск, обеспечивающий генерацию импульсов отсчёта, и считывающая матрица располагаются в непосредственной близости друг от друга и минимальное осевое биение вала может привести к их механическому контакту, что впоследствии приведёт к разрушению нанесенных на диск меток.

## **5. СИСТЕМА ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Система числового программного управления (далее ЧПУ) предназначена для обеспечения скоординированных движений исполнительных органов станка.

По информационным каналам системы ЧПУ могут передаваться как аналоговые, так и цифровые сигналы. Аналоговые и цифровые сигналы коренным образом отличаются друг от друга. Можно сказать, что они находятся на разных концах одного и того же спектра. Из-за таких существенных различий между двумя типами сигналов для организации «моста» между ними приходится использовать промежуточные устройства, наподобие цифроаналоговых (ЦАП) или аналого-цифровых (АЦП) преобразователей. Основное различие между аналоговыми и цифровыми сигналами заключается в самой структуре сигнального потока. Аналоговые сигналы представляют собой непрерывный поток, характеризующийся изменениями частоты и амплитуды, именно поэтому такие сигналы обычно имеют место на выходе различных датчиков (например, линейных или круговых перемещений, датчиков частот вращения, температурные и др.).

Следует отметить, что в современных датчиках всё чаще используются цифровые сигналы. Происходит это по ряду причин, среди наиболее важных из них можно назвать: высокие динамические (частотные) свойства, помехозащищённость и др.

Конструкции датчиков поворота определяют их систему отсчёта (относительная или абсолютная).

На станках нормальной точности, как правило, используют в качестве датчика координат датчики угла поворота, работа которых основана на повороте вала энкодера (рис. 12).

На станках повышенной и высокой точности, как правило, используют в качестве датчика координат оптические или магнитные линейки. Для больших (протяжённых) перемещений исполнительных органов используют магнитные линейки (обычно тело линейки выполняют из инварных сплавов).

На станках особо высокой точности и на особо точных станках используют дифракционные датчики или интерферометры. В этом случае станок должен быть установлен в термokonстантной среде, а эксплуатация и настройка станка должны осуществляться с помощью манипуляторов.

Частные свойства и используемая длина разрядной сетки системного блока ЧПУ определяют количество координат, которыми оператор посредством программы может управлять одновременно.

Станок 16К20Т1 в стандартной комплектации имеет 2,5 управляемых координаты. Две первых (целых) координаты соответствуют линейным перемещениям по осям  $X$  и  $Y$ . Координата, соответствующая 0,5 координате, называется координатной «С», которая позволяет поворачивать вал шпинделя по команде на требуемый угол. Это обстоятельство позволяет использовать шпиндель как управляемую оператором делительную головку, возможности которой ограничиваются только точностью датчика поворота, установленного на шпинделе станка.

На станке 16К20Т1 все три координаты могут работать одновременно.

На станке 16К20Т1 может быть установлена любая отечественная система (в СССР 16 предприятий производили системы ЧПУ) и

зарубежная система ЧПУ. Для этого системный программист проводит характеризацию системы. Это означает следующее: системе сообщают, на каком типе станка она будет установлена; какими координатами система может управлять; какие вспомогательные операции будут использованы и т.д. Отличие как современных зарубежных, так и отечественных систем для оператора ЧПУ является понятие «дружелюбность» интерфейса. Смысл этого понятия состоит в том, насколько быстро может овладеть навыками работы с системой ЧПУ неквалифицированный оператор.

В настоящее время из отечественных систем ЧПУ наиболее широко на отечественном рынке представлен продукт компании «Балт-систем».

Современные системы ЧПУ называются промышленными компьютерами, возможности которых не уступают современным персональным компьютерам. Промышленный компьютер способен один генерировать программы, проводить диагностику и управлять комплексом станков различного назначения (цех). Такие промышленные системы используются в производствах, использующих PLM-системы (англ. product lifecycle management) – прикладное программное обеспечение для управления жизненным циклом продукции.

### ***КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ***

1. Особенности конструкции токарного станка с ЧПУ.
2. В чём отличие в эксплуатации электроприводов на постоянных магнитах и с частотным управлением?
3. Причины малых скоростей холостых ходов на отечественных ШВП.
4. В чём отличие эксплуатационных свойств мотор-шпинделя и шпинделя с коробкой скоростей?
5. Зачем автоматизируют привод задней пиноли токарного станка с ЧПУ?
6. В чём отличие датчика координат, встроенного непосредственно в электропривод, от автономного датчика?

7. Особенности конструкции гибридного подшипника.
8. Использование новых материалов конструкции станков с ЧПУ.
9. Физическая картина проблемы «холодного пуска» на исполнительных механизмах станков с ЧПУ.
10. Особенности применения магнитных линейных приводов на станках с ЧПУ.
11. Достоинства и недостатки револьверной головки и инструментального магазина с манипулятором.

**Лабораторная работа №8**  
**ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, КИНЕМАТИКИ**  
**И УПРАВЛЕНИЯ СТАНКА 6М13ГН1**  
**С УЧПУ "FMS -3000"**

*Цель работы:* изучение конструкции, кинематики станка и системы числового управления «FMS-3000», станка 6М16ГН-1, написание управляющей программы.

**ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1. Ознакомиться с конструкцией, кинематикой и техническими характеристиками станка.
2. Изучить уравнения главного движения и привода подачи.
3. Ознакомиться с написанием управляющей программы в системе «FMS-3000».
4. Проанализировать тестовую УП обработки детали.
5. Определить параметры режима резания при обработке различных участков детали.

**1. НАЗНАЧЕНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ**  
**И ОСНОВНЫЕ ДВИЖЕНИЯ СТАНКА 6М13ГН1**

Вертикально-фрезерный станок с числовым программным управлением (ЧПУ) 6М13ГН1 предназначен для трехкоординатной обработки деталей сложной формы типа кулачков, штампов, пресс-форм и др. в автоматическом режиме при мелкосерийном и серийном типах производств. Общий вид, основные узлы, рабочие органы и кинематика станка показаны на рис. 1

Станина станка *И* – пирамидальной формы с коробчатым сечением. В основании станины находится фундаментная плита *З*, в ко-

торой размещен резервуар для смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). В средней и верхней частях станины расположены главный электродвигатель *A* и коробка скоростей главного движения. К передней верхней части станины прикреплена поворотная фрезерная головка с выдвижной пинолью и шпинделем. На вертикальных направляющих станины установлена и может двигаться вверх и вниз консоль, по которой в поперечном направлении перемещаются салазки. На салазках установлен стол, перемещающийся в продольном направлении.

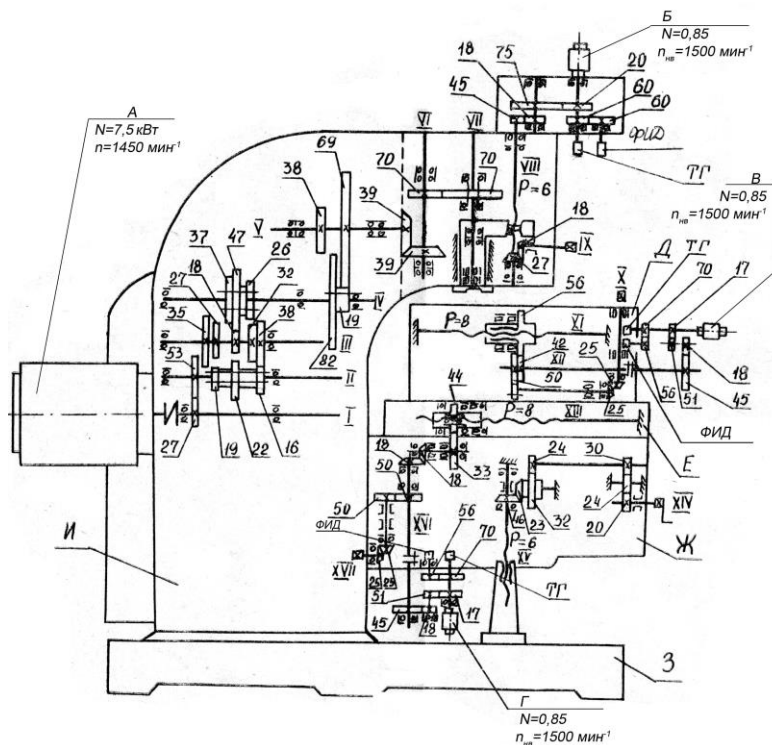


Рис. 1. Кинематическая схема и основные узлы станка 6М13ГН1:

*A* – электродвигатель главного привода; *B*, *B*, *Г* – электродвигатели постоянного тока; *ТГ* – тахогенераторы; *Д* – стол; *Е* – поперечные салазки; *Ж* – консоль; *З* – основание; *И* – станина; *ФИД* – фотоимпульсный датчик

Фреза, закрепленная в шпинделе VII, вращается с заданной частотой вращения  $n$ , об/мин и может перемещаться вдоль оси с пинолью в вертикальном направлении с заданной скоростью подачи  $S$ , мм/мин в автоматическом или ручном режиме.

Заготовка, установленная на столе, получает продольную подачу со столом  $D$ , либо поперечную – с салазками  $E$ , либо продольно-поперечную при одновременном движении стола и салазок в автоматическом или ручном режиме  $S$ , мм/мин (контурное управление).

Консоль  $Ж$  может перемещаться вертикально по направляющим станины только вручную с помощью рукоятки XIV.

Фрезерная головка может поворачиваться вокруг вала V, изменяя угол наклона шпинделя и фрезы относительно заготовки в пределах  $\pm 45^\circ$ .

Система числового программного управления станком – непрерывная, замкнутая (с обратной связью по положению), фазовая, трехкоординатная, с одновременным управлением по трём координатам, с тиристорным управлением электродвигателями постоянного тока. Положительные направления координатных движений:  $X$  – стол влево;  $Y$  – салазки к оператору;  $Z$  – пиноль вверх.

### ***Технические характеристики станка 6М13ГН1***

Размер рабочей площади стола, мм .....	1600×400
Наибольшее перемещение стола, салазок и пиноли, мм .....	900, 320, 80.
Наибольшая скорость перемещения стола, салазок и пиноли, мм/мин .....	1000, 1000, 640.
Наибольшее установочное перемещение консоли, мм .....	420
Установочный разворот фрезерной головки .....	$\pm 45^\circ$
Цена оборота (3600) смещения фазы системы по всем трем координатам, мм .....	0,64

Точность обработки, мм ..... ±0,1  
 Мощность главного электродвигателя, кВт..... 7,5

## 2. МЕХАНИЗМ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ

Шпиндель VII станка (см. рис. 1) приводится в движение от главного электродвигателя А через коробку скоростей с двумя тройными и одним двойным передвижными блоками шестерен, обеспечивающими 18 различных частот вращения в пределах от 31,5 до 1600 об/мин по кинематической цепи:

$$n_{шп} = 1450 \frac{27}{53} \frac{19}{35} \left\{ \frac{27}{37} \left[ \frac{16}{38} \frac{18}{47} \right] \frac{19}{69} \right\} \frac{39}{39} \frac{70}{70} \cdot$$

$$\left[ \frac{22}{32} \frac{38}{26} \right]$$

Картина частот оборотов приведена на рис. 2. Переключение скоростей осуществляется поворотом двух рукояток селективного механизма и кнопкой «Толчок шпинделя». При нажатии на эту кнопку происходит кратковременное включение двигателя, что облегчает переключение блоков.

В процессе обработки заготовки обороты шпинделя не меняются. В качестве опор шпинделя применены подшипники качения с регулируемым зазором. Все валы коробки скоростей также смонтированы на подшипниках качения.



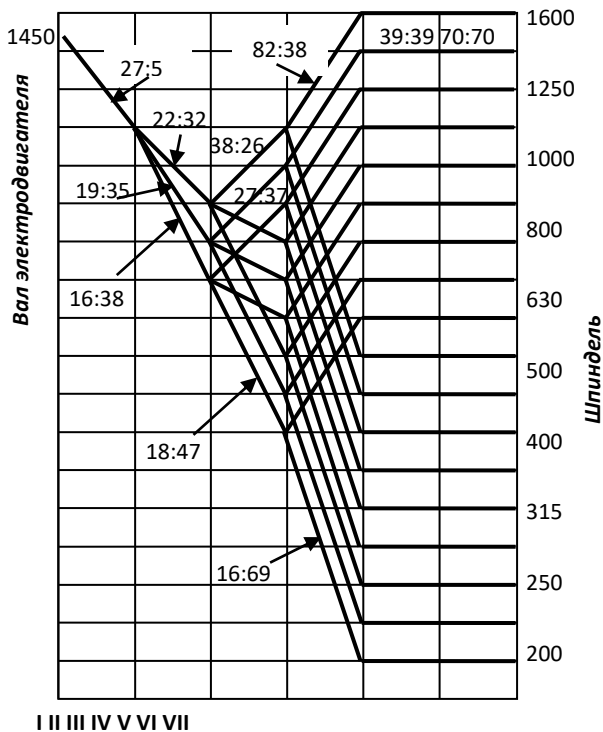


Рис. 2. Картина частот оборотов главного привода станка 6М13ГН1

### 3. МЕХАНИЗМ ПОДАЧ

Осевое перемещение шпинделя с гильзой (пинолью), в которой он смонтирован, осуществляется шариковой винтовой парой с шагом  $P = 6$  мм, получающей вращение от электродвигателя постоянного тока  $B$  (ПБСТ-23, 0,55 кВт) через редуктор 20/75, 18/45 (см. рис. 1). Ручное перемещение производится поворотом валика IX через конические колеса 18/27. Установочный поворот головки на необходимый угол выполняется вокруг оси, проходящей через вал V.

Продольная подача стола (по координате  $X$ ) и поперечная подача салазок (по координате  $Y$ ) осуществляются от электродвигателей

постоянного тока  $B$  и  $\Gamma$  (ПБСТ-23, 0,85 кВт), прифланцованных к корпусам редукторов и соединенных с их валами. С обратной стороны с валами электродвигателей соосно соединены роторы тахогенераторов (ТГ).

От валов электродвигателей через цилиндрические колеса вращаются гайки шариковых винтовых пар, сообщающие через винты с шагом  $P = 8$  мм поступательные перемещения стола и салазкам. Регулирование скорости подачи осуществляется путем бесступенчатого изменения частоты вращения ротора с помощью тиристорных устройств. Во всех трех приводах подач производится выборка люфтов в зацеплении при помощи разрезных косозубых шестерен 3 и 5 с шайбами 4 (рис. 3). Выбор люфтов в шариковой паре обеспечивается применением гаек специальной конструкции 8 и 9 с прокладками 10 различной толщины. Регулировка подшипников 6 и 7 производится гайками 1, 2.

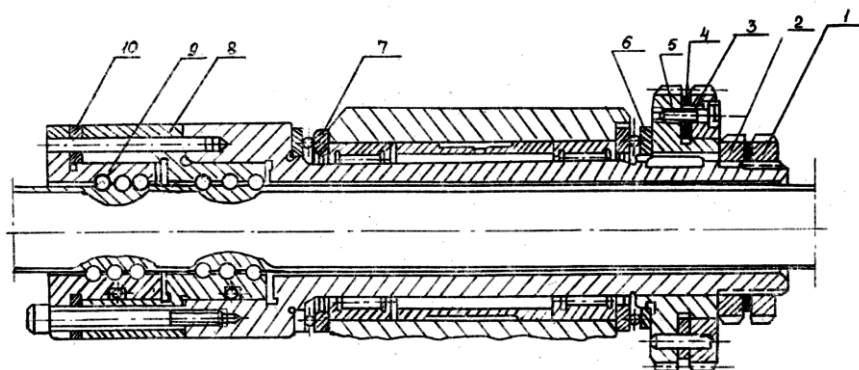


Рис. 3. Шариковая винтовая пара привода механизма подачи стола и салазок

Для контроля выполненного движения от валов электродвигателей через редукторы 60/60 или 70/56 приводятся в движение роторы фотоимпульсных датчиков (ФИД) – датчиков обратной связи по положению.

#### 4. ТИРИСТОРНЫЙ ПРИВОД

Для бесступенчатого регулирования скорости подачи в станке применен тиристорный привод (ТП).

ТП состоит из двигателя постоянного тока  $D_{пт}$ , питаемого от сети переменного тока через полупроводниковые управляемые вентилятиристоры. Частота вращения  $D_{пт}$  зависит от напряжения на якоре, магнитного потока, тока нагрузки и определяется по формуле [14]

$$n = (U - IR) / k\Phi,$$

где  $U$  – напряжение якорной цепи, В;  $I$  – ток в цепи якоря, А;  $R$  – активное сопротивление якоря, Ом;  $\Phi$  – магнитный поток цепи возбуждения, Вб;  $k$  – коэффициент, зависящий от конструкции двигателя.

Изменяя подводимое к цепи якоря напряжение от 0 до  $U_n$ , а также ослабляя поле двигателя, можно получить диапазон регулирования 1:10000 и более. В системах ЧПУ применяются в основном  $D_{пт}$  с независимым возбуждением и частотой вращения до 3000 об/мин.

Тиристор представляет собой полупроводниковый кремниевый управляемый вентиль таблеточного типа с дополнительным управляющим электродом (УЭ) (рис. 4).

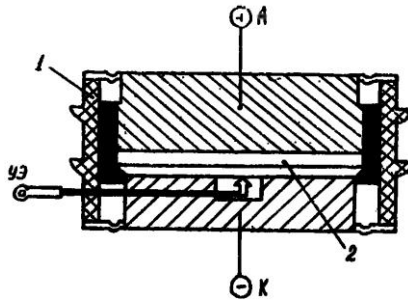


Рис. 4. Кремниевый тиристор таблеточного типа:

1 – изолятор; 2- кремниевая шайба; А, К – анодный и катодный выводы; УЭ – управляющий электрод

Тиристор может пропускать значительный ток  $I$  только в прямом направлении от анода к катоду (рис. 5).

При этом, если напряжение на управляющем электроде отсутствует и  $i_y = 0$ , сопротивление тиристора велико, что соответствует участку низкой проводимости 2.

Тиристор начинает проводить ток только тогда, когда к анодному выводу  $A$  приложен положительный потенциал и одновременно к катодному выводу  $K$  через УЭ подается напряжение, обеспечивающее  $i_{уном}$ . Сила тока, проходящего через тиристор в прямом направлении  $I_{пр}$ , соответствует участку высокой проводимости 1. Ток проходит до конца полупериода и тиристор снова запирается. В обратном направлении тиристор всегда пропускает ничтожно малый ток – участок 3, так как при таком включении его внутреннее сопротивление велико.

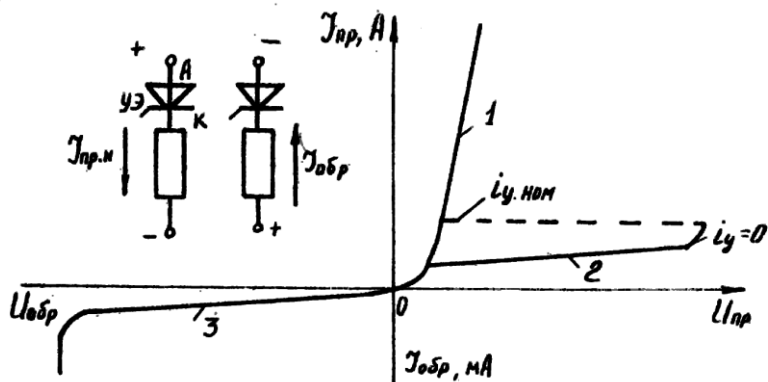


Рис. 5. Вольт-амперная характеристика тиристора

Для управления тиристорным преобразователем используют систему импульсно-фазового управления (СИФУ), которая формирует управляющий (зажигающий) импульс нужной формы и мощности, а

также осуществляет сдвиг его по фазе относительно питающего двигателя напряжения сети.

На рис. 6 приведена однофазная однополупериодная схема выпрямления (а), переменного напряжения (б), питающего  $D_{пт}$ , управляющего напряжения постоянного тока (в), зажигающего тиристор на различных углах регулирования  $\psi_1 = \omega t_1$  и  $\psi_2 = \omega t_2$ , и соответствующего проходящего выпрямленного постоянного тока (г). Среднее выпрямленное напряжение определяется по формуле  $U_d = U_{d0} \cdot \cos \alpha$ , где  $U_{d0}$  – среднее значение выпрямленного напряжения при зажигании тиристора на фазе с  $\psi = 0$ . Как видим, чем больше сдвиг фазы зажигающего импульса  $\psi$ , тем меньше  $U_d$ , тем ниже будет частота вращения  $D_{пт}$ . Кроме того, в однополупериодных однофазных схемах выпрямления имеет место значительная с большими перерывами пульсация напряжения и тока.

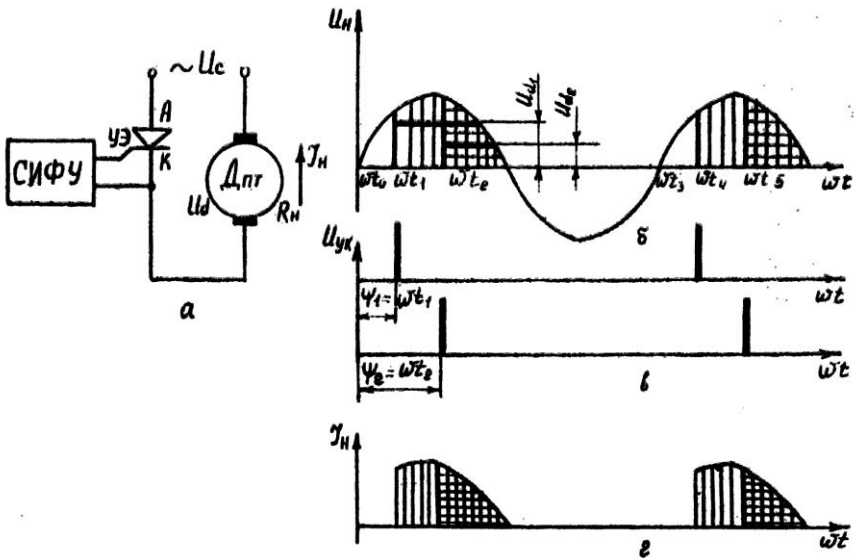


Рис. 6. Однофазная однополупериодная схема выпрямления (а) и диаграммы напряжения (б), управляющих импульсов (в) и тока (г)

В тиристорных приводах металлорежущих станков применяются трехфазные схемы. В трехфазной системе (рис. 7) для каждой фазы подаются импульсы зажигания, которые смещены относительно друг друга на  $120^\circ$ . Ток пульсирует, но не прерывается. В двухполупериодных трехфазных системах пульсации напряжения и тока незначительны.

Таким образом, уровень среднего напряжения, питающего двигатель, и частота вращения его ротора зависят от угла сдвига фазы управляющего импульса.

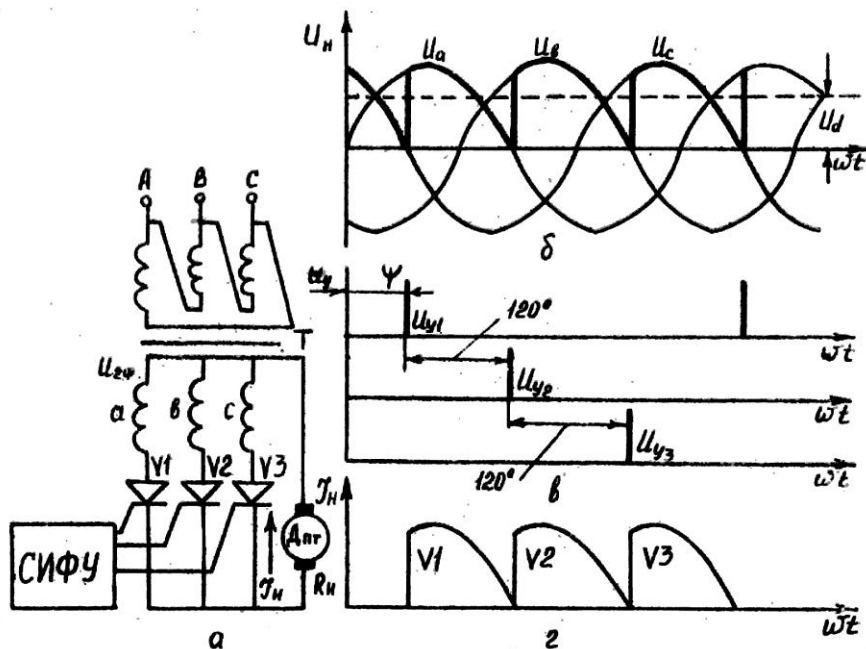


Рис. 7. Трехфазная нулевая схема выпрямления (а) и временные диаграммы выпрямленного напряжения (б), управляющих импульсов (в) и тока (г)

## 5. ПРОГРАММИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ В FMS-3000. РЕДАКЦИЯ 5.0

Система FMS-3000 представляет собой устройство ЧПУ (УЧПУ) на базе промышленного компьютера. Общие принципы программирования для отечественных УЧПУ регламентированы ГОСТ 20999-83 [4]. Однако каждое конкретное УЧПУ имеет свои характерные особенности, которые в сочетании с конструктивными особенностями конкретных металлорежущих станков существенно осложняют задачу программирования обработки на станках с ЧПУ.

Поэтому необходимо иметь представление о программировании для того УЧПУ, которое установлено на данном конкретном станке. В нашем случае это УЧПУ FMS-3000, установленное на вертикально-фрезерном станке 6М13ГН1 [17].

### *5.1. Программирование в УЧПУ FMS-3000, установленном на станке 6М13ГН1*

Код, примененный в FMS, по существу есть система счисления, которая используется для представления чисел посредством числовых знаков (цифр). В УЧПУ обычно используется двоично-десятичная система, в которой цифра десятичного числа записывается двоичным кодом. При этом используется четыре двоичных разряда (тетрады). Значимость разрядов в тетраде  $8421$  или  $2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0$ . Цифры: 1, 9, 15 в двоичном коде будут тетрадами: 0001, 1001 и 1111. Для записи числа большего 9 на каждый разряд выделяется тетрада.

Семиразрядный буквенно-цифровой код ИСО-7 бит является базовым для всех отечественных станков с ЧПУ (СЧПУ). Значение букв и символов должно соответствовать ГОСТ 20999-83. Латинским буквам от **A** до **O** присвоено значение цифр от «0» до «15» с определяющим признаком – пробивкой на 7-й дорожке. Буквы с **P** до **Z** имеют значения от «0» до «10» с пробивкой на 5-й и 7-й дорожках.

У цифр от «0» до «9» определяющая пробивка на 5-й и 6-й дорожках.

В качестве программносителей для УП в станках с ЧПУ используются перфоленты (ПЛ), гибкие и жесткие диски (как в ПК).

Подготовка информации для написания УП требует представления детали, станка и инструмента геометрическими объектами, расположенными в определенной системе координат. УП задает перемещение определенной точки инструмента (расчетной точки,  $P$  или  $P_i$ ) относительно профиля будущей детали. Для обычной концевой фрезы расчетной точкой является точка пересечения оси фрезы с ее торцом. Расчетная точка фрезы находится на одном и том же расстоянии от линии контура (т.к.  $R_{fp} = \text{const}$ ), поэтому траекторию  $P_i$  (при рабочем движении) часто называют эквидистантой. Движения могут быть также подготовительными и вспомогательными. В результате траектория – это сложная пространственная линия, которую необходимо разбить на ряд простых составляющих (обычно это прямые или дуги окружности). Точки сопряжения простых участков являются расчетными (опорными; узловыми) точками траектории перемещения  $P_i$ . Координаты этих точек могут быть заданы в одной из трех систем координат: станка; детали; инструмента (рис. 8). Начало этих систем координат называют «нулями», например, «нуль станка». Кроме прямоугольной системы координат могут быть использованы цилиндрическая и сферическая системы координат.

В рассматриваемом станке (6М13ГН1) имеется возможность перемещать режущий инструмент одновременно по трем согласованным осям:  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , а это дает возможность объемной обработки сложных поверхностей. При плоской обработке используются только две управляемых координаты. Координаты могут быть выражены абсолютными размерами (например,  $x_1$ ,  $y_2$ ,  $z_8$ ) или задаваться в виде приращений в направлении движения инструмента от одной опорной точки к другой («относительные размеры», например,  $\Delta x_1$ ,  $\Delta x_2$ ,



$\Delta x_3$ ). Способ задания: задается подготовительными функциями G90 (абсолютные координаты) и G91 (размеры в приращениях).

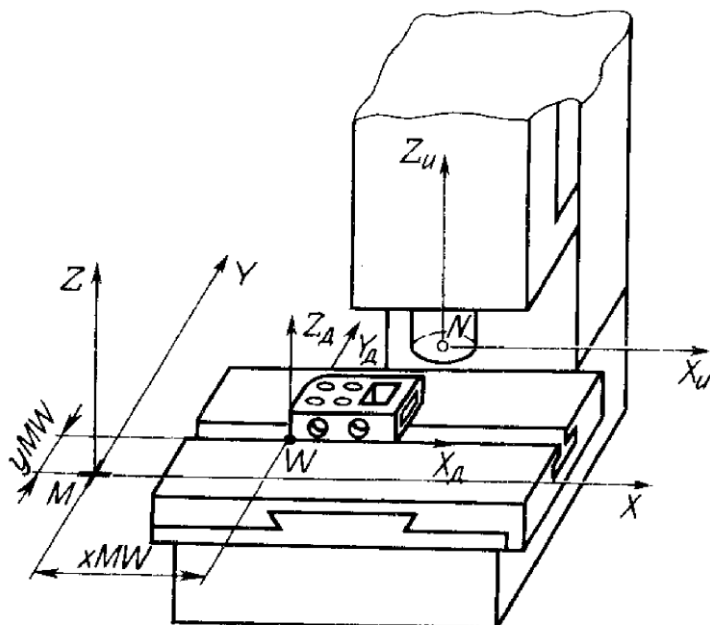


Рис. 8. Системы координат фрезерного станка с ЧПУ (Обозначение  $xMW$  – координата в общем виде, она задается совокупностью трех символов:  $x$  – символ оси;  $M$  – обозначение исходной точки;  $W$  – обозначение конечной точки)

За символами адресов кода программирования УЧПУ FMS-3000 согласно инструкции по программированию закреплены определенные значения, которые используются при кодировании технологической информации (табл. 1).

Таблица 1

## Значения функций и адресов

Функция	Адрес	Значение
Номер кадра	$N$	Номер кадра
Подготовительная функция	$G$	Определение вида движения рабочего органа
Размерные слова	$X, Y, Z$ $A, B, C,$ $U, V, W$ $I, J, K$	Команды на перемещен. по координатам станка Команды на перемещение по дополнительным осям Расстояние до центра дуги окружности или шаг винта при линейно-круговой интерполяции
Величина подачи	$F$	Задание величины подачи
Обороты шпинделя	$S$	Задание оборотов шпинделя, кода ступени или скорости резания
Номер инструмента	$T$	Задание номера инструмента для поиска
Вспомогательная функция	$M$	Указание на двухпозиционное управление (вкл-выкл) на станке
Номер корректора, хранящего данные об инструменте	$H$ $D$ $DR$	Задание номера корректора инструмента для коррекции: -на длину, -на радиус, -на скругление
Пауза	$E$	Задание величины паузы
Вызов подпрограммы	$P$	Команда вызова подпрограммы (ПП)
Угол поворота системы координат	$A$	Задание угла поворота системы координат по функции G37
Угол полярной системы координат	$A$	Задание угла для определения конечной точки в полярной системе координат по функции G36
Радиус дуги окружности	$R$	Задание радиуса дуги окружности при программировании G2/G3 через радиус
Количество повторов	$L$	Задание количества повторов фрагмента программы с помощью функции G25
Радиус полярной системы координат	$I$	Задание расстояния от центра полярной системы координат до конечной точки по функции G36

Пределы допустимых значений для адресов из табл. 1 следующие:

$N$  – (0 -9999999);  $G$  – (0 -99);  $S$  – (0 -9999 об / мин или код ступени);  $T$  – (0 -9999);  $M$  – (0 -99);  $H, D$  и  $DR$  – (0 -255);  $E$  – (1 -65535 десятых секунды);  $P$  – (0 -9999). Диапазоны изменения размерных слов ( $X...R$ ) и величины подачи ( $F$ ) указываются в эксплуатационной до-

кументации на модернизированный станок 6М13ГН1. Информация для УЧПУ FMS всегда записывается **адресным** способом. Общая структура записи *УП* определяется в работе [17]. Ввод числовых величин осуществляется в десятичной системе в соответствии с допустимыми значениями. Точка в поле числа является десятичной точкой, разделяющей целую и дробную части в миллиметрах или градусах. При программировании ведущие нули можно опускать, кроме вызова подпрограммы (*ПП*) (X.08 означает размер 0,08 по оси X). Математический знак «плюс» в слове «размерные перемещения» допускается опускать.

### ***5.2. Структура управляющей программы***

Программам (*УП*) при их вводе присваивается номер в диапазоне от 0 до 9999. В памяти УЧПУ возможно одновременное хранение 11110 программ и подпрограмм (*ПП*). УП заканчивается кадром с вспомогательными функциями M2, M98 или M30 –конец программы. Некоторые *УП* могут иметь номер, начинающийся с букв *G* или *M*, после которых идут от одной до трех цифр. Нумерация кадров начинается после номера *УП*. В начале кадра следует помещать номер кадра с использованием адреса *N* и последующего числового значения. Допускается произвольная последовательность номеров кадра и даже пропуск промежуточных номеров (но не адреса *N*). В общем случае наличие номера кадра не является обязательным, т.е. кадр может выглядеть так: G1X100F200. Здесь X100 – размерное слово, которое является командой на перемещение инструмента. Размерное слово состоит из адреса и числового значения, определяющего направление и величину перемещения. Адреса размерных слов включают в себя оси и параметры круговой или линейно-круговой интерполяции *I, J, K, R*. Оси делят на основные оси *X, Y, Z* и дополнительные оси *A, B, C* и *U, V, W*.

Минимальная программируемая единица перемещения в УЧПУ FMS составляет 0,001 мм и 0,001 град. Однако хорошая разрешаю-

щая способность УЧПУ и точность обработки – не одно и то же. Точность обработки в большей степени определяется жесткостью, виброустойчивостью и другими параметрами технологической системы (станок – приспособление – инструмент – деталь).

Согласно [3] каждый кадр УП должен содержать слово «номер кадра» ( $N$ ), информационные слова и завершаться словом «конец кадра» ( $BK$  или  $ПС$  - перевод строки). В УЧПУ FMS кадр может *состоять только* из информационных слов. Информационные слова в кадре следует записывать в определенной последовательности: 1) слово (или слова) «подготовительная функция»; 2) слова «размерные перемещения» в следующем порядке:  $X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R, A, B, C$ ; 3) слова «параметр интерполяции или шаг резьбы»:  $I, J, K$ ; 4) слово «функция подачи», которое должно следовать за последним словом «размерное перемещение»; 5) слово «функция главного движения»; 6) слово «вспомогательная функция». При этом в пределах одного кадра не должны повторяться: слова «размерные перемещения», «параметр интерполяции или шаг резьбы», «подготовительные функции», входящие в одну группу.

### 5.3. Системы координат

Работа фрезерного станка тесно связана с системами координат. Оси координат располагают параллельно направляющим станка, что позволяет при программировании обработки указывать направления и величины перемещения рабочих органов. В станке принята правая система координат по ГОСТ 23597-79 (рис. 9).

Оси  $X, Y, Z$  указывают положительные перемещения инструментов относительно частей станка. Декартова система координат станка (правая) устанавливается функцией G35. При программировании удобно считать, что при обработке деталь остается неподвижной, а перемещается инструмент (в нашем случае - это фреза). А УЧПУ автоматически скорректирует движение так, чтобы инструмент оказался в запрограммированной позиции.

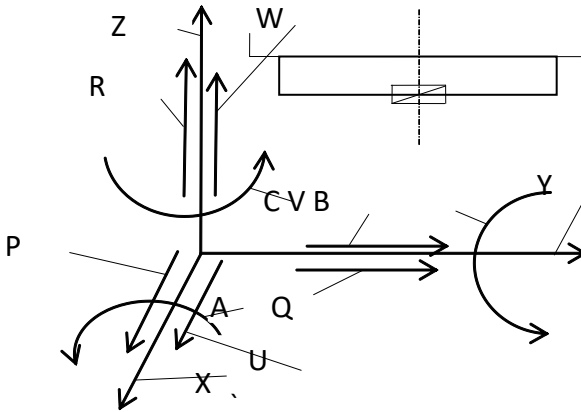


Рис. 9. Система координат станка

Ось  $Z$  всегда располагается параллельно оси шпинделя, а ее положительное направление от стола вверх. Направление оси  $X$  вдоль стола станка, а направление оси  $Y$  параллельно направлению поперечной подачи. Круговые перемещения инструмента (например, угловое смещение оси шпинделя фрезерного станка) обозначают буквами  $A$ ,  $B$ ,  $C$ . Это вращение вокруг осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Оно будет положительным, когда будет против часовой стрелки, если смотреть с конца соответствующей оси. Дополнительные линейные оси  $U$ ,  $V$ ,  $W$  параллельны осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  с теми же направлениями. Часто вместо названия осей используются их номера (1, 2, 3 и т.д.). Эти номера указываются в осевых базовых станочных параметрах N5022 – N5422.

Начало **системы координат станка** обычно совмещают с базовой точкой узла, несущего заготовку. На фрезерном станке «ноль»  $M$  **зафиксирован** в таком положении (в углу рабочей зоны), чтобы у перемещений инструмента были бы положительные координаты. Если в кадре задана только G90 («абсолютные величины»), то все координаты определяются относительно нулевой точки  $M$  станка. В

системе координат станка определяются положения базовых точек отдельных узлов станка. Числовые значения некоторых базовых точек можно вывести на экран. При работе в декартовой системе координат (с нулями в точках  $M$ ,  $W$ ,  $N$  (см. рис. 8)) существует возможность поворота этой системы на произвольный угол относительно заданной точки в действующей плоскости (G17 – G20). Этот поворот в плоскости  $XU$  можно задать кадром: N100G37X\_Y\_A\_, где  $X_$ ,  $Y_$  – координаты точки и  $A$  – угол в градусах со знаком. Возврат к исходной системе координат кадром: N100G37A0.

**Система координат инструмента** (рис. 10) предназначена для задания положения его режущей части относительно державки. Инструмент описывается в рабочем положении в сборе с державкой. Используется система координат инструмента  $X_nZ_n$  (см. рис. 8), оси которой параллельны осям системы координат станка. Начало системы координат инструмента располагают в базовой точке  $N$  элемента станка, а базовая точка инструментального блока  $T$  либо совпадает с  $N$ , либо находится от  $N$  на заданном расстоянии. Положение настроечной точки  $P$  (рис. 10) относительно системы координат инструмента обеспечивается наладкой инструментального блока вне станка на специальном приспособлении. Настроечная точка фрезы используется в качестве расчетной точки при вычислении опорных точек траектории для УП.

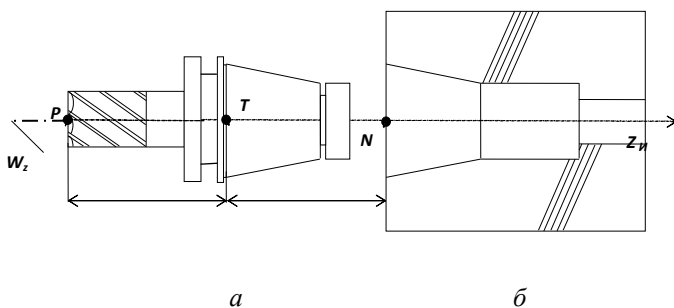


Рис. 10. Схема базирования инструмента:  
 а - инструментальный блок, б - элемент станка

**Система координат детали** – это система, в которой определены все размеры данной детали и даны координаты всех опорных точек контура детали. Система назначается технологом – программистом в соответствии с координатной системой выбранного станка. Нуль системы координат детали обозначается буквой  $W$ , и его иногда называют «плавающим нулем».

В этой системе, которая определяет положение детали в приспособлении, размещены опорные элементы приспособления, траектории движения инструмента; указывается так называемая точка начала обработки (исходная точка, нуль программы). Она обозначается буквой « $O$ ». Перед началом обработки расчетная точка инструмента ( $P$  или  $P_n$ ) должна быть совмещена с нулём программы. Её положение выбирает технолог-программист перед составлением *УП*, исходя из удобств отсчёта размеров, размещения инструмента и заготовок, стремясь во избежание излишних холостых ходов приблизить инструменты к обрабатываемой детали. При многоинструментальной обработке исходных точек может быть несколько. На используемых для обработки приспособлениях должны быть «базовые точки», которые обычно обозначаются латинскими буквами  $C$ ,  $K$ ,  $F$ . Эти точки нужны для перевода размеров из системы координат детали ( $W$ ) в систему координат станка ( $M$ ). Наладка станка для работы по *УП* упрощается, если базовые точки определены в системах координат станка и детали.

При программировании следует принимать во внимание диапазон перемещений рабочих органов станка (рабочую зону), который задаётся предельными координатами базовых точек этих органов в системе координат станка.

*УП* создается на базе разработанной технологии обработки интересующей нас детали. Эта технология (применительно к станкам с *ЧПУ*) требует участия опытного квалифицированного технолога, умеющего выбрать станок, инструмент, выбрать рациональный ре-

жим резания и многое другое. В данных методических указаниях считаем, что технология обработки уже написана.

## 6. КОДИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Подготовленная исходная информация по обработке детали должна быть закодирована в соответствии с инструкцией по программированию [3], которая входит в состав технической документации, поставляемой со станком. Эта закодированная информация и есть *УП*, которая затем наносится на перфоленду (ПЛ) или записывается в ПЗУ УЧПУ. Часть понятий и процедур этого процесса была рассмотрена выше. Подготовительным (*G*) и вспомогательным (*M*) функциям следует уделить большее внимание.

### 6.1 Подготовительные функции

Функции с адресом *G*, называемые подготовительными, определяют режим и условия работы станка и УЧПУ. Обычно они кодируются от G00 до G99. За каждой из функций закреплено определенное значение (табл. 2). В конкретных УЧПУ значение тех или иных функций может отличаться от рекомендуемых стандартом *ИСО* - 7 бит. Подготовительные функции разбиты на несколько групп (в нашем случае на 16 групп, а в ГОСТ 20999-83 только шесть групп). В некоторых группах имеются резервные команды, за счет которых каждая модель УЧПУ индивидуальна (т.е. имеет свой язык программирования).

Как упоминалось выше, существует два способа задания величины перемещения по каждой оси – это задание в абсолютных величинах и в приращениях. Для задания перемещения в абсолютных величинах используется функция G90.

При этом запрограммированная величина представляет собой координаты конечной точки в заданной системе координат. Для задания перемещения в приращениях используется функция G91. При этом запрограммированная величина представляет собой прираще-



ние к текущему значению координаты оси. Если запрограммировать показанное на рис. 11 перемещение в абсолютных величинах, то получим N105G90X40Y70ПС; а в приращениях: N106G91X-60Y40ПС.

Задание в абсолютных размерах всегда относится к действующей системе координат.

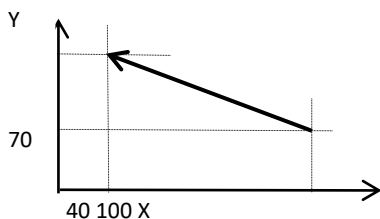


Рис. 11. Кодирование линейной интерполяции

Все геометрические размеры в УП могут быть масштабированы, т.е. независимо по каждой координате может быть введен масштабный коэффициент, на который умножаются заданные в УП значения. Задание масштабирования может быть выполнено с пульта оператора или с помощью функции G69 из УП, например: G69X2.5Y1.7, где X2.5 – увеличение размеров по оси X в 2,5 раза; Y1.7 – увеличение размеров по оси Y в 1,7 раза. Отмена масштабирования: G69X1Y1. При круговой интерполяции масштабные коэффициенты должны быть одинаковы.

**Скорость ускоренного перемещения (G00)** по любой из управляемых осей определяется настройкой электропривода соответствующей оси. Перемещение на скорости ускоренного перемещения выполняется автоматически при программировании *позиционирования*. При движении на ускоренных подачах возможна коррекция скорости. Действие функции G00 распространяется только на тот кадр, в котором она запрограммирована.

Таблица 2

## Значения подготовительных функций в УЧПУ FMS-3000

Код	Группа	Функция (значение)
00	01	Позиционирование (ускоренное перемещение)
01		Линейная интерполяция (рабочая подача)
02		Круговая интерполяция по часовой стрелке
03		Круговая интерполяция против часовой стрелки
04	00	Пауза
09		Торможение в конце текущего кадра до нулевой подачи
10		Линейно –круговая интерполяция
14	02	Сопряжение по дуге
15		Сопряжение по прямой
17	03	Задание плоскости 1 -2 ось (XY)
18		Задание плоскости 3 -1 ось (ZX)
19		Задание плоскости 2 -3 ось (YZ)
20		Задание произвольной плоскости
21	04	Разрешение коррекции рабочей подачи
22		Запрет коррекции рабочей подачи
23	05	Разрешение коррекции частоты вращения шпинделя
24		Запрет коррекции частоты вращения шпинделя
25	00	Начало фрагмента программы для повтора
27		Выход в «НОЛЬ» координат станка по путевым выключателям
28		Позиционирование в «НОЛЬ» координат станка
30		Позиционирование в фиксированную точку 1
31		Позиционирование в фиксированную точку 2
32		Завершение перемещений в кадре по внешнему сигналу
33		Нарезание резьбы резцом
34		Синхронизация подачи в кадре с 0-меткой датчика положения
35	06	Декартова система координат
36		Полярная система координат
37	00	Поворот системы координат
38		Запрет покадровой отработки УП на 1 кадр
39		Запрет останова программы по кнопке «Стоп» на 1 кадр
40	07	Отмена коррекции на радиус инструмента или пространственной коррекции
41		Коррекция на радиус инструмента слева
42		Коррекция на радиус инструмента справа
143		Пространственная коррекция на размер инструмента
144		Зеркальная пространственная коррекция на размер инструмента
43	08	Коррекция на длину инструмента в «+»
44		Коррекция на длину инструмента в «-»
49		Отмена коррекции на длину инструмента
45	09	Разрешение учета зависимых осей

Продолжение табл. 2

Код	Группа	Функция (значение)
46		Запрет учета зависимых осей
47	00	Перемещение неявно заданной координаты в «+»
48		Перемещение неявно заданной координаты в «-»
53	10	Возврат к системе координат станка
54		Выбор координатной системы заготовки 1
55		Выбор координатной системы заготовки 2
56		Выбор координатной системы заготовки 3
57		Выбор координатной системы заготовки 4
58		Выбор координатной системы заготовки 5
59		Выбор координатной системы заготовки 6
60	00	Одностороннее позиционирование
50	11	Геометрическое регулирование подачи в конце каждого кадра
61		Торможение в конце каждого кадра аналогично G9
62		Отмена действия G50, G61, G63
63		Торможение в конце каждого кадра до подачи, заданной параметром
64	00	Торможение в конце текущего кадра до подачи, заданной параметром
65	12	Разрешение пересчета подачи на круговом контуре
66		Запрет пересчета подачи на круговом контуре
67	00	Задание зеркальной обработки по указанным осям
68		Отмена зеркальной обработки по указанным осям
69		Задание масштаба по указанным осям
80	13	Отмена постоянного цикла
81		Цикл сверления
82		Цикл растачивания 1 (Рабочая подача)
83		Цикл глубокого сверления
84		Цикл нарезания резьбы
85		Цикл растачивания 2
86		Цикл прерывистого сверления
87		Цикл прерывистого сверления с выдержкой времени
88		Цикл растачивания с ориентированным остановом шпинделя
150		Однопроходный продольный токарный цикл
151		Однопроходный поперечный токарный цикл
152		Многопроходный продольный токарный цикл
153		Многопроходный поперечный токарный цикл
154		Цикл глубокого сверления по оси Z
155		Цикл снятия припуска по оси X
156		Цикл глубокого сверления с нисходящей обработкой по оси Z
157		Цикл снятия припуска с нисходящей обработкой по оси X
158		Многопроходный цикл нарезания цилиндрических канавок
159		Многопроходный цикл нарезания торцевых канавок

Код	Группа	Функция (значение)
160		Цикл сверления с дроблением стружки по оси Z
161		Цикл снятия припуска с дроблением стружки по оси X
162		Многопроходный цикл нарезания резьбы
163		Цикл нарезания резьбы плашкой или метчиком
164		Цикл продольной обработки до профиля
165		Цикл поперечной обработки до профиля
166		Цикл обработки фаски
167		Цикл обработки скругления
90	14	Задание в абсолютных величинах
91		Задание в приращениях
92	10	Задание координатной системы заготовки в программе
94	15	Задание подачи в мм/мин
95		Задание подачи в мм/об
96	16	Поддержание постоянства скорости резания
97		Задание частоты вращения шпинделя в об/мин

Понятие «**Скорость рабочей подачи**» ( $F$ ) относится к перемещениям расчетной точки фрезы при различных видах интерполяции и действующих  $G$ -функциях. Рабочая подача направлена всегда по касательной к траектории движения расчетной точки. Размерность подачи определяется функциями G94 [мм/мин] или G95 [мм/об]. F1000 - это запрограммированная подача 1000 мм/мин или 1000 мм/об. Пределы изменения подачи указываются в техдокументации на станок. При отработке УП или кадра возможна оперативная процентная **коррекция рабочей подачи**. Функции G21 и G22 реализуют соответственно разрешение или запрет на коррекцию подачи из УП. В УЧПУ реализован автоматический расчет подачи по контуру через функции G65 и G66 (соответственно разрешение или запрет автоматического расчета подачи на круговом контуре).

**Задание плоскости** осуществляется программированием функций G17, G18, G19, G20. Это плоскости круговой интерполяции: 1-2 (XY), 3-1 (ZX), 2-3 (YZ) и XA (произвольная плоскость). Кроме этого, это оси коррекции на длину и цикловые оси (перпендикулярные к соответствующим плоскостям). Например, при команде G17Z\_ про-

исходит перемещение по оси  $Z$ . Кадр  $G20Y0U0$  задает плоскость  $YU$ , при этом значения  $Y$  и  $U$  ни на что не влияют и не вызывают никаких перемещений.

Выше упоминалось, что **позиционирование** происходит на скорости ускоренного перемещения в заданную точку. Можно запрограммировать перемещение по всем осям:  $G00X\_Y\_Z\_V\_$ . При этом перемещение происходит одновременно по всем запрограммированным осям до заданной точки. Траектория перемещения может быть двух видов: « $G0$  без интерполяции» (траектория не прямая) и « $G0$  с интерполяцией» (траектория прямая линия). Вид перемещения зависит от установки соответствующего технологического параметра ( $N3022$ ).

**Одностороннее позиционирование** по функции  $G60$  по характеру движения не отличается от  $G00$  (параметр  $N3022$ ). Программирование одностороннего позиционирования в общем случае:  $G60 X\_Y\_Z\_$  (рис. 12).

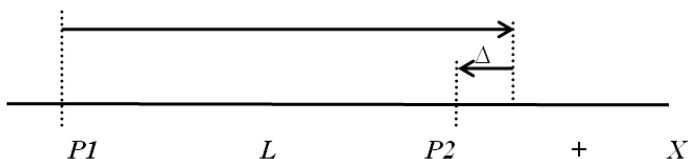


Рис. 12. Пример одностороннего позиционирования

Параметром задано направление выхода в точку из «+» в «-».  $P1$  – начальная точка,  $P2$  – конечная точка, величина  $\Delta$  определяется параметрами УЧПУ. Функция  $G60$  действует на один кадр.

**Линейная интерполяция** задается функцией  $G01$ . Если сделать акцент на том, что перемещение, показанное на рис. 11, есть прямая и подача при этом равна 100, то кадры станут:  $N105G90G01X40Y70F100PС$  и  $N106G91G01X-60Y40PС$ .

Задаваемая величиной  $F$  подача действует до тех пор, пока не будет запрограммирована новая величина подачи, поэтому нет необходимости программировать одну и ту же величину подачи в каждом кадре.

**Круговая интерполяция** задается функцией G02 или G03.

Под круговой интерполяцией по часовой стрелке (G02) понимается движение по круговой траектории (рис. 13), порождаемое согласованным движением вдоль двух осей, направленное по часовой стрелке, *если плоскость перемещения рассматривать в отрицательном направлении оси, перпендикулярной к плоскости*. То есть, если смотреть на стрелку G02 на рис. 13, *а* с конца оси Z, направленной перпендикулярно плоскости рисунка на смотрящего, то направление вращения стрелки должно совпадать со стрелкой часов. Программирование векторов  $I, J, K$ , определяющих положение центра дуги относительно начальной точки круговой траектории, осуществляется всегда в приращениях независимо от G90 или G91. В зависимости от направления  $I, J, K$  необходимо выбрать для них соответствующий знак.

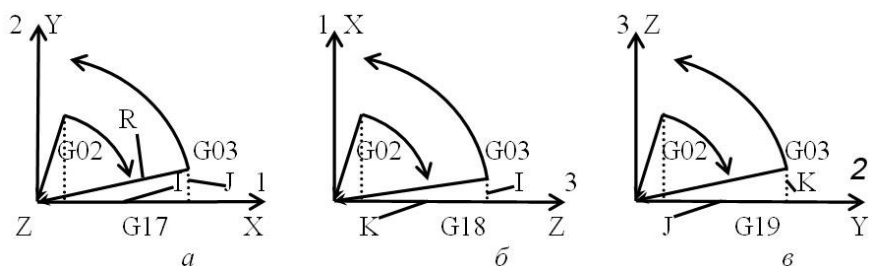


Рис. 13. Схема кодирования элементов круговой траектории в разных плоскостях

Примеры по рис. 13 составления кадра УП для перемещения по дуге окружности:

плоскость 1 -2 G17G02(G03)X\_Y\_I\_J\_F\_;

плоскость 3 -1 G18G02(G03)Z\_X\_K\_I\_F\_;

плоскость 2 -3 G19G02(G03)Y\_Z\_J\_K\_F\_.

Применительно к фрезерному станку 6M13ГН1 с концевой фрезой, закрепленной в вертикальном шпинделе, подходит вариант на рис. 13, а. В этом случае ось фрезы параллельна оси  $Z_{и}$ , а плоскость торцевых зубьев параллельна плоскости стола ( $XY$ ), т.е. удобно реализовать, например, контурную обработку плоских изделий.

**Пример программы** (рис. 14).

В абсолютных величинах:

G90G17G03X140Y100I-60F300

G02X120Y60I-50

В приращениях:

G91G17G03X-60Y60I-60F300

G02X-20Y-40I-50

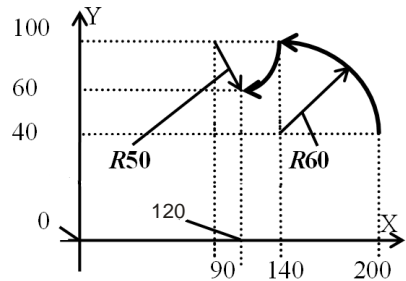


Рис. 14. Пример контурной обработки

Скорость подачи для круговой интерполяции соответствует заданной величине  $F$ , направлена по касательной к дуге окружности и поддерживается постоянной в каждой точке дуги.

Рассмотренный вариант задания координат центра дуги окружности через расстояния от начальной точки до центра работает при установленном технологическом параметре  $N3021 = 0$ . Существуют еще два варианта программирования части дуги (параметры  $N3021 = 1$  и  $2$ ).

**Позиционирование в ноль координат станка** задается функцией G28. При выполнении кадра G28X0Y0Z0 происходит позиционирование в «ноль станка» (без учета коррекций на размер и смещений нулей). Все движения выполняются на скорости ускоренного перемещения.

**Позиционирование в фиксированную точку** осуществляется функциями G30 и G31. Координаты этих фиксированных точек заранее введены с помощью параметров N7001 – N7401, N7002 –

N7402. Кадр такого позиционирования: G30(G31)X0Y0Z0. Данная функция по своему действию эквивалентна G28, но позиционирование определено массивом G30, G31. Массив координат всегда, независимо от G90 / G91, задает абсолютные значения координат фиксированной точки в системе координат станка. Этими точками могут быть точка смены инструмента, точка смены деталей и т.д.

**Пауза** программируется так: G04EX. Это означает, что выполнение следующего кадра задержится на  $X / 10$  секунд. Программирование величины паузы производится в десятых долях секунды. Максимальная величина паузы  $6553,5 \text{ с} = 109,225 \text{ мин}$ . Пауза может быть запрограммирована как в отдельном кадре, так и вместе с любой другой информацией.

УЧПУ позволяет запрограммировать три варианта **торможения в конце кадра**: 1) до подачи, равной нулю; 2) до подачи, заданной параметром; 3) до подачи, определяемой величиной изменения направления в соседних кадрах.

Торможение по первому варианту используется для точного останова координат в конце кадра. Кадр считается законченным только тогда, когда разница между конечными и текущими координатами будет меньше величины, заданной параметрами СЧПУ. Этот вид торможения задается функциями G09 и G61, при этом функция G09 действует только на текущий кадр, а функция G61 действует до замены ее на функции G50, G62 – G63 (рис. 15).

Торможение до подачи, заданной параметрами, реализуется функциями G63, G64. При этом функция G64 действует только в течение кадра, а функция G63 действует до замены функциями G50, G61, G62. На границах кадров происходит снижение подачи до величины, заданной параметром N3000 ( $F_{\text{пар}}$ , рис. 15).



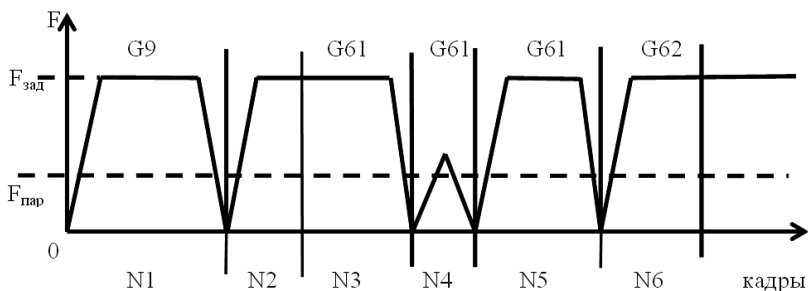


Рис. 15. Торможение в конце кадра

Геометрическое регулирование подачи задается функцией  $G50$ , которая действует до замены ее функциями  $G61$ ,  $G62$ ,  $G63$ . Значение подачи на границах кадров определяется величиной параметра точности прохождения стыка этих кадров  $N3034$ .

Запрет останова программы по кнопке «Стоп» на 1 кадр реализуется функцией  $G39$ . Функция действует в течение кадра и защищает процесс обработки от неправильных действий оператора (например, при нарезании резьбы)!

Для программирования в абсолютных величинах необходимо определить систему координат (см. рис. 8). Система координат станка задается путем установки параметров смещения нулей станка [17]. В эти параметры вводится расстояние от нуля координат по датчикам положения до требуемых точек, принятых за начало отсчета. При совпадении нуля координат станка с нулем координат по датчикам положения необходимо параметры обнулить. Система координат, которая определена для текущего программирования, считается действующей системой координат станка ( $M$ ).

С помощью программирования  $G54 - G59$  можно выбрать одну из шести **систем координат детали** (заготовки). При этом устанавливается расстояние по каждой координатной оси от нуля координат станка до начала отсчета новой системы координат детали. При программировании кадра  $G90G55G00X100Y50Z20$  произойдет пози-

ционирование в положение  $X = 100$ ,  $Y = 50$ ,  $Z = 20$  в системе координат, заданной G55. При включении питания УЧПУ автоматически устанавливается система координат детали, определяемая параметром N3008. Система координат детали может быть также установлена непосредственно в УП с помощью функции G92. Задание новой координатной системы («плавающей» системы координат) выглядит так: G92X\_Y\_Z\_. При этом с каждым новым заданием функции G92 происходит суммирование этих смещений. Таким образом, может быть задано неограниченное количество систем координат детали. Программирование в кадре G53 отменяет действие системы координат заготовки, выбранной по G54 – G59 и G92. Перемещение, заданное в кадре с G53, и последующие перемещения будут производиться относительно системы координат станка.

Для автоматического учета размера инструмента при обработке детали предназначены **функции коррекции**.

Функции *D*, *H* и *DR* служат для задания вида коррекции и величины смещения в соответствии с заданным номером корректора.

Функция *D* предназначена для задания величины смещения для коррекции по радиусу и используется функциями G40, G41, G42, G143, G144.

Функция *H* задает величину смещения для коррекции по длине и действует по функциям G43, G44, G49.

Функция *DR* предназначена для задания номера корректора величины скругления инструмента и используется функциями G143, G144.

Программируется задание смещения, например, по радиусу так: G41D34.

Здесь запрограммированная величина смещения по радиусу определяется 34 - м корректором.

**Величина смещения** инструмента может находиться в пределах  $\pm 1000$  мм или град. и задается номером корректора. В УЧПУ FMS-

3000 предусмотрено 255 корректоров с номерами 1-255, что позволяет иметь 255 различных величин смещений. Величины смещения по запрограммированным номерам корректоров следует вводить [17] до начала отработки *УП*. Один и тот же номер корректора может одновременно использоваться по *D*, *H* и *DR*. При этом номер корректора никак не связан с номером инструмента.

Смещение инструмента по длине: G43H\_, G44H\_. Функция *H* задает номер корректора, а функция G43 – направление смещения в «+» (в «-» функция G44). Вне зависимости от режима задания величин перемещений G90 или G91, величина смещения автоматически добавляется к координатным значениям конечной точки с плюсом по G43 и с минусом по G44. Эти операции производятся без учета знака величины смещения, находящейся в корректоре. Функции G43 и G44 действуют до тех пор, пока не будет запрограммирована другая *G* - функция этой же группы (т.е. являются модальными). Для отмены смещения по длине нужно запрограммировать G49 или выбрать H00. Для смещения инструмента по длине *нельзя* использовать функции *D* и *DR*. Начальная установка функции из группы G43- G49 определяется параметром N3006. Коррекция длины инструмента в данном УЧПУ возможна по любой из осей, причем величина смещения будет вводиться в зависимости от функции G17, G18, G19 по осям 3, 2, 1 соответственно. Ввод и вывод коррекции на длину инструмента производится в кадрах, где задано перемещение по корректируемой оси.

**Коррекция инструмента на радиус** осуществляется функциями G40, G41, G42. С их участием программируется коррекция траектории движения инструмента на величину его радиуса. Эти функции используются вместе с G00, G01, G02, G03 и они совместно определяют некоторый режим движения инструмента. При введенной коррекции на радиус инструмента возможно программирование до 10 кадров, не содержащих перемещений в плоскости коррекции, или

кадров без перемещений. Величина смещения задается номером корректора по функции *D*. Функция *G40* – отмена коррекции на радиус инструмента; *G41* – ввод смещения слева от направления перемещения инструмента; *G42* – то же, но только справа. В приведенном примере на рис. 16 описан режим коррекции на радиус фрезы.

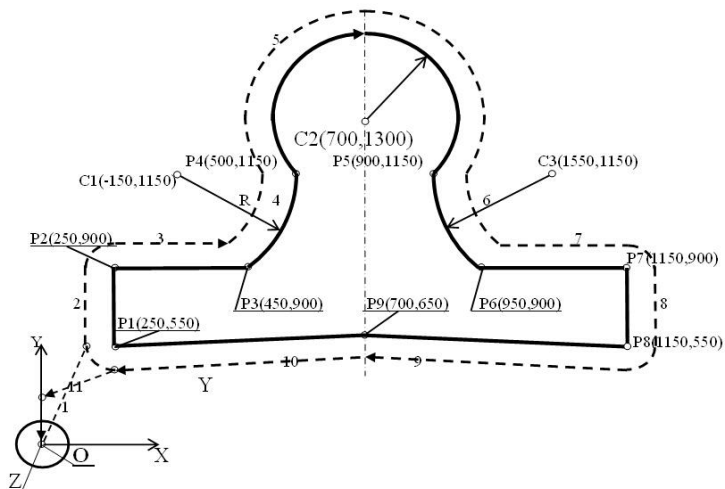


Рис. 16. Программирование контурной обработки фрезой с использованием коррекции

Приводим фрагмент VII:

**N100G92X0Y0Z0** – установка системы координат детали (заготовки).

**N1G90G17G01G41D07X250Y550F150** – абсолютный размер; плоскость *XU*; линейная интерполяция по траектории 1; коррекция на радиус слева; корректор; координаты точки *P1*; величина подачи.

**N2Y900** – линейное перемещение по участку траектории «2» (*X250* в кадре *N1*).

**N3X450** – круговая интерполяция относительно точки *P2* и линейное перемещение в точку *P3* по траектории 3.

**N4G03X500Y1150I-600J250** – круговая интерполяция против часовой стрелки в точку *P4* по эквидистанте 4 ( $I = -150 + (-450) = -600$ ;  $J = 1150 - 900 = +250$ ).

**N5G02X900I200J150** – круговая интерполяция по часовой стрелке до точки *P5* на участке траектории 6 (*Y* задан в кадре *N4*;  $I = 700 - 500$ ;  $J = 1300 - 1150 = 150$ ).

**N6G03X950Y900I650** – круговая интерполяция против часовой стрелки до точки *P6* по эквидистанте 6 ( $I = 1550 - 900 = +650$ ;  $J = 900 - 900 = 0$ ).

**N7G01X1150** – линейное перемещение в точку *P7* по траектории 7 (*Y* из кадра *N6*) с круговым перемещением вокруг точки *P7*.

**N8Y550** – линейное перемещение в точку *P8* (*X* из кадра *N7*) с круговым движением вокруг точки *P8*.

**N9X700Y650** – линейное перемещение в точку *P9* по траектории 9.

**N10X250Y550** – линейное перемещение в точку *P1* по траектории 10.

**N11G00G40X0Y0** – отмена коррекции и возвращение в «плавающий» нуль ускоренно по траектории 11 (установлен параметр «G0 без интерполяции»).

Величину смещения *D* по номеру 7 необходимо установить до начала отработки программы. Кадр номер один (*N1*) называют кадром включения. При программировании *G41* (*N2*) происходит переключение из режима отмены коррекции на режим коррекции на радиус инструмента слева от обрабатываемого контура. В точке *P1* кадра *N1* происходит смещение на величину радиуса инструмента, перпендикулярно к направлению от *P1* к *P2*. При этом радиус фрезы определен значением корректора *D07*, то есть в области памяти, соответствующей номеру корректора 7, хранится значение радиуса фрезы. Теперь, при отработке кадра перемещения в соответствии с данными чертежа, смещение на радиус фрезы будет вводиться автоматически.

При включении УЧПУ или после завершения программы по M02, M30, M98 устанавливается режим отмены коррекции по радиусу. Не допускается программирование круговой интерполяции по функциям G02, G03 и ввода коррекции по радиусу функциями G41, G42 в одном кадре.

Уточним понятие «сторона». Если на заготовке (или детали) имеются два стыкующихся линейных участка с углом между ними, замеренным со стороны материала заготовки, то тогда, если угол больше  $180^\circ$ , сторона считается «внутренней»; а если угол  $0^\circ - 180^\circ$ , то сторона считается «внешней». Например, обрабатывается фаска с углом  $45^\circ$  (угол со стороны материала заготовки  $135^\circ$ ), коррекция G42 вправо от фаски, которая будет «внутренней» стороной, движение в сторону 2-й прямой (рис. 17).

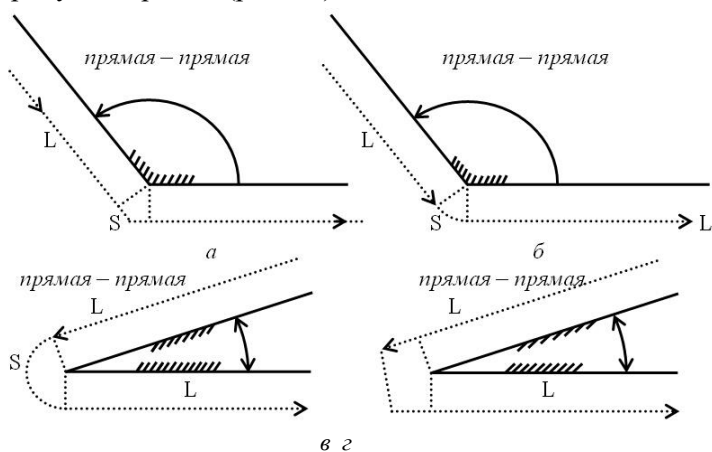


Рис. 17. Дополнительные кадры УП при коррекции (L – перемещение по прямой линии; S – точка останова в режиме покадровой отработки)

При работе УЧПУ с введенной коррекцией на радиус инструмента происходит смещение траектории центра фрезы. При этом не допускается переключение G17, G18, G19 без предварительной отмены G41, G42 функцией G40. При перемещении с внешней стороны

угла для его обхода *автоматически вставляется* один или несколько кадров. Дополнительные кадры могут представлять собой дугу или отрезки прямых. Вид этих кадров задается с помощью функций G14 – сопряжение по дуге, G15 – сопряжение отрезками прямых.

Перемещение с внешней стороны под тупым углом по функции G15 и G14.

Программированием G40 или D00 отменяется коррекция на радиус инструмента. Эта процедура зависит от параметра N3035 (есть три варианта). Не допускается программирование G40 или D00 в одном кадре с G02 и G03.

Номер корректора, в котором хранится радиус фрезы, задается адресом  $D$ , а величина скругления инструмента – адресом  $DR$ . В зависимости от формы фрезы величина её скругления может меняться от нуля (цилиндрическая фреза) до значений больше либо равных радиусу фрезы. Ориентация инструмента относительно осей координат определяется действующей плоскостью. При задании функции G17 ось вращения фрезы располагается вдоль оси 3, при G18 – вдоль оси 2, при G19 – вдоль оси 1 ( $X$ ).

**Пространственная коррекция на радиус инструмента** начинает работать, когда в *VII* заданы: разрешение действия данной коррекции – G143 или G144; хотя бы один ненулевой номер корректора  $D$ ,  $DR$ . Реальное действие данной коррекции выполняется только в тех кадрах, где заданы проекции вектора нормали. По функции G144 кроме разрешения действия коррекции происходит изменение знаков проекций вектора нормали на противоположные. Возможно задание функций G143 (G144),  $D$  и  $DR$  в разных кадрах. Отмена пространственной коррекции происходит по функции G40 или при задании нулевых значений  $D$  и  $DR$ .

С помощью использования таблицы инструментов и установки соответствующих параметров величина коррекции на размер инструмента может задаваться не через номера корректоров  $D$ ,  $H$  и  $DR$ ,

а через задание номера фрезы по функции  $T$ . При этом для каждого инструмента в таблице задаются его длина, радиус и скругление (см. Руководство оператора). Поэтому для ввода коррекций на длину и радиус в этом случае нужно использовать только функции G40 – G42, G143 – G144 и G43, G44, G49. Для использования таблицы инструментов электроавтоматика станка должна отрабатывать функцию  $T$  независимо от того, есть на станке автоматическая смена инструмента или нет.

Выбором специальных подрежимов на пульте УЧПУ или с помощью функции G67 в тексте УП можно задать *зеркальную обработку* по координатам  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и другим имеющимся на станке координатам. Точка зеркальности всегда задается в текущей системе координат, заданной по функциям G54 – G59.

Для реализации функций цикловой сверлильно-расточной обработки предназначены *постоянные циклы*, программируемые функциями G81 – G88. Ось, вдоль которой выполняется постоянный цикл, называется цикловой осью. Задание цикловой оси происходит автоматически при программировании функций выбора плоскости. Параметры цикла задаются одинаково для любой цикловой оси и всегда должны программироваться после  $G$ -функции цикла. Параметры циклов показаны в табл. 3.

Программирование цикла выглядит следующим образом:

G\_U\_Z\_W\_V\_I\_F\_E\_M\_H\_X\_Y\_

Программирование цикла в общем случае  $G\_U\_Z\_I\_F\_E\_$ , где  $G$  – код  $G$ -функции, а остальное – это величины параметров. Параметры всегда должны программироваться после  $G$ -функции цикла. Величины параметров должны задаваться в соответствии с форматом ввода (см. табл. 1).

Допускается программирование не самих величин, а формальных параметров, в которых эти величины содержатся [17].



Таблица 3

## Параметры циклов

Параметр		Характеристика	Содержание	
			G90	G91
Обязательные	<i>U</i>	Для всех циклов	Позиция точки 1	Перемещение в точку 1
	<i>Z</i>		Позиция точки 1	Перемещение в точку 1
Необязательные	<i>I</i>		Позиция точки 1	Перемещение в точку 1
			Если не задан, то точка совпадает с точкой 3	
Обязательные	<i>V</i>	Для G83 G86	Шаг сверления	
	<i>W</i>	Для G83	Запас для очередного начала сверления	
Для G86		Величина отскока на скорости ускоренного перемещения		
Необязательные	<i>X</i>	Для G88	Смещение по оси 1 после ориентации	
	<i>Y</i>	Для G88	Смещение по оси 2 после ориентации	
	<i>W</i>	Для G87	Выдержка времени	
	<i>F</i>	Для всех циклов	Подача для перемещения на участке 1-2	
	<i>F</i>	Для G82 Для G84	Подача для перемещения на участке 2-3	
	<i>H</i>	Для G82	Подача для перемещения на участке 2-3	
	<i>E</i>	Для всех циклов	Выдержка времени в точке 2	
		Для G84	Выдержка в точке 3	
<i>M</i>	Для G85 G84	Признак смены состояния шпинделя в точке 4		

Если в кадре с циклом нужно запрограммировать какие-либо задания, то их нужно записать до *G*-функции цикла. При выполнении такого кадра цикл выполняется последним. Подпрограммы стандартных циклов написаны на языке макропрограммирования.

**Цикл сверления** задается функцией G81 и имеет диаграмму перемещений, показанную на рис. 18.

Если параметр *I* не задан, то точка 4 совпадает с точками 3 и 1. Перемещения на участках выполняются со следующими скоростями:

«0 - 1» – ускоренное перемещение; «1 - 2» – подача из параметра *F*;  
«2 - 3» и «3 - 4» – скорость ускоренного перемещения.

В общем случае программирование цикла выглядит:

G81Z\_U\_I\_F\_E\_

где G81 – цикл сверления; Z – позиция конечной точки для движения на рабочей подаче, совпадает с точкой 2, если G90 (или перемещение на рабочей подаче 1 - 2, если G91); U – позиция начальной точки для движения в точку «1». I – позиция точки выхода «4»; F – рабочая подача; E – выдержка времени в точке «2».

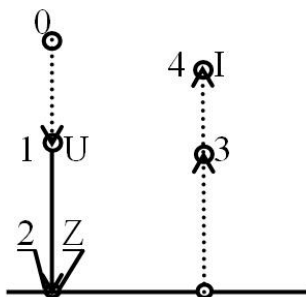


Рис. 18. Диаграмма перемещений

*Пример:* Цикловая сверлильная обработка четырех отверстий без выдержки времени (см. рис. 19).

Предполагается, что предварительно введена коррекция на длину инструмента и ось Y установлена в нужную позицию (т.е. направлена  $\perp$  XZ и за плоскость рисунка). Ниже приводится фрагмент УП с использованием «Цикла сверления»:

**N1 G54G0G90X10.Z10** – подготовительная функция G54 сдвигает «0» детали в точку на краю верхней плоскости заготовки (см. рис. 19) с координатой Z = 0; устанавливается задание величин перемещений в абсолютных размерах; происходит ускоренное перемещение расчетной точки сверла, находящейся на его перемычке, в точку с координатами X10.Z10 (нуль программы).

**N2 G81 U0.5 Z-15.F100** – в кадре указаны код стандартной подпрограммы «Цикл сверления» G81 и числовые значения всех параметров, необходимых для ее осуществления: U0.5 – позиция точки 1 (рис. 18, выше верхней плоскости заготовки на 0,5 мм) для дальнейшего движения на рабочей подаче (F100); сверление отверстия глубиной 15 мм (рис. 19). Вывод сверла из отверстия входит в перечень движений цикла G81 (точки 3 и 4 на рис. 18).

**N3 X30.G81 U-9.5I-4** – перемещение по оси X на 30 мм до оси второго отверстия, глубина которого 5 мм; включение цикла сверления G81 с указанием всех параметров, необходимых для его реализации: U - 9.5 – перемещение расчетной точки к торцу, где начинается второе отверстие (но не доходя 0,5 мм); I - 4 – выход расчетной точки в позицию, близкую к координате торца третьего отверстия (Z = 5 мм). Сверление отверстия глубиной 15 мм (рис. 19).

**N4 X45.G81 U-4.5I10.5** – смещение расчетной точки по координате X до оси третьего отверстия; включение цикла сверления G81; его параметры: U - 4.5 – перемещение в позицию, где будет включена рабочая подача; I 10.5 – позиция точки выхода 4 (из цикла). По G81 осуществляется сверление отверстия глубиной 15 мм (рис. 19).

**N5 X65.G81U0.5Z-10.I10** – кадр начинается с движения по X до оси четвертого отверстия; Включается цикл сверления G81. Вводятся его параметры: U0.5 – позиция включения рабочей подачи, находящаяся на высоте 0,5 мм над поверхностью заготовки; Z - 10 – глубина сверления (размер 10 мм от верха заготовки); I10 – позиция точки 4 (позиция выхода из цикла по оси Z).

**N6 G80** – отмена постоянного цикла.

Кроме рассмотренного постоянного стандартного цикла обработки сверлением в УЧПУ FMS-3000 могут быть реализованы на вертикально- фрезерном станке другие циклы обработки:

**G82, G85, G88** – циклы растачивания;

**G83** – цикл глубокого сверления;

**G84** – цикл нарезания резьбы;

**G86** – цикл прерывистого сверления;

**G87** – цикл прерывистого сверления с выдержками времени.

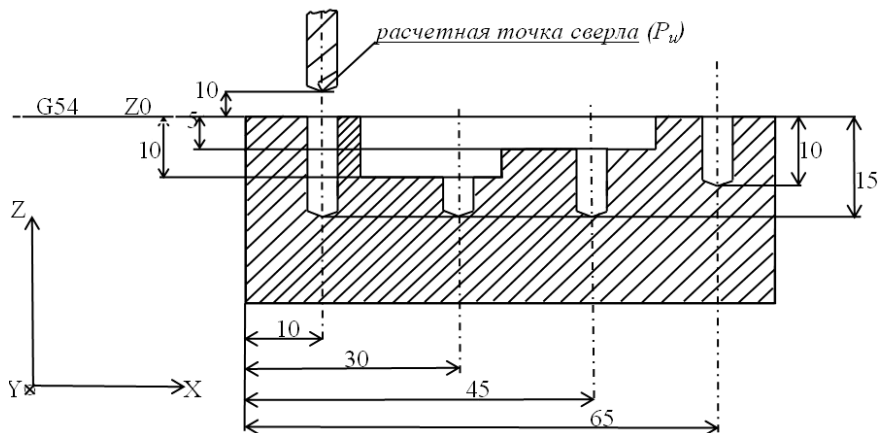


Рис. 19. Сверление четырех отверстий

Вообще возможности этого УЧПУ в плане реализации постоянных циклов существенно шире, но они относятся к другим группам и типам металлорежущих станков.

Отмена параметров циклов происходит в двух случаях: 1) при задании другого цикла; 2) при задании функции G80. После G80 обязательные параметры нужно повторять.

## 6.2. Функция шпинделя

При обработке числовых значений, запрограммированных под адресами *M*, *S*, *T*, запускаются соответствующие процессы в фоновом контроллере, управляющем электроавтоматикой станка.

В зависимости от действующих функций G96 (поддержание постоянства скорости резания) или G97 (частота вращения шпинделя *V* об/мин) значение под адресом *S* имеет различный смысл. При функ-

ции G97 (об/мин) значение  $S$  передается в электроавтоматику без изменений (но с коррекцией на максимальную частоту вращения шпинделя ( $n_{\max}$ ), которая определяется по паспортным данным станка). При действии функции G96 (м/мин) задаваемое адресом  $S$  значение является *скоростью резания*. При этом частота вращения шпинделя регулируется так, чтобы поддержать постоянство скорости резания, заданной с помощью адреса  $S$  (функция  $S$  имеет три размерности (см. табл. 1) и базовый станочный параметр N1030). С помощью функций G23 и G24 возможно соответственно разрешение или запрет оперативной коррекции частоты вращения шпинделя из УП. С помощью технологического параметра N3005 устанавливается  $G$ -функция из этой группы, действующая по умолчанию по включению станка и пуску УП.

Сказанное выше относится к возможностям УЧПУ *FMS-3000*, но на станке 6M13ГН1 привод шпинделя производится от асинхронного нерегулируемого электродвигателя и коробку скоростей (зубчатый редуктор). Поэтому возможности рассматриваемой СЧПУ в плане регулирования скорости резания ограничены.

### **6.3. Функция инструмента**

Для выбора нужного инструмента используется адрес  $T$  и последующее числовое значение, являющееся номером инструмента. Программирование инструмента N39 выглядит так: T39. Номер инструмента для УЧПУ находится в пределах 0 – 9999, но конкретное максимальное значение номера инструмента определяется либо ёмкостью магазина, либо количеством инструментов, необходимых для изготовления детали.

### **6.4. Вспомогательная функция (M)**

При отработке запрограммированных адресов  $M$  с последующим двузначным числом происходит запуск электроавтоматики станка. Действие конкретной функции  $M$  определяется характеристиками

станка и реализуется в соответствии с его алгоритмом работы. Ниже рассматриваются функции *M*, имеющие специальное назначение и действующие в станке 6М13ГН1 с УЧПУ FMS-3000.

***M00:*** Останов программы.

При отработке кадра с *M00* происходит безусловный останов автоматической работы, причём вся информация при этом сохраняется. При пуске отработки программа будет продолжена с того места, где она была прервана функцией *M00*.

***M01:*** Технологический останов.

Действие *M01* полностью повторяет действие *M00*, но отработка запрограммированной функции *M01* возможна только в подрежиме работы УЧПУ с технологическим остановом или по сигналу от станка.

***M02:*** Конец программы.

Данная функция означает конец программы и приводит к останову автоматической работы УЧПУ. Состояние системы при этом остается таким, каким оно было в последнем кадре отработанной программы. Для повторного пуска программы необходимо выполнить поиск начала программы.

***M03:*** Пуск шпинделя по часовой стрелке, если смотреть на инструмент со стороны шпинделя.

***M04:*** Пуск шпинделя против часовой стрелки, если смотреть на инструмент со стороны шпинделя.

***M05:*** Останов шпинделя.

При отработке кадра с *M05* происходит выключение и останов привода шпинделя.

***M25:*** Конец фрагмента программы для повторения с помощью функции *G25*.

***M30:*** Конец программы.

Действие функции M30 аналогично действию функции M02, за исключением того, что для повторного пуска программы не надо выполнять поиск начала программы.

**M98:** Конец программы.

Действие функции M98 аналогично действию функции M02, за исключением того, что при выполнении функции не происходит выдача сообщения оператору «M02». Это бывает необходимо, например, в подпрограммах, где при обнаружении ошибки задания параметров нужно остановить программу без возможности ее продолжения с выдачей соответствующего сообщения оператору.

**M99:** Конец подпрограммы.

Данная функция означает конец подпрограммы и передачу управления программе. При отработке M99 сигналы на станок не выдаются. При самостоятельной отработке подпрограммы как программы M99 эквивалентна M02, но без выдачи соответствующих сигналов на станок.

Не допускается программирование более 20 M-функций в одном кадре. Не допускается совместное программирование функций из группы: M00, M01, M02, M30, M99, M98 в одном кадре.

## 7. ТЕСТОВАЯ УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА

В качестве примера рассмотрим программирование обработки и сам процесс фрезерования контура детали типа серьги (рис. 20) концевой фрезой. Примем диаметр фрезы  $D = 20$  мм, так как радиус вогнутого участка детали  $R = 10$  мм. Деталь выполнена в виде сложного плоского фасонного контура некоторой постоянной толщины, например,  $B = 5$  мм. Материал детали – алюминиевый сплав АК8, материал фрезы – быстрорежущая сталь Р6М5. Назначаем основные параметры геометрии фрезы и режима резания [1]:  $\gamma = 25^\circ$ ;  $\alpha = 20^\circ$ ;  $\omega = 25^\circ$ ;  $B = 5$  мм;  $t = 20$  мм;  $v = 50$  м/мин;  $z = 5$ ;  $S_z = 0,02$  мм/зуб;  $n = 800$  об/мин.





N65 G03X34. 445Y-19.0I0.09J0.045  
N70 G01X38. 359  
N75 X38. 448Y-18.945  
N80 X46. 019Y-4.086  
N85 G03X45. 05Y5. 594I-8.019J4. 086  
N90 G01X39. 003Y13. 216  
N95 G03X31. 169Y17. 0I-7. 834J-6.216  
N100 G01X10. 583  
N105 G03X6. 403Y16. 085I0. 0J-10.0  
N110 G01G40X1. 805Y26. 077  
N115 G00X0. 0Y50. 0  
N120 G54G00Z0. 0  
N125 M06  
N130 M02

## *7.2. Пояснения к УП*

**N10** - выбор абсолютной **G90** системы отсчета и плоскости **G17** интерполяции **X-Y**.

**N15** - на ускоренной подаче **G00** выход в ноль детали **G55**.

**N20** - включение оборотов шпинделя **M03** по часовой стрелке.

**N25** - на ускоренной подаче выход в точку с координатами **X=0 Y=50** мм.

**N30** - выход **Z** на 10мм.

**N35** - **G01** - линейная интерполяция.

**G42** - учет коррекции на радиус инструмента при движении его справа от контура.

**D111** - номер корректора (в нашем случае **D111=10** мм) и на подаче **F80** мм/мин идти в точку 1 на контуре детали.

**N40** - **G03** - круговая интерполяция против часовой стрелки от 1 до 2; координаты центра окружности: **I** по **X**, **J** по **Y**.

**N45** - **G01** - линейная интерполяция от 2 до 3.

**N50** - круговая интерполяция против часовой стрелки от 3 до 6.

- N55 - G02** - круговая интерполяция по часовой стрелке от 6 до 7.  
**N60** - линейная интерполяция от 7 до 8.  
**N65** - круговая интерполяция против часовой от 8 до 9.  
**N70** - линейная интерполяция от 9 до 10.  
**N75** - линейная интерполяция от 10 до 11.  
**N80** - линейная интерполяция от 11 до 12.  
**N85** - круговая интерполяция против часовой от 12 до 13.  
**N90** - линейная от 13 до 14.  
**N95** - круговая против часовой от 14 до 15.  
**N100** - линейная от 15 до 16.  
**N105** - круговая против 16 до 17.  
**N110** - линейная, отмена коррекции, уход с контура.  
**N115** - ускоренное перемещение в точку **X0, Y50**.  
**N120 - G54** – отмена функции плавающего «0» и на ускоренном ходу в **Z0**.  
**N125** – стоп шпинделя.  
**N130** – конец программы.

### ***КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ***

1. Как регулируется частота вращения шпинделя?
2. Как работает привод стола?
3. Как работает привод салазок?
4. Как работает привод пиноли?
5. Как выбирается люфт в шариковой винтовой паре?
6. Как выбирается люфт в зубчатых передачах?
7. Как осуществляется обратная связь?
8. Тиристорный электропривод.
9. Технические характеристики УЧПУ FMS-3000.
10. Что означает кадр и слово в программе?
11. Перечислите размерные слова.
12. Задание перемещений в абсолютных величинах и приращениях.
13. Линейная интерполяция

14. Круговая интерполяция.
15. Линейно-круговая интерполяция.
16. Коррекция инструмента на радиус.
17. Задание плоскости.
18. Позиционирование.
19. Фиксированные системы координат заготовки.
20. Функции коррекции.
21. Понятие «внутренней» и «внешней» стороны при вводе коррекции на радиус инструмента.
22. Режим отмены коррекции на радиус инструмента.
23. Ввод коррекции на радиус инструмента.
24. Отработка введенной коррекции на радиус инструмента.
25. Вспомогательные функции.

**Лабораторная работа №9**  
**ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, КИНЕМАТИКИ**  
**И УПРАВЛЕНИЯ СТАНКА МС12 – 250М1**  
**С УЧПУ "FMS -3000"**

**Цель работы:** изучение основных узлов, кинематики, системы ЧПУ «FMS-300» станка МС12-250М1, написание управляющей программы.

***ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ***

1. Ознакомиться с конструкцией, кинематикой и техническими характеристиками станка.
2. Изучить уравнения главного движения и привода подач.
3. Ознакомиться с написанием управляющей программы в системе «FMS-3000».
4. Проанализировать тестовую УП обработки детали.
5. Определить параметры режима резания при обработке различных участков детали.

**1. НАЗНАЧЕНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ**  
**И КИНЕМАТИКА СТАНКА МС12 – 250М1**

Модернизированный вариант станка МС12 работает совместно с УЧПУ «FMS-3000 COMFORT», которое является специализированной ЭВМ. Это новое поколение УЧПУ - современное, надежное, высокопроизводительное устройство программного управления всеми типами технологического оборудования, разработанное на базе РС – совместимого промышленного компьютера для экстремальных условий эксплуатации. Версия программного обеспечения FMS – 3000 предназначена для фрезерных и расточных станков, обрабаты-

вающих центров, машин термической резки и др. Системы ЧПУ серии *FMS – 3000* позволяют использовать все преимущества РС: высокую надежность, широкий выбор дополнительного оборудования и программного обеспечения, возможность последующей модернизации. Мощное программное обеспечение *FMS – 3000* дает возможность: существенно увеличить производительность станков, производить трех - и многокоординатную обработку, повысить точность обработки за счет специальных режимов коррекции и упростить технологическое программирование за счет новых методов интерполяции.

Под СЧПУ понимается комплекс: УЧПУ и управляемый ею станок. Схема СЧПУ показана упрощенно на рис. 1. На схеме СЧПУ представлены следующие блоки: I – УЧПУ «*FMS – 3000*»; II – станок или следящий привод (*СП*). В блок станка II входят следующие модули: *ТГ* – тахогенератор, *ДПП* – электродвигатель постоянного тока, *Р* – редуктор, *РО* – рабочий орган, *ДОС* - измерительный преобразователь перемещений, *ВМС* – вспомогательные механизмы станка, *РЧ* – регулятор частоты вращения электродвигателя, *У* – усилитель.

Как и всякая ЭВМ (например, персональный компьютер), УЧПУ (блок I, см. рис. 1) работает с управляющей программой (*УП*). Органы станка, которые участвуют в реализации управляемого от УЧПУ перемещения (блок II), принято называть электроприводом (*ЭП*) или следящим приводом (*СП*).

УЧПУ (I) формирует управляющие сигналы в соответствии с *УП*. При отработке этих сигналов следящим приводом (*СП*) происходит перемещение расчетной точки на режущей кромке инструмента по заданной траектории.

Кроме этого, УЧПУ управляет электроавтоматикой станка (*ВМС*), например, осуществляет включение и выключение СОЖ; смену инструмента и много других функций.

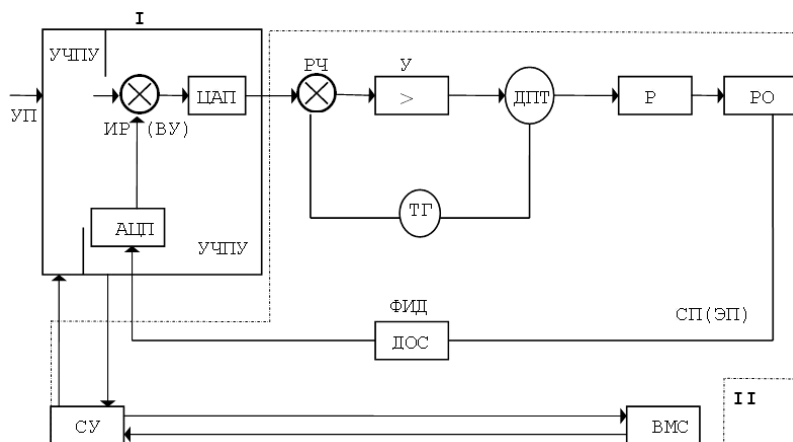


Рис. 1. Принципиальная схема СЧПУ станка MC12–250M1

## 2. ПРИВОД ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ

Станок состоит из следующих основных узлов: станины 1 (рис. 2), шпиндельной головки 3, смонтированной в горизонтальной бабке, суппорта 17, стола подъемно-поворотного 16, механизма смены инструмента 4, пульта управления 6, корыта 11, защитного кожуха направляющих 15, механизма переключения скоростей 9, насоса охлаждения 10 и других узлов.

В состав станка входят устройство числового программного управления «FMS – 3000» и гидростанция. При работе станка в следящем контурном режиме датчиками точного положения узлов служат линейные индуктосины 2 (рис. 2), кроме того, имеются датчики абсолютного отсчета координатных перемещений узлов 8 (типа БСКТ-220-1Д). Главное движение при обработке на станке - вращательное движение инструмента. В состав привода главного движения входит электродвигатель 5-МЗ.



Кинематическое уравнение главного движения имеет вид

$$n = 1420 \frac{103}{144} \cdot 0,985 \frac{M1}{19 \frac{19}{53}} \left\{ \begin{array}{l} 47 \\ 37 \\ 35 \\ 49 \\ 23 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} 35 \\ 42 \\ 42 \\ 35 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} 42 \\ 45 \end{array} \right\} \frac{45}{53} = 45 - 2000 \text{ об / мин.}$$

Количество частот вращения шпинделя можно принять  $z = 2 \cdot 3 \cdot 2 = 12$ . В верхней части станины I расположена коробка скоростей. Привод главного движения осуществляется от двигателя

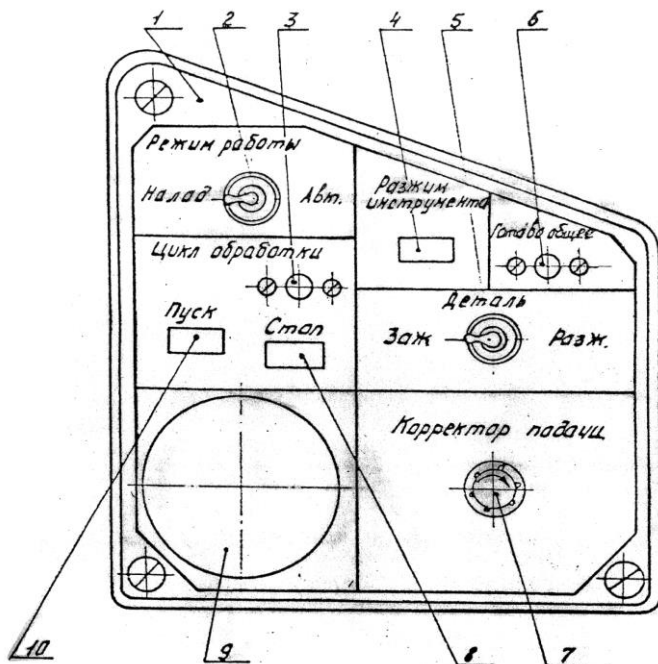


Рис. 3. Пульт станка:

1 – лицевая панель; 2 – переключение режимов работы «ручной-автоматический»; 3 – сигнальная лампа «Цикл обработки вкл»; 4 – разжим инструмента; 5 – зажим-разжим заготовки; 6 – лампочка «Готово общее»; 7 – «Корректор подачи»; 8 – стоп цикла обработки; 9 – общий «Стоп»; 10 – пуск цикла обработки



5-МЗ через клиноременную передачу с регулируемым натяжением ремней. Кроме того, двигатель осуществляет колебательные движения валов коробки скоростей при автоматическом переключении скоростей. Механизм переключения скоростей расположен на боковой стенке станины со стороны рабочего места. Рядом расположен пульт управления (рис. 3 и 4). На одном валу с колесом  $z = 19$  и шкивом  $\varnothing 144$  расположен тахогенератор 5-Т21, служащий датчиком обратной связи по скорости вращения шпинделя. С момента подачи до момента снятия команды время торможения шпинделя не более 2 с.

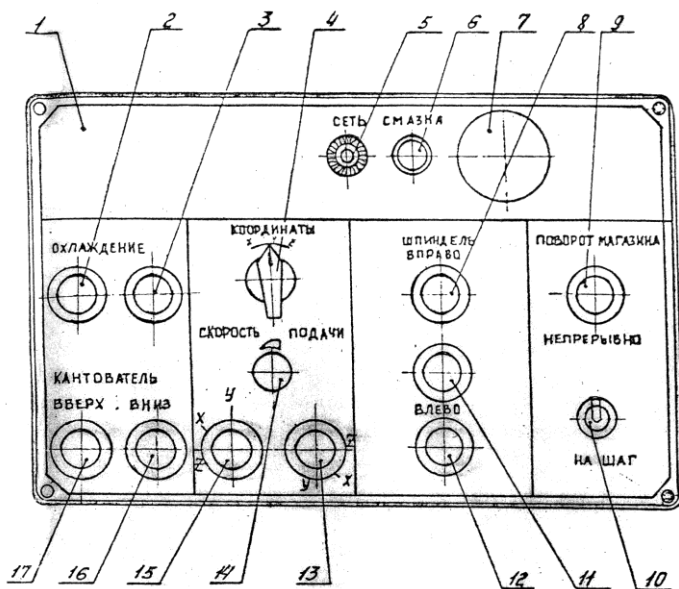


Рис. 4. Станочный пульт:

1 – лицевая панель, 2,3 – вкл. и откл. СОЖ; 4 – выбор координатных перемещений X,Y,Z; 5-сигнальная лампа «Станок включен»; 6 – управление дозированной смазкой направляющих; 7 – общий «Стоп» (УЧПУ не отключается); 8,11,12 – пуск и останов шпинделя; 9 – выбор нужного инструментального гнезда в магазине; 10 – выбор режима поворота магазина; 13, 15 – выбор направляющих перемещения; 14 – задание скорости подвижных органов по X,Y,Z; 16,17 – управление кантователем

### 3. ПРИВОДЫ ПОДАЧ

В верхней части станины 1 (рис. 2) имеются горизонтальные направляющие, служащие для перемещения шпиндельной головки 3 вдоль оси Z. Это перемещение осуществляется через шариковую винтовую пару (ШВП) от привода подач. Привод подач шпиндельной головки с блоком сельсинов по координате «Z» осуществляется по следующей кинематической цепи:

от двигателя 3-М1:

$$S_{max} = 6000 \cdot i_{ред} \cdot 6 [мм / мин] ,$$
$$где i_{ред} = \frac{19}{25} \frac{25}{31} \frac{4}{29} = 0,0845, \quad \frac{1}{i_{ред}} = 11,83.$$

Моменты на ходовых винтах узлов координатных перемещений (X, Y, Z) не более 15-17 кгс/см. Осевая жесткость ШВП 1200...1500 Н/мкм. С ШВП через зубчатую пару 78/130 и 33/66 связан ДОС (3-С<sub>с</sub>1, 3-С<sub>с</sub>2, 3-С<sub>с</sub>3).

Кинематические уравнения подач координатных перемещений по «X» (двигатель 1-М1) и «Y» (двигатель 2-М1) аналогичны. На передней торцевой стенке станины имеются прямоугольные вертикальные направляющие для перемещения суппорта (координата Y). Наибольшая величина перемещения по осям координат: салазок – X = 250 мм; суппорта – Y = 250 мм; шпиндельной головки Z = 200 мм. Точность линейных перемещений по каждой координате 0,01 мм. Скорость быстрых перемещений по каждой координате не менее 2,4 м/мин, а максимум рабочей подачи 1200 мм/мин.

Кроме рассмотренных выше основных движений у станка имеется вращение круглого поворотного стола (координата B). Привод поворота стола от двигателя 4-М1, а вспомогательные движения включают в себя движения манипулятора, поворот кантователя, механизм переключения скоростей и «вялое» вращение шпинделя при автоматической смене инструмента (рис. 5 и 6).

#### 4. КРЕПЛЕНИЕ ИНСТРУМЕНТА В ШПИНДЕЛЕ

Шпиндель смонтирован в корпусе станка между его вертикальными направляющими (рис. 2), передней и задней опорами которого служат двухрядные роликовые подшипники с конической посадкой.

Затяжка инструмента в шпинделе осуществляется за хвостовик инструмента с помощью четырех захватов, тяги и набора тарельчатых пружин, создающих осевую силу 1200 Н.

**Механизм смены инструмента (МСИ)** состоит из четырех основных узлов (рис. 5): кантователя 1, манипулятора 2, магазина 4 и двуплечего рычага 8, смонтированных на одной плите и связанных общим циклом с механизмом ориентации шпинделя и зажима инструмента в шпинделе.

В исходном положении *МСИ* рычаг манипулятора 8 находится в горизонтальном положении, как показано на правой проекции рис. 2. Инструмент в шпинделе зажат.

Цикл смены инструмента происходит следующим образом (рис. 6):

а) поворачивается рычаг 8 манипулятора 2 на  $90^\circ$  (рис. 5, 6); захватываются инструменты в шпинделе и в кантователе; в конце поворота осуществляется разжим инструмента в шпинделе (фиксируется микропереключателем);

б) рычаг 8 манипулятора 2 выдвигается вперед на 72 мм вместе с инструментами из шпинделя и кантователя 1 (рис. 6); при ходе вперед фиксаторы рычага 8 (рис. 5) под действием пружины запирают инструмент в рычаге; конус инструмента обдувается сжатым воздухом из пневмосистемы станка;

в) рычаг 8 поворачивается на  $180^\circ$ , меняя местами отработавший инструмент и новый;

г) осуществляется подача инструментов в шпиндель и в стакан кантователя за счет хода назад рычага 8; инструмент в рычаге 8 рас-

фиксируется при помощи шипов на шпинделе и на стакане; в конце хода происходит затяжка инструмента в шпинделе (фиксируется микропереключателем);

д) происходит поворот рычага  $\delta$  в исходное положение (как показано на правой проекции рис. 2); в конце поворота в УЧПУ подается сигнал об окончании цикла смены инструмента.

## 5. ПРОГРАММИРОВАНИЕ УП В УЧПУ "FMS-3000"

### 5.1. Кодирование программы

Кодирование УП для станка МС12 осуществляется в соответствии с кодом ИСО 7-бит (Гост 13052-74, Гост 20999-83).

Для обработки детали на станке с ЧПУ необходимо задать траекторию перемещения инструмента и другие условия обработки. Данную программу называют *управляющей программой (УП)*.

Программирование обработки детали означает указание траектории движения инструмента (его расчетной точки, *Ри*) и вспомогательных действий станка УЧПУ в соответствии с правилами (языком программирования) ЧПУ.

Программы делятся на программы и подпрограммы (*ПП*). При отработке программы УЧПУ будет работать по командам программы, однако, если в программе встретится команда обращения к подпрограмме, то дальнейшее поведение УЧПУ определяется командами подпрограммы (*ПП*). Далее, если во время выполнения *ПП* встретится команда возвращения в программу, то дальнейшее поведение УЧПУ определяется командами *УП*.

В памяти УЧПУ FMS-3000 в общей сложности одновременно может находиться 11110 *УП* и *ПП* с номерами 0 – 9999.



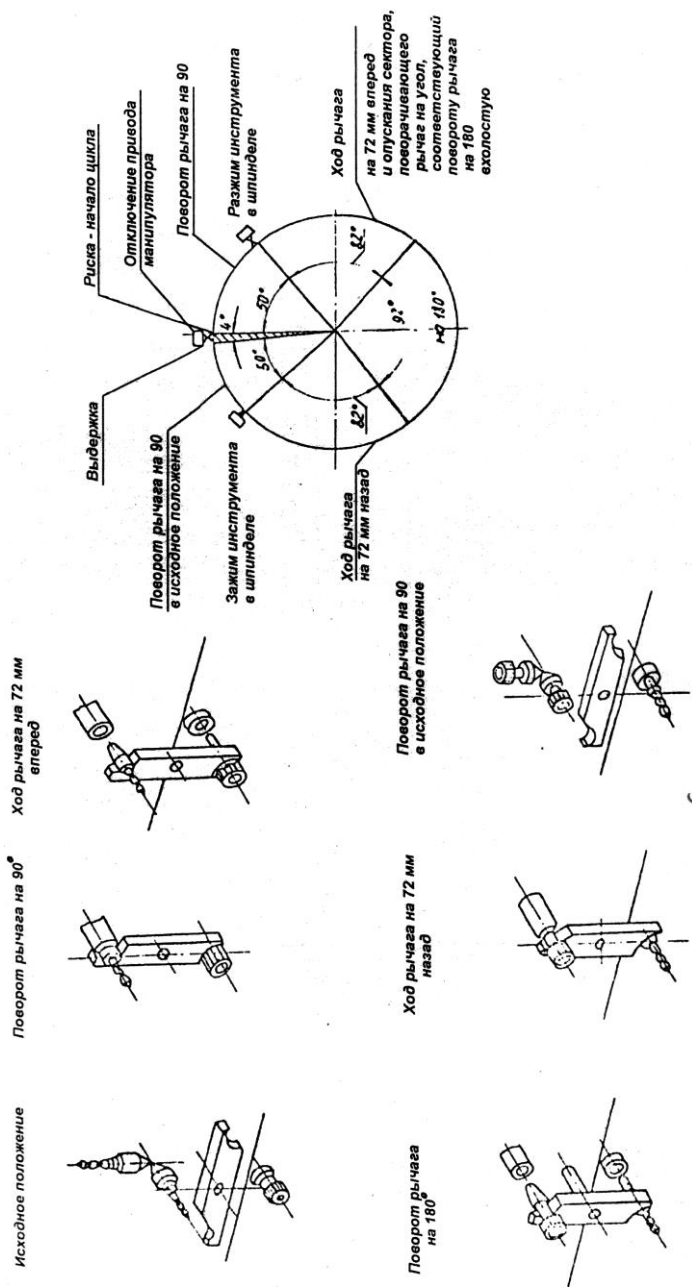


Рис. 6. Циклограмма смены инструмента

Структурную единицу *УП* (или *ПП*) составляет кадр. Кадр представляет собой записанную по правилам программирования последовательность символов языка программирования. Последующий кадр от предыдущего отделяется кодами <BK> или <ПС> (неотображаемые коды «Возврат каретки» и «Перевод строки»). Эти коды обычно вставляются автоматически при нажатии клавиши Enter в любом текстовом редакторе. Максимальное число символов в кадре 254, включая коды <BK> или <ПС>.

Элементом кадра является слово. Слово состоит из адреса и последующего числового значения нескольких разрядов (перед числовым значением могут быть записаны знаки «+» или «-»). При этом знак «+» можно опускать: **X - 1000** (Адрес - Числовое значение).

Адрес представляет собой одну из букв латинского алфавита и определяет смысл последующего числового значения. В табл. 1 перечислены адреса, которые используются в данном УЧПУ, и их смысл.

Рекомендуется порядок записи адресов по ГОСТ 20999-83 [4].

Пределы допустимых значений для адресов из табл. 1 следующие:

*N* – (0 -9999999); *G* – (0 -99); *S* – (0 -9999 об / мин или код ступени); *T* – (0 -9999); *M* – (0 -99); *H*, *D* и *DR* – (0 -255); *E* – (1 -65535 десятых секунды); *P* – (0 -9999). Диапазоны изменения размерных слов (*X...R*) и величины подачи (*F*) указываются в эксплуатационной документации на модернизированный станок MC12-250M1 [5]. Информация для УЧПУ FMS всегда записывается **адресным** способом. Общая структура записи *УП* представлена в работе [2]. Ввод числовых величин осуществляется в десятичной системе в соответствии с допустимыми значениями. Точка в поле числа является десятичной точкой, разделяющей целую и дробную части в миллиметрах или градусах. При программировании ведущие нули можно опускать, кроме вызова подпрограммы (*ПП*) (*X.08* означает размер 0,08 по оси

X). Математический знак «плюс» в слове «размерные перемещения» допускается опускать.

Таблица 1

*Значения функций и адресов*

Функция	Адрес	Значение
Номер кадра	$N$	Номер кадра
Подготовительная функция	$G$	Определение вида движения рабочего органа
Размерные слова	$X, Y, Z$ $A, B, C, U,$ $V, W$ $I, J, K$	Команды на перемещен. по координатам станка Команды на перемещение по дополнительным осям Расстояние до центра дуги окружности или шаг винта при линейно-круговой интерполяции
Величина подачи	$F$	Задание величины подачи
Обороты шпинделя	$S$	Задание оборотов шпинделя, кода ступени или скорости резания
Номер инструмента	$T$	Задание номера инструмента для поиска
Вспомогательная функция	$M$	Указание на двухпозиционное управление (вкл-выкл) на станке
Номер корректора, хранящего данные об инструменте	$H$ $D$ $DR$	Задание номера корректора инструмента -на длину, -на радиус, -на скругление
Пауза	$E$	Задание величины паузы
Вызов подпрограммы	$P$	Команда вызова подпрограммы (ПП)
Угол поворота системы координат	$A$	Задание угла поворота системы координат по функции G37
Угол полярной системы координат	$A$	Задание угла для определения конечной точки в полярной системе координат по функции G36
Радиус дуги окружности	$R$	Задание радиуса дуги окружности при программировании G2/G3 через радиус
Количество повторов	$L$	Задание количества повторов фрагмента программы с помощью функции G25
Радиус полярной системы координат	$I$	Задание расстояния от центра полярной системы координат до конеч. точки по функции G36

Программам (VII) при их вводе *присваивается номер* в диапазоне от 0 до 9999. В памяти УЧПУ возможно одновременное хранение



ние 11110 программ и подпрограмм (III). VII заканчивается кадром с вспомогательными функциями M2, M98 или M30 – конец программы. Некоторые VII могут иметь номер, начинающийся с букв G или M, после которых идут от одной до трех цифр. Нумерация кадров начинается после номера VII. В начале кадра следует помещать номер кадра с использованием адреса N и последующего числового значения. Допускается произвольная последовательность номеров кадра и даже пропуск промежуточных номеров (но не адреса N). В общем случае наличие номера кадра не является обязательным, т.е. кадр может выглядеть так: G1X100F200. Здесь X100 – размерное слово, которое является командой на перемещение инструмента. Размерное слово состоит из адреса и числового значения, определяющего направление и величину перемещения. Адреса размерных слов включают в себя оси и параметры круговой или линейно-круговой интерполяции I, J, K, R. Оси делят на основные оси X, Y, Z и дополнительные оси A, B, C и U, V, W (рис. 7).

Работа станка с ЧПУ тесно связана с системами координат. Оси координат располагают параллельно направляющим станка, что позволяет при программировании обработки указывать направления и величины перемещения рабочих органов. В станке принята правая система координат (рис. 7) по ГОСТ 23597-79. Оси X, Y, Z указывают положительные перемещения инструментов относительно частей станка. Декартова система координат станка (правая) устанавливается функцией G35. При программировании удобно считать, что при обработке деталь остается неподвижной, а перемещается инструмент (в нашем случае - это фреза, сверло, расточная оправка, метчик и т.д.). А УЧПУ автоматически скорректирует движение так, чтобы инструмент оказался в запрограммированной позиции.

Ось Z всегда располагается параллельно оси шпинделя, а ее положительное направление **от стола в сторону шпиндельной бабки**, которая по оси Z и перемещается. Направление оси X горизонтально

(слева направо) вдоль стола станка, а положительное направление оси  $Y$  вертикально вниз (рис. 7). В рассматриваемой СЧПУ направления всех движений органов станка рассматриваются с позиции оператора. Круговые перемещения инструмента или заготовки вокруг осей  $X, Y, Z$  (например, поворот планшайбы поворотного стола на определенный угол вокруг оси  $Y$ ) обозначают буквами  $A, B, C$ . Это вращение вокруг осей  $X, Y, Z$  будет положительным, когда будет **против часовой стрелки**, если смотреть с конца соответствующей оси. На станке MC12 два управляемых круговых движения: вращение шпинделя против часовой стрелки ( $C$ ) и поворот стола по часовой стрелке ( $B$ ), если смотреть на планшайбу сверху.

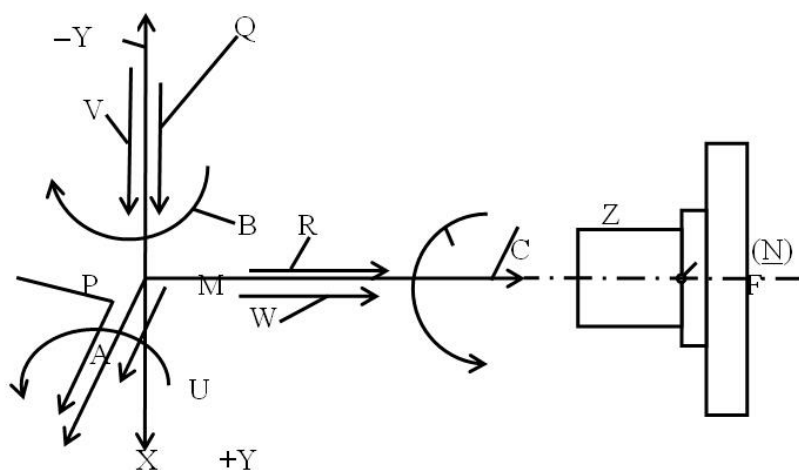


Рис. 7. Система координат станка

Дополнительные линейные оси  $U, V, W$  параллельны осям  $X, Y, Z$  с теми же направлениями. Часто вместо названия осей используются их номера (1, 2, 3 и т.д.). Эти номера указываются в осевых базовых

станочных параметрах N5022 – N5422. В центре поворотного стола имеется центральное **базирующее** отверстие  $\varnothing 28^{+0,013}$ .

Начало **системы координат станка** (точка М) обычно совмещают с базовой точкой узла, несущего заготовку. На нашем многооперационном станке «нуль» М **зафиксирован** в таком положении (в углу рабочей зоны), чтобы у перемещений инструмента были бы положительные координаты. Нуль станка сдвинут по оси Z от торца шпинделя в отрицательном направлении (от шпинделя к планшайбе) на величину:  $330 + 270^{\pm 0,05} = 600^{\pm 0,05}$  мм; от поверхности подъёмноповоротного стола в отрицательном направлении оси Y (вверх) на  $100 + 12,5 + 125 = 237,5$  мм и по оси X в отрицательном направлении (налево) на 215 мм.

Если в кадре задана только G90 («абсолютные величины»), то все координаты определяются относительно нулевой точки М станка (если не заданы другие системы координат). В системе координат станка определяются положения базовых точек отдельных узлов станка. Числовые значения некоторых базовых точек можно вывести на экран.

При работе в декартовой системе координат (с нулями в точках М, W, N, где W – нуль детали; N – нуль инструмента) существует возможность поворота этой системы на произвольный угол относительно заданной точки в действующей плоскости (G17 – G20). Этот поворот в плоскости XY можно задать кадром: N100G37X\_Y\_A\_, где X\_, Y\_ – координаты точки и A – угол поворота в градусах со знаком относительно оси X. После такого поворота координаты задаются уже в новой, повернутой системе координат. Возврат к исходной системе координат кадром: N101G37A0.

В УП может быть записана информация, которая не должна восприниматься УЧПУ, например пояснительный текст. Такая информация заключается в круглые скобки. Символ "(" отключает схему управления станком, а символ ")" включает.

*Пример.*

% 124

N1 X100 Y200

N2 Z-2000 T06M06 (FREZA 20мм)

Вступительная информация и информация в скобках должна кодироваться только символами, входящими в набор символов кода ИСО, но не должна включать символов % или «:».

### **5.2. Подготовка геометрической информации для УП**

Подготовка информации для написания УП требует представления детали, станка и инструмента геометрическими объектами, расположенными в определенной системе координат. УП задает перемещение определенной точки инструмента (расчетной точки «P» или «Pi») относительно профиля будущей детали. Для обычной концевой фрезы расчетной точкой является точка пересечения оси фрезы с ее торцом. Расчетная точка фрезы находится на одном и том же расстоянии от линии контура (т.к.  $R_{фр} = \text{const}$ ), поэтому траекторию  $P_i$  (при рабочем движении) часто называют эквидистантой. Движения могут быть также подготовительными и вспомогательными. В результате траектория – это сложная пространственная линия, которую необходимо разбить на ряд простых составляющих (обычно это прямые или дуги окружности). Точки сопряжения простых участков являются расчетными (опорными; узловыми) точками траектории перемещения  $P_i$ . Координаты этих точек могут быть заданы в одной из трех систем координат: станка; детали; инструмента (рис. 2). Начало этих систем координат называют «нулями», например, «нуль станка».

Кроме прямоугольной системы координат могут быть использованы цилиндрическая и сферическая системы координат.

На рис. 2 показан станок MC12-250M1. Это многоцелевой станок (машинный центр, станок с широкими технологическими возможностями). Этот станок предназначен для обработки корпусных деталей

средних размеров. Шпиндель 3 и шпиндельная бабка 2 размещены в проеме стойки, где бабка перемещается по направляющим, расположенным между мощными боковыми сторонами стойки. Такая компоновка обеспечивает высокую жесткость шпиндельного узла и точность его линейных перемещений.

На поворотный стол 16 можно устанавливать заготовки массой до 25 кгс. Поворачивая стол, можно изменять угловое положение заготовки (у МС12 угловой шаг 15°) по отношению к шпинделю и обрабатывать ее с разных сторон при одном установе. Позиционно-контурная СЧПУ позволяет выполнять разнообразную обработку плоских и фасонных поверхностей и отверстий, включая контурное фрезерование с линейной и круговой интерполяцией. Плоскости можно обрабатывать торцовыми фрезами диаметром до 57 мм или концевыми фрезами. Возможно сверление отверстий в стали средней твердости при диаметрах до 12 мм, растачивание до  $\varnothing$  60 мм, нарезание резьб метчиками до 12 мм, закрепленными в специальных патронах. Наибольшие перемещения подвижных узлов составляют: стола (по оси X – 250 мм); перемещение планшайбы по оси Y – 250 мм; смещение шпиндельной бабки по оси Z – 200 мм. Дискретность: по линейным координатам – 0,001 мм; по круговым координатам – 0,001; поворот шпинделя (C) – 0,0005 об; поворот инструментального магазина – 1 ячейка; наименьшая подача – 0,1 мм / мин. Максимум: «C» = 4999,9 об; магазин – 1 об; подача – F20000 мм/мин; S5000 об/мин; время выдержки – 9999,9 с.

Перемещения шпиндельной бабки, стола и планшайбы контролируются датчиками обратной связи.

Режущие инструменты, закрепленные вне станка в унифицированных инструментальных оправках, размещаются в гнездах инструментального магазина 4 (рис. 2 и 5). В станке принята система кодирования гнезд магазина. Для передачи инструментов из магазина в шпиндель и обратно служит двузахватный автооператор. Заго-

товки закрепляют на подъемно-поворотном столе (планшайбе поворотного стола) или в приспособлениях – спутниках, на которые могут устанавливаться следующую заготовку в период обработки предыдущей детали.

Главное движение у многооперационного станка – вращение шпинделя с закрепленным в нем инструментом. Движения подачи: по оси  $X$  – горизонтальное перемещение стола с заготовкой; по оси  $Y$  – вертикальное перемещение суппорта (планшайбы, подъемно-поворотного стола);  $Z$  – горизонтальное перемещение шпиндельной головки.

Вращение шпинделя 4 обеспечивается асинхронным электродвигателем  $N = 2,3$  кВт и частотой вращения  $n = 1420$  об / мин. Ступенчатое регулирование частоты через коробку скоростей обеспечивает 12 частот вращения (45 – 2000 об / мин). Максимальная частота вращения шпинделя ( $S$ ) – до 5000 об / мин.

Таким образом, имеем три управляемых линейных координаты ( $X, Y, Z$ ); два управляемых вращения ( $B, C$ ); управление магазином инструментов и управление главным приводом ( $S$ ).

### *5.3. Технологические особенности обработки на МС*

В авиационном машиностроении встречаются сложные детали, в том числе корпусные. Эти детали, как правило, требуют обработки с разных сторон, на каждой стороне могут быть ребра, направляющие, наклонные плоскости, выступы, пазы, колодцы и другие конструктивные элементы. Некоторые из них могут иметь сложный контур. Кроме этого, обязательно присутствуют основные и крепёжные отверстия разной глубины, формы и точности. Раньше (до станков с ЧПУ) эти сложные детали обрабатывали на разных станках почти всех типов, а это требовало соответствующего количества установок, каждая из которых, в свою очередь, имела право на погрешность.

Главное в многоцелевых станках (другие названия у них: машинный центр, станок с широкими технологическими возможностями, многоцелевой станок, МС) – это одна установка на рабочем столе, а почти все требуемые технологические переходы обеспечивает МС. Этими переходами могут быть: различные виды фрезерования и сверления, рассверливание, зенкерование, развертывание, растачивание, нарезание резьбы плашкой и метчиком, нарезание резьбы резцом. Упомянутая выше «одна установка» подразумевает все-таки разделение технологического цикла на черновую (обдирочную) и чистовую обработки, т.к. они требуют различного по жесткости и мощности станочного оборудования (понятно, что МС выполняют чистовую обработку).

Плоскости на МС обрабатывают торцовыми и концевыми фрезами с твердосплавными многогранными неперетачиваемыми пластинами (СМП). Упомянем об особой важности проблемы стойкости (и особенно размерной) при обработке на станках с ЧПУ (и особенно на МС). Пазы, окна и уступы обычно обрабатывают концевыми фрезами, оснащенными твердосплавными пластинами. Второй по важности проблемой обработки на МС является проблема вибраций, особенно свойственных фрезерованию. Отсюда широкое использование разношаговых фрез. Обязательно следует упомянуть круговое фрезерование, которое стало возможным с появлением функции G02 и G03 на фрезерных станках с ЧПУ и, конечно, на МС (раньше отверстия в корпусных деталях обрабатывались растачиванием). Сейчас круговому фрезерованию отдается предпочтение при построении *ТП* во всех случаях, когда этот процесс возможно применить. Подробности фрезерования см. в работе [3].

Обработка отверстий – самый распространенный вид технологических переходов на МС. Здесь следует упомянуть сверление и нарезание резьбы под болты, винты и шпильки; сверление, зенкерование, развертывание, растачивание точных посадочных отверстий

различной формы. Соосные отверстия в разных стенках одного корпуса можно обработать на МС (раньше это только прецизионные расточные станки) за счет поворота планшайбы стола на 180°. Точность изготовления здесь определяется точностью поворотного механизма и вылетом пиноли шпиндельной бабки. Если требования к точности обрабатываемых отверстий высокие, то следует стремиться к тому, чтобы в одной позиции поворотного стола МС было бы использовано наибольшее число осевых и расточных инструментов. Для сокращения времени сверления следует использовать автоматические циклы, в которых используется быстрое автоматическое изменение режима резания в зависимости от конкретики перехода (корка на поверхности, участок сверления на выходе, стружкообразования). На МС рекомендуется разбивать сверлильный переход на две части. Сначала центровкой или коротким жестким сверлом производится своего рода разметка будущего отверстия (отверстий). Это позволяет избежать увода сверла в начале сверления. Засверливание целесообразно при сверлении отверстий диаметром до 10 мм. Известен положительный опыт применения на МС двухкромочных сверл с механическим креплением трехгранных твердосплавных пластин. Эти сверла позволяют реализовать внутренний подвод СОЖ в зону резания, что увеличивает эффективность обработки отверстий. Использование на МС при обработке отверстий комбинированного инструмента достаточно выгодно. Это, например, сверло - зенкер или сочетание в одном инструменте инструментальной и быстрорежущей стали с твердосплавными пластинами.

Для МС становится особенно актуальной технологическая задача – «выбор плана операций», так как здесь много черновых, получистовых и чистовых проходов; значительное число инструментов в магазине; сложность самой детали, которая предопределяет много вариантов при выборе плана операций. Целевой функцией в решении этой задачи однозначно является экономическая эффективность



(стоимость изделия). А вот к стандартным технологическим ограничениям (по стойкости, прочности, шероховатости и т.д.) для МС добавляются специфические ограничения. Например, чем выше точность элемента обрабатываемой детали, тем позже следует предусматривать его обработку; чем меньше время срабатывания исполнительного органа МС (смена инструмента, поворот планшайбы), тем чаще этот орган должен работать, что позволяет снять больший припуск заготовки вне МС.

#### *5.4. Подготовка УП для СЧПУ МС12*

УП создается на базе разработанной технологии обработки интересующей нас детали. Эта технология (применительно к станкам с ЧПУ) требует участия опытного квалифицированного технолога, умеющего выбрать станок, инструмент, рациональный режим резания и многое другое. В данной работе считаем, что технология обработки уже написана.

Функции с адресом G, называемые подготовительными, определяют режим и условия работы станка и УЧПУ. Обычно они кодируются от G00 до G99. За каждой из функций закреплено определенное значение (табл. 2). В конкретных УЧПУ значение тех или иных функций может отличаться от рекомендуемых стандартом ИСО-7 бит. Подготовительные функции разбиты на несколько групп (в нашем случае на 16 групп, а в ГОСТ 20999-83 только шесть групп). В некоторых группах имеются резервные команды, за счет которых каждая модель УЧПУ индивидуальна (т.е. имеет свой язык программирования).

Таблица 2

## Группы и типы G-функций

Код	Группа	Функция (значение)
00	01	Позиционирование (ускоренное перемещение)
01		Линейная интерполяция (рабочая подача)
02		Круговая интерполяция по часовой стрелке
03		Круговая интерполяция против часовой стрелки
04	00	Пауза
09		Торможение в конце текущего кадра до нулевой подачи
10		Линейно –круговая интерполяция
14	02	Сопряжение по дуге
15		Сопряжение по прямой
17	03	Задание плоскости 1 -2 ось (XY)
18		Задание плоскости 3 -1 ось (ZX)
19		Задание плоскости 2 -3 ось (YZ)
20		Задание произвольной плоскости
21	04	Разрешение коррекции рабочей подачи
22		Запрет коррекции рабочей подачи
23	05	Разрешение коррекции частоты вращения шпинделя
24		Запрет коррекции частоты вращения шпинделя
25	00	Начало фрагмента программы для повтора
27		Выход в «НОЛЬ» координат станка по путевым выключателям
28		Позиционирование в «НОЛЬ» координат станка
30		Позиционирование в фиксированную точку 1
31		Позиционирование в фиксированную точку 2
32		Завершение перемещений в кадре по внешнему сигналу
33		Нарезание резьбы резцом
34		Синхронизация подачи в кадре с 0-меткой датчика положения
35	06	Декартова система координат
36		Полярная система координат
37	00	Поворот системы координат
38		Запрет покадровой обработки УП на 1 кадр
39		Запрет останова программы по кнопке «Стоп» на 1 кадр
40	07	Отмена коррекции на радиус инструмента или пространственной коррекции
41		Коррекция на радиус инструмента слева
42		Коррекция на радиус инструмента справа
143		Пространственная коррекция на размер инструмента
144		Зеркальная пространственная коррекция на размер инструмента
43	08	Коррекция на длину инструмента в «+»

Продолжение табл. 2

<b>Код</b>	<b>Группа</b>	<b>Функция (значение)</b>
44		Коррекция на длину инструмента в «->»
49		Отмена коррекции на длину инструмента
45	09	Разрешение учета зависимых осей
46		Запрет учета зависимых осей
47	00	Перемещение неявно заданной координаты в «+»
48		Перемещение неявно заданной координаты в «->»
53	10	Возврат к системе координат станка
54		Выбор координатной системы заготовки 1
55		Выбор координатной системы заготовки 2
56		Выбор координатной системы заготовки 3
57		Выбор координатной системы заготовки 4
58		Выбор координатной системы заготовки 5
59		Выбор координатной системы заготовки 6
60	00	Одностороннее позиционирование
50	11	Геометрическое регулирование подачи в конце каждого кадра
61		Торможение в конце каждого кадра аналогично G9
62		Отмена действия G50,G61,G63
63		Торможение в конце каждого кадра до подачи, заданной параметром
64	00	Торможение в конце текущего кадра до подачи, заданной параметром
65	12	Разрешение пересчета подачи на круговом контуре
66		Запрет пересчета подачи на круговом контуре
67	00	Задание зеркальной обработки по указанным осям
68		Отмена зеркальной обработки по указанным осям
69		Задание масштаба по указанным осям
80	13	Отмена постоянного цикла
81		Цикл сверления
82		Цикл растачивания 1 (Рабочая подача)
83		Цикл глубокого сверления
84		Цикл нарезания резьбы
85		Цикл растачивания 2
86		Цикл прерывистого сверления
87		Цикл прерывистого сверления с выдержкой времени
88		Цикл растачивания с ориентированным остановом шпинделя
150		Однопроходный продольный токарный цикл
151		Однопроходный поперечный токарный цикл
152		Многопроходный продольный токарный цикл
153		Многопроходный поперечный токарный цикл
154		Цикл глубокого сверления по оси Z
155		Цикл снятия припуска по оси X
156		Цикл глубокого сверления с нисходящей обработкой по оси Z

Код	Группа	Функция (значение)
157		Цикл снятия припуска с нисходящей обработкой по оси X
158		Многопроходный цикл нарезания цилиндрических канавок
159		Многопроходный цикл нарезания торцевых канавок
160		Цикл сверления с дроблением стружки по оси Z
161		Цикл снятия припуска с дроблением стружки по оси X
162		Многопроходный цикл нарезания резьбы
163		Цикл нарезания резьбы плашкой или метчиком
164		Цикл продольной обработки до профиля
165		Цикл поперечной обработки до профиля
166		Цикл обработки фаски
167		Цикл обработки скругления
90	14	Задание в абсолютных величинах
91		Задание в приращениях
92	10	Задание координатной системы заготовки в программе
94	15	Задание подачи в мм/мин
95		Задание подачи в мм/об
96	16	Поддержание постоянства скорости резания
97		Задание частоты вращения шпинделя в об/мин

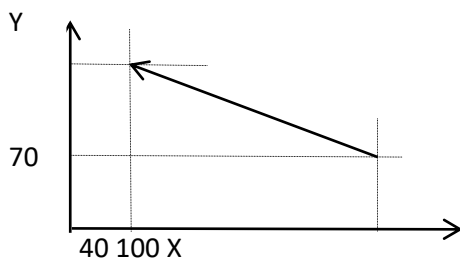


Рис. 8. Кодирование линейной интерполяции

Как упоминалось выше, существует два способа задания величины перемещения по каждой оси – это задание в абсолютных величинах и в приращениях. Для задания перемещения в абсолютных величинах используется функция G90.

При этом запрограммированная величина представляет собой координаты конечной точки в заданной системе координат. Для за-

дания перемещения в приращениях используется функция G91. При этом запрограммированная величина представляет собой приращение к текущему значению координаты оси. Если запрограммировать показанное на рис. 8 перемещение в абсолютных величинах, то получим: N105G90G01X30Y80PС; а в приращениях: N106G91G01X-60Y40PС интерполяции.

Задание в абсолютных размерах всегда относится к действующей системе координат. Напомним, что часть подготовительных функций была рассмотрена в [2]. Следует отметить особенность программирования для СЧПУ, связанную с назначением режима резания. В станках с ЧПУ перемещение может осуществляться одновременно по нескольким координатам, при этом результирующее движение (контурное) должно соответствовать нормативным параметрам главного движения и движения подачи. Использование функций G65 и G66 может помочь решить эту задачу.

Функции  $G$  могут быть двух типов: «одноразовые», работающие в одном кадре, и «модальные», работающие до тех пор, пока не будет запрограммирован другой код  $G$  из той же группы. Так функции G01 и G00 являются модальными, а  $G$  – функции группы 00 не являются (модальными). При включении УЧПУ устанавливаются функции G35, G40, G80.

**Задание плоскости** осуществляется программированием функций G17, G18, G19, G20. Это плоскости круговой интерполяции: 1-2 (XY), 3-1 (ZX), 2-3 (YZ) и XA (произвольная плоскость). Кроме того, это оси коррекции на длину и цикловые оси (перпендикулярные к соответствующим плоскостям). Например, при команде G17Z\_ происходит перемещение по оси Z. Кадр G20Y0U0 задает плоскость YU, при этом значения Y и U ни на что не влияют и не вызывают никаких перемещений.

Выше упоминалось, что **позиционирование** происходит на скорости ускоренного перемещения в заданную точку. Можно запро-

граммировать перемещение по всем осям: G00X\_Y\_Z\_V\_. **Одно-**  
**стороннее** позиционирование по функции G60 по характеру движения  
не отличается от G00 (параметр N3022). Программирование одно-  
стороннего позиционирования в общем случае: G60 X\_Y\_Z\_. Пара-  
метром здесь задано направление выхода в точку ,например, из «+»  
в «-». Функция G60 действует на один кадр.

**Круговая интерполяция** задается функцией G02 или G03. Под  
круговой интерполяцией по часовой стрелке (**G02**) понимается дви-  
жение по круговой траектории (рис. 9), порождаемое согласованным  
движением вдоль двух осей, направленное по часовой стрелке, *если*  
*плоскость перемещения рассматривать в отрицательном направ-*  
*лении оси, перпендикулярной к плоскости.* То есть, если смотреть на  
стрелку G02 на рис. 9, а с конца оси Z, направленной перпендику-  
лярно плоскости рисунка на смотрящего, то направление вращения  
стрелки должно совпадать со стрелкой часов. Программирование  
векторов I, J, K, определяющих положение центра дуги относитель-  
но начальной точки круговой траектории, осуществляется всегда в  
приращениях независимо от G90 или G91. В зависимости от направ-  
ления I, J, K необходимо выбрать для них соответствующий знак.

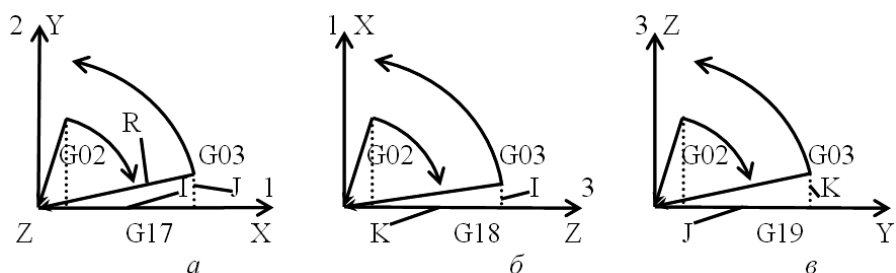


Рис. 9. Схема кодирования элементов круговой траектории в разных плоскостях

Примеры составления кадра УП для перемещения по дуге  
окружности ( рис. 9):

плоскость 1-2 G17G02(G03)X\_Y\_I\_J\_F\_;

плоскость 3 -1 G18G02(G03)Z\_X\_K\_I\_F\_;  
плоскость 2 -3 G19G02(G03)Y\_Z\_J\_K\_F\_.

**Позиционирование в ноль координат станка** задается функцией G28. При выполнении кадра **G28X0Y0Z0** происходит позиционирование в «ноль станка» (без учета коррекций на размер и смещений нулей). Все движения выполняются на скорости ускоренного перемещения.

**Позиционирование в фиксированную точку** осуществляется функциями G30 и G31. Координаты этих фиксированных точек заранее введены с помощью параметров N7001 – N7401, N7002 – N7402. Кадр такого позиционирования: **G30(G31)X0Y0Z0**.

**Линейно-круговая интерполяция** (винтовая обработка) задается функцией G10. Программируя круговую интерполяцию в какой-либо из плоскостей 1-2, 3-1, 2-3 и синхронную с ней линейную интерполяцию по оставшейся свободной линейной оси, можно получить линейно-круговую интерполяцию (рис. 10). Если линейно-круговая интерполяция задана тремя линейными координатами, то подача вдоль винтовой линии автоматически раскладывается на линейную и круговую составляющие, с тем, чтобы на один шаг винта по линейной оси выполнялась полная окружность в плоскости круговой интерполяции (рис. 10), где  $F_k$  – подача, запрограммированная в кадре;  $F_l$  – линейная составляющая подачи;  $F_{кр}$  – круговая составляющая подачи;  $K$  – шаг линейно-круговой интерполяции;  $R$  – величина радиуса круговой интерполяции.

Линейно-круговая интерполяция в общем случае программируется в декартовой системе координат:

G17G02(G03)G10X\_Y\_I\_J\_Z\_F\_K\_  
G18G02(G03)X\_Z\_I\_K\_Y\_F\_J\_  
G19G02(G03)G10Y\_Z\_J\_K\_X\_F\_I\_ .

Здесь функцией F программируется подача по винтовой линии. Если в качестве «ЛИНЕЙНОЙ» оси задана круговая ось, то шаг за-

дается в градусах. Знак шага должен совпадать с направлением перемещения по линейной оси. Коррекция по радиусу выполняется только относительно дуги окружности. Шаг всегда задается на один оборот винта. *Трехкоординатная винтовая интерполяция* - это более общий случай интерполяции. Движение по третьей координате пропорционально приращению центрального угла. Примером трехкоординатной винтовой интерполяции может служить режим планетарного резбового фрезерования. При программировании трехкоординатной интерполяции программируются координаты дуги окружности, шаг и величина перемещения по третьей координате.

В том случае, если начальная и конечная точки в плоскости круговой интерполяции не совпадают, для задания координат центра дуги окружности также возможно использование радиуса. Координаты центра дуги окружности задаются в соответствии со значением технологического параметра N3021.

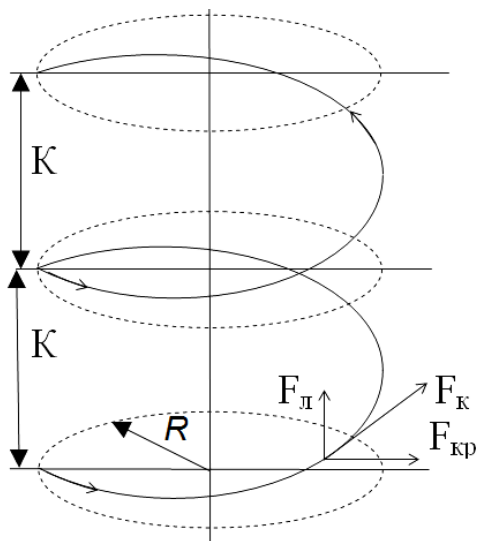


Рис. 10. Схема линейно-круговой интерполяции



*Пример:* Нужно задать перемещение по спирали с радиусом 50 мм на четверть оборота с подъёмом по трем осям на 40 мм.

G91G2G10 X-50Y50I-50Z40K160.

Так как здесь за четверть оборота ось Z переместится на четверть шага, то при Z40 шаг будет K160.

**Упрощенное задание перемещений** в кадре возможно с помощью функций G47 и G48, которые можно использовать, например, при токарной обработке фасок и галтелей. Ниже на рис. 11 приведены варианты использования этих функций.

<p>G1G91X10G47 G1G91Y10G47 Программирование обработки фаски в 1<sup>м</sup> квадранте. Перемещение в «+» (см. табл. 3)</p>	<p>a</p>
<p>G1G91X10G48 G1G91Y-10G47 Программирование обработки фаски в 4<sup>м</sup> квадранте. Перемещение в «-» и в «+».</p>	<p>b</p>
<p>G2G91X10G47 G2G91Y10G47 Программирование обработки галтели в 1<sup>м</sup> квадранте. Перемещение в «+».</p>	<p>в</p>
<p>G2G91X-10G48 G2G91Y-10G48 Программирование обработки галтели в 3<sup>м</sup> квадранте Перемещение в «-».</p>	<p>г</p>
<p>G2G91X-10G47 G2G91Y10G48 Программирование обработки галтели во 2<sup>м</sup> квадранте Перемещение в «+» и в «-».</p>	<p>д</p>

Рис. 11. Функции G47 и G48

Если на МС установлен датчик положения шпинделя, то тогда имеется возможность **нарезания резьбы резцом** (пока такого датчика нет) по функции G33, которая действует только на один кадр. Подача в этом кадре имеет размерность [мм/об]. Пример: нарезание резьбы по оси Z длиной 10 мм с шагом 1,6 мм N100G91G1Z-10G33F1.6.

Автоматический **выход в ноль** координат станка по путевым выключателям задается функцией G27. Он программируется (на станке с четырьмя осями – X, Y, Z, B): NG27X0Y0Z0B0. Процесс аналогичен выходу в ноль с пульта станка. **Позиционирование в ноль** координат станка задается функцией G28. Пример кадра: G28X0Y0Z0. Все движения выполняются на скорости ускоренного перемещения.

**Позиционирование в фиксированную точку** с ранее введенными с помощью параметров N7001 – N7401, N7002 – N7402 координатами производится функциями G30 и G31. Программируется это так: G30(G31)X0Y0Z0. Данная функция по своему действию эквивалентна G28, но позиционирование осуществляется не в ноль станка, а в точку, координаты которой определены массивом G30, G31. Этот массив всегда, независимо от G90 или G91, задаёт значения координат фиксированной точки (например, точка смены инструмента, точка смены заготовки) в системе координат станка.

**Пауза** программируется так: G04EX . Это означает, что выполнение следующего кадра задержится на X/10 секунд. Программирование величины паузы производится в десятых долях секунды. Максимальная величина паузы 6553,5 с = 109,225 мин. Пауза может быть запрограммирована как в отдельном кадре, так и вместе с любой другой информацией.

УЧПУ позволяет запрограммировать три варианта **торможения в конце кадра**: 1) до подачи, равной нулю; 2) до подачи, заданной

параметром; 3) до подачи, определяемой величиной изменения направления в соседних кадрах.

Торможение по первому варианту используется для точного останова в конце кадра. Кадр считается законченным только тогда, когда разница между конечными и текущими координатами будет меньше или равна заданным станочными параметрами. Этот вид торможения задается функциями G9 и G61, при этом G9 действует только на текущий кадр, а функция G61 действует до замены на функции G62, G63, G50.

Вообще торможение в конце кадра выполняется автоматически, без программирования G09, в следующих случаях: а) все виды позиционирования; б) перед кадром с заданным позиционированием; в) перед кадром без перемещений; г) перед выполнением постоянного цикла; д) при сопряжении участков эквидистанты в точке S (точка останова в режиме покадровой отработки); е) при ускоренной отработке; ж) при работе в покадровом режиме.

Торможение до подачи, заданной параметрами, реализуется функциями G63, G64. При этом функция G64 действует только в течение кадра, а функция G63 действует до замены функциями G50, G61, G62. На границах кадров происходит снижение подачи до величины, заданной параметром N3000, и переход на следующий кадр без проверки вхождения координат в зону контроля [2].

Геометрическое регулирование подачи задается функцией G50, которая действует до замены ее функциями G61, G62, G63. Значение подачи на границах кадров определяется величиной параметра точности прохождения стыка этих кадров N3034.

Запрет останова программы по кнопке «Стоп» на 1 кадр реализуется функцией G39. Функция действует в течение кадра и защищает процесс обработки от неправильных действий оператора (например, при нарезании резьбы)!

### 5.5. Системы координат

Для программирования в абсолютных величинах необходимо определить систему координат (рис. 7). Система координат станка задается путем установки параметров смещения нулей [17]. В эти параметры вводится расстояние от нуля координат по датчикам положения до требуемых точек, принятых за начало отсчета. При совпадении нуля координат станка с нулем координат по датчикам положения необходимо параметры обнулить. Система координат, которая определена для текущего программирования, считается действующей системой координат станка ( $M$ ).

С помощью программирования G54 – G59 можно выбрать одну из шести **систем координат детали** (заготовки). При этом устанавливается расстояние по каждой координатной оси от нуля координат станка до начала отсчета новой системы координат детали. При программировании кадра G90G55G00X100Y50Z20 произойдет позиционирование в положение  $X = 100, Y = 50, Z = 20$  в системе координат, заданной G55. При включении питания УЧПУ автоматически устанавливается система координат детали, определяемая параметром N3008. Система координат детали может быть также установлена непосредственно в УП с помощью функции G92. Задание новой координатной системы («плавающей» системы координат) выглядит так: G92X\_Y\_Z\_.

В зависимости от установки соответствующего технологического параметра N3031 значения, задаваемые с адресами X, Y, Z, имеют следующий смысл: 1) значения координат инструмента в новой координатной системе; 2) величины смещения координат относительно нуля станка (аналогично функциям G54 – G59, только здесь «плавающая» система координат); 3) величины смещения действующей системы координат. При этом с каждым новым заданием функции G92 происходит суммирование этих смещений.

Таким образом, может быть задано неограниченное количество систем координат детали («плавающих»). Программирование в кадре G53 отменяет действие системы координат заготовки, выбранной по G54 – G59 и G92. Поэтому перемещение, заданное в кадре с G53, и последующие перемещения будут производиться относительно системы координат станка.

### 5.6 Функции коррекции

Для автоматического учета размера инструмента при обработке детали предназначены **функции коррекции**.

Функции  $D$ ,  $H$  и  $DR$  служат для задания вида коррекции и величины смещения в соответствии с заданным номером корректора.

Функция  $D$  предназначена для задания величины смещения для коррекции по радиусу и используется функциями G40, G41, G42, G143, G144.

Функция  $H$  задает величину смещения для коррекции по длине и действует по функциям G43, G44, G49.

Функция  $DR$  предназначена для задания номера корректора величины скругления инструмента и используется функциями G143, G144.

Программируется задание смещения, например, по радиусу так: G41D34.

Здесь запрограммирована величина смещения по радиусу, определяемая 34-м корректором.

**Величина смещения** инструмента может находиться в пределах  $\pm 1000$  мм или град. и задается номером корректора. В УЧПУ FMS-3000 предусмотрено 255 корректоров с номерами 1-255, что позволяет иметь 255 различных величин смещений. Величины смещения по запрограммированным номерам корректоров следует вводить [17] до начала отработки VII. Один и тот же номер корректора может одновременно использоваться по  $D$ ,  $H$  и  $DR$ . При этом номер корректора никак не связан с номером инструмента.

Смещение инструмента по длине: G43H\_, G44H\_. Функция *H* задает номер корректора, а направление смещения в « + » функция G43 (в « - » функция G44). Вне зависимости от режима задания величин перемещений G90 или G91, величина смещения автоматически добавляется к координатным значениям конечной точки с плюсом по G43 и с минусом по G44. Эти операции производятся без учета знака величины смещения, находящейся в корректоре. Функции G43 и G44 действуют до тех пор, пока не будет запрограммирована другая *G*-функция этой же группы (т.е. являются модалными).

Для отмены смещения по длине нужно запрограммировать G49 или выбрать H00. Для смещения инструмента по длине нельзя использовать функции *D* и *DR*. Начальная установка функции из группы G43 – G49 определяется параметром N3006. Коррекция длины инструмента в данном УЧПУ возможна по любой из осей, причем величина смещения будет вводиться в зависимости от функции G17, G18, G19 по осям 3, 2, 1 соответственно. Ввод и вывод коррекции на длину инструмента производится в кадрах, где задано перемещение по корректируемой оси.

**Коррекция инструмента на радиус** осуществляется функциями G40, G41, G42. С их участием программируется коррекция траектории движения инструмента на величину его радиуса. Эти функции используются вместе с G00, G01, G02, G03 и они совместно определяют некоторый режим движения инструмента. При введенной коррекции на радиус инструмента возможно программирование до 10 кадров, не содержащих перемещений в плоскости коррекции, или кадров без перемещений. Величина смещения задается номером корректора по функции *D*. Функции G40 – отмена коррекции на радиус инструмента; G41 – ввод смещения слева от направления перемещения инструмента; G42 – то же, только справа. Пример выработки режима коррекции на радиус фрезы есть в [2].

При работе УЧПУ с введенной коррекцией на радиус инструмента происходит смещение траектории центра фрезы. При этом не допускается переключение G17, G18, G19 без предварительной отмены G41, G42 функцией G40. При перемещении с внешней стороны угла для его обхода автоматически вставляется один или несколько кадров. Дополнительные кадры могут представлять собой дугу или отрезки прямых. Вид этих кадров задается с помощью функций G14 – сопряжение по дуге, G15 – сопряжение отрезками прямых [2].

Программированием G40 или D00 отменяется коррекция на радиус инструмента. Эта процедура зависит от параметра N3035 (есть три варианта). Не допускается программирование G40 или D00 в одном кадре с G02 и G03.

Номер корректора, в котором хранится радиус фрезы, задается адресом  $D$ , а величина скругления инструмента – адресом  $DR$ . В зависимости от формы фрезы величина её скругления может меняться от нуля (цилиндрическая фреза) до значений больше либо равных радиусу фрезы. Ориентация инструмента относительно осей координат определяется действующей плоскостью. При задании функции G17 ось вращения фрезы располагается вдоль оси 3, при G18 – вдоль оси 2, при G19 –вдоль оси 1 ( $X$ ).

**Пространственная коррекция на радиус инструмента** начинает работать, когда в *УП* заданы: разрешение действия данной коррекции – G143 или G144; хотя бы один ненулевой номер корректора  $D$ ,  $DR$ . Реальное действие данной коррекции выполняется только в тех кадрах, где заданы проекции вектора нормали.

С помощью использования таблицы инструментов и установки соответствующих параметров величина коррекции на размер инструмента может задаваться не через номера корректоров  $D$ ,  $H$  и  $DR$ , а через задание номера фрезы по функции  $T$ . При этом для каждого инструмента в таблице задаются его длина, радиус и скругление (см.

Руководство оператора). Поэтому для ввода коррекций на длину и радиус в этом случае нужно использовать только функции G40 – G42, G143 – G144 и G43, G44, G49. Для использования таблицы инструментов электроавтоматика станка должна обрабатывать функцию *T* независимо от того, есть на станке автоматическая смена инструмента или нет.

### 5.7. Цикловая обработка

Для реализации функций цикловой сверлильно-расточной обработки предназначены **постоянные циклы**, программируемые функциями G81 – G88. Ось, вдоль которой выполняется постоянный цикл, называется цикловой осью. Задание цикловой оси происходит автоматически при программировании функций выбора плоскости. Параметры цикла задаются одинаково для любой цикловой оси и всегда должны программироваться после *G*-функции цикла. Параметры циклов показаны в табл. 3.

Программирование цикла выглядит следующим образом:

G\_U\_Z\_W\_V\_I\_F\_E\_M\_H\_X\_Y\_.

Программирование цикла в общем случае *G\_U\_Z\_I\_F\_E\_*, где *G* – код *G*-функции, а остальное – это величины параметров. Параметры всегда должны программироваться после *G*-функции цикла. Величины параметров должны задаваться в соответствии с форматом ввода.

Допускается программирование не самих величин, а формальных параметров, в которых эти величины содержатся [17].

Если в кадре с циклом нужно запрограммировать какие-либо задания, то их нужно записать до *G*-функции цикла. При выполнении такого кадра цикл выполняется последним. Подпрограммы стандартных циклов написаны на языке макропрограммирования.



## Параметры циклов

Параметр	Характеристика		Содержание	
			G90	G91
Обязательные	<i>U</i>	Для всех циклов	Позиция точки 1	Перемещение в точку 1
	<i>Z</i>		Позиция точки 1	Перемещение в точку 1
Необязательные	<i>I</i>		Позиция точки 1	Перемещение в точку 1
			Если не задан, то точка совпадает с точкой 3	
Обязательные	<i>V</i>	Для G83 G86	Шаг сверления	
		<i>W</i>	Для G83	Запас для очередного начала сверления
	Для G86		Величина отскока на скорости ускоренного перемещения	
Необязательные	<i>X</i>	Для G88	Смещение по оси 1 после ориентации	
	<i>Y</i>	Для G88	Смещение по оси 2 после ориентации	
Необязательные	<i>W</i>	Для G87	Выдержка времени в точках 5	
	<i>F</i>	Для всех циклов	Подача для перемещения на участке 1-2	
		Для G82 Для G84	Подача для перемещения на участке 2-3	
	<i>H</i>	Для G82	Подача для перемещения на участке 2-3	
	<i>E</i>	Для всех циклов	Выдержка времени в точке 2	
		Для G84	Выдержка времени в точке 3	
<i>M</i>	Для G85 G84	Признак смены состояния шпинделя в точке 4		

## 5.8 Циклы растачивания

УЧПУ FMS-3000 предусмотрены три цикла растачивания:

G82 – цикл растачивания с программированием подачи выхода;

G85 – цикл растачивания с остановом шпинделя в точке 2 и выходом на быстром ходу (рис. 12, а);

G88 – цикл растачивания с ориентированным остановом шпинделя в точке 2, смещением к центру и выходом на быстром ходу (рис. 12, в). Циклы G82, G85, G88 имеют такую же диаграмму перемещений, что и цикл G81 [3].

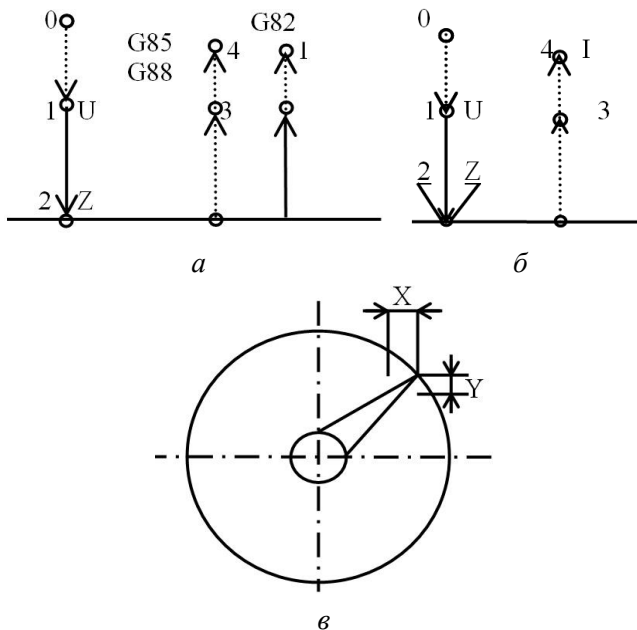


Рис. 12. Циклы растачивания:

*a* - диаграмма перемещений (G82, G85, G88); *б* - диаграмма перемещений (G81);  
*в* - смещение к центру вершины расточного резца

Параметры цикла, задаваемые адресами *U*, *Z*, *I*, *F*, *E*, и геометрические характеристики имеют тот же смысл для циклов G82, G85, G88, что и для G81. Кроме того, для циклов G82, G85, G88 существуют дополнительные необязательные параметры (табл. 4).

Цикл G82 в общем случае программируется так:

G82U\_Z\_I\_F\_E\_H\_

Циклы G85, G88 задаются таким образом:

G85U\_Z\_I\_F\_E\_M\_

G88U\_Z\_I\_F\_E\_M\_X\_Y\_

Цикл G88 будет корректно обрабатываться только в том случае, если на станке есть возможность останова шпинделя в ориентированном положении.

Таблица 4

Дополнительные параметры циклов G82, G85, G88

Цикл	Параметры	Содержание	
		Параметр задан	Параметр не задан
G82	<i>H</i>	Подача для перемещения на участке 2 -3 из параметра H	Подача на участке из параметра F или предыдущего кадра
G88	<i>X, Y</i>	После ориентированного останова шпинделя в точке 2 происходит смещение осей 1 и 2 на величину и в направлении, заданном параметрами X Y	После ориентированного останова шпинделя в точке 2 смещение осей не происходит
G88	<i>X, Y</i>	В точках 3 или 4 происходит смещение в противоположную сторону	После ориентированного останова шпинделя в точке 2 смещение осей не происходит
G85, G88	<i>M</i>	Если задан, то в точке 4 шпиндель не включается, можно запрограммировать любое значение M	Если не задан, то в точке 4 восстанавливается состояние шпинделя, которое было в точке 0

### 5.9. Цикл нарезания резьбы

Цикл нарезания резьбы задаётся функцией G84 и имеет диаграмму перемещений, показанную на рис. 13.

Параметры *U, Z, I* имеют тот же смысл, что и у циклов G81, G82, G85. Кроме того, для цикла G84 существуют необязательные параметры, показанные в табл. 5.

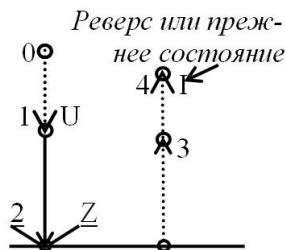


Рис. 13. Диаграмма перемещений (G84)

В общем случае цикл G84 программируется так:  
G84U\_Z\_I\_F\_E\_M\_

Таблица 5

Дополнительные параметры цикла G84

Параметр	Содержание	
	Параметр задан	Параметр не задан
<b>F</b>	Подача для участков 1 – 2 и 2 - 3	Действует подача для участков 1 – 2 и 2 – 3 из предыдущих кадров
<b>E</b>	Выдержка времени в точках 2 и 3	Выдержка времени равна нулю
<b>M</b>	Если задан, то в точке 4 реверс не происходит, а сохраняется состояние шпинделя после реверса в точке 2. Можно задать любое значение M	Если параметр не задан, то в точке 4 происходит реверс для восстановления направления вращения, которое было до цикла

### 5.10. Цикл нарезания резьбы плашкой или метчиком

Цикл нарезания резьбы плашкой или метчиком программируется функцией G163 и имеет диаграмму перемещений, показанную на рис. 14, где И.Т. – исходная точка цикла.

Параметры цикла задаются адресами, показанными в табл. 6. В общем случае цикл G163 программируется так:  
G163Z\_F\_X\_M5I1.

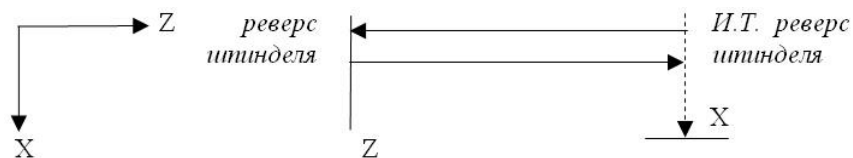


Рис. 14. Диаграмма перемещений для функции G163

Таблица 6

### Параметры цикла G163

Параметр		Смысл	
		G90	G91
Обязательные	Z	Позиция конечной точки резьбы	Расстояние со знаком от И.Т. до конечной точки резьбы
Необязательные	F	Шаг резьбы (мм/об)	
	X	Позиция конечной точки по оси X после окончания цикла	Смещение по оси X от И.Т. после окончания цикла
	M5	Указание на реверс шпинделя с промежуточным торможением через M5	

В процессе нарезания резьбы не действует кнопка «Стоп программы», и в позиции конечной точки резьбы не происходит останов в покадровом режиме отработки программы.

## 6. АДРЕСА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В УЧПУ

### 6.1. Функция шпинделя

При обработке числовых значений, запрограммированных под адресами *M*, *S*, *T*, запускаются соответствующие процессы в фоновом контроллере, управляющем электроавтоматикой станка.

В зависимости от действующих функций G96 (поддержание постоянства скорости резания) или G97 (частота вращения шпинделя в об/мин) значение под адресом *S* имеет различный смысл. При функ-

ции G97 (об/мин) значение  $S$  передается в электроавтоматику без изменений (но с коррекцией на максимальную частоту вращения шпинделя ( $n_{\max}$ ), которая определяется по паспортным данным станка). При действии функции G96 (м/мин) задаваемое адресом  $S$  значение является скоростью резания. При этом частота вращения шпинделя регулируется так, чтобы поддержать постоянство скорости резания, заданной с помощью адреса  $S$  (функция  $S$  имеет три размерности, см. табл. 1, и базовый станочный параметр N1030). С помощью функций G23 и G24 возможно соответственно разрешение или запрет оперативной коррекции частоты вращения шпинделя из УП. С помощью технологического параметра N3005 устанавливается  $G$ -функция из этой группы, действующая по умолчанию по включению станка и пуску УП.

Сказанное выше относится к возможностям УЧПУ FMS-3000.

### **6.2. Функция инструмента**

Для выбора нужного инструмента используется адрес  $T$  и последующее числовое значение, являющееся номером инструмента. Программирование инструмента N39 выглядит так: T39. Номер инструмента для УЧПУ находится в пределах 0 – 9999, но конкретное максимальное значение номера инструмента определяется либо ёмкостью магазина, либо количеством инструментов, необходимых для изготовления детали.

### **6.3. Вспомогательная функция ( $M$ )**

При отработке запрограммированных адресов  $M$  с последующим двузначным числом происходит запуск электроавтоматики станка. Действие конкретной функции  $M$  определяется характеристиками станка и реализуется в соответствии с его алгоритмом работы. Ниже рассматриваются функции  $M$ , имеющие специальное назначение и действующие в станке MC12 с УЧПУ FMS-3000.

**M00: Останов программы.** При обработке кадра с M00 происходит безусловный останов автоматической работы, причём вся информация при этом сохраняется. При пуске обработки программа будет продолжена с того места, где она была прервана функцией M00.

**M01: Технологический останов.** Действие M01 полностью повторяет действие M00, но обработка запрограммированной функции M01 возможна только в подрежиме работы УЧПУ с технологическим остановом или по сигналу от станка.

**M02: Конец программы.** Данная функция означает конец программы и приводит к останову автоматической работы УЧПУ. Состояние системы при этом остается таким, каким оно было в последнем кадре обработанной программы. Для повторного пуска программы необходимо выполнить поиск начала программы.

**M03: Пуск шпинделя по часовой стрелке, если смотреть на инструмент со стороны шпинделя.**

**M04: Пуск шпинделя против часовой стрелки, если смотреть на инструмент со стороны шпинделя.**

**M05: Останов шпинделя.** При обработке кадра с M05 происходит выключение и останов привода шпинделя.

**M25: Конец фрагмента программы для повторения с помощью функции G25.**

**M30: Конец программы.** Действие функции M30 аналогично действию функции M02, за исключением того, что для повторного пуска программы не надо выполнять поиск начала программы.

**M98: Конец программы.** Действие функции M98 аналогично действию функции M02, за исключением того, что при выполнении функции не происходит выдача сообщения оператору «M02». Это бывает необходимо, например, в подпрограммах, где при обнаружении ошибки задания параметров нужно остановить программу без

возможности ее продолжения с выдачей соответствующего сообщения оператору.

**M99: Конец подпрограммы.** Данная функция означает конец подпрограммы и передачу управления программе. При отработке M99 сигналы на станок не выдаются. При самостоятельной отработке подпрограммы как программы, M99 эквивалентна M02, но без выдачи соответствующих сигналов на станок.

Не допускается программирование более 20 M-функций в одном кадре. Не допускается совместное программирование функций из группы M00, M01, M02, M30, M99, M98 в одном кадре. Все функции M (за исключением M25 и M99) обрабатываются вне УЧПУ (на станке), поэтому следует в каждом конкретном случае изучить их действие по описанию станка.

## 7. ТЕСТОВАЯ УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА

Режущий инструмент при наладке станка с ЧПУ устанавливаются в шпинделе (суппорте, револьверной головке, инструментальном магазине) с помощью вспомогательного инструмента в соответствии с табл. 3. Эта карта разрабатывается технологом в процессе составления УП. Она предназначена оператору станка и специальному наладчику. В карте наладки инструмента должны быть указаны данные предварительной наладки инструментов на размер вне станка. (Прибор для определения положения вершины инструмента вне станка имеет крепежную подставку, имитирующую присоединительные поверхности шпинделя.) Таким образом, в карте наладки приводятся координаты X и Z (в нашем случае только Z), зависящие от конкретного вылета инструмента.

Перед началом перемещения по УП УЧПУ необходимо задать расположение расчетной точки каждого инструмента относительно «нуля программы», т. е. той точки, с которой начинается программируемое перемещение инструмента. Орган станка с ЧПУ, в кото-



ром закрепляется инструмент перед началом его работы (в нашем случае это шпиндель), должен иметь «базовую точку шпинделя» (у нас это торец шпинделя, точка  $F$ ). Координаты базовой точки относительно «нуля станка» должны быть известны (у нас  $ZMF = 270 + 330 = 600$  мм, рис. 7). Обычно расчетная точка  $P_i$  первого инструмента (Т0101, рис. 7) назначается нулем программы («0»), т. е. в этом случае «0» точно совпадает с расчетной точкой первого инструмента ( $P_i$ ). Расстояние от базовой точки шпинделя до расчетной точки инструмента задается в карте наладки инструмента (у нас для первого инструмента это 123 мм). Считая, что в точке « $F$ » находится начало инструментальной системы координат, можно обозначить расстояние  $FP_i$  как « $zFP_i$ ».

При смене первого инструмента на второй (т.е. фрезы на сверло, см. табл. 3) расчетная точка  $P_i$  второго инструмента не совпадет с нулем программы (у нас  $P_i$  сверла сместилось ближе к шпинделю, см. табл. 3). Смещение расчетной точки инструмента относительно «0» обычно обозначается через  $W_x$  и  $W_y$ . В картах наладки инструмента задается либо вылет инструмента (как в табл. 3), либо смещения  $W_x$  и  $W_y$  с соответствующими знаками (у нас  $W_z = + (123 - 88,4) = +34,6$ ). Значения  $W_x^i$  и  $W_y^i$ , где  $i$  –устанавливаются на панели корректоров УЧПУ, где за каждым инструментом закреплен свой корректор (у нас это рис. 2 и 3). При отработке кадров  $VI$  расчетная точка каждого инструмента автоматически смещается на  $W_x^i$  и  $W_y^i$  (у нас только на  $W_z^i$ ). Это приводит к совмещению расчетной точки инструмента ( $P_i$ ) с нулем программы, т. е. начало инструментальной системы координат (точка  $F$ ) смещается на величину  $W_x^i$ ,  $W_y^i$  или  $W_z^i$ .

При программировании следует записывать смену инструмента (команда МО6) отдельным кадром.

Выбор частоты вращения шпинделя кодируется адресом “А” в соответствии с табл. 7.

Таблица 7

## Кодирование частоты вращения шпинделя

n, об/мин	45	63	90	125	180	250	350	500	710	1000	1400	2000
"А"		250	410	680	740	910	1080	1240	1410	1670	1740	1910

Выбор частоты вращения шпинделя и процедуру включения вращения шпинделя следует размещать в разных кадрах. Это относится и к координатным перемещениям. Частота вращения шпинделя и угол поворота встроенного стола не отрабатываются, если в предыдущих кадрах УП не произведена отмена команд коррекции на радиус инструмента (G43, G44).

Размещение заготовки на станке показано на рис.7. Там же показан нуль станка (*M*) и нуль детали (*W*). Операционная карта обработки заготовки приведена в табл.3. Вылеты используемого инструмента приведены в карте наладки (табл. 3). Координаты нуля детали и вылеты инструмента набираются на пульте УЧПУ (см. рис. 3).

**7.1. Текст управляющей программы**

Текст УП и пояснения к ней приведены ниже.

- N5G53G00Z530.0 - выход на уск. ходу в т. смены инструм.
- N901T01M06 - поиск и смена инструмента №1 (глав. кадр)
- N10G90G17 - абс. сист. отсчета, плоскость интерп. XY
- N15G00G55B100 - ввод смещ. «0», поворот «B» (1-я грань)
- N20S1400M03 - выбор 1400 оборотов и вкл. шпинделя
- N25GOOX-50.0 - выход на уск. х. в т. «X» за 50 мм от дет.
- N30G01YOF150 - выход на скорости 150 мм / мин в т. «Y0»
- N35GOOG43ZO - уск. х., полож. коррект. на длин. №1, «Z0»
- N40G01X50.0F100 - фрезер. 1-й грани на скор. 100 мм/мин
- N45GOOZ50.0 - отход на уск. х. по «Z» на 50 мм
- N50B440 - поворот «B» на 60 град. для обр.2-й гр.

M55X-50.0  
N60ZO  
N65G01X50.0F100  
N70GOOZ50.0  
N75B770  
N80X-50.0  
N85ZO  
N90G01X50.0F100  
N95GOO Z50.0  
N100G53G00G49Z530.0M05  
N105T02M06  
N115G00G55B100  
N120S1400M03  
N125G00G43X0Y0Z50.0  
N130G81U1.0Z-5.0I50.0F100  
N135G00B440  
N140B770  
N145G80M05  
N150G53G00G49Z530.0  
N903T03M06  
N155G90G17  
N160G00G55B100  
N165S1400M03  
N170G433X0Y0Z50.0  
N180G00B440  
N185G00B770  
N190G80M05  
N195G53G00G49Z530.0  
N904T04M06  
N200G90G17  
N205G00G55B100

N210S1400M03  
N215G43X0Y0Z50.0  
N220G81Z-2.0U1.0I50.0F100  
N225G00B440  
N230B770  
N235G80M05  
N240G53G00G49Z530.0  
N905T05MO6  
N250G90G17  
N255G00G55B100  
N260S1400M03  
N265G00G43X0Y0Z50.0  
N270G81Z-40.0U5.0I50.0F100  
N275G00B440  
N280B770  
N285G80 M05  
N290G53G00G49Z530.0  
N906T06MO6  
N295G90G17  
N300G00G55B100  
N305S180M03  
N310G43X0Y0Z50.0  
N315G23G84U1.0Z-30.0I50.0F270  
N320G00B440  
N3250B770  
N330G80M05  
N335G53 G00G49Z530.0  
N340M30

## 7.2. Пояснения к программе

% – начало программы;

N5 – выезд (перемещение) в позицию смены инструмента (ПСИ) (команды G53 и M22 действуют только в пределах одного кадра), поиск инструмента T01(фреза), разжим инструмента, закрепленного в шпинделе;

N901 – смена инструмента (фреза устанавливается в шпинделе);

N15 – поворот стола (на  $15^\circ$ ); смещение «0» в точку W (нуль детали, рис. 15);

N20 – выбор скорости вращения шпинделя (1400 об/мин);

N25 – перемещение на быстром ходу (б/х) по координате X на 50мм в направлении X (дискретность задания геометрической информации по линейным координатам 0,001 мм); включение шпинделя;

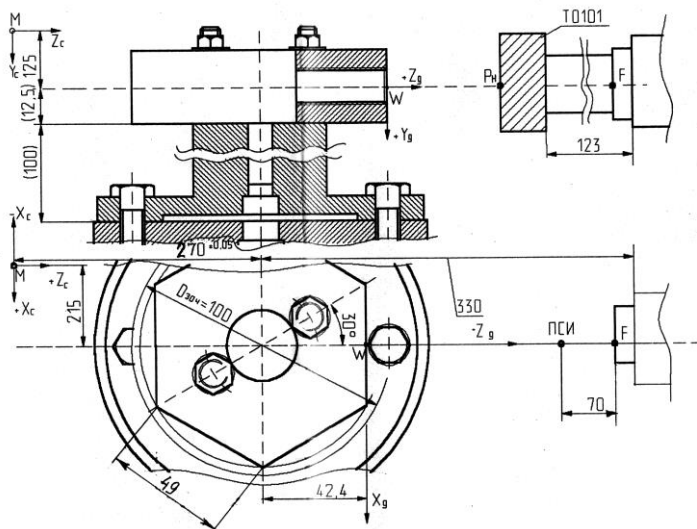


Рис 15. Эскиз установки детали на станке

N30 – перемещение по координате Y на уровень оси отверстия с подачей 150 мм/мин;

N35 – перемещение на быстром ходу по оси  $Z$  в точку с координатой  $ZW (Z_c) = 0$ ;

N40 – обработка поверхности по координате  $X$  на подаче 100 мм/мин;

N45 – отъезд от заготовки по  $Z$  на б/х на 50 мм;

N50 – поворот стола с заготовкой на  $60^0 (75^0 - 15^0)$ ;

N55 – перемещение по оси  $X$  на б/х в точку с  $XW (X_c) = -50$  мм;

N60 – перемещение по оси  $Z$  на б/х в точку с  $ZW (Z_c) = 0$ ;

N65 – фрезерование грани №2 шестигранника (перемещение по  $X$  в точку  $XW = +50$  мм) на подаче 100 мм/мин (задана в кадре N40);

N70 – перемещение от заготовки по оси  $Z$  на б/х, поиск инструмента T02 (сверло);

N75 – поворот стола на  $60^0 (135^0 - 75^0 = 60^0)$ ;

N80 – перемещение по оси  $X$  на б/х в точку с  $XW = -50$ мм;

N85 – перемещение расчетной точки фрезы по оси  $Z$  на б/х в точку с координатой  $ZW = 0$ ;

N90 – обработка 3-й грани за счет перемещения фрезы вдоль оси  $X$  на подаче 100 мм/мин в точку с  $XW = +50$ мм;

N95 – отход от заготовки по оси  $Z$  на б/х в точку с  $ZW = +50$  мм;

N100 – переход в станочную сист. координат., быстрое перемещ. шпинделя с инструментом в позицию смены инструмента (ПСИ), останов шпинделя;

N902 – смена инструмента T01 на T02 (в шпинделе фреза заменяется на сверло);

N110 – задание в абсолютных величинах, плоскость  $XY$ ;

N115 – поворот стола с заготовкой в позицию для зацентровки 1-й грани;

N120 – частота вращения шпинделя 1400 об / мин;

N125 – подготовка цикла сверления;

N130 G81 – цикл сверления: подъезд на б/х к заготовке на 1 мм, сверление на глубину 5 мм ( $Z-5.0$ ) с подачей 100 мм/мин (F100),

отвод сверла от заготовки на 50 мм (I50.0) на б/х, все перемещения по оси Z; вращение шпинделя по часовой стрелке;

N135 – поворот стола (75°), повтор кадра N32;

N140 – поворот стола (135°), повтор кадра N32;

N145 G80 – отмена цикла сверления G81, поиск инструмента T03;

N150 – перемещение в позицию смены инструмента (ПСИ, рис. 15), останов шпинделя;

N903 – смена инструмента на T03 (в шпиндель устанавливается сверло  $\varnothing 9,5$  мм);

N160 – поворот стола с заготовкой в позицию для обработки 1-й грани;

N165 – см. №120;

N170 – подготовка цикла сверления;

N175 G83 – цикл глубокого сверления по координате Z. U1.0 - перемещение к заготовке на б/х с остановкой перед поверхностью грани (исходная точка цикла), зазор между поверхностью грани и расчетной точкой сверла 1 мм; Z-39.0 -сверление на глубину 39 мм; F100 -подача 100 мм/мин; V10.0 - за 4 единичных перемещения по 10 мм, с отскоком (W0.5) после каждого прохода вверх; отход от заготовки на б/х после выполнения цикла на 15 мм; X-0, Y-0 - координаты точки, находящейся в центре обработанной грани; M03-вращение шпинделя по часовой стрелке;

N180 – поворот стола на 60° для обработки 2-й грани, поиск инструмента T04, повтор кадра N175;

N185 – поворот стола с заготовкой в позицию для сверления сквозного отверстия в центре 3-й грани; повтор кадра N175;

N190 G80 – отмена цикла глубокого сверления G83; M05 -останов шпинделя;

N195 – быстрое перемещение в позицию смены инструмента (ПСИ);

N904 – смена инструмента T03 на T04 (сверла на зенковку в шпинделе);

N205 – поворот стола в позицию для обработки 1-й грани; смещение «0» в т.  $W$ ;

N210 – см. №120;

N215 – перемещение инструмента на ускоренной подаче;

N220 G81 – цикл зенкования по координате  $Z$ . Быстрое перемещение к заготовке, с расположением расчетной точки зенковки (U1.0) на расстоянии 1 мм от поверхности грани;  $Z-2.0$  - зенкование на глубину 2 мм на подаче 100 мм/мин (установлена в кадре N175), быстрый отход от заготовки после выполнения цикла;  $X=0, Y=0$  - координаты точки в центре грани, через которую проходит ось отверстия; M03 - вращение шпинделя по часовой стрелке;

N225 – поворот стола на  $60^\circ$ ; поиск инструмента T05; повтор кадра N220;

N230 – поворот стола на  $60^\circ$ ; повтор кадра N220;

N235 G80 – отмена цикла сверления G81; M05 -стоп шпинделя;

N240 –быстрое перемещение в позицию смены инструмента (ПСИ);

N905 – смена инструмента T04 на T05 (зенковки на зенкер в шпинделе);

N255 – поворот стола в позицию для обработки 1-й грани, смещение «0» системы координат в точку  $W(0_0)$ ; поиск инструмента T06;

N260 – см. кадр N120;

N265 – подготовка цикла сверления;

N270 G81 – цикл зенкерования по координате  $Z$ . Быстрое перемещение к заготовке, с расположением расчетной точки зенкера (U5.0) на расстоянии 5 мм от поверхности грани;  $Z-40.0$  -зенкерование на глубину 40 мм при подаче 100 мм/мин; далее см. кадр N220;

N275 – поворот стола на  $60^\circ$ ; повтор кадра N270;

N280 – поворот стола на  $60^\circ$ ; повтор кадра N270;

N285 G80 – отмена цикла зенкерования G81; M05 - стоп шпинделя;

N290 –быстрое перемещение в позицию смены инструмента (ПСИ);



N906 – смена инструмента T05 на T06 (разжимается и вынимается зенкер, а затем вставляется и зажимается в шпинделе метчик);  
N295 – см. кадр N110;  
N300 – поворот стола в позицию для обработки 1-й грани; сист. коорд. детали;  
N305 – изменяется установленная в кадре N20 скорость вращения шпинделя с 1400 об/мин на 180 об/мин;  
N310 – подготовка цикла нарезания резьбы; перемещение в нуль программы;  
N315 G84 – цикл нарезания резьбы метчиком по координате Z. Быстрое перемещение к заготовке с установкой расчетной точки метчика ( $P_i$ ) на расстоянии 1 мм от поверхности грани (U1.0); Z-30.0 – нарезание резьбы на глубину 30 мм (шаг резьбы 1,5 мм определен конструкцией метчика); 270 – величина подачи 1,5 мм/об (рекомендуется устанавливать величину подачи чуть больше шага резьбы); отход от заготовки на б/х после выполнения цикла; M03 – вращение шпинделя по часовой стрелке (при этом болт, закрепленный в шпинделе, должен вворачиваться в деталь);  
N320 – поворот стола на 60°; повтор кадра N315;  
N325 – поворот стола на 60° для обработки третьей грани; повтор кадра N315;  
N330 G80 – отмена цикла нарезания резьбы метчиком G84; быстрое перемещение в позицию смены инструмента (ПСИ), останов шпинделя;  
N335 – возврат в M, отмена коррекции на длину инструмента, перемещение в «ПСИ»;  
N340 – конец программы.

## Тестовая программа №1

N10G90G17  
N15G00G55  
N20M03  
N25G00X0Y50  
N30Z-10  
N35G01G42D111X6.403Y16.085F80  
N40G03X5.74Y15.749I4.18J-9.085  
N45G01X-5.327Y9.624  
N50G03X9.643Y-5.292I5.327J-9.624  
N55G02X27.71Y-5.641I8.942J-4.908  
N60G01X34.356Y-18.945  
N65G03X34.445Y-19.0I0.09J0.045  
N70G01X38.359  
N75X38.448Y-18.945  
N80X46.019Y-4.086  
N85G03X45.05Y5.594I-8.019J4.086  
N90G01X39.003Y13.216  
N95G03X31.169Y17.0I-7.834J-6.216  
N100G01X10.583  
N105G03X6.403Y16.085I0.0J-10.0  
N110G01G40X1.805Y26.077  
N115G00X0.0Y50.0  
N120G54G00Z0.0  
N125M05  
N130M02

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Как регулируется частота вращения шпинделя?
2. Как работает привод стола?
3. Как работает привод салазок?
4. Как работает привод шпиндельной головки?
5. Как осуществляется обратная связь?
6. Как осуществляется смена инструмента?
7. Технические характеристики УЧПУ FMS-3000.
8. Что означает кадр и слово в программе?
9. Перечислите размерные слова.
10. Задание перемещений в абсолютных величинах и приращениях.
11. Линейная интерполяция.
12. Круговая интерполяция.
13. Линейно-круговая интерполяция.
14. Коррекция инструмента на радиус.
15. Задание плоскости.
16. Позиционирование.
17. Фиксированные системы координат заготовки.
18. Функции коррекции.
19. Понятие «внутренней» и «внешней» стороны при вводе коррекции на радиус инструмента.
20. Режим отмены коррекции на радиус инструмента.
21. Ввод коррекции на радиус инструмента.
22. Отработка введенной коррекции на радиус инструмента.
23. Вспомогательные функции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков А.Н. Режимы резания авиационных материалов при фрезеровании. Самара: СГАУ, 1994. 90 с.
2. Изучение конструкции, кинематики и управления станка 6М13ГН1 с УЧПУ "FMS-3000" / Волков А.Н. [и др.]. Самара: СГАУ, 2011. 44 с.
3. Гжиров Р. И., Серебrenицкий П. П. Программирование на станках с ЧПУ: справочник. Л.: Машиностроение, 1990. 588 с.
4. ГОСТ 20999-83. Устройство числового программного управления для металлообрабатывающего оборудования. Кодирование информации управляющих программ. М.: Изд-во стандартов, 1984. 26 с.
5. Документация на станок MC12-250M1.
6. Митряев К. Ф. Изучение конструкции и кинематики токарно-винторезного станка 1К62, проверка его на жесткость. Куйбышев: КуАИ, 1990. 16 с.
7. Митряев К.Ф., Сазонов М.Б. Изучение конструкции и кинематики зубодолбежного полуавтомата 5122. Самара: СГАУ, 1993. 18 с.
8. Производство деталей металлорежущих станков: учеб. пособие для машиностроительных специальностей вузов / А.В. Мухин, О.В. Спиридонов, А.Г. Схиртладзе [и др.]. М.: Машиностроение, 2001. 560 с.
9. Обрабатывающее оборудование нового поколения. Концепция проектирования / В.Л. Афонин, А.Ф. Крайнев, В.Е. Ковалёв [и др.] ; под ред. В.Л. Афонина. М.: Машиностроение, 2001. 256 с.
10. Программное обеспечение комплекса 4СК. Руководство программиста Г6.00218.01 33 01-2. СПб., 1999. 213 с.

11. Изучение конструкции и кинематики зубофрезерного станка 5К310. Наладка станка на нарезание косозубого колеса / М.Б. Сазонов [и др.]. Самара: СГАУ, 2013. 21 с.
12. Скуратов Д.Л., Сазонов М.Б. Изучение конструкции и кинематики фрезерного станка 1Т82Г-1 и универсальной делительной головки. Самара: СГАУ, 1995. 22 с.
13. Скуратов Д.Л., Трусов В.Н. Изучение конструкции и кинематики токарно-винторезного станка 16Б16КПФ10. Самара: СГАУ, 2006. 17 с.
14. Смолин В.Д. Следящий привод станка с числовым программным управлением. Самара: СГАУ, 2002. 118 с.
15. Чернов Е.А., Кузьмин В.П. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ: справочное пособие. Горький: Волго-Вятское книжное издательство, 1989. 320 с.
16. Чернов Е.А., Кузьмин В.П., Синичкин С.Г. Электроприводы подачи станков с ЧПУ: справочное пособие. Горький: Волго-Вятское книжное издательство, 1986. 271 с.
17. FMS-3000. Устройство ЧПУ на базе промышленного компьютера. Руководство по эксплуатации. Н.Новгород: ООО «Модмаш-софт», 2007. 475 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### ПРИЛОЖЕНИЕ А

#### Бланк отчёта по лабораторной работе №1

Кафедра  
*технологий производства двигателей*

Студент \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

#### Лабораторная работа №1

#### Изучение конструкции, кинематики и наладки токарно-винторезного станка 1К62

1. Назначение станка.
2. Технические характеристики.

Высота центров, мм	
Наибольший диаметр и длина обработки $D \times L$ , мм	
Диапазоны частот вращения шпинделя	
Число ступеней частот	
Мощность главного электродвигателя	

3. Рабочие органы станка, их движения и приводы. Задание движений.

4. Вспомогательные движения и их автоматизация.

5. Групповое задание.

Настроить станок на нарезание резьбы с шагом  $P =$  мм, или  $n =$  нит/дюйм, или  $m =$  мм, при  $v =$  м/мин,  $d =$  мм.

5.1. Определить  $n =$  об/мин.

5.2. Настроить цепь главного движения и написать кинематическое уравнение.

5.3. Настроить цепь подач и написать кинематическое уравнение.

5.4. Нарезать резьбу и проверить шаг резьбомером, сделать заключение.

6. Индивидуальное задание в соответствии с перечнем вопросов.

*Преподаватель* \_\_\_\_\_

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
**Бланк отчёта по лабораторной работе №2**

Кафедра  
*технологий производства двигателей*

Студент \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

**Лабораторная работа №2**

**Изучение конструкции и кинематики  
токарно-винторезного станка 16Б16КПФ10**

1. Назначение станка.
2. Технические характеристики.

Высота центров, мм	
Наибольший диаметр и длина обработки <b>DxL</b> , мм	
Диапазоны частот вращения шпинделя	
Число ступеней частот	
Мощность главного электродвигателя	

3. Рабочие органы станка, их движения и приводы. Задание движений.



4. Вспомогательные движения и их автоматизация.

5. Групповое задание.

Настроить станок на нарезание резьбы с шагом  $P=$  мм, или  
 $n=$  нит/дюйм, или  $m=$  мм, при  $v=$  м/мин,  $d=$  мм.

5.1. Определить  $n=$  об/мин.

5.2 Настроить цепь главного движения и написать кинематическое уравнение.

5.3. Настроить цепь подач и написать кинематическое уравнение.

5.4. Нарезать резьбу и проверить шаг резьбомером, сделать заключение.

6. Индивидуальное задание в соответствии с перечнем вопросов.

*Преподаватель* \_\_\_\_\_

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
**Бланк отчёта по лабораторной работе №3**

Кафедра  
*технологий производства двигателей*

Студент \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

**Лабораторная работа №3**

**Изучение конструкции и кинематики фрезерного станка  
6Т82Г-1 и универсальной делительной головки**

*Цель работы:*

1. Назначение станка и его технологические возможности.

2. Технические характеристики.

Размеры стола, мм	
Частота вращения горизонтального шпинделя, об/мин	
Число ступеней	
Мощность двигателя, кВт	
Мощность двигателя привода, кВт	
Мощность двигателя зажимного устройства	

3. Рабочие органы станка, их приводы. Задание движений.

3.1. Привод главного движения и кинематическое уравнение.

3.2. Привод подач. Кинематическое уравнение.

3.3. Механизм ускоренного перемещения стола.

4. Универсальная делительная головка и способы её наладки. Схема УДГ.

5. Групповое задание.

Настроить станок и УДГ на нарезание зубчатого колеса:

$m =$  , мм,  $z =$  ,  $d_{\text{заг}} =$  мм,  $b_{\text{заг}} =$  мм.

Фреза:  $D_{\text{ср}} =$  мм,  $Z_{\text{ср}} =$  ,

Режим обработки:  $v =$  м/мин,  $S_z =$  мм/зуб,  $t =$  мм.

5.1. Определить  $n =$  об/мин.

5.2. Настроить цепь главного движения и написать кинематическое уравнение.

5.3. Настроить цепь подач и написать кинематическое уравнение.

5.4. Сделать расчёт и настроить УДГ.

6. Индивидуальное задание

**Преподаватель** \_\_\_\_\_

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**  
**Бланк отчёта по лабораторной работе №4**

Кафедра  
*технологий производства двигателей*

Студент \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

**Лабораторная работа №4**

**Изучение конструкции и кинематики  
зубодолбёжного поуавтомата 5122.**

**Наладка станка на нарезание прямозубого колеса**

1. Назначение и принцип работы станка. Схема зубодолбления и основные рабочие движения.

***Техническая характеристика:***

*Наибольший диаметр, ширина и модуль нарезаемого зубчатого колеса, мм*

*Диапазон частот двойных ходов штося и число ступеней*

*Мощность главного привода, кВт*

2. Механизм главного движения и его настройка.

3. Механизм круговой подачи и его настройка.

4. Механизм обкатки (деления).

5. Механизм радиальной подачи.

6. Вспомогательные движения и их приводы.

7. Групповое задание:

7.1. Настроить станок на нарезание зубчатого колеса:

Зуборезный долбяк –  $m=$  мм,  $z_q=$

Заготовка –  $d_a=$  мм,  $b=$  мм,  $z=$

7.2. Режим обработки –  $v=$  м/мин или определить по настройке  $S_{кр}=$  мм/дв.х,  $S_p=$  мм/дв.х, определить по настройке.

7.3. Настройки, связанные с наладкой станка.

7.4. Наладка станка, нарезание и контроль зубчатого колеса (зубомером). Выводы.

8. Индивидуальное задание.

**Преподаватель** \_\_\_\_\_

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**  
**Бланк отчёта по лабораторной работе №5**

Кафедра  
*технологий производства двигателей*

Студент \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

**Лабораторная работа №5**

**Изучение конструкции и кинематики зубофрезерного станка  
5К310. Наладка станка на нарезание косозубого колеса**

1. Назначение и принцип работы станка. Схема зубофрезерования и основные рабочие движения.

***Техническая характеристика:***

*Наибольший диаметр и модуль нарезаемого зубчатого колеса, мм*

*Диапазон частот вращения шпинделя, об/мин*

*Диапазон изменения продольной и радиальной подачи, мм/об.заг.*

*Мощность главного электродвигателя, кВт*

2. Механизм главного движения и его настройка.

3. Механизм подачи и его настройка.

4. Механизм обкатки (деления) и его настройка.

5. Механизм цепи дифференцирования и его настройка, назначение.

6. Вспомогательные движения и их приводы.

7. Групповое задание:

7.1. Настроить станок на нарезание зубчатого колеса червячной фрезой:  $m_n =$  мм,  $d_{a0} =$  мм,  $\gamma_{m0} =$  ,  $Z_{зах} =$  .  
Заготовка  $d_{a0} =$  мм,  $b =$  мм,  $\beta =$  или определить по настройке,  $z =$  или определить по  $d_{a0}$ ,  $\beta$  и  $m_n$ .

7.2. Режим обработки:  $v =$  м/мин или определить по настройке,  $S_0 =$  мм/об или определить по настройке;  $t$  – за один проход

7.3. Расчёты, связанные с наладкой станка

7.4. Наладка станка, нарезание и контроль зубчатого колеса (зубомером). Выводы

8. Индивидуальное задание

**Преподаватель** \_\_\_\_\_

**ПРИЛОЖЕНИЕ Е**  
**Бланк отчёта по лабораторной работе №6**

Кафедра  
*технологий производства двигателей*

Студент \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

**Лабораторная работа №6**

**Изучение конструкции, кинематики и гидропривода  
плоскошлифовального станка 3Г71**

1. Назначение станка.

2. Техническая характеристика.

*Наибольшее продольное перемещение стола, мм.*

*Наибольшее поперечное перемещение крестового суппорта, мм.*

*Размеры шлифующего круга, мм.*

*Наибольшие размеры шлифуемых деталей, мм.*

*Поперечная автоматическая подача крестового суппорта на каждый ход, мм.*

*Скорость продольного перемещения стола, м/мин.*

*Наибольшее вертикальное перемещение шлифовальной бабки, мм.*

3. Основные органы управления станком.

4. Движения в станке.



5. Гидропривод продольной подачи стола.

6. Гидропривод поперечной подачи крестового суппорта.

7. Гидропривод вертикальной подачи шлифовальной бабки.

8. Изобразите принципиальную гидравлическую схему продольной подачи стола стандартными условными обозначениями и приведите их названия.

9. Групповое задание.

9.1 Настроить станок на обработку детали по заданным параметрам.

Длина хода стола	$L =$ _____ (мм)
Продольная подача	$S_{np} =$ _____ (м/мин)
Поперечная подача	$S_n =$ _____ (мм./ход)
Вертикальная подача	$S_v =$ _____ (мм)
Длина хода крестового суппорта	$L_c =$ _____ (мм)
Припуск на шлифовку	$h =$ _____ (мм)
Диаметр шлифовального круга	$D =$ _____ (мм)
Частота вращения шпинделя	$n =$ _____ (об/мин)

9.2 Определить скорость резания при шлифовании  $V$  и машинное время обработки  $T_m$ .

10. Ответы на индивидуальные вопросы.

*Преподаватель* \_\_\_\_\_

**ПРИЛОЖЕНИЕ Ж**  
**Бланк отчёта по лабораторной работе №7**

Кафедра  
*технологий производства двигателей*

Студент \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

**Лабораторная работа №7**

**Изучение конструкции, кинематики и системы числового  
программного управления токарного станка 16К20Т1**

*Цель работы:*

1. Описать устройство узлов токарного станка с ЧПУ.
2. Описать устройство и способы регулировки зазоров в редукторах вертикальных, продольных и поперечных подач.
3. Описать устройство шариковинтовых подач и способы регулировки предварительного натяга в них.
4. Какие возможны технологические и конструкторские мероприятия, повышающие точность токарной обработки станков с ЧПУ?

5. Какие возможны технологические и конструкторские мероприятия, снижающие трудоёмкость токарной обработки на станках с ЧПУ?
  
6. Какие эксплуатационные качества станка с ЧПУ можно улучшить, используя гибридные подшипники в шпиндельном узле?
  
7. Какие возможны модернизации станины станка с ЧПУ?
  
8. Индивидуальное задание

*Преподаватель* \_\_\_\_\_

**ПРИЛОЖЕНИЕ И**  
**Бланк отчёта по лабораторной работе №8**

Кафедра  
*технологий производства двигателей*

Студент \_\_\_\_\_  
Группа \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

**Лабораторная работа №8**

**Изучение конструкции, кинематики и управления станка  
6М13ГН1 с УЧПУ «FMS-3000»**

1. Назначение, узлы и детали станка.

2. Технические характеристики станка.

Размер рабочей площади стола, мм	
Частота вращения шпинделя, мин <sup>1</sup>	
Число ступеней шпинделя	
Точность обработки, мм	
Мощность главного электродвигателя, кВт	

3. Привод главного движения.

4. Приводы подачи.

5. Тиристорное управление.

6. Программирование УП в УЧПУ «FMS-3000»:

6.1. Подготовительные функции.

7. Групповое задание:

7.1. Проанализировать тестовую УП обработки детали.

7.2. Определить параметры режима резания при обработке различных участков детали:  $V$ , м/мин;  $S_0$ , мм/об;  $S_z$ , мм/зуб.

8. Ответы на индивидуальные задания по контрольным вопросам.

*Преподаватель* \_\_\_\_\_

## ПРИЛОЖЕНИЕ К

### Бланк отчёта по лабораторной работе №9

Кафедра  
*технологий производства двигателей*

Студент \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

### Лабораторная работа №9

#### Изучение конструкции, кинематики и управления станка MC12 – 250M1 с УЧПУ «FMS-3000»

1. Назначение и основные части станка.

2. Основные технические характеристики:

- *размеры рабочей зоны станка*
- *частота вращения шпинделя*
- *число ступеней чисел оборотов шпинделя*
- *диаметр планшайбы поворотного стола*
- *число фиксированных позиций планшайбы*
- *точность координатных линейных перемещений*
- *скорость быстрых перемещений по каждой координате*
- *количество инструментов в магазине*
- *наибольшая скорость рабочей подачи*
- *число одновременно управляемых осей координат*
- *дискретность отсчета по осям координат.*

3. Рабочие органы станка, рабочие движения, используемые инструменты:

3.1 Механизм главного движения и управление частотой вращения шпинделя.

3.2 Механизм подачи и управление движением подачи.

3.3 Механизм смены инструмента.

*4. СЧПУ и ее общая характеристика:*

4.1 Блок-схема СЧПУ.

4.2 Схема и принцип действия УЧПУ FMS -3000.

4.3 Схема и принцип действия следящего привода.

4.4 Фрагмент УП, содержащий переход по обработке «фаски», «галтели» или «сопряжения двух поверхностей». Этот фрагмент УП необходимо опробовать на станке MC12.

5. Групповое задание:

5.1 Определить координаты «нуля» станка относительно базовых точек.

5.2 Определить координаты точки смены инструмента.

5.3 Основные технические данные FMS – 3000.

5.4 Пояснить принципиальную схему СЧПУ станка MC12–250M1.

5.5 Управляемые координаты станка MC12.

5.6 Вспомогательные движения СЧПУ MC12.

5.7 Символы кода ИСО-7бит, распознаваемые УЧПУ FMS-3000.

5.8 Смысл адресов, которые используются в УЧПУ станка MC12.

5.9 Основные и дополнительные оси СЧПУ станка MC12.

***Преподаватель*** \_\_\_\_\_

## ПРИЛОЖЕНИЕ Л

### *Перечень элементов к кинематической схеме станка*

Куда входит	Позиция	Число зубьев зуб. колёс	Модуль или шаг	Ширина колёса, мм	Материал	Состояние материала
1	2	3	4	5	6	7
Станина	2	28 или 30 или 21	5	56	Ст. 45-2-а-Т	
	Шпиндельная бабка	21	32	5		
22		48	2	20	Ст.40ХФА	Азотирование
23		30 (внутр.)	2,5	8		
25		64	2	20	Ст. 25ХГТ	Нитроцементировать
26		20 (кор.)	2,75	27		
27		60 (кор.)	2,75	26		
28		30	2,5	8	Ст.40ХФА	Азотирование
29		48	2	11		
33		54	2	20	Ст. 25ХГТ	Нитроцементировать
34		54 (кор.)	1,5	12	Ст. 45-2-а-ТХ	HRC 51
35	48 (кор.)	1,5	12	Ст. 40Х	Нитроцементировать	
Винт. пара 50	36	1	10	50	Ст. 8ХФ	HRC 62
	37	1	10	50	Ст 9ХС	
Привод подачи	38	54	1,5	15	Сталь 40Х	HRC 53
	39	48	1,5	28		
	40	54	1,5	15		
Винт. пара 32	41	1	5	35	Ст. 8ХФ	HRC62
	42	1	5	35	Ст 9ХС	
	44	1	5	22	Ст.А40Г-6	
Задняя бабка	45	1	5	22	Бр. ОЦС	
	46	18	1,5	30		
	47	70	1,5	16		
Резцедержка поворотная	51	18	2	12	Сталь 40Х	HRC 48-55
	52	47	2	12		
	53	1	3	42		
	54	38	3	82		



В первом случае коррекция длины сверла или вылета державки резца осуществляется с помощью команды H с набором цифр, соответствующих величине коррекции. Например, кадр 060 T 02 H 15 означает введение коррекции на длину 15 мм для инструмента №2.

Второй случай обеспечивает коррекцию радиуса инструмента и связан с тем, что при точении конических и фасонных поверхностей при фрезеровании контуров траектория движения центра радиусной поверхности инструмента должна представлять собой эквидистанту относительно формы поверхности (рис. Л. 1).

Проведём фрагмент программы для компенсации радиуса резца:

```
N 035 G 81 X + 25 Z + 4 I 7
```

```
N 036 G 41
```

Описание контура обработки

```
N 053 G 40
```

```
N 54 G 80
```

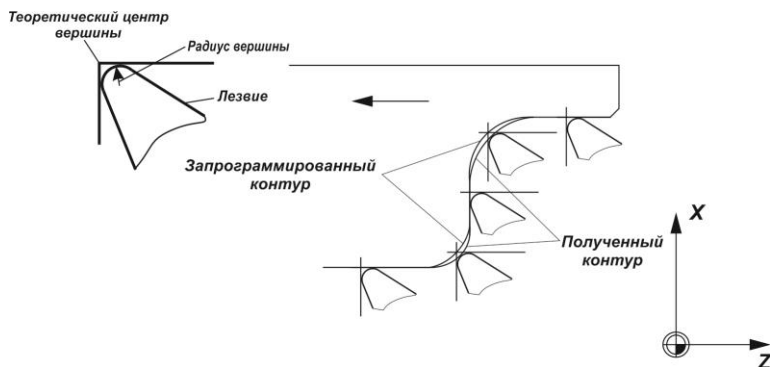


Рис. Л. 1. Компенсация радиуса резца

Фрагмент программы, предусматривающий фрезерование по эквидистанте (рис. Л. 2).

```
% 150
```

```
N 005 G 90 G00 X0 Y0 S 1000 T01 M 03
```

N 006 G 41 G01 X 220 Y 100 F 100  
 N 007 X220 Y 430 F 50  
 N 008 G 02 G17 X370 Y 580 I 370 J 430  
 N 009 G 01 X 705 Y 580  
 N 010 X 480 Y 190  
 N 011 X 220 Y 190  
 N012 G 00 X0 Y 0 05M  
 N 013 M02

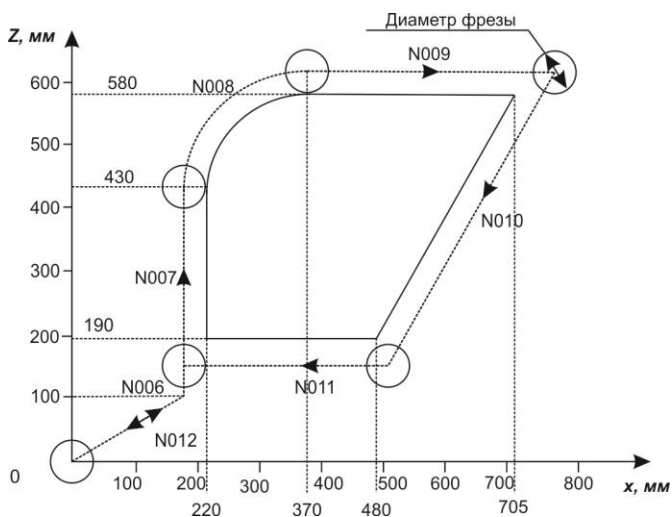


Рис. Л. 2. Движение фрезы по эквидистанте при фрезеровании  
 наружного контура

Функция G41 (коррекция диаметра фрезы, если фреза находится слева от детали) в кадре N 006 обеспечивает движение центра фрезы по эквидистанте относительно обрабатываемой поверхности.

В ряде случаев требуется скорректировать подачу, чтобы уменьшить шероховатость обрабатываемой поверхности, исключить вибрации и т.д. Для этого на пульте управления необходимо установить новое значение подачи и ввести его в память устройства ЧПУ.