

**РОСЖЕЛДОР**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Ростовский государственный университет путей сообщения»**  
**(ФГБОУ ВО РГУПС)**

---

В.А. Бондаренко, А.Е. Литвинов, А.Н. Чукарин

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

г. Ростов-на-Дону

2017

Проектирование технологических машин/ В.А. Бондаренко, А.Е. Литвинов, А.Н. Чукарин. – Ростов-на-Дону: Издательский центр РГУПС, 2017. - 89 с.

Проектирование технологических машин: методические указания по выполнению практических работ, выполнению курсового проекта для студентов всех форм обучения направления подготовки 15.03.03 «Прикладная механика»/ В.А. Бондаренко, А.Е. Литвинов, А.Н. Чукарин. – Ростов-на-Дону, 2017. – 89 с.

Ростовский государственный университет  
путей сообщения, 2017

## Практическая работа № 1

### Расчет предельных режимов резания и диапазонов регулирования частот вращения шпинделя и подач токарных станков

#### 1.1 Общие сведения

Токарно–винторезные станки являются станками широко универсальными. На них выполняются различные технологические процессы: точение наружных и внутренних цилиндрических и конических поверхностей, сверление, развертывание, обработка торцевых плоскостей, нарезание резьб резцами и плашками и другие виды работ.

На станках этого типа изготавливаются детали машин из различных материалов и из заготовок, полученных различными методами (прокат, поковки, штамповки, литье).

В основу расчета предельных режимов резания токарных станков положено продольное наружное точение углеродистой конструкционной стали и серого чугуна, как наиболее типичный вид обработки для станков этой группы.

Основным параметром токарного станка является наибольший диаметр  $D_{\max}$  обрабатываемой заготовки над станиной. Этот диаметр приблизительно равен удвоенной высоте центров станка. Согласно ГОСТ 440-57 токарные станки имеют наибольшие диаметры обработки над станиной: 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630 и т.д. до 6300 мм, изменяющиеся по закону геометрической прогрессии со знаменателем 1,26.

Другим важным параметром станка является наибольшее межцентровое расстояние, регламентированное ГОСТ 440-51. Станки с  $D_{\max} = 400$  мм выполняются с наибольшим расстоянием между центрами 700, 1000, 1400 мм. Этим же ГОСТом устанавливается наибольший диаметр обрабатываемой заготовки над суппортом  $d$ , который обычно равен

$$d = (0,5 \dots 0,55) D_{\max}. \quad (1.1)$$

Основные характеристики токарно-винторезных станков приведены в Приложении А 1.

#### 1.2 Предельные диаметры обработки на токарных станках

Наибольший диаметр  $D_{\max}$  указывается в задании на курсовое проектирование. Наименьший диаметр  $D_{\min}$  для универсальных станков определяется соотношением

$$D_{\min} = (0,1 \dots 0,15) D_{\max}, \quad (1.2)$$

для специализированных

$$D_{\min} = 0,25 D_{\max}. \quad (1.3)$$

В действительности, на токарных станках можно обрабатывать детали со значительно меньшими диаметрами, чем  $D_{\min}$ , принятому при расчете, но эти случаи обработки не являются типичными для станка.

### 1.3 Глубина резания

Учитывая относительно небольшое влияние глубины резания на стойкость инструмента и скорость резания, рекомендуется назначать глубину резания, исходя из обработки заготовки в один проход, что ведет к увеличению производительности. Поэтому глубина резания определяется величиной припуска на обработку, которая зависит от вида обработки – чернового или чистового точения.

При черновом точении глубина резания  $t_{\max}$ , мм, равна величине половине припуска на черновое точение  $Z_1$  и определяется разностью общего припуска  $Z_0$  и промежуточных (межоперационных) припусков на последующие обработки – чистовое точение  $Z_2$  и шлифование  $Z_3$ .

$$t_{\max} = \frac{1}{2} Z_1 = \frac{1}{2} [Z_0 - (Z_2 + Z_3)]. \quad (1.4)$$

Величина общего припуска зависит от вида заготовки (поковки, литья, проката и т.п.) и ее размеров и находится по справочникам. Некоторые данные из этих справочников приведены в таблице 1.1.

При изготовлении деталей ступенчатой формы из круглого проката припуск снимается за несколько проходов, однако этот случай не является расчетным.

При выборе наибольшей глубины резания следует учитывать ее влияние на мощность резания. Статистическими данным для токарно – винторезных станков с наибольшим диаметром обработки до 500 мм мощность двигателя  $P$  в кВт, отнесенная к  $D_{\max}$ , составляет

$$\frac{P}{D_{\max}} = 0,014 \dots 0,025. \quad (1.5)$$

Чрезмерное увеличение мощности ведет к изменению габаритов и массы станка и отклонению его конструкции от заданного типоразмера. Опыт эксплуатации токарных станков средних размеров показывает, что глубина резания при черновом точении находится в пределах от 3 до 6 мм.

Наименьшая глубина резания для продольного точения  $t_{\min}$ , мм, определяется половиной величины припуска на чистовое точение:

$$t_{\min} = \frac{1}{2} Z_2, \quad (1.6)$$

где  $Z_2$  – припуск на чистовое точение, мм, задаваемый на диаметр обрабатываемой заготовки.

#### 1.4 Предельные значения подач

Величину наибольшей подачи  $S_{\max}$  при черновом точении лимитирует прочность державки резца, пластины твердого сплава, жесткость системы СПИД, прочность механизмов станка.

Определяющим фактором при выборе наибольшей подачи принимается оптимальная мощность резания, соответствующая данному типоразмеру станка и определяемая на основе анализа опытно – статических табличных данных характеристик станков. При выборе  $S_{\max}$  необходимо пользоваться таблицей 1.2 и справочником [1].

В дальнейшем, после того, как будут определены параметры станка, проверяют на прочность державку резца, пластину твердого сплава, а так -же жесткость системы по величине принятой подачи.

Наименьшая подача  $S_{\min}$  определяется исходя из режимов чистового точения в зависимости от допускаемой шероховатости поверхности. В зависимости от скорости резания и чистоты поверхности подача имеет значение от 0,1 до 0,3 мм/об.

Принятыми для продольного точения значениями глубины резания  $t_{\max}$  и  $t_{\min}$ , подачи  $S_{\max}$  и  $S_{\min}$  в дальнейшем пользуются для расчета предельных скоростей резания.

Предельные подачи, принятые для продольного точения, корректируются с учетом возможности выполнения на проектируемом станке других технологических операций – тонкого точения и растачивания, точения резцами с дополнительной режущей кромкой, обработки закаленных сталей и т.п.

Для тонкого точения и точения закаленных сталей подача уменьшается в полтора - два раза по сравнению с обычным точением:

$$S'_{\min}=0,5 S_{\min}. \quad (1.7)$$

При черновой обработке цветных металлов и сплавов  $S_{\max}$  увеличивается в два - три раза:

$$S'_{\max}=(2\dots3) S_{\min}. \quad (1.8)$$

При корректировании подачи следует ориентироваться на характеристики станков – аналогов, диапазон регулирования подач которых весьма велик, так как в основу кинематического расчета коробок подач этих станков положено нарезание резьб.

#### 1.5 Предельные скорости резания при продольном точении и предельные частоты вращения шпинделя

Скорость резания при продольном точении определяется формулой

$$V = \frac{C_v}{T^m t^{x_s y}} k_m k_n k_u k_\phi, \quad (1.9)$$

где  $T$  – стойкость инструмента, мин;  
 $t$  – глубина резания, мм;

$S$  – подача, мм/об.

Постоянная  $C_v$ , показатели степени  $m$ ,  $x$ ,  $y$  и коэффициенты  $K_m, K_u, K_n$  и  $K_f$  приведены в таблицах 1.3 – 1.7 Среднее значение стойкости  $T$  при одноинструментальной обработке равно 60 мин.

Расчетные условия для определения  $V_{max}$  и  $V_{min}$

Наибольшая скорость резания определяется исходя из режима чистового течения стали наименьшей прочности (по заданию) резцом с пластинкой твердого сплава марки Т15К6. Глубина резания и подача – минимальные для продольного точения.

Наименьшая скорость рассчитывается для чернового точения заготовки из серого чугуна наибольшей твердости с коркой, резцом, оснащенным твердым сплавом ВК6. Глубина резания и подача – максимальная для чернового точения.

### 1.6 Предельные частоты вращения шпинделя

Наибольшее число оборотов в минуту шпинделя находят по формуле, об/мин,

$$n_{max} = \frac{1000V_{max}}{\pi D_{min}}. \quad (1.10)$$

Наименьшее число оборотов в минуту шпинделя определяется по аналогичной формуле, об/мин,

$$n_{min} = \frac{1000V_{min}}{\pi D_{max}}. \quad (1.11)$$

Допуская возможность калибрования резьбы резцом со скоростью от 4 до 10 м/мин, число оборотов уменьшают, исходя из нижнего предела скорости калибрования резьбы диаметром 100 мм.

Определяя  $V_{max}$ , необходимо учитывать, что при частоте вращения шпинделя более 3000 об/мин сложно получить высокий КПД привода.

### 1.7 Составляющие силы резания

Составляющие силы резания,  $H$ , рассчитываются по формуле

$$P_z (P_y P_x) = 10C_p t^x s^y v^n K_p. \quad (1.12)$$

Постоянная  $C_p$  и показатели степени  $x$ ,  $y$ ,  $n$  для каждой составляющей силы резания приведены в таблицах 1.8, 1.10.

Поправочный коэффициент  $K_p$  представляет собой произведение коэффициентов, учитывающих изменения условий резания против табличных

$$K_p = K_M \cdot K_\phi \cdot K_\gamma. \quad (1.13)$$

Коэффициенты  $K_M, K_\phi, K_\gamma$  выбирают по таблицам 1.9., 1.11.

Расчетные условия для определения усилий резания

Максимальные значения составляющих сил резания рассчитываются для случая черного продольного точения стали  $\sigma_b = 750\text{МПа}$  резцами с пластинами твердого сплава Т5К10 при наибольшем значении глубины резания и подачи.

Все величины, входящие в состав формулы (1.12), должны иметь значения, соответствующие этим расчетным условиям.

### 1.8 Мощность резания

Мощность резания  $P_{\text{эфф}}$ , кВт, рассчитывается по формуле

$$P_{\text{эфф}} = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}, \quad (1.14)$$

где  $v$  и  $P_z$ , - соответственно скорость и вертикальная составляющая усилия резания, определяемые по формулам (1.9) и (1.12).

Расчеты показывают, что мощность резания стали больше мощности резания серого чугуна. Поэтому определяющим является расчет мощности при резании стали. Расчетный случай при определении мощности – черновое продольное точение стали с наибольшим по заданию пределом прочности.

Таблица 1.1 - Припуски на заготовки

Припуски на механическую обработку отливок из серого чугуна

Наибольший размер отливки, мм	Серийное производство		Индивидуальное производство	
	Наибольший припуск на сторону, мм			
	Простые отливки	Сложные отливки	Простые отливки	Сложные отливки
св.100 до 200	3	4	4	5
" 200 " 300	3	5	5	6
" 300 " 500	4	6	6	8
" 500 " 800	5	7	7	9

Припуски на механическую обработку поковок  
Валы круглые с уступами.

Длина детали, мм	Диаметр уступа вала, мм			
	Св.50 До 75	Св. 75 до 100	Св. 100 До 150	Св.150 До 200
	Величина припуска на диаметр, мм			
До 250	8,3	9,3	11,3	13,4
Св.250 до 500	8,3	9,3	11,3	13,4
" 500 " 1000	9,3	10,3	12,4	14,4
" 1000 "1500	10,3	12,4	14,4	16,5

Припуски на обтачивание валов из проката, сталь горячекатаная

Номинальный диаметр детали, мм	Диаметр заготовки, мм, при отношении длины к диаметру детали св.12 до 20
20	24
50	55
100	110
140	150

Припуски на чистовое обтачивание после черного обтачивания

Диаметр вала, мм	Длина обрабатываемой детали, мм		
	До 500	Св.500 до 1000	Св. 1000 до 1500
	Припуск на диаметр, мм $Z_1$		
Св. 120 до 230	2	2	3
" 260 " 500	3	3	3



Припуск на шлифование валов  $Z_2$

Диаметр вала, мм	<i>Длина вала, мм</i>		
	Св. 250 до 500	Св.500 до 800	Св. 800 до1200
	<i>Припуск на диаметр, мм</i>		
Св 50 до 80	0,6	0,7	0,8
"120 " 180	0,7	0,8	0,9
" 260 " 360	0,8	0,9	1,0

Таблица 1.2 – Подачи, мм/об, при продольной обточке резцами, оснащенными твердым сплавом.

Подачи при чистовом точении

Параметр шероховатости поверхности, мкм		Радиус при вершине резца $r$ , мм					
		0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4
$R_a$	$R_z$						
0.63	-	0.07	0.10	0.12	0.14	0.15	0.17
1.25		0.10	0.13	0.165	0.19	0.21	0.23
2.50		0.144	0.20	0.246	0.29	0.32	0.35
-	20	0.25	0.33	0.42	0.49	0.55	0.60
	40	0.35	0.51	0.63	0.72	0.80	0.87
	80	0.47	0.66	0.81	0.94	1.04	1.14

Подачи даны для обработки сталей с  $\sigma_b = 700 - 900$ МПа и чугунов;

для сталей с  $\sigma_b = 500 - 700$ МПа значения подач умножать на коэффициент  $K_s=0.45$ ;

для сталей с  $\sigma_b = 900 - 1100$ МПа значения подач умножать на коэффициент  $K_s=1.25$ .

Подачи при черновом наружном точении резцами с пластинами из твердого сплава

Марка твердого сплава	Толщина пластины, мм	$\sigma = 600$ МПа НВ 170	$\sigma = 800$ МПа НВ 230	$\sigma = 1000$ МПа НВ 385
		Подача в мм/об		
<b>T8K10</b>	До 4,5	0,4–0,6	0,3–0,5	0,25–0,45
	4,5 – 6	0,6–0,95	0,5–0,8	0,45–0,7
	6 – 8	0,95– 1,5	0,8–1,25	0,7–1,1
<b>T15K6</b>	До 4,5	0,35–0,5	0,25–0,4	0,2–0,35
	4,5 – 6	0,5–0,8	0,4–0,65	0,35–0,6
	6 – 8	0,8–1,0	0,65–1,0	0,6–0,9
<b>ВК6</b> ВК8	До 4,5	0,6–0,9	0,45–0,65	0,35–0,65
	4,5 – 6	0,9–1,4	0,75–1,2	0,65–1,0
	6 – 8	1,4–1,2	1,2–1,8	1,0–1,8

Таблица 1.3 - Значение коэффициента  $C_v$  и показателей степени к формуле скорости резания

Обрабатываемый материал	Материал режущей части резца	Подача, мм/об	$C_v$	x	y	m
Сталь конструкционная углеродистая $\sigma_B = 750$ МПа	T15K6	до 0,3	420	0,15	0,2	0,2
		св. 0,3 до 0,7	350			
		св. 0,7	340			
Чугун серый НВ 190	ВК6	до 0,4 св. 0,4	292 243	0,15	0,2 0,4	0,2

Таблица 1.4 – Поправочный коэффициент  $K_m$ , учитывающий влияние на скорость резания механических свойств обрабатываемого материала

Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента – твердый сплав
Сталь конструкционная углеродистая и легированная, стальное литье	$K_m = \frac{750}{\sigma_B}$
Чугун серый	$K_m = \frac{190}{НВ}$

Таблица 1.5 – Поправочный коэффициент  $K_n$  на скорость резания, учитывающий состояние поверхности заготовки

Без корки	С коркой			
	Прокат	Поковка	Стальное и чугунное литье	
			Обычное	С загрязненной коркой
1,0	0,9	0,8	0,8-0,85	0,5-0,6

Таблица 1.6 – Поправочный коэффициент  $K_u$ , учитывающий влияние материала режущей части инструмента на скорость резания

Обрабатываемый материал	Значение $K_u$ в зависимости от марки инструмента				
	T5K10	T14K8	T15K6	T30K4	BK8
Сталь конструкционная и стальное литье	0,65	0,8	1	1,4	0,4
<i>Чугун серый</i>	BK8	BK6	BK4	BK3	BK2
	0,83	1	1,1	1,15	1,25

Таблица 1.7 – Поправочный коэффициент  $K_\phi$ , учитывающий влияние главного угла в плане резца на скорость резания

Главный угол в плане в град.	$K_\phi$
20	1,4
30	1,2
45	1
60	0,9
75	0,8
90	0,7

Таблица 1.8 – Значение коэффициента  $C_p$  и показатели степени в формулах для определения составляющих сил резания при точении резцами, оснащенными пластинами твердого сплава

Обрабатываемый материал	$P_z$				$P_y$			
	$C_p$	x	y	n	$C_p$	x	y	n
Сталь конструкционная и стальное литьё $\sigma_B = 750$ МПа	300	1	0,75	-0,15	243	1	0,6	-0,3
Чугун серый НВ 190	92	1	0,75	0	54	0,9	0,75	0

Таблица 1.9 – Значение коэффициента  $K_m$ , учитывающего влияние на силу резания механических свойств обрабатываемого материала

Коэффициент $K_m$	
Сталь конструкционная и стальное литьё	Чугун серый
$K_m = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^{n_1}$	$K_m = \left( \frac{HB}{190} \right)^{n_1}$

Таблица 1.10 – Показатель степени n при точении резцом с пластинами твердого сплава

Обрабатываемый материал	$P_z$	$P_y$	$P_x$
Сталь конструкционная и стальное литьё	0,75	1,05	1
Чугун серый	0,4	1	0,8

Таблица 1.11 – Поправочные коэффициенты  $k_\varphi$  и  $k_\gamma$ , учитывающие влияние геометрических параметров режущей части инструмента на составляющие силы резания при точении стали и чугуна резцами с пластинами твердого сплава

Параметры	Поправочные коэффициенты		
	$P_z$	$P_y$	$P_x$
$k_\varphi$ главный угол в плане, град.			
$30^0$	1,08	1,3	0,78
$45^0$	1	1	1
$60^0$	0,94	0,77	1,11
$90^0$	0,87	0,5	1,17
$k_\gamma$ передний угол, град.			
$-15^0$	1,25	2	2
$0^0$	1,1	1,4	1,4
$10^0$	1	1	1

## Практическая работа № 2

### Расчет предельных режимов резания и диапазонов регулирования частот вращения шпинделя и подач сверлильных станков

#### 2.1 Общие сведения

Сверлильные станки предназначены для получения сверлением сквозных и глухих отверстий в сплошном материале, чистовой обработки отверстий зенкером и разверткой, зенкования торцевых поверхностей, нарезание внутренних резьб метчиками.

Наиболее распространены вертикально-сверлильные и радиально-сверлильные станки.

Основные размеры сверлильных станков – наибольший диаметр сверления, вылет шпинделя, наименьшие и наибольшие расстояния от торца шпинделя до стола и до фундаментной плиты. Краткие характеристики современных отечественных сверлильных станков приведены в таблице А2.

Параметры проектируемого сверлильного станка определяются на основе анализа технологических процессов, выполняемых на станках этого типа и режимов резания. Основным видом работы станка, определяющим его параметры, является сверление отверстий. Из этого исходят разрабатывая конструкцию сверлильного станка.

#### 2.2 Предельные значения диаметров сверл, принимаемые при расчете станка

Наибольший условный диаметр сверления  $D_{\max}$  указывается в задании и определяет номер конуса Морзе отверстия в шпинделе станка.

Наименьший диаметр сверления  $D_{\min}$  определяется путем уменьшения конуса Морзе с помощью переходной втулки на один номер. По стандарту каждому номеру Морзе соответствует ряд сверл различных диаметров. Наименьший диаметр сверла в ряду сверл с редуцированным на единицу конусом Морзе определяет  $D_{\min}$  (табл.2.1). Например, по заданию наибольший диаметр сверления - 50 мм. Следовательно, шпиндель станка имеет отверстие с конусом Морзе 5. Уменьшая на единицу, получаем конус Морзе 4. Этому конусу соответствует ряд сверл с диаметрами от 33 до 49,5 мм. Таким образом,  $D_{\min}=33$  мм.

Таблица 2.1

Диаметр сверл, мм	Номер конуса Морзе у хвостовика сверла
От 6 до 15,4	1
От 15,7 до 23,4	2
От 23,6 до 32,5	3
От 33,0 до 49,5	4
От 50,0 до 60,0	5

#### 2.3 Глубина резания

Глубина резания при сверлении  $t$ , мм, равна половине диаметра сверла  $D$ :

$$t = \frac{D}{2} . \quad (2.1)$$

#### 2.4 Предельные значения подач при сверлении и диапазон регулирования подач

Подачи при сверлении  $s$ , мм/об, в сплошном материале рассчитываются по формуле

$$s = C \cdot D^{0,6}, \quad (2.2)$$

где  $C$  - коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала и технологических особенностей обработки отверстий (табл. 2.2 );

$D$  - диаметр сверла, мм.

Расчетные условия для определения  $S_{\max}$  и  $S_{\min}$

Наибольшую подачу  $S_{\max}$  определяет для случая сверления глухих отверстий наибольшего диаметра в материале, для которого, по заданию, коэффициент  $C$  имеет наибольшее значение (первая группа подач).

Наименьшую подачу  $S_{\min}$  рассчитывают для сверления отверстий наименьшего диаметра в материале, которому соответствует наименьшее значение коэффициента  $C$  (третья группа подач).

Полученные по формуле (2.2) подачи  $S_{\max}$  и  $S_{\min}$  корректируют с учетом возможности выполнения на станке других видов работ. При развертывании отверстий подача в два – два с половиной раза больше подачи сверления. Соответственно увеличивается  $S_{\max}$  :

$$S'_{\max} = S_{\max} \cdot (2,5 \dots 3). \quad (2.3)$$

Подача при глубоком сверлении  $S_{\min}$  уменьшается с учетом коэффициента  $K_L$ , (табл. 2.7):

$$S''_{\min} = S_{\min} \cdot K_L . \quad (2.4)$$

Диапазон регулирования подач  $R_s$  определяется отношением

$$R_s = \frac{S_{\max}}{S_{\min}} . \quad (2.5)$$

#### 2.5 Предельные скорости резания при сверлении

Скорость резания  $v$ , м/мин, рассчитывается по формуле

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S^y} K_v , \quad (2.6)$$

где  $D$  - диаметр сверла , мм;

$T$  - период стойкости, мин, (табл. 2.3);

$t$  - глубина резания , мм;

$S$  – подача, мм/об;

$K_v$ -поправочный коэффициент, учитывающий фактические условия резания.

Значения постоянной  $C_v$  и показатели степени  $q$ ,  $m$ ,  $x$ ,  $y$  приведены в таблице 2.4.

Коэффициент  $K_v$  определяется произведением

$$K_v = K_m \cdot K_i \cdot K_L, \quad (2.7)$$

где  $K_m$ ,  $K_i$ ,  $K_L$ , находят по таблицам 2.5, 2.6 и 2.7.

Рассчитанная по формуле (2.6) скорость действительна для сверл с двойной заточкой и подточкой перемычки. При нормальной заточке рассчитанную скорость уменьшают, умножая на коэффициент 0,85.

Расчетные условия для определения  $V_{\max}$  и  $V_{\min}$

При определении наибольшей скорости сверления  $V_{\max}$  следует исходить из случая сверления серого чугуна наименьшей по заданию твердости, сверлом наименьшего диаметра с пластинами твердого сплава ВК8. Подача для сверления наименьшая, определяемая по третьей группе подач. Глубина сверления до трех диаметров отверстия.

Наименьшая скорость  $V_{\min}$  вычисляется для случая сверления углеродистой конструкционной стали, наибольшей по заданию твердости, сверлом из быстрорежущей стали нормальной заточки и наибольшего диаметра. Наибольшая подача для сверления определяется по первой группе подач. Глубина сверления - до пяти диаметров отверстия.

Подача для определения  $V_{\max}$  и  $V_{\min}$  рассчитывается по формуле (2.2), исходя из указанных выше расчетных условий.

Предельные числа оборотов шпинделя рассчитываются по известным формулам, об/мин,

$$n_{\max} = \frac{1000V_{\max}}{\pi \cdot D_{\min}}, \quad (2.8)$$

$$n_{\min} = \frac{1000V_{\min}}{\pi \cdot D_{\max}}. \quad (2.9)$$

Определяя  $n_{\max}$ , необходимо учесть, что при частоте вращения шпинделя более 3000 об/мин сложно получить достаточно высокий КПД.

Сверлильные станки являются станками универсальными. На них, кроме сверления, возможно выполнение других работ, например нарезание резьб метчиками. При нарезании резьбы метчиком скорость резания в три - четыре раза меньше, чем при сверлении.

Возможны случаи применения сверл из сталей 9ХС, ХВГ, У12А, для которых скорость резания вдвое меньше по сравнению со сверлами из быстрорежущей стали, для них  $K_{\text{И}}=0,5$ .

Поправочный коэффициент  $K_{\text{М}}$ , учитывающий влияние физико-механических свойств жаропрочной стали, которая в современной технике находит все более широкое применение, значительно меньше, чем для стали конструкционной и равен, например, для стали ЭИ767  $K_{\text{М}}=0,1$ ; ЭИ893  $K_{\text{М}}=0,2$ ; ЭИ929  $K_{\text{М}}=0,25$ .

Учитывая эти особенности сверлильных станков, нижний предел чисел оборотов шпинделя, рассчитанный по формуле (2.9) для случая обработки отверстий сверлами из быстрорежущей стали, следует уменьшить в три-четыре раза:

$$n'_{\min}=0,25 \cdot n_{\min}. \quad (2.10)$$

Общий диапазон регулирования чисел оборотов определяется отношением

$$R_n = \frac{V_{\max}}{V_{\min}}. \quad (2.11)$$

## 2.6 Осевая сила при сверлении

Осевую силу при сверлении  $P_x$ , Н, рассчитывают по формуле

$$P_x = 10C_p D^q s^y K_p. \quad (2.12)$$



Значение постоянной  $C_p$  и показателей степени приведены в таблице 2.8. Коэффициент  $K_p$ , учитывающий механические свойства обрабатываемого материала, находят в таблице 2.9.

Расчетные условия для определения осевой силы

Осевое усилие рассчитывается исходя из сверления отверстия наибольшего диаметра в стальной заготовке  $\sigma_b = 750 \text{ МПа}$  сверлом нормальной заточки из быстрорежущей стали. Подача определяется по формуле (2.2) для первой группы подач.

## 2.7 Крутящий момент при сверлении

Крутящий момент  $M_{кр}$ , Нм, рассчитывается по формуле

$$M_{кр} = 10 C_M D^q s^y K_p. \quad (2.13)$$

Значение постоянной  $C_M$  и показатели степени  $q$  и  $y$  приведены в таблице 2.8.

Расчетные условия те же, что для определения осевой силы.

## 2.8 Эффективная мощность при сверлении

Мощность резания  $P_{эфф}$ , кВт, определяется равенством

$$P_{эфф} = \frac{M_{кр} n}{9750}, \quad (2.14)$$

где  $M_{кр}$  – крутящий момент, Нм;

$n$  – число оборотов в минуту сверла, определяемое по формуле

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

Число оборотов сверла определяются исходя из условий, для которых определялся крутящий момент.

Все полученные расчетом кинематические и энергетические параметры необходимо сравнить с соответствующими параметрами станков-аналогов действующего парка.

Таблица 2.2 – Величина коэффициента  $C$  для определения подачи при сверлении

Обрабатываемый материал	Коэффициент $C$		
	Группа подач		
	1	2	3
Сталь $\delta_b$ до 350 МПа	0,085	0,063	0,042

Сталь $\delta_b$ от 350 до 700 МПа	0,063	0,047	0,031
Сталь $\delta_b$ от 700 до 900 МПа	0,046	0,038	0,023
Сталь $\delta_b$ свыше 900 МПа	0,038	0,028	0,019
Чугун серый НВ до 170	0,13	0,097	0,065
Чугун серый НВ свыше 170	0,078	0,058	0,039

Группа 1 – Сверление глухих отверстий и рассверливание без допуска.

Группа 2 – Сверление глухих и сквозных отверстий в недостаточно жестких металлах. Сверление под резьбу, рассверливание под последующую обработку зенкером или двумя развертками.

Группа 3 – Сверление глухих и сквозных отверстий и рассверливание под дальнейшую обработку одной разверткой.

Таблица 2.3 – Среднее значение периода стойкости Т сверл

Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	Стойкость Т в мин при диаметре сверла, мм			
		11-20	21-30	31-40	41-50
Сталь конструкционная углеродистая, легированная и стальное литье	Быстрорежущая сталь	45	60	70	90
	Твердый сплав	20	25	35	45
Чугун серый и ковкий	Быстрорежущая сталь	60	75	120	180
	Твердый сплав	45	50	70	90

Таблица 2.4 – Значение коэффициентов и показателей степеней в формуле скорости резания при сверлении

Материал режущей части инструмента	Подача, мм/об	Коэффициент и показатели				
		$C_v$	$q$	$x$	$y$	$m$
Обработка конструкционной углеродистой стали $\sigma_b=750$ МПа						
Сталь быстрорежущая	$\leq 0,2$	7	0,4	0	0,7	0,2
	$> 0,2$	9,8			0,5	

Обработка серого чугуна HB 170						
Сталь быстрорежущая	≤ 0,3	14,7	0,25	0	0,55	0,125
	>0,3	17,1			0,4	
Твердый сплав		34,2	0,45	0	0,3	0,2

Таблица 2.5 – Поправочный коэффициент  $K_M$ , учитывающий влияние механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	
	Твердый сплав	Сталь быстрорежущая
Сталь конструкционная углеродистая и легированная, стальное литьё	$K_M = \frac{750}{\sigma_B}$	$K_M = \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{0,9}$ , при $\sigma_B < 550$ МПа $K_M = \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{-0,9}$
Чугун серый	$K_M = \left( \frac{190}{HB} \right)^{1,25}$	$K_M = \left( \frac{190}{HB} \right)^{1,3}$

Таблица 2.6 – Поправочный коэффициент  $K_M$ , учитывающий влияние материала режущей части инструмента на скорость резания

Обрабатываемый материал	Значение $K_M$ , в зависимости от марки инструментального материала			
	T5K10	T15K6	T30K4	BK9
Сталь конструкционная и стальное литьё	0,65	1,00	1,4	0,4
Чугун серый	BK8	BK6	BK4	BK2
	0,83	1,0	1,1	1,25

Таблица 2.7 – Поправочный коэффициент  $K_L$  на скорость резания, учитывающий влияние глубины отверстия

Глубина обрабатываемого отверстия в диаметрах	3D	4D	5D	6D	8D
Коэффициент $K_L$	1,0	0,85	0,75	0,7	0,6

Таблица 2.8 – Значения поправочного коэффициента  $K_p$  в формулах осевой силы и крутящего момента

Коэффициент $K_p$ при обрабатываемом материале	
Сталь конструкционная и стальное литьё	Чугун серый
$K_p = \left(\frac{\sigma_B}{75}\right)^{0,75}$	$K_p = \left(\frac{HB}{190}\right)^{0,6}$

Таблица 2.9 – Значение коэффициентов и показателей степени в формулах осевой силы и крутящего момента при сверлении

Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени					
		в формуле крутящего момента			в формуле осевой силы		
		$C_m$	$q$	$y$	$C_p$	$q$	$y$
Сталь конструкционная $\sigma_B = 750\text{МПа}$	Быстрорежущая сталь	0,0345	2,0	0,8	68	1,0	0,7
Чугун серый HB 190	Твердый сплав	0,012	2,2	0,8	42	1,2	0,75

### Практическая работа №3

#### Расчет предельных режимов резания и диапазонов регулирования частот вращения шпинделя и подач фрезерных станков

##### 3.1 Общие сведения

Консольно-фрезерные станки относятся к станкам общего назначения, на которых в условиях индивидуального и серийного производства обрабатываются детали широкой номенклатуры. На станках этого типа применяются разнообразные инструменты: фрезы цилиндрические, торцевые, дисковые, концевые, шпоночные и др. Фрезы могут быть из быстрорежущей стали и оснащенные твердым сплавом, цельными и со вставными зубьями, с мелкими и крупными зубьями, различного диаметра – от 3 до 630 мм.

Такое многообразие режущего инструмента и технологических процессов, осуществляемых на консольно-фрезерных станках значительно усложняет выбор предельных расчётных режимов резания при проектировании этих станков и вынуждает прибегать к некоторым условностям и к использованию статистических данных.

Характерными размерами фрезерных станков являются размеры рабочей поверхности стола. Основные технические данные консольно-фрезерных станков приведены в приложении 3.

### 3.2 Расчетные размеры фрез

При определении предельных расчетных значений скоростей резания и чисел оборотов шпинделя возникает вопрос о размерах фрез, наиболее часто применяемых на станках данного габарита. Наиболее характерной обработкой на консольно-фрезерных станках является торцевое фрезерование.

Поэтому в основу проектировочных расчетов положено торцевое фрезерование высокопроизводительными фрезами, оснащенными пластинами твердого сплава.

Максимальный расчетный диаметр фрезы  $D_{\max}$ , мм, устанавливается в зависимости от основной характеристики станка- ширины стола  $B_{\text{ст}}$ , мм, по следующей практической формуле

$$D_{\max} = 0,625 \cdot B_{\text{ст}}. \quad (3.1)$$

Минимальный диаметр фрезы  $D_{\min}$  принимается равным:

$$D_{\min} = 0,25 \cdot D_{\max}. \quad (3.2)$$

Полученные по расчету значения  $D_{\max}$  и  $D_{\min}$  округляется до ближайших значений согласно ГОСТ 8539-69, ГОСТ 9473-80, ГОСТ 9474-73, ГОСТ 5348-69, ГОСТ 9304-69 (табл. 3.1).

### 3.3 Глубина резания

Глубина резания при фрезеровании определяется величиной припуска, снимаемого при обработке в один проход. Глубина резания при черновой обработке  $t$ , мм, определяется величиной стандартного припуска на механическую обработку отливок из чугуна и стальных поковок.

$$t = a, \quad (3.3)$$

где  $a$  - припуск на сторону, мм, чугуновой отливки или стальной поковки.

Величины припусков можно найти в таблицах справочника[1] и в таблице 3.2.

В практике используются следующие зависимости для расчета  $t$ , полученные в результате анализа припусков отливок из серого чугуна, по нормам для серийного и крупносерийного производства

$$t = 0.85 B_{\text{ст}}^{0,35}. \quad (3.4)$$

Аналогичная зависимость для случая обработки стальных заготовок

$$t = 0,22B_{\text{ст}}^{0,45}. \quad (3.5)$$

Глубина резания при чистовом фрезеровании равна припуску на чистовое фрезерование. Припуски на чистовое фрезерование приведены в справочнике [1] и таблице 3.3.

При выборе припусков по таблицам 3.2 и 3.3 следует исходить из наибольших габаритов заготовки, допускаемых размерами стола проектируемого станка.

### 3.4 Предельные значения подачи

Продольная минутная подача стола  $S_M$ , мм/мин, определяется известной формулой

$$S_M = S_z \cdot z \cdot n, \quad (3.6)$$

где  $S_z$  – подача на зуб, мм;

$z$  – число зубьев фрезы;

$n$  – число оборотов фрезы, об/мин.

Подача  $S_z$  является исходной величиной при расчетах скорости, усилия и мощности резания при фрезеровании, и выбирается исходя из расчетных усилий по справочнику [1] или таблицам 3.4, 3.5, 3.6. В таблице 3.6 указывается подача на оборот фрезы, по которой при дальнейшем её применении, находится  $S_z$  по формуле

$$S_z = \frac{S}{z}. \quad (3.7)$$

Как видно из уравнения (3.6), для определения минутной подачи нужно, исходя из расчетных условий, рассчитать число оборотов фрезы.

При выборе расчетных условий для определения максимальной и минимальной минутной подачи следует учитывать, что в формулу (3.6) входят множителями числа оборотов и зубьев фрезы, зависящие от ее диаметра. С увеличением диаметра фрезы уменьшается её число оборотов с одновременным увеличением числа зубьев. На величину  $S_M$  уменьшение числа оборотов фрезы влияет более значительно, чем увеличение числа зубьев.

### Расчетные условия для определения продольной минутной подачи

Максимальная минутная подача  $S_{M\text{max}}$  рассчитывается исходя из условий скоростного фрезерования торцевой мелкозубой фрезой, оснащенной твердым сплавом ВК8, заготовки из серого чугуна наименьшей по заданию твердости.

Минимальная минутная подача  $S_{M\text{min}}$  определяется для случая черного фрезерования концевой фрезой наименьшего диаметра, оснащенной твердым сплавом Т15К6, стальной заготовки наибольшей по заданию твердости.

По статическим данным, максимальная минутная подача у консольно-фрезерных станков имеет значение в пределах от 950 до 1300 мм/мин и минимальная подача – от 20 до 40 мм/мин.

Поперечная и вертикальная минутные подачи определяются в зависимости от продольной минутной подачи  $S_M$ .

Поперечная минутная подача обычно принимается равной

$$S_{M\text{п}} = (0,7 \dots 0,8) S_M \quad (3.8)$$

и вертикальная

$$S_{M\text{в}} = (0,35 \dots 0,4) S_M. \quad (3.9)$$

Наибольшая расчетная ширина фрезерования

Наибольшая расчетная ширина фрезерования  $V$ , мм, принимается исходя из наиболее благоприятных условий врезания зубьев фрезы в металл и зависит от диаметра фрезы  $D$ :

$$V = (0,7 \dots 0,8)D. \quad (3.10)$$

### 3.5 Предельные скорости резания и числа оборотов при фрезеровании

Предельные значения скоростей резания и чисел оборотов определяются назначением станка. Наиболее широкий диапазон регулирования чисел оборотов имеют станки общего назначения. Современные консольные и бесконсольные фрезерные станки имеют диапазоны регулирования чисел оборотов в пределах  $\times 45-50$ .

В настоящее время при обработке фрезами, оснащенными платинами твердого сплава, установились скорости резания: по стали от 100 до 400 и по чугуна от 35 до 150 м/мин.

Выбор предельных значений скоростей резания  $V$ , м/мин, ведут по известной зависимости

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} K_M \cdot K_{II} \cdot K_{III}, \quad (3.11)$$

где  $D$  – диаметр фрезы, мм;

$T$  – стойкость, мин;

$t$  – глубина фрезерования, мм;

$S_z$  – подача на зуб, мм;

$B$  – ширина фрезерования, мм;

$Z$  – число зубьев фрезы;

$K_M$  – коэффициент, учитывающий механические свойства обрабатываемого материала;

$K_{II}$  – коэффициент, учитывающий состояние поверхности;

$K_{III}$  – коэффициент, учитывающий материал режущей части инструмента.

Значение коэффициентов и показателей степени приведены в таблицах 3.7, 3.10, 3.11 и справочнике [1].

При определении предельных значений скоростей резания исходят из следующих расчетных условий. Наименьшая скорость  $V_{min}$  резания рассчитывается для чернового фрезерования торцевой фрезой наибольшего диаметра, оснащенной пластинами быстрорежущей стали марки Р6М5 серого чугуна, наибольшей по заданию твердости.

Наибольшая скорость  $V_{max}$  определяется исходя из чистового фрезерования фрезой наименьшего диаметра, оснащенной твердым сплавом Т15К6, конструкционной стали  $\sigma_B = 750 \text{ МПа}$ .

Предельные значения рассчитываются по известным формулам

$$n_{max} = \frac{1000 \cdot V_{max}}{\pi \cdot D_{min}}; \quad (3.12)$$

$$n_{min} = \frac{1000 \cdot V_{min}}{\pi \cdot D_{max}}. \quad (3.13)$$

Полученные значения необходимо сравнить с соответствующими данными станков - аналогов (табл. А3).

Устанавливая  $n_{max}$  необходимо помнить, что при частоте вращения шпинделя более 3000 об/мин сложно получить достаточно высокий КПД.

### 3.7 Окружная сила резания

Величину окружного усилия  $P_z$ , Н, необходимую для расчета мощности находят пользуясь формулой

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z}{D^q \cdot n^\omega} \cdot K_p, \quad (3.14)$$

где  $n$  – число оборотов зубьев, об/мин;

$z$  – число зубьев фрезы.

Остальные значения все те же, что и в формуле (3.11).

Значение постоянной  $C_p$  и показатель степени приведены в таблицах 3.12 и 3.13. Усилия рассчитываются согласно условиям для определения мощности.

### 3.8 Мощность резания при фрезеровании

Эффективная мощность  $N_{эфф}$ , кВт, рассчитывается по формуле

$$N_{эфф} = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}, \quad (3.15)$$

где усилие  $P_z$  и скорость резания  $v$  определяются формулами (3.14) и (3.11).

Расчетные условия: эффективная мощность рассчитывается для случая черновой обработки серого чугуна НВ190 или стали  $\sigma_b = 750$  МПа торцевыми фрезами наибольшего диаметра, оснащенными пластинами твердого сплава. Расчетная глубина резания определяется по формулам (3.4) и (3.5).

Таблица 3.1 – Основные параметры торцевых и концевых фрез

Фрезы концевые с коническим хвостиком, оснащенные пластинками из твердого сплава (по ТУ 2-035-591-77)

Диаметр фрезы, мм	Длина фрезы, мм	Конус Морзе	Число зубьев фрезы
16	105	2	4
20	125	3	5
25	125	3	5
32	150	4	5
40	150	4	6
50	190	5	6
Фрезы торцевые насадные со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом ГОСТ 8539 – 69			
Диаметр фрезы, мм	Диаметр отверстия, мм	Число зубьев фрезы	
100	32	8	
125	40	8	
160	50	10	
200	50	12	
250	50	14	
320	60	18	
400	60	20	
500	60	26	
630	60	30	



Фрезы торцевые насадные со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом (мелкозубые) ГОСТ 9473 - 80		
100	32	10
125	40	12
160	50	16
200	50	20
250	50	24
315	60	30
400	60	36
500	60	44
630	60	52

Таблица 3.2 – Припуски на механическую обработку

Припуски на механическую обработку отливок из серого чугуна

Наибольший размер отливки, мм	Серийное производство		Индивидуальное производство	
	Наибольший припуск на сторону, мм			
	Простые отливки	Сложные отливки	Простые отливки	Сложные отливки
До 100 вкл.	3	3	3	4
Св. 100 до 200 вкл.	3	4	4	5
“200” “300”	3	5	5	6
“300” “500”	4	6	6	8
“500” “800”	5	7	7	9
“800” “1200”	6	8	8	10

Припуски на механическую обработку поковок прямоугольного сечения, мм на сторону

Длина детали, мм	Ширина детали, мм					
	До 50	Св.50 до100	Св.100 до150	Св.150 до 200	Св.200 до 250	Св.250 до300
До250	3	3,5	4	5	6	7
Св.250 до 500	3	4	4	5	6	7
Св.500 до 1000	3,5	4	4,5	5,5	6,5	7,5
Св. 1000 до 1500	3,5	4	5	6	7	8

Таблица 3.3 – Припуск на чистовое фрезерование плоскостей после черновой обработки. Припуски даны на обработку одной стороны

Длина обрабатываемой поверхности, мм	Ширина обрабатываемой поверхности, мм		
	До 100	Св. 100 до 300	Св. 300 до 1000
До300	1	1,5	2
Св.300 до 1000	1,5	2	2,5
Св. 1000 до 2000	2	2,5	3

Таблица 3.4 – Подача на один зуб фрезы  $S_z$ , мм, при черновом фрезеровании плоскостей и уступов торцевыми, цилиндрическими и дисковыми фрезами оснащенными твердым сплавом

Мощность станка, кВт	Сталь		Чугун	
	T15K6	T5K10	BK8	BK6
От 5 до 10	0,09 – 0,18	0,12 – 0,18	0,20 – 0,29	0,14 – 0,24
Св. 10	0,12 – 0,18	0,16 – 0,24	0,25 – 0,38	0,18 – 0,28

При фрезеровании достигается параметр шероховатости поверхности  $R_a=0,8-1,6$  мкм.

Таблица 3.5 – Подача на один зуб фрезы  $S_z$ , мм, при фрезеровании плоскостей и уступов твердосплавными концевыми фрезами

Диаметр фрезы, мм	Глубина фрезерования, мм			
	1 - 3	5	8	12
20 – 25	0,12 – 0,07	0,10 - 0,05	0,10 – 0,03	0,03 – 0,05
30 – 40	0,18 – 0,10	0,12 – 0,08	0,10 – 0,06	0,10 – 0,05
50 - 60	0,20 – 0,10	0,16 – 0,10	0,12 – 0,08	0,12 – 0,06

Нижние пределы подач – при большой ширине фрезерования на станках средней мощности. Указанные в таблице подачи обеспечивают параметр шероховатости поверхности  $R_a=0,8-1,6$  мкм.

Таблица 3.6 – Подача, мм/об, при чистовом фрезеровании плоскостей торцевыми фрезами из твердого сплава

Параметр шероховатости поверхности $R_a$ , мкм	Торцевые и дисковые фрезы со вставными ножами	
	Из твердого сплава	Из быстрорежущей стали
6,3	-	1,2-2,7
3,2	0,5-0,1	0,5-1,2
1,6	0,4-0,6	0,23-0,5
0,8	0,2-0,3	-
0,4	0,15	-

Таблица 3.7 – Значение коэффициентов и показателей степени в формуле скорости резания при фрезеровании

Тип фрезы	Материал режущей части фрезы	$C_v$	$q$	$x$	$y$	$u$	$p$	$m$
		Обработка конструкционной углеродистой стали $\sigma_b = 750$ МПа						
Торцевая	T15K6	332	0,2	0,1	0,4	0,2	0	0,2
		41	0,25	0,1	0,4	0,15	0	0,2
	P6M5							

Концевая	T15K6 P6M5	234	0,44	0,24	0,26	0,1	0,13	0,37
		46,7	0,45	0,5	0,5	0,1	0,1	0,33
Обработка серого чугуна HB 190								
Торцевая	BK6 P6M5	445	0,2	0,15	0,35	0,2	0	0,32
		42	0,2	0,1	0,4	0,1	0,1	0,15

Таблица 3.8 – Среднее значение периода стойкости фрез, мин

Тип фрезы	Диаметр фрезы, мм					
	До 25	25 - 40	40 - 150	150 -250	250 – 300	300 -400
Концевая	60	90	120	-	-	-
Торцевая	-	120	180	240	300	400

Таблица 3.9 – Поправочный коэффициент  $K_M$ , учитывающий влияние на скорость резания механических свойств обрабатываемого материала при фрезеровании фрезами с твердым сплавом

Обрабатываемый материал	Формула
Сталь конструированная углеродистая	$K_M = \frac{75}{\sigma_B}$
Чугун серый	$K_M = \left( \frac{190}{HB} \right)^{1,25}$

Таблица 3.10 – Поправочный коэффициент  $K_P$ , учитывающий влияние на скорость резания состояния поверхности заготовки

Без корки	С коркой		
	Поковка	Литье обычное	Литье с загрязненной коркой
1,0	0,8	0,8 – 0,85	0,5 – 0,6

Таблица 3.11 – Поправочный коэффициент  $K_I$ , учитывающий влияние на скорость резания материала режущей части инструмента

Обрабатываемый материал	Марка твердого сплава	$K_I$
Сталь конструкционная	T5K10	0,65
	T15K6	1,00
Чугун серый	BK8	0,85
	BK6	1,00

Таблица 3.12 – Значения коэффициентов и показателей степени в формулах окружной силы  $P_z$  при обработке фрезами конструкционной стали

$$\sigma_B = 750 \text{ МПа}$$

Тип фрезы		$C_p$	$x$	$y$	$u$	$\omega$	$q$
Торцевая	Твердый сплав	825	1,0	0,75	1,1	0,2	1,3
	Быстрорежущая сталь	82,5	0,95	0,8	1,1	0	1,1
Концевая	Твердый сплав	125	0,85	0,75	1,0	-0,13	0,73
	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0	0,86

Таблица 3.13 – Значения коэффициента  $K_p$ , учитывающего влияние на силу резания механических свойств обрабатываемого материала

Сталь конструкционная и сталь литая	Чугун серый
$K_p = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^{0,75}$	$K_p = \left( \frac{HB}{190} \right)^{0,4}$

Приложение А  
Основные технические характеристики металлорежущих станков

Таблица А.1 – Токарно-винторезные станки

№	Наименование показателей	Модели станков		
		1603	1E604	1604
1	Наибольший диаметр обрабатываемой детали: над станиной; над суппортом	160 80	200 100	200 110
2	Наибольший диаметр прутка, обрабатываемого в патроне	18		20
3	Расстояние между центрами	250	350	
4	Шаг нарезаемой резьбы: метрической; дюймовой / число ниток 1"/; модульной /модуль/		0,2-3,0 40-8 0,3-1	
5	Диаметр отверстия шпинд.	19,5	20	21
6	Конус отверстия шпинделя	<b>Морзе 3</b>		Морзе 4
7	Наибольшее перемещение суппорта: продольное; поперечное	250 95	250 115	350 115
8	Наибольшее перемещение салазок	-	60	78
9	Конус Морзе пиноли	2		
10	Наибольшее перемещение пиноли	55		70
11	Число ступеней оборотов шпинделя	Бесступенчатое регулирование		
12	Число оборотов шпинделя в минуту	56-3150		44-3000
13	Число ступеней подач суппорта	-	<b>Бесступенчатое</b>	

14	Поддача суппорта: продольная; поперечная.	0,01-0,3 Ручная	14-100 мм/мин
15	Мощность главного электродвигателя , кВт	1,1	

Продолжение таблицы А.1

№	Наименование показателей	Модели станков		
		1И611П	1М61	1А616
1	Наибольший диаметр обрабатываемой детали: над станиной; над суппортом	250 125	320 160	180
2	Наибольший диаметр прутка, обрабатываемого в патроне	25	34	
3	Расстояние между центрами	500	710,1000	710
4	Шаг нарезаемой резьбы: метрической; дюймовой /число ниток 1"/; модульной / модуль /	0,2-48 24-0,5 0,2-30	0,5-6,0 48-3 0,25-3	0,5-24 56-1 0,25-22
5	Диаметр отверстия шпинд.	25	35	
6	Конус отверстия шпинделя	<b>Морзе 4</b>	<b>Морзе 5</b>	
7	Наибольшее перемещение суппорта: продольное: поперечное	500 180	600,930 180	670 195
8	Наибольшее перемещение салазок	120	110	120
9	Конус Морзе пиноли	3	4	
10	Наибольшее перемещение пиноли	85	100	120
11	Число ступеней оборотов шпинделя	21	24	21
12	Число оборотов шпинделя в минуту	20-2000	12,5-1600	9-1800
13	Число ступеней подач суппорта	<b>25</b>	<b>24</b>	<b>16</b>

14	Поддача суппорта: продольная; поперечная	0,022-6 0,013-3	0,08-1,9 0,04-0,95	0,065-0,91 0,065-0,91
15	Мощность главного электродвигателя, кВт	3	4	

Продолжение таблицы А.1

№	Наименование показателей	Модели станков		
		1К62	1К625	1М63
1	Наибольший диаметр обрабатываемой детали: над станиной; над суппортом	400 220	500 260	630 350
2	Наибольший диаметр прутка, обрабатываемого в патроне	45	50	65
3	Расстояние между центрами	710,1000, 1400	1000,1400,2 000	1400,2800
4	Шаг нарезаемой резьбы : метрической; дюймовой /число ниток 1”/; модульной / модуль /	1-192 24-2 0,5-48		1-192 24-4 1-96
5	Диаметр отверстия шпинд.	47	52	70
6	Конус отверстия шпинделя	<b>Морзе 6</b>		<b>Метрич. 80</b>
7	Наибольшее перемещение суппорта: продольное;  поперечное	640,930, 1130 250	930,1330, 1930 350	1120,2520  400
8	Наибольшее перемещение салазок	140	145	200
9	Конус Морзе пиноли	5		
10	Наибольшее перемещение пиноли	200		240
11	Число ступеней оборотов шпинделя	23		22
12	Число оборотов шпинделя в минуту	12,5-2000		10-1250



13	Число ступеней подачи суппорта	<b>42</b>		<b>44</b>
14	<i>Подача суппорта:</i> продольная; поперечная.	0,07-4,16 0,035-2,08		0,064-1,025 0,026-0,378
15	Мощность главного электродвигателя, кВт	107,5-10		13

Продолжение таблицы А.1

№	Наименование показателей	Модели станков		
		16Б16А	1М61П	1К620П
	Наибольший диаметр обрабатываемой детали: над станиной; над суппортом	320 180	320 160	400 220
2	Наибольший диаметр прутка, обрабатываемого в патроне	50		
3	Расстояние между центрами	710,1000		
4	Шаг нарезаемой резьбы: метрической; дюймовой / число ниток 1"/; модульной / модуль /	0,5-112 56-0,25 0,5-112		
5	Диаметр отверстия шпинд.	52		
6	Конус отверстия шпинделя	5		
7	Наибольшее перемещение суппорта: продольное; поперечное	645-935 300		
8	Наибольшее перемещение салазок	150		
9	Конус Морзе пиноли	5		
10	Наибольшее перемещение пиноли	200		
11	Число ступеней оборотов шпинделя	21	22	
12	Число оборотов шпинделя в минуту	20-2000	12,5-1600	
13	Число ступеней подач суппорта			
14	<i>Подача суппорта:</i>  продольная; поперечная.	0,01-0,7 0,05-0,35	0,08-1,2 0,04-0,6	0,05-2,8 0,025-1,4
15	Мощность главного электродвигателя, кВт	4,6	4,0	10

Таблица А.2 – Сверлильные станки

## 2.1 Вертикально-сверлильные станки

№	Наименование показателей	Модели станков		
		2Н103П 2В103П	2Н106П 2В106П	2Н112П 2В112П
1	Наибольший условный диаметр сверления	3	6	12
2	Размеры рабочей поверхности стола	140x140	200x200	250x250
3	Расстояния: от торца шпинделя до поверхности стола;	35-175	50-250	70-420
	от торца шпинделя до поверхности фундаментной плиты;	31-175	50-250	70-420
	от оси шпинделя до стойки (вылет шпинделя)	100	125	160
4	Наибольшее: вертикальное перемещение стола;	-	-	-
	вертикальное перемещение сверлильной головки;	100	130	250
	ход шпинделя	40	70	120
5	Конус Морзе отверстия шпинделя	-	1а	2а
6	Число ступеней оборотов шпинделя	7	10	10
7	Число оборотов шпинделя	2000-16000	1000-8000	500-4000
8	Число механических подач шпинделя	Ручная подача		
9	Подача шпинделя			
10	Наибольшее усилие подачи			
11	Крутящий момент на шпинделе			
12	Мощность главного эл. двигателя, кВт	0,27/0,47	0,4/0,6	0,6

Продолжение таблицы А.2

№	Наименование показателей	Модели станков		
		2Н118	2Н125	2Н135
1	Наибольший условный диаметр сверления	18	25	35
2	Размеры рабочей поверхности стола	360x320	400x450	450x500
3	Расстояния: от торца шпинделя до поверхности стола;	0-650	60-700	30-750
	от торца шпинделя до поверхности фундаментной плиты;	-	690-1060	750-1170
	от оси шпинделя до стойки (вылет шпинделя)	200	250	300
4	Наибольшее: вертикальное перемещение стола; вертикальное перемещение сверлильной головки; ход шпинделя	350	270	300
		300	170	170
		150	200	250
5	Конус Морзе отверстия шпинделя	2	3	4
6	Число ступеней оборотов шпинделя	9	9	12
7	Число оборотов шпинделя	180-2800	45-2000	31,5-1400
8	Число механических подач шпинделя	6	9	9
9	Подача шпинделя	0,1-0,56	0,1-1,6	0,1-1,6
10	Наибольшее усилие подачи,Н	5600	9000	15000
11	Крутящий момент на шпинделе,Нм	8800	25000	40000
12	Мощность главного электро-двигателя,кВт	1,5	2,2	4,0

Продолжение таблицы А.2

№	Наименование показателей	Модели станков	
		2Н150	2Н170

1	Наибольший условный диаметр сверления	50	75
2	Размеры рабочей поверхности стола	500x550	630x750
3	Расстояния: от торца шпинделя до поверхности стола;	0-800	100-950
	от торца шпинделя до поверхности фундаментной плиты;	700-1250	900-1400
	от оси шпинделя до стойки (вылет шпинделя).	350	400
4	Наибольшее: вертикальное перемещение стола;	360	350
	вертикальное перемещение сверлильной головки;	250	500
	ход шпинделя.	300	500
5	Конус Морзе отверстия шпинделя	5	6
6	Число ступеней оборотов шпинделя	12	12
7	Число оборотов шпинделя	22,4-1000	22-1018
8	Число механических подач шпинделя	12	9
9	Подача шпинделя	0,05-2,24	0,15-3,2
10	Наибольшее усилие подачи,Н	23500	40000
11	Крутящий момент на шпинделе,Нм	80000	250000
12	Мощность главного эл. двигателя,кВт	7,5	10,0

Продолжение таблицы А.2

## 2.2 Радиально-сверлильные станки

№	Наименование показателей	Модели станков
---	--------------------------	----------------

		2М53 2Н53	2Н55	2М57
1	Наибольший условный диаметр сверления	35	50	70
2	Диаметр круга, описываемого при вращении рукава его концом	-	4370	5690
3	Расстояния: от оси до колонны (вылет шпинделя); от нижнего торца вертикального шпинделя до рабочей поверхности фундаментной плиты	325-1250	410-1600	500-2000
		400-1400	450-1600	450-1800
4	Наибольшее горизонтальное перемещение сверлильной головки по рукаву (по станине)	925	1190	1500
5	Наибольшее вертикальное перемещение рукава по колонне	700	800	900
6	Конус Морзе отверстия шпинделя	4	5	6
7	Диаметр стакана шпинделя	-	90	110
8	Наибольшее вертикальное перемещение шпинделя	300	350	400
9	Число ступеней оборотов шпинделя	12	21	22
10	Число оборотов шпинделей	50-2240 25-2500	20-2000	12,5-1600
11	Число ступеней подач	12		18
12	Диапазон ступеней подач	0,04-1,8	0,056-2,5	0,063-3,15
13	Наибольшее усилие подачи, Н	-	20000	32000
14	Мощность приводного эл.двигателя, кВт	3,0/2,8	4,0	7,5

Продолжение таблицы А.2

№	Наименование показателей	Модели станков		
		2Е52	2Ш55	2Ш57
1	Наибольший условный диаметр сверления	25	50	75
2	Диаметр круга, описываемого при	1120	1800	2540

	вращении рукава его концом			
3	Расстояния: от оси до колонны (вылет шпинделя); от нижнего торца вертикального шпинделя до рабочей поверхности фундаментной плиты	325-852	1600	2240
		0-900	150-1800	100-2360
4	Наибольшее горизонтальное перемещение сверлильной головки по рукаву (по станине)	500	1600	1600
5	Наибольшее вертикальное перемещение рукава по колонне	890	-	-
6	Конус Морзе отверстия шпинделя	3	5	6
7	Диаметр стакана шпинделя	-	-	-
8	Наибольшее вертикальное перемещение шпинделя	130	400	600
9	Число ступеней оборотов шпинделя	8	21	22
10	Число оборотов шпинделей	56-1400	10-1000	6.25-800
11	Число ступеней подач	3	8	
12	Диапазон ступеней подач	0,1-0,2	0,1-1,12	
13	Наибольшее усилие подачи,Н	5000	-	
14	Мощность приводного электродвигателя,кВт	2,2	4,0	7,0

Таблица А.3 - Фрезерные станки

### 3.1 Консольные и бесконсольно-фрезерные станки

№	Наименование показателей	Модели станков		
		6Н104	6Н10	6М11 6М11В

1	Размеры рабочей поверхности стола /ширина × длина /, мм	160×630	200×800	250×1000
2	Расстояние от торца шпинделя до поверхности стола	30-330	40-390	30-445
3	Расстояние от вертикальных направляющих до оси шпинделя	-		310
4	Наибольшее механическое перемещение стола: продольное; поперечное; вертикальное	400 125 330	500 160 350	580 200 412
5	Конус Морзе отверстия шпинделя	2		
6	Число ступеней оборотов шпинделя	12		
7	Число оборотов шпинделя в минуту	71-3150	50-2240	40-2000
8	Число ступеней подачи	<b>12</b>		
9	Рабочая подача стола /или бабки/: продольная; поперечная; вертикальная	16-710 Ручная Ручная	25-1120 18-800 9-400	20-1000  6,3-333
10	Наибольший крутящий момент на шпинделе, кгс·м			
11	Наибольшее усилие резания: при продольной подаче; поперечной подаче; вертикальной подаче			
12	Наибольший диаметр фрезы при черновой обработке, мм			
13	Мощность главного электродвигателя, кВт	1,5	3	4

Продолжение таблицы А.3

№	Наименование показателей	Модели станков		
		6М12П	6А12П 6А12Р	6М13П
1	Размеры рабочей поверхности стола /ширина × длина /, мм	320x1250	320x1250	400x1600
2	Расстояние от торца шпинделя до поверхности стола	30-400	35-435	30-250



3	Расстояние от вертикальных направляющих до оси шпинделя	350	320	450
4	Наибольшее механическое перемещение стола: продольное; поперечное; вертикальное	700 240 370	760 260 400	900 300 420
5	Конус Морзе отверстия шпинделя	3		
6	Число ступеней оборотов шпинделя	18		
7	Число оборотов шпинделя в минуту	31,5-1600	40-2000	31,5-1600
8	Число ступеней подач	<b>18</b>		
9	Рабочая подача стола /или бабки/: продольная поперечная вертикальная	25-1250 8,3-416,6 8,3-416,6	20-1000 8-400 8-400	40-2000 13,3-416 13,3-416
10	Наибольший крутящий момент на шпинделе, Нм			
11	Наибольшее усилие резания: при продольной подаче; поперечной подаче; вертикальной подаче			
12	Наибольший диаметр фрезы при черновой обработке, мм			
13	Мощность главного электродвигателя в кВт	7,5	5,5	10,0

Продолжение таблицы А.3

№	Наименование показателей	Модели станков		
		654	6A56	6A59
1	Размеры рабочей поверхности стола /ширина × длина /, мм	630x1600	800x2000	1000x2500
2	Расстояние от торца шпинделя до поверхности стола	1000-710	50-900	50-1000
3	Расстояние от вертикальных направляющих до оси шпинделя	640	-	

4	Наибольшее механическое перемещение стола: продольное; поперечное; вертикальное	1250 600 -	1600 750 -	2000 950 -
5	Конус Морзе отверстия шпинделя	3	-	
6	Число ступеней оборотов шпинделя	18	Бесступенчатое	
7	Число оборотов шпинделя в минуту	25-1250	20-1600	
8	Число ступеней подачи	<i>Бесступенчатое</i>		
9	Рабочая подача стола /или бабки/: продольная; поперечная	20-1250 4-480	10-250 10-250	10-1000 10-1000
10	Наибольший крутящий момент на шпинделе, Нм			
11	Наибольшее усилие резания: при продольной подаче; поперечной подаче; вертикальной подаче			
12	Наибольший диаметр фрезы при черновой обработке, мм			
13	Мощность главного электродвигателя в кВт	13	20	20

Продолжение таблицы А.3

№	Наименование показателей	Модели станков		
		6П12	6Р13	6Р13Б
1	Размеры рабочей поверхности стола /ширина × длина /, мм	320x1250	400x1600	
2	Расстояние от торца шпинделя до поверхности стола	30-450	300-500	
3	Расстояние от вертикальных направляющих до оси шпинделя	350	420	

4	Наибольшее механическое перемещение стола: продольное; поперечное; вертикальное	800 240 410	1000 320 410	
5	Конус Морзе отверстия шпинделя	3		
6	Число ступеней оборотов шпинделя	18		
7	Число оборотов шпинделя в минуту	31,5-1600	31,5-1600	50-2500
8	Число ступеней подач	<b>18</b>		
9	Рабочая подача стола /или бабки/: продольная; поперечная; вертикальная	25-1250 8,3-416,6 8,3-416,6	25-1250 8,3-416,6 8,3-416,6	40-2000 13,3-666 13,3-666
10	Наибольший крутящий момент на шпинделе, Нм	1010	1370	
11	Наибольшее усилие резания, Н,: продольная подача поперечная подаче вертикальная подаче	15000 12000 5000	20000 12000 8000	
12	Наибольший диаметр фрезы при черновой обработке, мм	160	200	
13	Мощность главного электродвигателя, кВт	10	10	13

Продолжение таблицы А.3

### 3.2 Горизонтальные и горизонтально-универсальные фрезерные станки

	Наименование показателей	Модели станков		
		6Н804Г	6Н80Г	6Н80
1	Размеры рабочей поверхности стола	160 x 630	200x800	

2	Расстояние от оси шпинделя: до стола; до хобота	30-330 115	50-350 123	20-320 123
3	Наибольшее расстояние от вертикальных направляющих до задней кромки стола	70	240	
4	Конус отверстия шпинделя ГОСТ 836-62	4	2	
5	Число ступеней частот вращения шпинделя	12		
6	Число оборотов шпинделя в минуту	71-3150	50-2240	
7	Число ступеней подач стола	12		
8	Подача стола: продольная; поперечная; вертикальная	16-710 Ручная Ручная	25-1120 18-800 9-400	
9	Мощность главного электродвигателя, кВт	1,5	3	

Продолжение таблицы А.3

№	Наименование показателей	Модели станков		
		6М81Г 6М81	6М82Г 6М82	6М83Г 6М83
1	Размеры рабочей поверхности стола	250x1000	320x1250	400x1600

2	Расстояние от оси шпинделя: до стола; до хобота	30-480 150	30-450 155	30-380 190
3	Наибольшее расстояние от вертикальных направляющих до задней кромки стола	85-295	300	
4	Конус отверстия шпинделя ГОСТ 836-62	2	3	
5	Число ступеней частот вращения шпинделя	18		
6	Число оборотов шпинделя в минуту	40-2000	31,5-1600	
7	Число ступеней подач стола	18		
8	Подача стола: продольная; поперечная; вертикальна	20-1000 6,5-333 6,5-333	25-1250 8,3-416,6 8,3-416,6	
9	Мощность главного электродвигателя, кВт	4,0	7,5	10,0

Продолжение таблицы А.3

3.3 Широкоуниверсальные фрезерные станки

№	Наименование показателей	Модели станков		
		6Н80Ш	6М81Ш	6М82Ш
1	Размеры рабочей поверхности стола	200x800	250x1000	320x1250

2	Расстояние до поверхности стола:			
	от оси горизонтального шпинделя;	50-350	30-430	30-450
	от торца шпинделя поворотной бабки	50-350	50-500	80-560
3	Конус отверстия: горизонтального шпинделя (по ГОСТ 836-62); вертикального шпинделя	2 Морзе 4	2 Морзе 3	3 2
4	Наибольшее перемещение стола:			
	продольное;	500	580	700
	поперечное;	100	200	260
	вертикальное	300	400	420
5	Число ступеней оборотов шпинделя	12	18	
6	Число оборотов шпинделя в минуту: горизонтального; вертикального	50-2240 56-2500	40-2000 50-2500	31,5-1600 90-1400
7	Число ступеней подачи стола	12	18	
8	Подача стола, мм/мин: продольная; поперечная или бабки шпинделя	95-1120 18-800	20-1000	25-1250
9	Мощность главного электродвигателя, кВт	3	4,5	7,5

Продолжение таблицы А.3

№	Наименование показателей	Модели станков			
		6М83Ш	675	675П	676 676П
1	Размеры рабочей поверхности стола	400x1600	200x500		250x630
2	Расстояние до поверхности стола: от оси горизонтального шпинделя; от торца шпинделя поворотной бабки	30-450	30-330		70-470
		15-495	0-250		0-375
3	Конус отверстия: горизонтального шпинделя (по ГОСТ 836-62); вертикального шпинделя	3 2	4		4

4	Наибольшее перемещение стола: продольное; поперечное; вертикальное	900 300 420	320 300 300	450 400 300
5	Число ступеней оборотов шпинделя	18	16	
6	Число оборотов шпинделя в минуту: горизонтального; вертикального	31,5-1600 90-1400	50-1630 63-2040	
7	Число ступеней подачи стола	18	16	
8	Подача стола в мм/мин: продольная; поперечная/или бабки шпинделя/	25-1250 8,3-416,6	13-395 13-395	
9	Мощность главного электродвигателя, кВт	10	1,7	2,2

#### ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

1. Построение графика частот вращения
2. Определение пределов регулирования
3. Определение передаточного отношения органов настройки
4. Синтез кинематической схемы привода по структурной формуле
5. Определение ряда частот вращения и проверка точности передаточных отношений

## Практическая работа № 4

### Кинематический расчет приводов

#### 1 Графоаналитический метод расчета ступенчатых приводов

Расчет приводов главного движения выполняется с использованием нижеприведенной методики.

1.1 Зная максимальный и минимальный диаметры обработки, выбранным предельным значениям скоростей резания  $V_{\max}$  и  $V_{\min}$ , определяют максимальную и минимальную частоты вращения шпинделя:

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot V_{\max}}{\pi \cdot d_{\min}} \quad \text{и} \quad n_{\min} = \frac{1000 \cdot V_{\min}}{\pi \cdot d_{\max}}, \quad (1.1)$$

где  $V_{\max}$  и  $V_{\min}$  - скорости резания, м/мин;

$d_{\min}$  и  $d_{\max}$  - предельные диаметры обработки (или инструментов), мм.

1.2 Определяют диапазон регулирования привода:

$$R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}. \quad (1.2)$$

1.3 Принимают знаменатель геометрического ряда в зависимости от степени специализации станка. Нормаль станкостроения Н11-1 рекомендует применять при проектировании универсальных станков средних размеров в основном знаменатели ряда  $\varphi = 1,26$  и  $\varphi = 1,41$ .

1.4 Определяют число ступеней частот вращения исполнительного звена:

$$Z = \frac{\lg R_n}{\lg \varphi} + 1. \quad (1.3)$$

Желательно, чтобы число ступеней частот вращения было произведением множителей 2 и 3 (две или три передачи между валами). Этому условию соответствуют значения

$$Z = 2, 3, 4, 6, 8, 9, 12, 16, 18, 24, 27, 32, 36.$$

В приводах наиболее часто применяют значения

$$Z = 3, 4, 6, 8, 12, 18, 24,$$

поэтому полученные значения округляют до ближайшего большего.

Однако, используя формулу (9.4) на исполнительном звене, можно получить любое число ступеней  $Z_H$ , но в этом случае в ряду частот вращения будут повторяющиеся значения.

1.5 Уточняют значения  $n_{\min}$ , исходя из принятого  $Z$ , так как увеличение числа ступеней частот вращения до ближайшего большего приводит к расширению диапазона регулирования. Оставляя неизменной максимальную частоту вращения исполнительного звена, имеют:

$$n_{\min} = \frac{n_{\max}}{\varphi^{Z-1}}. \quad (1.4)$$

1.6 Принимают стандартные значения для минимальной, максимальной и промежуточных частот вращения в соответствии с нормалью станкостроения Н11-1 (приложение А), т.е. принимают стандартный ряд частот вращения на исполнительном звене.

1.7 Определяют значение мощности приводного двигателя по полезной мощности резания  $N_{\rho}$  для наиболее эффективного режима:



$$N_{\text{дв}} = \frac{1,25 \cdot N_{\text{э}}}{\eta}, \quad (1.5)$$

где  $N_{\text{э}}$  - эффективная мощность в  $kBm$  для наиболее нагруженного режима обработки;  
 $\eta$  - коэффициент полезного действия цепи главного движения.

При предварительных расчетах по формуле (1.5) можно принять  $\eta = 0,70 \div 0,85$  - для станков с вращательным движением и  $\eta = 0,60 \div 0,70$  - для станков с поступательным движением.

При предварительных расчетах мощность электродвигателя можно принять по аналогии с существующими станками сходных типоразмеров.

Тип электродвигателя подбирают по каталогам по мощности и частоте вращения.

1.8 Записывают структурную формулу привода и проверяют ее на возможность конструктивного осуществления данной коробки в виде простой множительной структуры (проверка на  $\varphi_{\text{max}}$ ) по последней переборной группе.

$$Z = P_{ax_0} \times P_{bx_0} \times P_{cx_0}; \quad (1.6)$$

$$\varphi_{\text{max}} = \sqrt[(P_c - 1) \cdot x_2]{8}, \quad (1.7)$$

где  $P_a$ ,  $P_b$  и  $P_c$  - числа передач в группах;

$x_0$ ,  $x_1$  и  $x_2$  - характеристики групп.

Если вычисленное значение  $\varphi_{\text{max}}$  равно или больше чем  $\varphi$ , принятое в кинематическом расчете (п.3), то коробка может быть выполнена в виде простой множительной структуры. Если  $\varphi_{\text{max}} < \varphi$ , то необходимо переходить к сложенной структуре.

Эту же проверку можно проводить и по величине диапазона регулирования, учитывая число передач в последней переборной группе. Вычерчивают кинематическую схему проектируемого привода и его структурную сетку.

1.9 Строят график частот вращения исполнительного звена, начиная построение с "нижней" кинематической цепи.

1.9.1 Вычисляют минимальное общее передаточное отношение кинематической цепи, связывающей электродвигателя с минимальной частотой вращения шпинделя

$$i_{\text{min общ}} = \frac{n_{\text{min}}}{n_{\text{дв}}} = \frac{1}{\frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{min}}}} = \frac{1}{C}, \quad (1.8)$$

где  $n_{\text{min}}$  - минимальная частота вращения шпинделя;

$n_{\text{дв}}$  - частота вращения ротора двигателя;

1.9.2 Выражают минимальное общее передаточное отношение привода через знаменатель ряда геометрической прогрессии:

$$i_{\text{min общ}} = \frac{1}{C} = \frac{1}{\varphi^A}.$$

Показатель степени при  $\varphi$  определяют из условия

$$A = \frac{\lg C}{\lg \varphi}. \quad (1.9)$$

1.9.3 Определяют предел, в котором могут изменяться минимальные передаточные отношения в группах:

для основной группы:

$$\frac{1}{4} \leq i_{a \min} \leq \frac{2}{\varphi^{(P_a-1) \cdot x_0}}, \quad (1.10)$$

для первой переборной группы:

$$\frac{1}{4} \leq i_{b \min} \leq \frac{2}{\varphi^{(P_b-1) \cdot x_1}}, \quad (1.11)$$

для второй переборной группы:

$$\frac{1}{4} \leq i_{c \min} \leq \frac{2}{\varphi^{(P_c-1) \cdot x_2}}, \quad (1.12)$$

где  $i_{a \min}$ ,  $i_{b \min}$  и  $i_{c \min}$  - минимальные передаточные отношения в основной, в первой и во второй переборной группах;

$x_0$ ,  $x_1$  и  $x_2$  - характеристики групп.

1.9.4 Распределяют минимальное общее передаточное отношение цепи, связывающее двигатель со шпинделем по группам передач привода

$$i_{\min \text{ общ}} = i_{кр} \cdot i_{a \min} \cdot i_{b \min} \cdot i_{c \min} \cdot i_{ун}, \quad (1.13)$$

где  $i_{кр}$  - передаточное отношение клиноременной передачи;

$i_{ун}$  - передаточное отношение разгрузочной передачи на шпиндель.

Но  $i_{\min \text{ общ}}$  можно представить как

$$i_{\min \text{ общ}} = \frac{1}{\varphi^A} = \frac{1}{\varphi^{a_1}} = \frac{1}{\varphi^{a_2}} = \frac{1}{\varphi^{a_3}} = \frac{1}{\varphi^{a_4}} = \frac{1}{\varphi^{a_5}},$$

где  $(a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5) = A$ .

При распределении минимального общего передаточного отношения по группам минимальное передаточное отношение в каждой группе не должно выходить за пределы, определенные ранее в п.1.9.3. После построения "нижней" ветви, используя структурную сетку, проводят на графике линии, соответствующие передачам в группах.

1.10 Определяют передаточные отношения зубчатых передач в группах по графику частот вращения.

1.11 Определяют числа зубьев зубчатых пар расчетным или табличным методом (приложение Б) и выносят числа зубьев колес на кинематическую схему и график частот вращения.

1.12 Вычисляют действительный ряд частот вращения на исполнительном звене. Отклонения действительных частот вращения от стандартных не должны превышать значения

$$\Delta n = \pm(\varphi - 1), \%$$

Если расхождения больше допустимых, необходимо более тщательно определить числа зубьев в групповых передачах.

## 2 Аналитический метод расчета ступенчатых приводов

При выполнении кинематического расчета аналитическим методом на первой стадии последовательность и содержание расчетов остаются такими же, как и при графоаналитическом методе (п.п. 1.1-1.9). В дальнейшем иначе определяются передаточные отношения в группах.

2.10. Определяют передаточные отношения в группах, используя уравнение настройки

$$i_1 : i_2 : i_3 : \dots : i_m = 1 : \varphi^x : \varphi^{2x} : \dots : \varphi^{(m-1) \cdot x}. \quad (2.1)$$

для основной группы  $i_1 : i_2 : i_3 = 1 : \varphi^{x_0} : \varphi^{2x_0}$ ;

для первой переборной группы  $i_4 : i_5 : i_6 = 1 : \varphi^{x_1} : \varphi^{2x_1}$ ;

для второй переборной группы  $i_7 : i_8 : i_9 = 1 : \varphi^{x_2} : \varphi^{2x_2}$ ;

и т.д.

Пределы, в которых могут находиться минимальные передаточные отношения в группах, определяются по формулам (1.10) ÷ (1.12).

Задаваясь значением минимального предельного отношения в каждой группе, определяют значения передаточных отношений остальных передач.

2.11. Вычисляют общее передаточное отношение постоянных передач (клиноременной, между предпоследним валом и шпинделем и т.д.), предварительно определив минимальное общее передаточное отношение

$$i_{\min \text{ общ}} = \frac{n_{\min}}{n_{\text{об}}}; i_{\text{const}} = \frac{i_{\min \text{ общ}}}{i_{a \min} \cdot i_{b \min} \cdot i_{c \min}}. \quad (2.2)$$

Вычисленное значение  $i_{\text{const}}$  распределяют между передачами привода, имеющими постоянные передаточные отношения.

2.12. Строят график частот вращения.

3.13. Определяют числа зубьев колес привода.

2.14. Вычисляют действительные значения частот вращения конечного звена.

### 3 Кинематический расчет бесступенчатых приводов

В качестве источников движения в бесступенчатых приводах используются регулируемые электродвигатели. К ним относятся двигатели постоянного тока асинхронные с частотным регулированием. Они имеют большие диапазоны регулирования частот вращений, однако величина крутящего момента, развиваемого двигателем, не постоянна и зависит от частоты вращения ротора. С точки зрения рациональной конструкции станка эти приводы выполняются комбинированными. С этой целью между двигателем и исполнительным органом располагается простая по конструкции коробка скоростей. Использование даже одногрупповой двухступенчатой коробки позволяет не только расширить диапазон регулирования привода, но и, главное, получить на шпинделе крутящие моменты, величины которых будут значительно больше развиваемых двигателем.

Преимуществом бесступенчатого привода является упрощение механической части привода, когда вместо восемнадцати или двадцатичетырех скоростной коробки, в случае привода от асинхронного двигателя, применяется коробка скоростей на две скорости. Привод получается меньших габаритов, упрощается управление и повышаются эксплуатационные характеристики механической части привода. Привод позволяет производить обработку заготовок со скоростями резания, предписанными нормативами, т.е. он лишен главного недостатка ступенчатых приводов – потери скорости и как следствие – потери производительности за счет ступенчатого регулирования.

Диапазон регулирования привода  $R_n$  в этом случае можно представить в виде

$$R_n = R_M \times R_K, \quad (3.1)$$

где  $R_M$  - диапазон регулирования приводного электродвигателя;

$R_K$  - диапазон регулирования ступенчатой части привода.

Обычно в процессе проектирования известны общий диапазон регулирования привода  $R_n$  и диапазон регулирования двигателя постоянного тока  $R_M$ . Задача сводится к определению

диапазона регулирования механической части привода  $R_K$  и в итоге - к определению его знаменателя  $\varphi_K$  и числа ступеней  $Z$ .

На рисунке 3.1 приведена структурная схема и структурная сетка комбинированного привода. На левой вертикальной линии сетки отмечен диапазон регулирования двигателя  $R_M$ , на правой – привода  $R_n$ . Из структурной сетки видно, что при минимальном передаточном отношении коробки, равном  $i_1$ , частота вращения выходного вала  $n_1$ . При изменении частоты вращения двигателя от  $n_{M \min}$  до  $n_{M \max}$  частоты вращения шпинделя изменяются в интервале от  $n_1$  до  $n_1 \cdot R_M$ .

Анализ структурной сетки привода с числом ступеней механической части  $Z$  позволяет записать следующую зависимость:

$$\begin{aligned} i_1 & \text{ от } n_1 & \text{ до } n_1 \cdot R_M; \\ i_2 & \text{ от } n_1 \cdot R_M & \text{ до } n_1 \cdot R_M^2; \\ i_3 & \text{ от } n_1 \cdot R_M^2 & \text{ до } n_1 \cdot R_M^3; \\ & \dots & \\ i_Z & \text{ от } n_1 \cdot R_M^{Z-1} & \text{ до } n_1 \cdot R_M^Z. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Для любой множительной структуры можно записать

$$i_1 : i_2 : i_3 : \dots : i_Z = 1 : \varphi^x : \varphi^{2 \cdot x} : \dots : \varphi^{(Z-1) \cdot x}$$

и для рассматриваемой коробки, представляющей одноступенчатую структуру, у которой  $x = 1$ , имеем:

$$i_1 : i_2 : i_3 : \dots : i_Z = 1 : \varphi_K : \varphi_K^2 : \dots : \varphi_K^{Z-1}.$$

Тогда из равенства (3.2):

$$i_1 : i_2 : i_3 : \dots : i_Z = 1 : R_M : R_M^2 : \dots : R_M^{Z-1}, \quad (3.3)$$

следовательно,

$$\varphi_K = R_M, \quad (3.4)$$

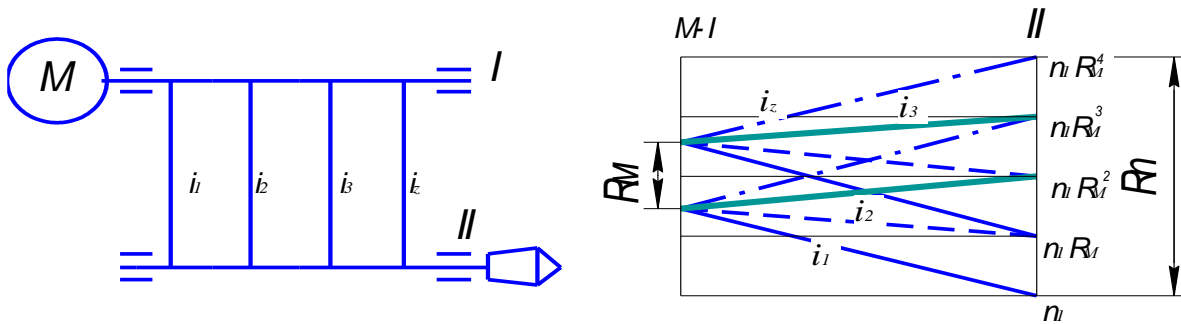
т.е. знаменатель ступенчатой части привода равен диапазону регулирования приводного электродвигателя.

Так как  $R_K = \frac{R_n}{R_M}$  и с другой стороны для ступенчатых  $R_K = \varphi_K^{Z-1} = R_M^{Z-1}$ , то, приравнявая правые части двух последних выражений, можно определить число ступеней механической части привода:

$$Z = \frac{\lg R_n}{\lg R_M}. \quad (3.5)$$

При конструировании коробок скоростей стремятся упростить конструкцию и сделать ее более компактной за счет уменьшения числа ступеней, ограничения величин передаточных отношений в каждой передаче. Пределы, в которых могут находиться величины передаточных отношений, принимаются такими же, как и для простых множительных структур, т.е.

$$\frac{1}{4} < i < 2,0.$$



Ри-

сунок 3.1 – Структурная схема и структурная сетка привода

Рациональные конструкции коробок скоростей для бесступенчатых приводов приведены [4], с 367-385.

#### 4 Пример кинематического расчета привода вращательного движения шпинделя консольного горизонтально-фрезерного станка

##### 4.1 Исходные данные:

размеры рабочей поверхности стола 320x1250 мм;

материал режущей части инструмента – твердый сплав, быстрорежущая сталь;

материал обрабатываемых заготовок – сталь (углеродистая, конструкционная, легированная)  $\sigma_b = 400$  МПа, чугун НВ170-220;

приводной электродвигатель – односкоростной.

##### 4.2 Предельные значения скоростей резания, подачи и эффективной мощности при обработке заготовок на проектируемом станке

###### 4.2.1 Общие сведения

Консольно-фрезерные станки относятся к станкам общего назначения, на которых в условиях индивидуального и серийного производства обрабатываются детали широкой номенклатуры. На станках этого типа применяются разнообразные инструменты: фрезы цилиндрические, торцевые, дисковые, концевые, шпоночные и др. Фрезы могут быть из быстрорежущей стали и оснащенные твердым сплавом, цельными и со вставными зубьями, с мелкими и крупными зубьями, различного диаметра – от 3 до 630 мм.

Такое многообразие режущего инструмента и технологических процессов, осуществляемых на консольно-фрезерных станках, значительно усложняет выбор предельных расчётных режимов резания при проектировании этих станков и вынуждает прибегать к некоторым условностям и к использованию статистических данных. Основными параметрами, характеризующими консольные фрезерные станки, являются размеры рабочей поверхности стола.

###### 4.2.2 Расчетные размеры фрез

При определении предельных расчетных значений скоростей резания и чисел оборотов шпинделя возникает вопрос о размерах фрез, наиболее часто применяемых на станках данного

габарита. Наиболее характерной обработкой на консольно-фрезерных станках является торцевое фрезерование.

Поэтому в основу проектировочных расчетов положено торцевое фрезерование высокопроизводительными фрезами, оснащенными пластинами твердого сплава. Максимальный расчетный диаметр фрезы  $D_{\max}$ , мм, устанавливается в зависимости от основной характеристики станка - ширины стола  $B_{\text{ст}}$ , мм, по следующей эмпирической формуле

$$D_{\max} = 0,625 \cdot B_{\text{ст}}. \quad (4.1)$$

Минимальный диаметр фрезы  $D_{\min}$  принимается равным

$$D_{\min} = 0,25 \cdot D_{\max}. \quad (4.2)$$

Применительно к проектируемому станку имеем

$D_{\max} = 0,625 \cdot 320 = 200$  мм и  $D_{\min} = 200 \cdot 0,25 = 50$  мм. Полученные по расчету значения  $D_{\max}$  и  $D_{\min}$  округляются до ближайших значений согласно ГОСТ 8539-69, ГОСТ 9473-80, ГОСТ 9474-73, ГОСТ 5348-69, ГОСТ 9304-69. Принимаем  $D_{\max} = 200$  мм и  $D_{\min} = 50$  мм.

#### 4.2.3 Глубина резания

Глубина резания при фрезеровании определяется величиной припуска, снимаемого при обработке в один проход. Глубина резания при черновой обработке  $t$ , мм, определяется величиной стандартного припуска на механическую обработку отливок из чугуна и стальных поковок.

$$t = a, \quad (4.3)$$

где  $a$  - припуск на сторону, мм, чугуновой отливки или стальной поковки.

Величины припусков можно найти в таблицах справочника [1] и в таблице 3.2 [2].

В практике используются следующие зависимости для расчета  $t$ , полученные в результате анализа припусков отливок из серого чугуна, по нормам для серийного и крупносерийного производства:

$$t = 0,85 B_{\text{ст}}^{0,35}; \quad (4.4)$$

$$t = 0,85 \cdot 320^{0,35} = 6,4 \text{ мм}.$$

Аналогичная зависимость для случая обработки стальных заготовок

$$t = 0,22 B_{\text{ст}}^{0,45}; \quad (4.5)$$

$$t = 0,22 \cdot 320^{0,45} = 2,9 \text{ мм}.$$

Глубина резания при чистовом фрезеровании равна припуску на чистовое фрезерование. Припуски на чистовое фрезерование приведены в справочнике [1] и таблице 3.3 [2].

При выборе припусков по таблицам 3.2 и 3.3 следует исходить из наибольших габаритов заготовки, допускаемых размерами стола проектируемого станка.

#### 4.2.4 Предельные значения подачи

Продольная минутная подача стола  $S_m$ , мм/мин, определяется известной формулой

$$S_m = S_z \cdot z \cdot n, \quad (4.6)$$

где  $S_z$  - подача на зуб, мм;

$z$  – число зубьев фрезы;  
 $n$  – число оборотов фрезы, об/мин.

Подача  $S_z$  является исходной величиной при расчетах скорости, усилия и мощности резания при фрезеровании и выбирается исходя из расчетных усилий по справочнику [1] или таблицам 3.4, 3.5, 3.6 [2]. В таблице 3.6 указывается подача на оборот фрезы, по которой при дальнейшем её применении находится  $S_z$  по формуле

$$S_z = \frac{S}{z}. \quad (4.7)$$

Как видно из уравнения (4.6), для определения минутной подачи нужно, исходя из расчетных условий, рассчитать число оборотов фрезы.

При выборе расчетных условий для определения максимальной и минимальной минутной подачи следует учитывать, что в формулу (4.6) входят множителями числа оборотов и зубьев фрезы, зависящие от ее диаметра. С увеличением диаметра фрезы уменьшается её число оборотов с одновременным увеличением числа зубьев. На величину  $S_M$  уменьшение числа оборотов фрезы влияет более значительно, чем увеличение числа зубьев.

Расчетные условия для определения продольной минутной подачи.

Максимальная минутная подача  $S_{Mmax}$  рассчитывается исходя из условий скоростного фрезерования торцевой мелкозубой фрезой, оснащенной твердым сплавом ВК8, заготовки из серого чугуна наименьшей по заданию твердости.

Минимальная минутная подача  $S_{Mmin}$  определяется для случая чернового фрезерования концевой фрезой наименьшего диаметра, оснащенной твердым сплавом Т15К6, стальной заготовки наибольшей по заданию твердости.

По статическим данным, максимальная минутная подача у консольно-фрезерных станков имеет значение в пределах от 950 до 1300 мм/мин и минимальная подача – от 20 до 40 мм/мин.

Поперечная и вертикальная минутные подачи определяются в зависимости от продольной минутной подачи  $S_M$ .

Поперечная минутная подача обычно принимается равной

$$S_{Mp} = (0,7 \dots 0,8) S_M \quad (4.8)$$

и вертикальная

$$S_{Mv} = (0,35 \dots 0,4) S_M. \quad (4.9)$$

Наибольшая расчетная ширина фрезерования

Наибольшая расчетная ширина фрезерования  $B$ , мм, принимается исходя из наиболее благоприятных условий врезания зубьев фрезы в металл и зависит от диаметра фрезы  $D$ :

$$B = (0,7 \dots 0,8) D, \quad (4.10)$$

$$B = 0,8 \cdot 200 = 160 \text{ мм.}$$

#### 4.2.5 Предельные скорости резания и числа оборотов при фрезеровании

Предельные значения скоростей резания и чисел оборотов определяются назначением станка. Наиболее широкий диапазон регулирования чисел оборотов имеют станки общего назначения. Современные консольные и бесконсольные фрезерные станки имеют диапазоны регулирования чисел оборотов в пределах 45-50.

В настоящее время при обработке фрезами, оснащенными пластинами твердого сплава, установились скорости резания: по стали от 100 до 400 и по чугуну от 35 до 150 м/мин.

Выбор предельных значений скоростей резания  $V$ , м/мин, ведут по известной зависимости

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} K_M \cdot K_{II} \cdot K_{III}, \quad (4.11)$$

где  $D$  – диаметр фрезы, мм;

$T$  – стойкость, мин;

$t$  – глубина фрезерования, мм;

$S_z$  – подача на зуб, мм;

$B$  – ширина фрезерования, мм;

$Z$  – число зубьев фрезы;

$K_M$  – коэффициент, учитывающий механические свойства обрабатываемого материала;

$K_{II}$  – коэффициент, учитывающий состояние поверхности;

$K_{III}$  – коэффициент, учитывающий материал режущей части инструмента.

Значение коэффициентов и показателей степени приведены в таблицах 3.7, 3.10, 3.11 [2] и справочнике [1].

При определении предельных значений скоростей резания исходят из следующих расчетных условий:

наименьшая скорость  $V_{min}$  резания рассчитывается для черного фрезерования торцевой фрезой наибольшего диаметра, оснащенной пластинами быстрорежущей стали марки Р6М5 серого чугуна, наибольшей по заданию твердости.

Для случая черновой обработки серого чугуна:

$$D = 200, t = 6.4, s = 0.5, B = 160, z = 20,$$

$$C_v = 42, q = 0.2, x = 0.1, y = 0.4, u = 0.1, p = 0.1, m = 0.15.$$

$$k_v = k_{mv} k_{nv} k_{uv} = \left( \frac{190}{190} \right)^{0.85} \cdot 0.85 \cdot 1.0 = 0.85,$$

$$V_{min} = \frac{42 \cdot 200^{0.2}}{240^{0.15} \cdot 6.4^{0.1} \cdot 0.5^{0.4} \cdot 160^{0.1} \cdot 20^{0.1}} \cdot 0.85 = 22.16.$$

Наибольшая скорость  $V_{max}$  определяется исходя из чистового фрезерования фрезой наименьшего диаметра, оснащенной твердым сплавом Т15К6, конструкционной стали  $\sigma_b = 750$  МПа.

Для чистовой обработки конструкционной стали

$$D = 50, t = 1.0, s = 0.1, B = 40, z = 12,$$

$$C_v = 332, q = 0.2, x = 0.1, y = 0.4, u = 0.2, p = 0, m = 0.2, k_v = 0.9,$$

$$V_{max} = \frac{332 \cdot 50^{0.2}}{120^{0.2} \cdot 1^{0.1} \cdot 0.1^{0.4} \cdot 40^{0.2} \cdot 12^0} \cdot 0.9 = 211.38.$$

#### 4.2.6 Мощность резания при фрезеровании

Для определения мощности, потребной на резание для наиболее нагруженного вида обработки возможно воспользоваться формулами из курса «Теория резания» или рекомендациями общемашиностроительных нормативов режимов резания.

Расчетные условия: эффективная мощность рассчитывается для случая черновой обработки серого чугуна НВ190 или стали  $\sigma_b = 750$  МПа торцевыми фрезами наибольшего диаметра, оснащенными пластинами твердого сплава. Расчетная глубина резания определяется по формулам (4.4) и (4.5).

В соответствии с рекомендациями [3] (с. 223, карта 115) выбираем значение эффективной мощности  $P_{эфф}$ , кВт (мощности потребной на резание) для черного фрезерования (твер-



дость чугуна НВ до 229, ширина фрезерования 145 мм, глубина резания 6,0 мм, минутная подача 160 мм) -2,7 кВт.

Мощность приводного электродвигателя  $P_M$ , кВт, рассчитывается по известной зависимости

$$P_M = \frac{P_{\text{эфф}}}{\eta}, \quad (4.12)$$

где  $\eta$ -коэффициент полезного действия станка.

Для станков с вращательным движением привода шпинделя (фрезерные, токарные, сверлильные)  $\eta$  принимается равным 0,75-0,80. Для проектируемого станка

$$P_M = \frac{2,7}{0,75} = 3,6.$$

По каталогу предварительно выбираем двигатель мощностью 4,5кВт.

#### 4.3 Кинематический расчет привода вращательного движения шпинделя

4.3.1 Предельные значения частот вращения шпинделя рассчитываются по формулам

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot V_{\min}}{\pi \cdot D_{\max}}, \quad n_{\max} = \frac{1000 \cdot V_{\max}}{\pi \cdot D_{\min}}, \quad (4.13)$$

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 22.16}{3.14 \cdot 200} = 35.27, \quad n_{\max} = \frac{1000 \cdot 211.38}{3.14 \cdot 50} = 1348.4.$$

Полученные значения необходимо сравнить с соответствующими данными станков - аналогов. Предварительно принимаем частоты вращения шпинделя  $n_{\min} = 35 \text{об/мин}$  и  $n_{\max} = 1350 \text{об/мин}$ .

#### 4.3.2 Диапазон регулирования привода

$$R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}, \quad (4.14)$$

$$R_n = \frac{1348.4}{35.27} = 38.23.$$

4.3.3 Значение знаменателя ряда геометрической прогрессии  $\phi$  в соответствии с нормалью станкостроения Н 11-1 принимаем равным 1,26, так как станок относится к классу универсальных станков.

#### 4.3.4 Число ступеней частот вращения шпинделя

$$z = \frac{\lg R_n}{\lg \phi} + 1, \quad (4.15)$$

$$z = \frac{\lg 38.23}{\lg 1.26} + 1 = \frac{1.58}{0.10} + 1 = 16.8.$$

Так как коробка скоростей будет выполняться в виде множительной структуры, примем число ступеней  $Z$  кратное произведения сомножителей 2 и 3, т.е.  $Z = 18$ .

4.3.5 В связи с тем, что приняв  $Z = 18$  вместо расчетного  $Z = 16,8$ , изменился диапазон регулирования, пересчитаем действительные значения частот вращения шпинделя. В качестве минимальной частоты вращения шпинделя примем стандартное значение 40 об/мин.

Тогда

$$n_{\max} = n_{\min} \cdot \varphi^{Z-1}; \quad (4.16)$$

$$n_{\max} = 40 \cdot 1.26^{17} = 2000 \text{ об/мин.}$$

Стандартный ряд частот вращения шпинделя для  $\varphi = 1,26$  в выбранном диапазоне имеет вид 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600.2000.

#### 4.3.6 Выбор электродвигателя

По ранее рассчитанной мощности двигателя и известному ряду частот вращения шпинделя выбираем марку двигателя так, чтобы частота вращения двигателя была в верхней четверти диапазона регулирования. Этим требованием удовлетворяет односкоростной асинхронный двигатель марки 4А112М4УЗ, имеющий мощность  $P_m = 4.5 \text{ кВт}$ , синхронную частоту вращения  $n_{\text{синх}} = 2000 \text{ об/мин}$ ; скольжение  $S = 6,3\%$ ,  $T_{\text{пуск}}/T_{\text{ном}} = 2$ , число пар полюсов  $2p = 1$ .

Для дальнейших расчетов принимаем частоту вращения двигателя

$$n_m = 1445 \text{ об/мин.}$$

**Таблица 1 Параметры электродвигателя**

Обозначение электродвигателя	4А112М4УЗ
Синхронная частота вращения $n_0$ , об/мин	2000
Номинальная частота вращения $n_{\text{ном}}$ , об/мин	1445
Номинальная мощность $P_{2н}$ , кВт	4.5

4.3.7 Структурная формула привода. Проверка принятой структуры на возможность осуществления привода в виде простой множительной структуры

При выборе варианта структуры необходимо, чтобы число передач в группах уменьшалось вдоль кинематической цепи, а характеристики групп увеличивались. В этом случае привод будет иметь наименьшую металлоемкость.

$$Z = 18 = 3_1 \times 3_3 \times 2_9.$$

Проверка принятой структуры производится по последней переборной группе, имеющей наибольшую характеристику. В этой группе имеются все предпосылки к тому, что передаточные отношения выйдут за известные пределы  $\frac{1}{4} \leq i \leq 2.0$ .

$$\varphi_{\max} = \frac{(P_m - 1) \cdot X_n}{\sqrt{8}}, \quad (4.17)$$

где  $p_m$  – число передач в последней переборной группе;

$x_n$  – характеристика последней переборной группы.

$$\varphi_{\max} = \frac{(2-1) \cdot 9}{\sqrt{8}} = 1.259.$$

Так как  $\varphi_{\max}$  меньше чем  $\varphi$  принятое в расчете, то привод может быть выполнен в виде простой множительной структуры.

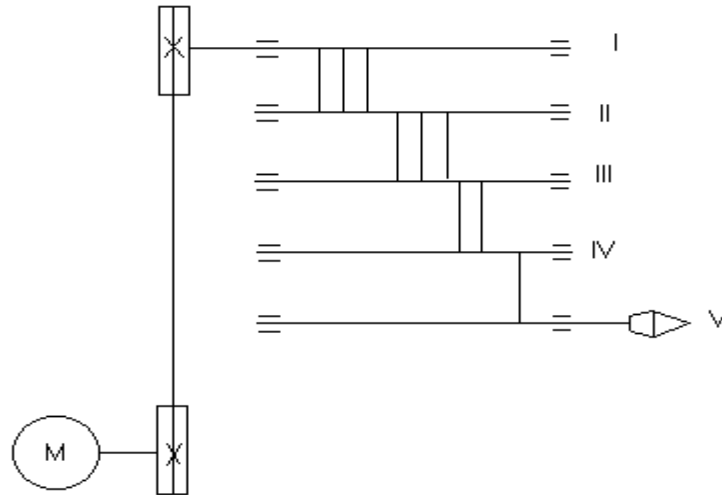


Рисунок 4.1 - Структурная схема привода.

Структурная сетка привода приведена на рисунке 4.2.

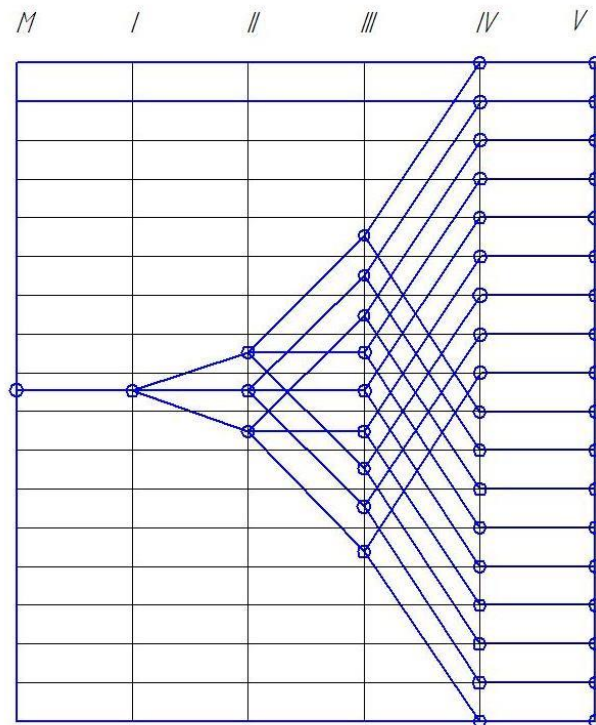


Рисунок 4.2 - Структурная сетка привода

#### 4.3.8 График частот вращения

Построение графика начинается с “нижней” кинематической цепи, для чего

- вычисляют минимальное общее передаточное отношение кинематической цепи, связывающей вращательное движение электродвигателя с минимальной частотой вращения шпинделя

$$i_{\min \text{ общ}} = \frac{n_1}{n_M} = \frac{1}{n_M/n_1} = \frac{1}{\varphi^A}; \quad (4.18)$$

$$i_{\min \text{ общ}} = \frac{40}{1445} = \frac{1}{36,125}.$$

- выражают минимальное общее передаточное отношение  $i_{\min \text{ общ}}$  через значение знаменателя ряда геометрической прогрессии  $\varphi$

$$i_{\min \text{ общ}} = \frac{1}{\varphi^A}; \quad i_{\min \text{ общ}} = \frac{1}{36,125};$$

$$A \lg \varphi = \lg 36,125, \quad A = \frac{\lg 36,125}{\lg \varphi} = \frac{\lg 36,125}{\lg 1,26} = \frac{1,55}{0,1} = 15,5,$$

$$i_{\min \text{ общ}} = \frac{1}{\varphi^{15,5}};$$

- определяют пределы, в которых могут находиться минимальные передаточные отношения в группах:

основная группа

$$\frac{1}{4} \leq i_{\min a} \leq \frac{2}{\varphi^{(p_a-1)x_0}}; \quad (4.19)$$

$$\frac{1}{\varphi^6} \leq i_{\min a} \leq \frac{\varphi^3}{\varphi^{(3-1) \cdot 1}}; \quad \frac{1}{\varphi^6} \leq i_{\min a} \leq \varphi;$$

первая переборная группа

$$\frac{1}{4} \leq i_{\min b} \leq \frac{2}{\varphi^{(p_b-1)x_1}}; \quad (4.20)$$

$$\frac{1}{\varphi^6} \leq i_{\min b} \leq \frac{\varphi^3}{\varphi^{(3-1) \cdot 3}}; \quad \frac{1}{\varphi^6} \leq i_{\min b} \leq \frac{1}{\varphi^3};$$

вторая переборная группа

$$\frac{1}{4} \leq i_{\min c} \leq \frac{2}{\varphi^{(p_c-1)x_2}}; \quad (4.21)$$

$$\frac{1}{\varphi^6} \leq i_{\min c} \leq \frac{\varphi^3}{\varphi(2-1) \cdot 9}; \quad \frac{1}{\varphi^6} \leq i_{\min c} \leq \frac{1}{\varphi^6};$$

- распределяют  $i_{\min общ}$  по группам передач

$$i_{\min общ} = i_{кл} \cdot i_{\min a} \cdot i_{\min b} \cdot i_{\min c} \cdot i_c; \quad (4.22)$$

$$i_{\min общ} = \frac{1}{\varphi^{15,5}} = \frac{1}{\varphi^{0,5}} \cdot \frac{1}{\varphi^4} \cdot \frac{1}{\varphi^5} \cdot \frac{1}{\varphi^6} \cdot \frac{1}{\varphi^0};$$

- чертят график частот вращения, начиная построения с “нижней” кинематической цепи, и определяют величины передаточных отношений в группах:

клиноременная передача

$$i_{кл} = \frac{1}{\varphi^{0,5}} = \frac{1}{1,12};$$

основная группа  $i_1 = \frac{1}{\varphi^4} = \frac{1}{2,52}, i_2 = \frac{1}{\varphi^3} = \frac{1}{2}, i_3 = \frac{1}{\varphi^2} = \frac{1}{1,58};$

первая переборная группа  $i_4 = \frac{1}{\varphi^5} = \frac{1}{3,17}, i_5 = \frac{1}{\varphi^2} = \frac{1}{1,58}, i_6 = \varphi = 1,26;$

вторая переборная группа  $i_7 = \frac{1}{\varphi^6} = \frac{1}{4}, i_8 = \varphi^3 = 2, i_c = \frac{1}{\varphi^0} = 1;$

- определяют по величинам передаточных отношений диаметры шкивов клиноременной передачи и с помощью таблиц числа зубьев зубчатых пар групповых передач, предварительно задавшись суммой зубьев зубчатых колес в данной группе:

клиноременная передача –  $i_{кл} = \frac{1}{1,12}$  диаметр ведущего шкива 100 мм, ведомого 115 мм;

основная группа сумма зубьев  $\sum z = 78,$

$$i_1 = \frac{1}{2,52} = \frac{22}{56}, \quad i_2 = \frac{1}{2} = \frac{26}{52}, \quad i_3 = \frac{1}{1,58} = \frac{30}{48};$$

первая переборная группа сумма зубьев  $\sum z = 88,$

$$i_4 = \frac{1}{3,17} = \frac{21}{67}, \quad i_5 = \frac{1}{1,58} = \frac{34}{54}, \quad i_6 = 1,26 = \frac{49}{39};$$

вторая переборная группа сумма зубьев  $\sum z = 90,$

$$i_7 = \frac{1}{4} = \frac{18}{72}, \quad i_8 = 2 = \frac{60}{30};$$

постоянная передача между IV и V валом

$$i_c = 1 = \frac{50}{50}.$$

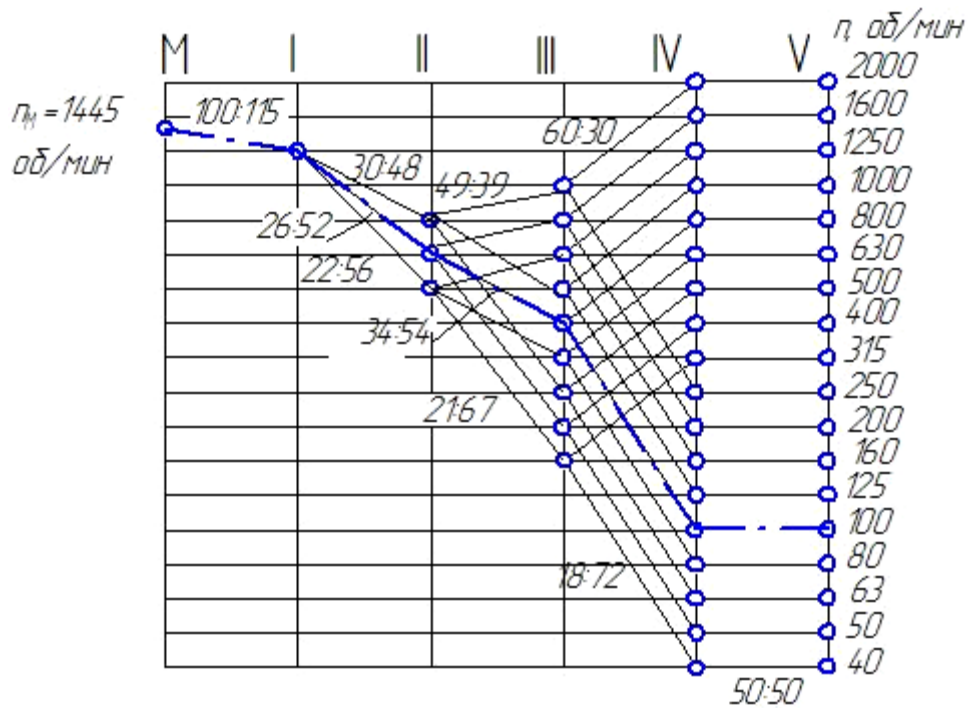


Рисунок 4.3 -График частот вращения

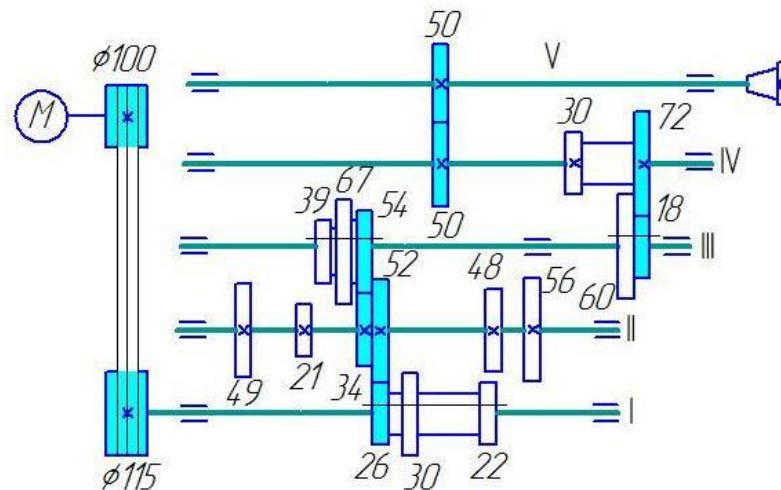


Рисунок 4.4 – Кинематическая схема привода

5 Пример кинематического расчета вращательного движения шпинделя консольного вертикально-фрезерного станка при использовании в приводе двухскоростного электродвигателя

5.1 Исходные данные:

- размеры рабочей поверхности стола 200x800 мм;
- материал режущей части инструмента – твердый сплав, быстрорежущая сталь;
- материал обрабатываемых заготовок – сталь (углеродистая, конструкционная, легированная)  $\sigma_b = 400$  МПа, чугун НВ170-220;
- приводной электродвигатель – двухскоростной.

5.2 Предельные значения скоростей резания, подачи и эффективной мощности при обработке заготовок на проектируемом станке

5.2.1 Общие сведения

Консольно-фрезерные станки относятся к станкам общего назначения, на которых в условиях индивидуального и серийного производства обрабатываются детали широкой номенклатуры. На станках этого типа применяются разнообразные инструменты: фрезы цилиндрические, торцевые, дисковые, концевые, шпоночные и др. Фрезы могут быть из быстрорежущей стали и оснащенные твердым сплавом, цельными и со вставными зубьями, с мелким и крупными зубьями, различного диаметра – от 3 до 630 мм. Такое многообразие режущего инструмента и технологических процессов, осуществляемых на консольно-фрезерных станках, значительно усложняет выбор предельных расчётных режимов резания при проектировании этих станков и вынуждает прибегать к некоторым условностям и к использованию статистических данных.

### 5.2.2 Расчетные размеры фрез

При определении предельных расчетных значений скоростей резания и чисел оборотов шпинделя возникает вопрос о размерах фрез, наиболее часто применяемых на станках данного габарита. Наиболее характерной обработкой на консольно-фрезерных станках является торцевое фрезерование.

Поэтому в основу проектировочных расчетов положено торцевое фрезерование высокопроизводительными фрезами, оснащенными пластинами твёрдого сплава.

Максимальный расчетный диаметр фрезы  $D_{\max}$ , мм, устанавливается в зависимости от основной характеристики станка – ширины стола  $B_{\text{ст}}$ , мм, по следующей практической формуле:

$$D_{\max} = 0,625 \cdot B_{\text{ст}} \quad (5.1)$$

Ширина стола согласно исходным данным  $B=200$ .

$$D_{\max} = 0,625 \cdot 200 = 125.$$

Минимальный диаметр фрезы  $D_{\min}$ , мм, принимается равным

$$D_{\min} = 0,25 \cdot D_{\max}; \quad (5.2)$$

$$D_{\min} = 0,25 \cdot 125 = 31,25.$$

Стандартные значения диаметров фрез в соответствии с ГОСТ 8539-69 и ГОСТ 9473-80 -  $D_{\max}=125$  мм и  $D_{\min}=40$  мм.

### 5.2.3 Глубина резания

Глубина резания при фрезеровании определяется величиной припуска, снимаемого при обработке в один проход. Глубина резания при черновой обработке  $t$ , мм, определяется величиной стандартного припуска на механическую обработку отливок из чугуна и стальных поковок.

$$t = a, \quad (5.3)$$

где  $a$  – припуск на сторону, мм, чугуновой отливки или стальной поковки.

Величины припусков по справочнику [1].

В практике используются следующие зависимости для расчета  $t$ , полученные в результате анализа припуска отливок из серого чугуна, по нормам для серийного и крупносерийного производства:

$$t = 0,85 \cdot B_{\text{ст}}^{0,35}, \quad (5.4)$$

$$t = 0,85 \cdot 200^{0,35} \approx 5.$$

Аналогичная зависимость для случая обработки стальных заготовок

$$t = 0,22 \cdot B_{CT}^{0,45}, \quad (5.5)$$

$$t = 0,22 \cdot 200^{0,45} \approx 2.$$

Глубина резания при чистовом фрезеровании равна припуску на чистовое фрезерование. Припуски на чистовое фрезерование приведены в справочнике [1]:

$$t = 2$$

#### 5.2.4 Предельные значения подачи

Продольная минутная подача стола  $S_M$ , мм/мин, определяется известной формулой:

$$S_M = S_Z \cdot z \cdot n, \quad (5.6)$$

где  $S_Z$  - подача на зуб, мм;

$z$  - число зубьев фрезы;

$n$  - число оборотов фрезы, об/мин

Подача  $S_Z$  является исходной величиной при расчетах скорости, усилия и мощности резания при фрезеровании и выбирается исходя из расчетных усилий по справочнику [1, стр.285]. Подача на оборот фрезы, по которой при дальнейшем её применении находится  $S_Z$ , находится по формуле

$$S_Z = \frac{S}{z}. \quad (5.7)$$

Как видно из уравнения (5.6), для определения минутной подачи нужно, исходя из расчетных условий, рассчитать число оборотов фрезы. При выборе расчетных условий для определения максимальной и минимальной минутной подачи следует учитывать, что в формулу (5.6) входят множителями числа оборотов и зубьев фрезы, зависящие от её диаметра. С увеличением диаметра фрезы уменьшается её число оборотов с одновременным увеличением числа зубьев. На величину  $S_M$  уменьшение числа оборотов фрезы влияет более значительно, чем увеличение числа зубьев.

Расчетные условия для определения продольной минутной подачи.

Максимальная минутная подача  $S_{M \max}$  рассчитывается исходя из условия скоростного фрезерования торцевой мелкозубой фрезой, оснащенной твердым сплавом ВК8, заготовки из серого чугуна наименьшей по заданию твердости (170 НВ).

Из справочника [1, стр 284]  $S_Z = 0,29 \text{ мм / зуб}$  и  $z=14$ ,

$$V = \frac{445 \cdot 125^{0,2}}{180^{0,32} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,29^{0,35} \cdot 100^{0,2} \cdot 14^0} \cdot 1,12 \cdot 1 \cdot 0,85 = 117 \text{ м / мин},$$

$n=298$  об/мин

Формулы для нахождения скорости резания  $V$  и числа оборотов фрезы  $n$  см. ниже.

$$S_{M \max} = 0,29 \cdot 14 \cdot 298 = 1210 \text{ мм / мин}.$$

Минимальная минутная подача  $S_{M \min}$  определяется для случая чернового фрезерования концевой фрезой наименьшего диаметра, оснащенной твердым сплавом Т15К6, стальной заготовки наибольшей по заданию твердости (600 НВ)

Согласно [1, стр.284]  $S_Z = 0,05 \text{ мм / зуб}$  и  $z=6$ ,

$n=127$  об/мин,

$$S_{M \min} = 0,05 \cdot 6 \cdot 127 = 38 \text{ мм / мин}.$$

По статистическим данным максимальная минутная подача у консольно-фрезерных станков имеет значение в пределах от 950 до 1300 мм/мин и минимальная подача – от 20 до 40 мм/мин.



Поперечная и вертикальная минутные подачи определяются в зависимости от продольной минутной подачи  $S_M$ . Поперечная минутная подача обычно принимается равной

$$S_{Mn} = (0,7...0,8)S_M, \quad (5.8)$$

вертикальная

$$S_{Mв} = (0,35...0,4)S_M. \quad (5.9)$$

Наибольшая расчетная величина фрезерования

Наибольшая расчетная величина фрезерования  $B$ , мм, принимается исходя из наиболее благоприятных условий врезания зубьев фрезы в металл и зависит от диаметра  $D$ :

$$B = (0,7...0,8)D, \quad (5.10)$$

$$B = 0,8 \cdot 125 = 100.$$

### 5.2.5 Предельные скорости резания и числа оборотов при фрезеровании

Предельные значения скоростей резания и чисел оборотов определяются назначением станка. Наиболее широкий диапазон регулирования чисел оборотов имеют станки общего назначения. Современные консольные и бесконсольные фрезерные станки имеют диапазоны регулирования чисел оборотов в пределах 45-50.

В настоящее время при обработке фрезами, оснащенными пластинами твердого сплава, установились скорости резания: по стали от 100 до 400 и по чугуну от 35 до 150 м/мин.

Выбор предельных значений скоростей резания  $V$ , м/мин, ведут по известной зависимости:

$$V = \frac{C_V \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_Z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_M \cdot K_{II} \cdot K_{III}, \quad (5.11)$$

где  $D$  – диаметр фрезы, мм;

$T$  – стойкость, мин;

$t$  – глубина фрезерования, мм;

$S_Z$  – подача на зуб, мм;

$B$  – ширина фрезерования, мм;

$Z$  – число зубьев фрезы;

$K_M$  – коэффициент, учитывающий механические свойства обрабатываемого материала;

$K_{II}$  – коэффициент, учитывающий состояние поверхности;

$K_{III}$  – коэффициент, учитывающий материал режущей части инструмента;

Значения коэффициентов приведены в справочнике [1, с. 286].

При определении предельных значений скоростей резания исходят из следующих расчетных условий. Наименьшая скорость  $V_{\min}$  резания рассчитывается для чернового фрезерования торцевой фрезой наибольшего диаметра, оснащенной пластинами быстрорежущей стали марки Р6М5, серого чугуна, наибольшей по заданию твердости (220 НВ).

$$V_{\min} = \frac{42 \cdot 125^{0,2}}{180^{0,15} \cdot 5^{0,1} \cdot 0,2^{0,4} \cdot 100^{0,1} \cdot 14^{0,1}} \cdot 0,9 \cdot 0,5 \approx 16.$$

Наибольшая скорость  $V_{\max}$  определяется исходя из чистового фрезерования фрезой наименьшего диаметра, оснащенного твердым сплавом Т15К6 конструкционной стали  $\sigma_B = 750 \text{ МПа}$ .

$$V_{\max} = \frac{332 \cdot 40^{0,2}}{120^{0,2} \cdot 1^{0,1} \cdot 0,3^{0,4} \cdot 30^{0,2} \cdot 10^0} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \approx 218.$$

### 5.2.6 Окружная сила резания

Величину окружного усилия  $P_z$ , Н, необходимую для расчета мощности, находят, пользуясь формулой

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z}{D^q \cdot n^\omega} \cdot K_p, \quad (5.12)$$

где  $n$  - число оборотов фрезы, об/мин;

$z$  - число зубьев фрезы.

Остальные значения все те же, что и в формуле (5.11).

Значения постоянной  $C_p$  и показателей степени приведены в справочнике [1, с. 291]. Условия рассчитываются согласно условиям для определения мощности:  $z=14$  и  $n=341$  об/мин

$$P_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 2^1 \cdot 0,1^{0,75} \cdot 100^{1,1} \cdot 14}{125^{1,3} \cdot 341^{0,2}} \cdot 1 = 3811.$$

### 5.2.7 Мощность резания при фрезеровании

Эффективная мощность  $N_{эфф}$ , кВт, рассчитывается по формуле:

$$N_{эфф} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \quad (5.13)$$

где усилие  $P_z$  и скорость резания  $V$  определяются формулами (5.14) и (5.11).

Расчетные условия: эффективная мощность рассчитывается для случая черновой обработки серого чугуна НВ 190 или стали  $\sigma_s = 750 \text{ МПа}$  торцевыми фрезами наибольшего диаметра, оснащенными пластинами твёрдого сплава. Расчетная глубина резания определяется по формулам (5.4) и (5.5)

Для расчетных условий найдём скорость резания и значение эффективной мощности

$$V = \frac{445 \cdot 125^{0,2}}{180^{0,32} \cdot 5^{0,15} \cdot 0,2^{0,35} \cdot 100^{0,2} \cdot 14^0} \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 97,5$$

$$N_{эфф} = \frac{3811 \cdot 97,5}{1020 \cdot 60} = 6,07.$$

## 5.3 Кинематический расчет привода вращательного движения шпинделя

### 5.3.1 Предельные частоты вращения шпинделя

Наибольшее число оборотов в минуту шпинделя находят по формуле

$$n_{\max} = \frac{1000 V_{\max}}{\pi D_{\min}}, \text{ об/мин.} \quad (5.14)$$

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot 218}{\pi \cdot 40} \approx 1735 \text{ об/мин.}$$

Наименьшее число оборотов в минуту шпинделя определяется по аналогичной формуле

$$n_{\min} = \frac{1000 V_{\min}}{\pi D_{\max}}, \text{ об/мин.} \quad (5.15)$$

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 16}{\pi \cdot 125} \approx 41 \text{ об/мин.}$$

### 5.3.2 Диапазон регулирования частоты вращения шпинделя

Диапазон регулирования частоты вращения шпинделя  $R_n$  определяется по формуле

$$R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}, \quad (5.16)$$
$$R_n = \frac{1735}{41} = 42,3.$$

### 5.3.3 Значение знаменателя ряда геометрической прогрессии

Значение знаменателя ряда геометрической прогрессии  $\varphi$  в соответствии с нормалью станкостроения Н 11-1 рекомендуется для широкоуниверсальных станков 1,26 или 1,41. В проектируемом приводе  $\varphi = 1,41$ .

### 5.3.4 Число ступеней частот вращения шпинделя

Число ступеней частот вращения шпинделя  $z$  определяется по формуле

$$z = \frac{\lg R_n}{\lg \varphi} + 1. \quad (5.17)$$
$$z = \frac{\lg 42,3}{\lg 1,41} + 1 = 11,9.$$

Число ступеней  $z$  принимается кратное произведению сомножителей 2 и 3, т.е.  $Z = 12$ .

### 5.3.5 Корректировка минимальной частоты вращения шпинделя

Так как увеличение числа ступеней частот вращения приводит к расширению диапазона регулирования, необходимо уточнить максимальную частоту вращения шпинделя  $n_{\max}$ , приняв за минимальную частоту ближайшую из стандартного ряда :

$$n_{\max} = n_{\min} \cdot \varphi^{z-1}. \quad (5.18)$$
$$n_{\max} = 45 \cdot 1,41^{12-1} = 1971 \text{ об/мин.}$$

### 5.3.6 Стандартный ряд частот вращения шпинделя

В соответствии с нормалью станкостроения Н11-1 принимают стандартные значения для минимальной, максимальной и промежуточных частот вращения шпинделя – 45, 63, 90, 125, 180, 250, 355, 500, 700, 1000, 1400, 2000 об/мин.

### 5.3.7 Выбор приводного электродвигателя

Определяем мощность приводного электродвигателя  $P_M$  в кВт по полезной (эффективной) мощности резания  $P_{\text{эф}}$  для самого нагруженного режима:

$$P_M = \frac{P_{\text{эф}}}{\eta}, \quad (5.19)$$

где  $\eta = 0,7 \dots 0,85$  – коэффициент полезного действия привода станка.

$$P_M = \frac{6,07}{0,8} = 7,6 \text{ кВт.}$$

По рассчитанной мощности двигателя и известному ряду частот вращения шпинделя выбирают марку двигателя так, чтобы частота вращения двигателя была в верхней четверти диапазона регулирования. Этим требованием удовлетворяет двухскоростной асинхронный

двигатель марки АИР132М8/4, имеющий мощность  $P_M = 4,7/7,5$  кВт, синхронную частоту вращения  $n_{\text{синх}} = 715/1440$  об/мин; КПД 79/80  $T_{\text{пуск}} / T_{\text{ном}} = 2,4/2,5$ , число пар полюсов 8/4.

Таблица 1- Параметры электродвигателя

Обозначение электродвигателя	А
Синхронная частота вращения $n_o$ , об/мин	750/1500
Номинальная частота вращения $n_{\text{ном}}$ , об/мин	715/1440
Номинальная мощность $P_{2н}$ , кВт	4,7/7,5
Номинальный крутящий момент $M_{\text{ном}}$ , Н*м	63/50

5.3.8 Структурная формула привода. Проверка принятой структуры на возможность осуществления привода в виде простой множительной структуры

При выборе варианта структуры необходимо, чтобы число передач в группах уменьшалось вдоль кинематической цепи, а характеристики групп увеличивались. В этом случае привод будет иметь наименьшую металлоемкость. В случае использования в приводе двухскоростного электродвигателя не всегда представляется возможным построить структурную сетку с равномерным рядом на исполнительном звене. Для получения равномерного ряда на исполнительном звене при выборе варианта структурной формулы необходимо выполнить два условия:

$$1) K = \frac{z}{x_3 p_3},$$

где  $z$ - число ступеней;

$x_3$  - характеристика электрической группы;

$p_3$  - число передач электрической группы;

$K$ - целое число;

$$2) x_{\text{пер}} = x_3 p_3,$$

где  $x_{\text{пер}}$  - характеристика последней переборной группы;

Если при проверке какое-либо из условий не выполняется, то необходимо принять другой вариант структуры или задаться другим  $\phi$ .

Вариант структурной формулы:

$$z = 12 = [2]_2 \times 2_1 \times 3_4.$$

Проверка  $K = \frac{12}{2 \cdot 2} = 3$ ,  $x_{\text{пер}} = 2 \cdot 2 = 4$  - оба условия выполняются. Привод обеспечит на исполнительном звене равномерный ряд частот вращения.

Проверка принятой структуры производится по последней переборной группе, имеющей наибольшую характеристику. В этой группе имеются все предпосылки к тому, что передаточные отношения выйдут за известные пределы ( $\frac{1}{4} \leq i \leq 2.0$ ) и появится необходимость

переходить к сложенной структуре.

Проверка производится по формуле

$$\phi_{\text{max}} = (P_m - 1) \cdot X_n \sqrt{8}, \quad (5.20)$$

где  $P_m$  – число передач в последней переборной группе;

$X_n$  – характеристика последней переборной группы.

$$\phi_{\text{max}} = (3-1) \cdot 4 \sqrt{8} = 1,3.$$

Так как  $\varphi_{\max}$  меньше, чем  $\varphi$  принятое в расчете, то привод должен быть выполнен в виде сложной структуры.

Проверка принятой структурной формулы по диапазону регулирования.

$$R_n \leq \frac{22,6}{\varphi} \quad (\text{при } p_m = 3). \quad (5.21)$$

$$R_n \leq \frac{22,6}{1,41} = 16,03,$$

так как привод имеет диапазон регулирования  $43,2 > 16,03$ , это еще раз подтверждает необходимость проектировать коробку скоростей в виде сложной структуры.

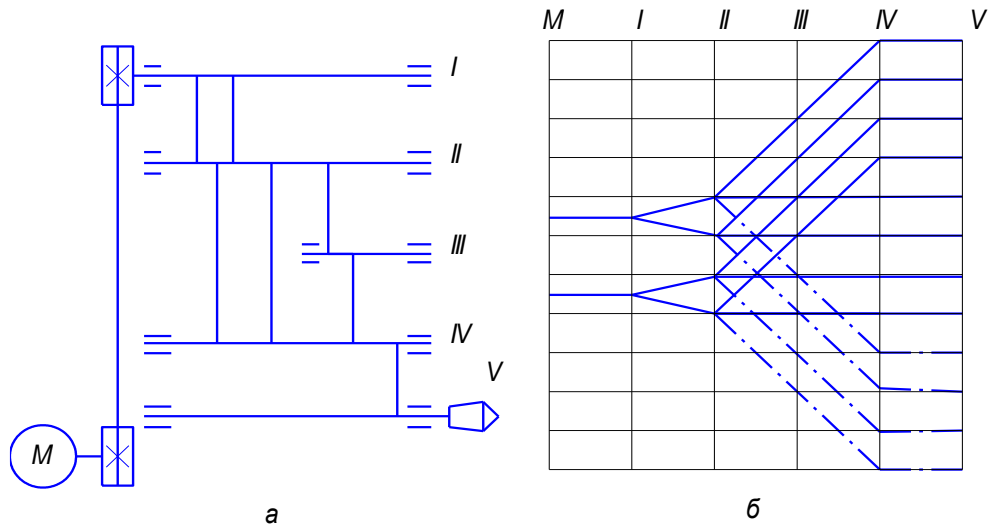


Рисунок 5.1 -Структурная схема “а” и структурная сетка “б” привода

### 5.3.9 График частот вращения

Построение графика начинается с “нижней” кинематической цепи для чего

- вычисляют минимальное общее передаточное отношение кинематической цепи  $i_{\min_{\text{общ}}}$ , связывающей минимальную частоту вращения двигателя  $n_{\min_{\text{м}}}$  с минимальной частотой вращения шпинделя  $n_1$ :

$$n_{\min_{\text{общ}}} = \frac{n_1}{n_{\text{м min}}} = \frac{1}{n_{\text{м}} / n_1}, \quad (5.22)$$

где  $n_{\text{м}} = 715$  об/мин – частота вращения вала двигателя.

$$n_{\min_{\text{общ}}} = \frac{1}{715/45} = 15,89;$$

-выражают минимальное общее передаточное отношение привода  $i_{\min_{\text{общ}}}$  через знаменатель ряда геометрической прогрессии  $\varphi$ .

$$i_{\min_{\text{общ}}} = \frac{1}{\varphi^A}, \quad (5.23)$$

где  $A$  – показатель степени.

$$i_{\min_{\text{общ}}} = \frac{1}{15,89} = \frac{1}{\varphi^A}, \quad A \cdot \lg \varphi = \lg 15,89, \quad A = \frac{\lg 15,89}{\lg 1,41} = \frac{1,2}{0,15} = 8.$$

$$i_{\min_{\text{общ}}} = \frac{1}{\varphi^8} = \frac{1}{1,41^8};$$

- определяют пределы, в которых могут изменяться минимальные передаточные отношения в группах:

основная группа:

$$\frac{1}{4} \leq i_{\min_a} \leq \frac{2}{\varphi^{(P_a-1)x_0}}, \quad (5.24)$$

где  $i_{\min_a}$  – минимальное передаточное отношение в основной группе.

$$\frac{1}{\varphi^4} \leq i_{\min_a} \leq \frac{\varphi^2}{\varphi^{(2-1)1}}, \quad \frac{1}{\varphi^4} \leq i_{\min_a} \leq \varphi;$$

первая переборная группа:

$$\frac{1}{4} \leq i_{\min_b} \leq \frac{2}{\varphi^{(P_b-1)x_1}}, \quad (5.25)$$

где  $i_{\min_b}$  – минимальное передаточное отношение в первой переборной группе.

$$\frac{1}{\varphi^4} \leq i_{\min_b} \leq \frac{\varphi^2}{\varphi^{(3-1)4}}, \quad \frac{1}{\varphi^4} \leq i_{\min_b} \leq \frac{1}{\varphi^6}.$$

У сложной структуры последняя переборная группа выполняется в виде механизма возврата или перебора, что позволяет распределить  $i_{\min_c}$  между несколькими передачами:

$$\begin{aligned} i_{\min_c} &= i_3 = i_3' \cdot i_3'' \\ i_{\min_c} &= i_3 = \frac{1}{\varphi^6} = \frac{1}{\varphi^3} \cdot \frac{1}{\varphi^3} \\ \frac{1}{\varphi^4} &\leq i_{\min_b} \leq \frac{1}{\varphi^3}; \end{aligned}$$

-распределяют  $i_{\min_{\text{общ}}}$  по группам передач.

$$i_{\min_{\text{общ}}} = i_{кр} \cdot i_{\min_a} \cdot i_{\min_b} \cdot i_{\min_c} \cdot i_c, \quad (5.26)$$

где  $i_{кр}$  – передаточное отношение клиноременной передачи;

$i_c$  – передаточное отношение постоянной передачи.

$$i_{\min_{\text{общ}}} = \frac{1}{\varphi^8} = \frac{1}{\varphi^0} \cdot \frac{1}{\varphi^1} \cdot \frac{1}{\varphi^3} \cdot \frac{1}{\varphi^3} \cdot \frac{1}{\varphi^1};$$

- чертят график частот вращения, начиная построения с “нижней” кинематической цепи и определяют величины передаточных отношений в группах:

передаточное отношение клиноременной передачи;

$$i_{кр} = \frac{1}{1,41^0} = 1.$$

основная группа

$$i_1 = \frac{1}{\varphi} = \frac{1}{1,41}, \quad i_2 = \frac{1}{\varphi^0} = 1;$$

первая переборная

$$i_3' = \frac{1}{\varphi^3} = \frac{1}{2,8}, \quad i_3'' = \frac{1}{\varphi} = \frac{1}{1,41}, \text{ повышающая передача } i_5 = \varphi^2 = 2;$$

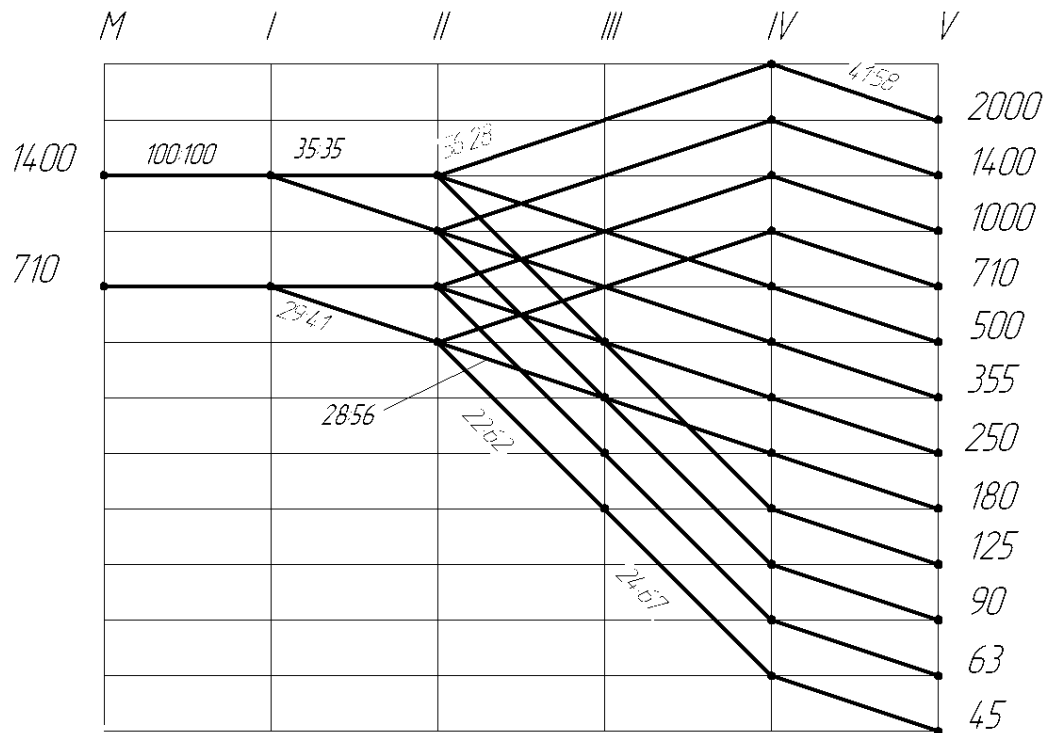


Рисунок 5.3 – График частот вращения валов коробки скоростей

передача между III и IV валом

$$i''_3 = \frac{1}{\varphi^3} = \frac{1}{2,8}, \quad i''_3 = \frac{1}{\varphi} = \frac{1}{1,41};$$

постоянная передача между IV и V валом

$$i_4 = \frac{1}{\varphi^2} = \frac{1}{2};$$

- определяют по величинам передаточных отношений диаметры шкивов и числа зубьев

клиноременная передача

$$i_{кр} = \frac{1}{1,41^0} = 1, \text{ диаметры ведущего } d_{вщ}, \text{ мм, и ведомого } d_{вм}, \text{ мм, шкивов,}$$

$$d_{вщ} = 100, d_{вм} = 100;$$

основная группа сумма зубьев  $\sum Z = 70$ ,

$$i_1 = \frac{1}{\varphi} = \frac{1}{1,41} = \frac{29}{41} \quad i_2 = \frac{1}{\varphi^0} = 1 = \frac{35}{35};$$

переборная группа сумма зубьев равна 84.

$$i'_3 = \frac{1}{2,8} = \frac{22}{62}, \quad i''_3 = \frac{1}{1,41} = \frac{39}{45} \text{ – повышающая передача } i_5 = \varphi^2 = 2;$$

передача между III и IV валом сумма зубьев равна 91

$$i''_3 = \frac{1}{2,8} = \frac{24}{67}, \quad i''_3 = \frac{1}{1,41} = \frac{38}{53};$$

постоянная передача сумма зубьев равна 99.

$$i_4 = \frac{1}{1,41} = \frac{41}{58}.$$

Кинематическая схема коробки скоростей консольно-вертикального фрезерного станка показана на рисунке 5.3.

5.3.10 Вычисляют действительный ряд частот вращения на исполнительном звене. Отклонение действительных частот вращения от стандартных не должны превышать значений:

$$\pm \Delta n = (\varphi - 1) \cdot 10\%, \text{ т.е. при } \varphi = 1.41 \quad \pm \Delta n = 4.1\%.$$

Проверяем по минимальному значению:

$n = 45$  об/мин

$$n_d = 715 \cdot i_{\min_{обц}} = 715 \cdot i_{кр} \cdot i_{\min_a} \cdot i_{I-II \min_b} \cdot i_{III-IV \min_b} \cdot i_c =$$

$$= 715 \cdot \frac{100}{100} \cdot \frac{29}{41} \cdot \frac{22}{62} \cdot \frac{24}{67} \cdot \frac{41}{58} = 45,44 \text{ об / мин}$$

$$\Delta n = 45 - 45,44 = -0,44 \rightarrow \text{или } \approx 1\%$$

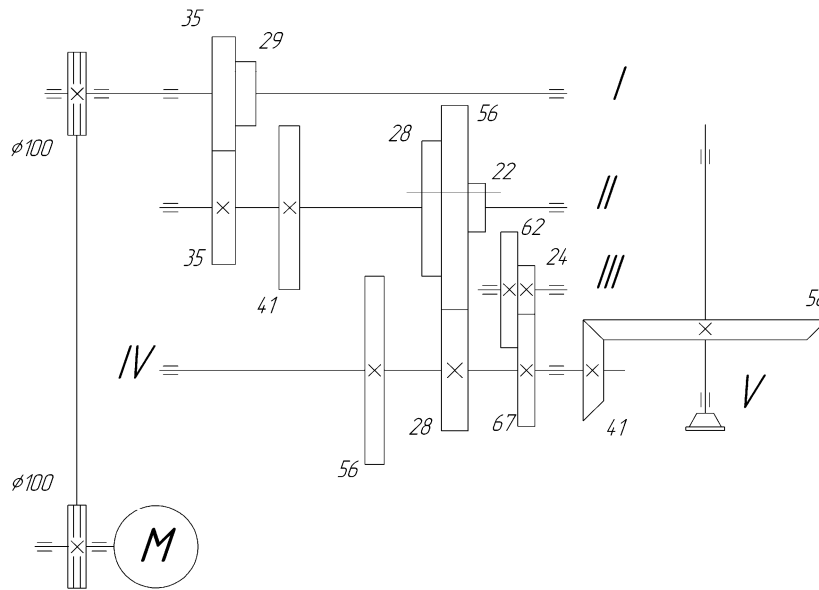


Рисунок 5.2 – Кинематическая схема привода

## 6 Пример кинематического расчета бесступенчатого привода вращательного движения шпинделя токарно-винторезного станка

### 6.1 Исходные данные:

диаметр обработки над станиной - 400 мм;

диаметр обработки над суппортом – 200 мм;

материал режущей части инструмента – твердый сплав, быстрорежущая сталь;

материал обрабатываемых заготовок – сталь (углеродистая, конструкционная, легированная)  $\sigma_b = 700-800$  МПа, чугун НВ240-285;

приводной электродвигатель – постоянного тока.

### 6.2 Предельные режимы резания и диапазон регулирования частоты вращения шпинделя и подачи токарного станка



### 1 6.2.1 Общие сведения

Токарно-винторезные станки являются станками широко универсальными. На них выполняются различные технологические процессы: точение наружных и внутренних цилиндрических и конических поверхностей, сверление, развертывание, обработка торцевых плоскостей, нарезание резьб резцами и плашками и другие виды работ.

На станках этого типа изготавливаются детали машин из различных материалов и из заготовок, полученных различными методами (прокат, поковки, штамповки, литье).

В основу расчета предельных режимов резания токарных станков положено продольное наружное точение углеродистой конструкционной стали и серого чугуна, как наиболее типичные виды обработки для станков этой группы.

Основным параметром токарного станка является наибольший диаметр  $D_{\max}$  обрабатываемой заготовки над станиной. Этот диаметр приблизительно равен удвоенной высоте центров станка и регламентируется ГОСТ 440-57. Другим важным параметром станка является наибольшее межцентровое расстояние, регламентированное ГОСТ 440-51.

### 1 6.2.2 Предельные диаметры обработки на токарных станках

Наибольший диаметр обработки  $D_{\max}$  указан в задании и равен 400 мм. Наименьший диаметр  $D_{\min}$ , мм, для универсальных станков определяется соотношением

$$D_{\min} = (0,1 \dots 0,15) D_{\max}, \quad (6.1)$$
$$D_{\min} = 0,15 \cdot 400 = 60.$$

Принимаем  $D_{\min} = 60$  мм.

В действительности, на токарных станках можно обрабатывать детали со значительно меньшими диаметрами, чем  $D_{\min}$ , принятому при расчете, но эти случаи обработки не являются типичными для станка.

### 6.2.3 Глубина резания

Учитывая относительно небольшое влияние глубины резания на стойкость инструмента и скорость резания, рекомендуется назначать глубину резания, исходя из обработки заготовки в один проход, что ведет к увеличению производительности. Поэтому глубина резания определяется величиной припуска на обработку, которая зависит от вида обработки – чернового или чистового точения.

При черновом точении глубина резания  $t_{\max}$ , мм, равна величине припуска на черновое точение  $Z_1$ , мм и определяется разностью общего припуска  $Z_0$ , мм, и промежуточных (межоперационных) припусков на последующие обработки – чистовое точение  $Z_2$ , мм, и шлифование  $Z_3$ , мм.

$$t_{\max} = [Z_0 - (Z_2 + Z_3)] \cdot 0,5. \quad (6.2)$$

Согласно справочным данным [2] припуски имеют следующие значения:  $Z_0 = 14,4$  мм,  $Z_2 = 3$  мм,  $Z_3 = 1$  мм.

$$t_{\max} = [14,4 - (3 + 1)] \cdot 0,5 = 5,2.$$

При изготовлении деталей ступенчатой формы из круглого проката припуск снимается в несколько проходов, однако этот случай не является расчетным. Наименьшая глубина резания для продольного точения определяется величиной припуска на чистовое точение

$$t_{\min} = \frac{Z_2}{2}, \quad (6.3)$$

где  $Z_2 = 2$  мм – припуск на чистовое точение, задаваемый на минимальный диаметр обрабатываемой заготовки.

$$t_{\min} = \frac{2}{2} = 1 .$$

#### 6.2.4 Предельные значения подачи

Величину наибольшей подачи  $S_{\max}$ , мм/об, при черновом точении лимитирует прочность державки резца и пластины твердого сплава, жесткость системы СПИД, прочность механизмов станка.

Определяющим фактором при выборе наибольшей подачи принимается оптимальная мощность резания, соответствующая данному типоразмеру станка и определяемая на основе анализа опытно-статических табличных данных и характеристик станков. При выборе  $S_{\max}$ , мм/об, используем [1], [2].

$$S_{\max} = 1.8 \text{ мм/об.}$$

В дальнейшем, после того как будут определены параметры станка, принятую наибольшую подачу проверяют на прочность державки резца и пластинки твердого сплава, а так же на жесткость системы.

Наименьшая подача  $S_{\min}$ , мм/об определяется исходя из режимов, чистового точения, в зависимости от допускаемой шероховатости поверхности [1].

$$S_{\min} = 0,1 \text{ мм/об}$$

Для тонкого точения и точения закаленных сталей подача уменьшается в 1,5 ... 2 раза по сравнению с обычным точением.

$$S'_{\min} = 0,5 S_{\min}, \quad (6.4)$$

$$S'_{\min} = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05.$$

При черновой обработке цветных металлов и сплавов  $S_{\max}$  увеличивается в два – в три раза:

$$S'_{\max} = (2...3)S_{\max}, \quad (6.5)$$

$$S'_{\max} = 2 \cdot 1.8 = 3.6.$$

Учитывая предыдущие вычисления и используя характеристики подобных станков 1К62 и 1К620П, корректируем подачи :

$$S_{\min} = 0,05 \text{ мм/об}$$

$$S_{\max} = 3.5 \text{ мм/об.}$$

#### 6.2.5 Предельные скорости резания при продольном точении и предельные частоты вращения шпинделя

Скорость резания  $V$ , м/мин при продольном точении определяется формулой

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} k_m k_n k_u k_\varphi, \quad (6.6)$$

где  $T$  – стойкость инструмента, мин;

$t$  – глубина резания, мм;

$S$  – подача, мм/об.

Постоянная  $C_v$ , показатели степени  $m$ ,  $x$ ,  $y$  и коэффициенты  $K_m, K_u, K_n$  и  $K_\varphi$  определяются по справочнику. Среднее значение стойкости  $T$  при одноинструментальной обработке равно 60 мин.

Наибольшая скорость резания определяется, исходя из режима чистового точения стали наименьшей прочности (по заданию) резцом с пластинкой твердого сплава марки Т15К6. Глубина резания и подача – минимальные для продольного точения.

$C_v = 420$ ;  $m = 0,2$ ;  $x = 0,15$ ;  $y = 0,2$ ;  $K_m = 1,07$ ;  $K_u = 1,0$ ;  $K_n = 1,0$ ;  $K_\varphi = 1$ ;  
 $T = 60$  мин;  $t = t_{\min} = 1$  мм;  $S = S_{\min} = 0,05$  мм/об.

$$V_{\max} = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 1^{0,15} \cdot 0,05^{0,2}} \cdot 1,07 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 361.$$

Наименьшая скорость рассчитывается для чернового точения заготовки из серого чугуна на наибольшей твердости с коркой, резцом, оснащенным твердым сплавом ВК8. Глубина резания и подача – максимальная для чернового точения.

$C_v = 243$ ;  $m = 0,2$ ;  $x = 0,15$ ;  $y = 0,4$ ;  $K_m = 0,67$ ;  $K_u = 0,83$ ;  $K_n = 0,6$ ;  $K_\varphi = 1$ .  
 $T = 60$  мин;  $t = t_{\max} = 5,2$  мм;  $S = S_{\max} = 3,5$  мм/об.

$$V_{\min} = \frac{243}{60^{0,2} \cdot 5,2^{0,15} \cdot 3,5^{0,4}} \cdot 0,67 \cdot 0,6 \cdot 0,83 \cdot 1 = 17.$$

Составляющие силы резания рассчитываются по формуле

$$P_z (P_y P_x) = 10 C_p t^x s^y V^n K_p. \quad (6.7)$$

Постоянная  $C_p$  и показатели степени  $x$ ,  $y$ ,  $n$  для каждой составляющей силы резания определяются по справочнику [1].

Поправочный коэффициент  $K_p$  представляет собой произведение коэффициентов, учитывающих изменения против табличных условий резания

$$K_p = K_M \cdot K_\varphi \cdot K_\gamma. \quad (6.8)$$

Коэффициенты  $K_M$ ,  $K_\varphi$ ,  $K_\gamma$  выбирают по справочнику [1].

Наибольшие значения составляющих сил резания рассчитываются для случая чернового продольного точения стали  $\sigma_B = 750$  МПа резцами с пластинами твердого сплава Т5К10 при наибольших значениях глубины резания, подачи и скорости. Из предыдущих вычислений принимают:  $t = 5,2$  мм,  $S = 3,5$  мм/об,  $V = 17$  м/мин.

Для силы резания  $P_z$ , Н;  $C_p = 300$ ;  $x = 1$ ;  $y = 0,75$ ;  $n = -0,15$ .

Используя [1] определяют значения коэффициента  $K_M$ ,

$$K_M = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^{n_1}, \quad (6.9)$$

где  $n_1 = 0,75$  – показатель степени, находят из [1, с. 264];

$$K_M = \left( \frac{800}{750} \right)^{0,75} = 1,05.$$

Значения поправочных коэффициентов  $K_\varphi$  и  $K_\gamma$ :  $K_\varphi = 1$ ;  $K_\gamma = 1,0$ .

Подставляют поправочные коэффициенты в формулу (6.8)

$$K_p = 1,05 \cdot 1 \cdot 1 = 1,05.$$

Следовательно, из формулы (6.7)

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 5,2^1 \cdot 0,4^{0,75} \cdot 17^{-0,15} \cdot 1,05 = 5386.$$

Для силы резания  $P_y$ , Н,  $C_p = 243$ ;  $x = 1$ ;  $y = 0,6$ ;  $n = -0,3$ .

Из формулы (6.9) находят значение коэффициента  $K_M$

$$K_M = \left( \frac{800}{750} \right)^{1,05} = 1,07.$$

Значения поправочных коэффициентов  $K_\varphi$  и  $K_\gamma$ :  $K_\varphi = 1$ ;  $K_\gamma = 1,4$ .

Подставляют поправочные коэффициенты в формулу (6.8)

$$K_p = 1,07 \cdot 1 \cdot 1,4 = 1,5.$$

Из формулы (6.7) следует

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 5.2^1 \cdot 0.4^{0.6} \cdot 17^{-0.3} \cdot 1.07 = 3335 .$$

Мощность резания  $P_{\text{эфф}}$ , кВт, рассчитывается по формуле

$$P_{\text{эфф}} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} . \quad (6.10)$$

Расчеты показывают, что мощность резания стали больше мощности резания серого чугуна. Поэтому определяющим является расчет мощности при резании стали. Расчетным случаем при определении мощности является черновое продольное точение стали с наименьшим по заданию пределом прочности. В этом случае вертикальная составляющая  $P_z = 5368$  Н и скорость резания  $V = 110$  м/мин.

$$P_{\text{эфф}} = \frac{5368 \cdot 90}{1020 \cdot 60} = 7,89 .$$

Определяют мощность приводного электродвигателя  $P_M$ , кВт, по полезной (эффективной) мощности резания  $P_{\text{эфф}}$ , кВт, для самого нагруженного режима обработки

$$P_M = \frac{P_{\text{эфф}}}{\eta} , \quad (6.11)$$

где  $\eta = 0,7 \dots 0,85$  – коэффициент полезного действия привода станка.

$$P_M = \frac{7,89}{0,80} = 9,86 .$$

Принимают двигатель мощностью  $P_M=10$  кВт. По мощности из каталогов [5] выбираем двигатель 2ПФ225МУХЛ4,  $n_{M\text{min}}=70$  об/мин,  $n_{M\text{max}}=1500$  об/мин. Номинальная частота ротора двигателя  $n_{\text{ном}}=630$  об/мин.

### 6.3 Кинематический расчет привода вращательного движения шпинделя

#### 6.3.1 Предельные частоты вращения шпинделя

Наибольшее число оборотов в минуту шпинделя  $n_{\max}$ , об/мин, находят по формуле

$$n_{\max} = \frac{1000V_{\max}}{\pi D_{\min}}, \quad (6.12)$$
$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot 361}{3.14 \cdot 60} = 1915.16.$$

Наименьшее число оборотов в минуту шпинделя  $n_{\min}$ , об/мин, определяется по аналогичной формуле

$$n_{\min} = \frac{1000V_{\min}}{\pi D_{\max}}, \quad (6.13)$$
$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 17}{3.14 \cdot 400} = 13.53.$$

Исходя из статистических данных, опыта работы на токарно-винторезных станках и учитывая схожие конструкции станков 1К62 и 1К620П, принимают  $n_{\min} = 12.5$  об/мин,  $n_{\max} = 2000$  об/мин.

#### 6.3.2 Диапазон регулирования привода, $R_n$

$$n = \frac{n_{\text{шпmax}}}{n_{\text{шпmin}}}, \quad (6.14)$$

где  $n_{\text{шпmax}}$ ,  $n_{\text{шпmin}}$  - максимальная и минимальная частота вращения шпинделя,

$$R_n = \frac{2000}{12.5} = 160.$$

#### 6.3.3 Диапазон регулирования приводного электродвигателя, $R_M$

$$R_M = \frac{n_{M\max}}{n_{M\min}}, \quad (6.15)$$

где  $n_{M\max}$ ,  $n_{M\min}$  - максимальная и минимальная частоты вращения приводного электродвигателя,

$$R_M = \frac{1500}{70} = 21,43.$$

#### 6.3.4 Диапазон регулирования ступенчатой части привода, $R_K$

$$R_K = \frac{R_n}{R_M}, \quad (6.16)$$

$$R_K = \frac{160}{21,43} = 7,47.$$

Такой диапазон регулирования можно получить с помощью коробки скоростей, выполненной в виде простой множительной структуры.

#### 6.3.5 Число ступеней частот вращения коробки скоростей, $z$ определяют по формуле

$$z = \frac{\lg R_n}{\lg R_M}, \quad (6.17)$$

$$z = \frac{\lg 160}{\lg 21.43} = 1.656.$$

Округляя значение  $z$  до ближайшего большего целого, обеспечивают “перекрытия” частот вращения на шпинделе. Поэтому принимают  $z=2$ .

### 6.3.6 Значение знаменателя ступенчатой части привода

Находят знаменатель ступенчатой части привода

$$\lg \varphi_k = \frac{\lg R_n}{z}, \quad (6.18)$$

$$\lg \varphi_k = \frac{\lg 160}{2} = 1.0206, \quad \varphi_k = 12.649.$$

Округляют в большую сторону  $\varphi_k = 12.7$ , что также обеспечит получение “перекрытий” на диапазоне регулирования.

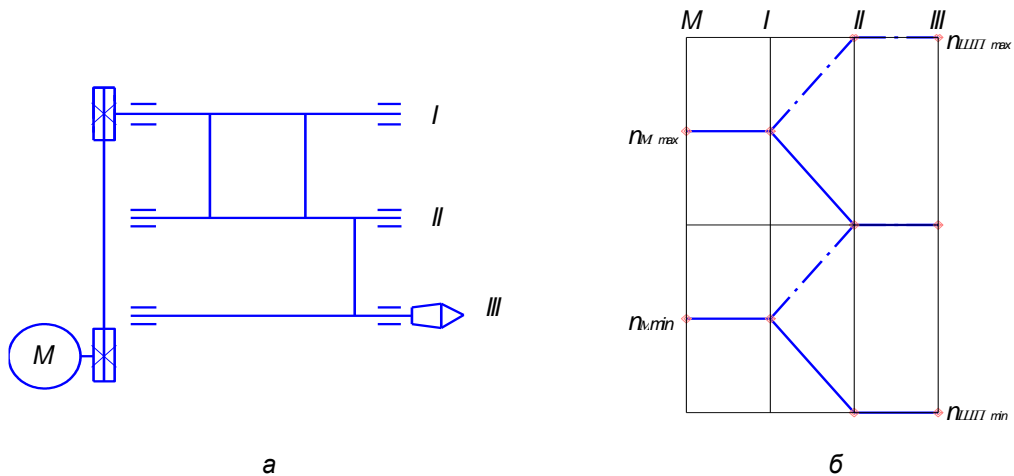


Рисунок 6.1 - Структурная схема “а” и структурная сетка “б” привода

#### График частот вращения

Построение графика частот вращения начинают с определения положения основных точек, соответствующих предельным значениям частот вращения двигателя и шпинделя на шкале графика. Шкала графика имеет четыре вертикальных линии (по количеству валов привода). Количество горизонтальных линий определяется в процессе построения графика и зависит от величины диапазона регулирования привода.

Точка, соответствующая минимальной частоте вращения шпинделя,  $n_{III \min}$ , располагается у III вала на нижней горизонтальной линии.

Положение точки, соответствующей максимальному числу оборотов шпинделя,  $n_{III \max}$ , на графике определяется показателем степени  $a_1$  при знаменателе  $\varphi_k$  из выражения

$$n_{III \max} = n_{III \min} \cdot \varphi_k^{a_1}, \quad (6.19)$$

$$a_1 = \frac{\lg \frac{n_{\text{ШПmax}}}{n_{\text{ШПmin}}}}{\lg \varphi_k} = \frac{\lg \frac{2000}{12.5}}{\lg 12.7} = 2,$$

так как шкала деления сетки по вертикали  $0,1 a$ , точку  $n_{\text{ШПmax}}$  располагают на соответствующей (двадцатой) горизонтальной линии.

**Положение на графике точки, соответствующей наименьшему числу оборотов электродвигателя**

$$n_{\text{Mmin}} = n_{\text{ШПmin}} \cdot \varphi_k^{a_2}. \quad (6.20)$$

Показатель степени  $a_2$  при знаменателе геометрического ряда  $\varphi^k$ :

$$a_2 = \frac{\lg \frac{n_{\text{Mmin}}}{n_{\text{ШПmin}}}}{\lg \varphi_k} = \frac{\lg \frac{70}{12.5}}{\lg 12.7} = 0.678. \quad \text{Положение}$$

точки на графике, соответствующей наибольшему числу оборотов электродвигателя.

$$n_{\text{Mmax}} = n_{\text{ШПmin}} \cdot \varphi_k^{a_3}. \quad (6.21)$$

Показатель степени  $a_3$  при знаменателе геометрического ряда  $\varphi^k$

$$a_3 = \frac{\lg \frac{n_{\text{Mmax}}}{n_{\text{ШПmin}}}}{\lg \varphi_k} = \frac{\lg \frac{1500}{12.5}}{\lg 12.7} = 1.88$$

**Положение точки на графике, соответствующей номинальному числу оборотов электродвигателя.**

$$n_{\text{НОМ}} = n_{\text{ШПmin}} \cdot \varphi_k^{a_4}. \quad (6.22)$$

Показатель степени  $a_4$  при знаменателе геометрического ряда  $\varphi^k$

$$a_4 = \frac{\lg \frac{n_{\text{НОМ}}}{n_{\text{ШПmin}}}}{\lg \varphi_k} = \frac{\lg \frac{630}{12.5}}{\lg 12.7} = 1.54.$$

Передаточные отношения ступенчатой части привода

Минимальное общее передаточное отношение кинематической цепи, связывающей минимальную частоту вращения двигателя с минимальной частотой вращения шпинделя,  $i_{\text{min}}^{\text{общ}}$ , находят из формулы

$$i_{\text{min}}^{\text{общ}} = \frac{n_{\text{ШПmin}}}{n_{\text{Mmin}}}. \quad (6.23)$$

Подставив численные значения в формулу

$$i_{\text{min}}^{\text{общ}} = \frac{12.5}{70} = 0.179.$$

Минимальное общее передаточное отношение, выраженное через  $\varphi_k$

$$\varphi_k^{A_1} = i_{\text{min}}^{\text{общ}}.$$

Показатель степени  $A_1$ , будет равен:

$$A_1 = \frac{\lg i_{\min}^{\text{общ}}}{\lg \varphi_k}, \quad (6.24)$$

$$A_1 = \frac{\lg 0.179}{\lg 12.7} = -0.678.$$

Минимальное общее передаточное отношение представляют как

$$i_{\min}^{\text{общ}} = \varphi_k^{-0.678} = \frac{1}{\varphi^{0.678}}.$$

Максимальное общее передаточное отношение кинематической цепи, связывающей максимальную частоту вращения двигателя с максимальной частотой шпинделя  $i_{\max}^{\text{общ}}$ , находят по формуле

$$i_{\max}^{\text{общ}} = \frac{n_{\text{III}}^{\text{max}}}{n_{\text{Mmax}}}. \quad (6.25)$$

Подставим численные значения

$$i_{\max}^{\text{общ}} = \frac{2000}{1500} = 1.33.$$

Максимальное общее передаточное отношение, выраженное через  $\varphi_k$ :

$$\varphi_k^{A_2} = i_{\max}^{\text{общ}}.$$

Отсюда показатель степени  $A_2$ , будет равен

$$A_2 = \frac{\lg i_{\max}^{\text{общ}}}{\lg \varphi_k}, \quad (6.26)$$

$$A_2 = \frac{\lg 1.33}{\lg 12.7} = 0.12.$$

Максимальное общее передаточное отношение можно представить как

$$i_{\max}^{\text{общ}} = \varphi_k^{0.12}.$$

#### Определение передаточных отношений в группах

Разбивают общие передаточные отношения по группам передач, предварительно определив пределы, в которых могут находиться предельные передаточные отношения в группах. Для этого вычисляют показатели степени  $B_1$  и  $B_2$  при  $\varphi_k$ , которым соответствуют наибольшее

$i_{\max} = 2$  и наименьшее  $i_{\min} = \frac{1}{4}$  передаточные отношения.

Для наибольшего передаточного отношения  $i_{\max}$  показатель степени  $B_1$

$$i_{\max} = \varphi_k^{B_1}, \quad B_1 = \frac{\lg i_{\max}}{\lg \varphi_k} \quad (6.27)$$

После подстановки численных значений в формулу

$$B_1 = \frac{\lg 2}{\lg 12.7} = 0.27.$$

Следовательно,

$$i_{\max} = \varphi_k^{0.27} = 2.$$



Для наименьшего передаточного отношения  $i_{min}$

$$i_{min} = \varphi_k^{B_2}, B_2 = \frac{\lg i_{min}}{\lg \varphi_k} \quad (6.28)$$

После вычислений

$$B_2 = \frac{\lg \frac{1}{4}}{\lg 12.7} = -0.54.$$

Следовательно,

$$i_{min} = \varphi_k^{-0.54} = \frac{1}{\varphi_k^{0.54}} = \frac{1}{4}.$$

Производят разбивку наибольшего и наименьшего передаточного отношения по группам передач

$$i_{min}^{общ} = i_{кр} \cdot i_{I-II}^{min} \cdot i_{II-III}^C; \quad (6.29)$$

$$i_{max}^{общ} = i_{кр} \cdot i_{I-II}^{max} \cdot i_{II-III}^C, \quad (6.30)$$

где  $i_{кр}$  - передаточное отношение клиноременной передачи;

$i_{I-II}^{min}$  - минимальное передаточное отношение между I-II валом;

$i_{I-II}^{max}$  - максимальное передаточное отношение между I-II валом;

$i_{II-III}^C$  - постоянное передаточное отношение между II-III валом.

Передаточное отношение клиноременной передачи принимают равным  $i_{кр} = \varphi^0 = 1$ .

Обычно разгрузочная передача выполняется как понижающая, т.е. имеет передаточное отношение меньше единицы. Принимают  $i_{II-III}^C$  равным

$$i_{II-III}^C = \varphi_k^{-0.15} = 0.683.$$

Для передаточных отношений  $i_{I-II}^{min}$  и  $i_{I-II}^{max}$

$$i_{I-II}^{min} = \frac{i_{min}^{общ}}{i_{кр} \cdot i_{II-III}^C}, \quad i_{I-II}^{max} = \frac{i_{max}^{общ}}{i_{кр} \cdot i_{II-III}^C}. \quad (6.31)$$

После подстановки численных значений передаточные отношения

$$i_{I-II}^{min} = \frac{\varphi_k^{-0.678}}{\varphi_k^0 \times \varphi_k^{-0.15}} = \varphi_k^{-0.53} = \frac{1}{\varphi_k^{0.53}}, \quad i_{I-II}^{max} = \frac{\varphi_k^{0.12}}{\varphi_k^{0.12} \cdot \varphi_k^{-0.27}} = \varphi_k^{0.27}.$$

В итоге

$$i_{I-II}^{min} = \varphi_k^{-0.53} = \frac{1}{\varphi_k^{0.53}} = \frac{1}{3,85}, \quad i_{I-II}^{max} = \varphi_k^{0.27} = 2.$$

После определения величин передаточных отношений в группах строят график частот вращения.

Диаметры шкивов клиноременной передачи и числа зубьев зубчатых пар в групповых передача-  
чах

Клиноременная передача,  $i_{кр} = \varphi^0 = 1$ .

Диаметры шкивов, мм: ведущий 160, ведомый 160.

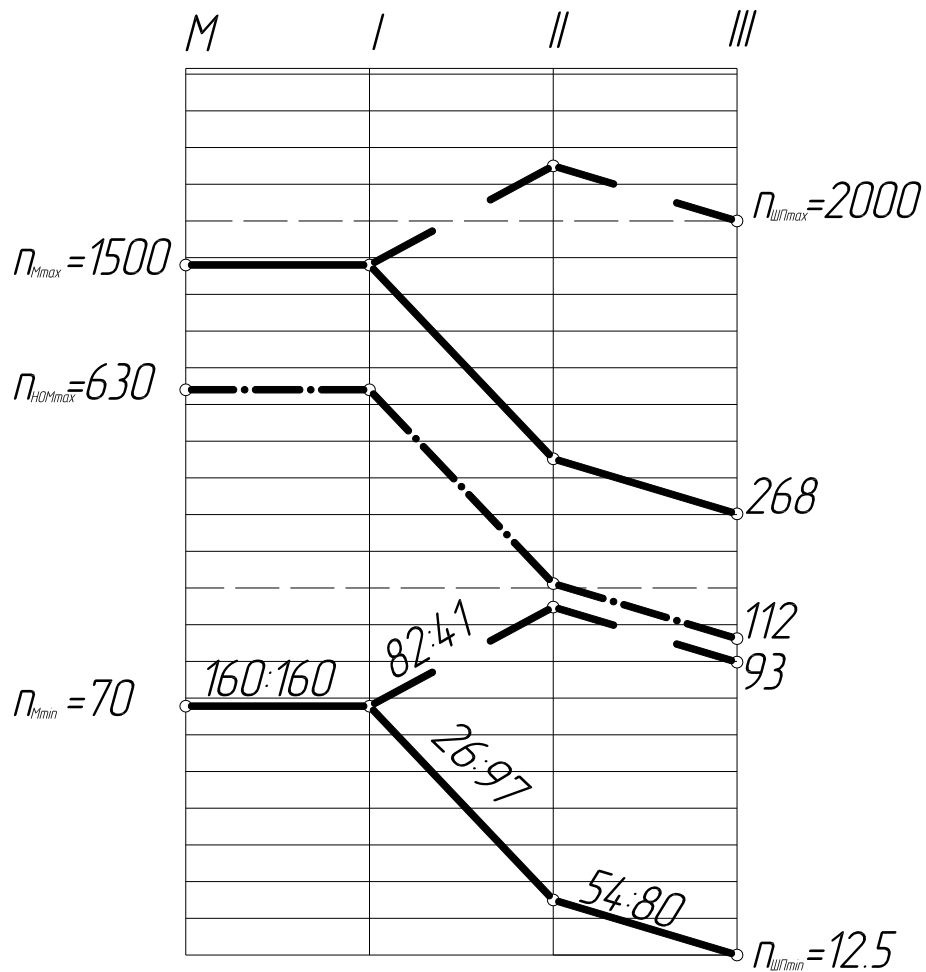


Рисунок 6.2 – График частот вращения

Числа зубьев зубчатых пар для передачи с I на II вал.

$$i_{I-II}^{min} = \varphi_k^{-0.53} = \frac{26}{97} = \frac{1}{3,73}, \quad i_{I-II}^{max} = \varphi_k^{0.27} = \frac{82}{41} = 2.$$

Понижающая передача  $Z_1 = 26$  и  $Z_2 = 97$ .

Повышающая передача  $Z_3 = 82$  и  $Z_4 = 41$ .

Числа зубьев сопряженных колес постоянной передачи с II на III вал

$$i_{II-III} = \varphi_k^{-0.15} = \frac{1}{\varphi_k^{0,15}} = \frac{1}{1,46} = \frac{54}{80},$$

т.е.  $Z_5 = 54$  и  $Z_6 = 80$ .

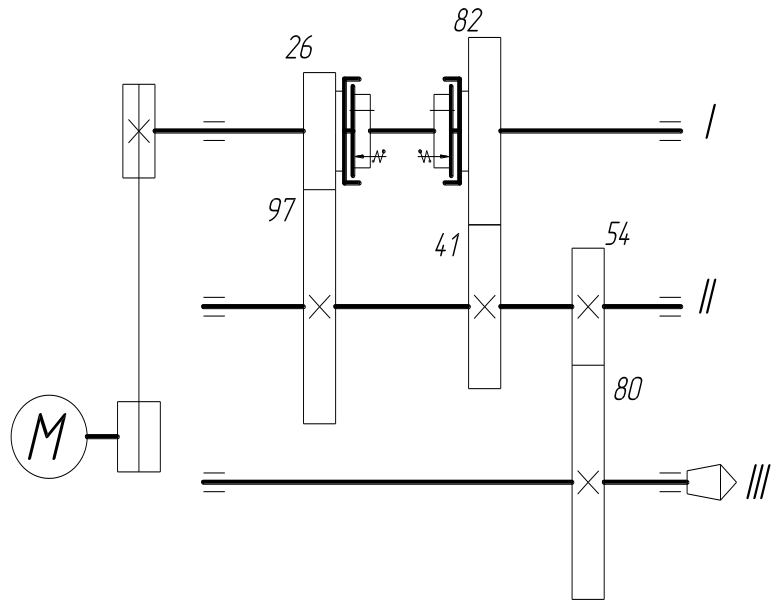


Рисунок 6.3 – Кинематическая схема привода

Таблица А.1 - Таблица для определения количества зубьев сопряженных зубчатых колес  $\Sigma z$

$i$	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
1,00	20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30
1,06		20		21		22		23									27		28		29
1,12	19							22		23		24		25		26		27		28	
1,19					20		21		22		23		25			25		26		27	
1,26		18		19		20					22		23		24		25			26	
1,33	17		18		19			20		21		22			23		24		25		
1,41		17					19		20			21		22		23			24		25
1,50	16					18		19			20		21			22		23			24
1,58		16			17					19			20		21			22		23	23
1,68				16					18			19			20		21			22	
1,78			15					17			18			19			20		21		
1,88	14			15			16			17			18			19			20		21
2,00			14			15			16			17			18			19			20
2,11					14			15			16			17			18			19	
2,24			13			14				15			16		17				18		
2,27					13			14				15			16			17			
2,51			12				13			14				15			16				17
2,66					12				13			14				15			16		
2,88																				16	
2,99									12					13		14					15

Продолжение таблицы А.1

<i>i</i>	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
1,00		31		32		33		34		35		36		37		38		39	
1,06		30		31		32		33		34		35		36		37		38	
1,12		29		30		31		32		33		34		35		36		37	37
1,19	28		29	29		30		31		32		33		34		34	35		36
1,26	27		28		29	29		30		31		32		33		33	34		35
1,33	26		27		28			29		30		31			32		33		34
1,41			26		27		27	28		29		30	30		31		32		33
1,50					26		27	27		28		29	29		30		31	31	
1,58		24			25		26			27		28	28		29		30	30	
1,68		23		24			25		26	26		27	27		28		29	29	
1,78	22			23			24		25	25		26			27			28	
1,88	21		22	22		23	23		24			25			26			27	
2,00			21			22			23			25			26			27	
2,11		20			21	21		22	22		23	23		24	24			25	
2,24	19	19			20			21			22	22		23	23		24	24	
2,37	18			19			20	20			21			22			23	23	
2,51			18			19	19			20	20		21	21			22	22	
2,66		17				18			19	19			20	20			21		
2,82	16				17			18	18			19				20	20		
2,99				16			17	17			18	18			19	19			20
3,16						16	16			17	17				18				19
3,35								16	16	16				17				18	18
3,55												16	16				17	17	
3,76											15	15				16	16		

Продолжение таблицы А.1

<i>i</i>	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1,00	40		41		42		43		44		45		46		47		48		49		50
1,06	39		40	40	40	41	42	42	43	43	44	44	45	45	46	46	47	47		42	
1,12	38		39		40		41		42		43	43		44	44	45	46	46	47	47	
1,19		37		38		39	39	40	40	41	41		42		43		44	44	45	45	46
1,26		36	36	37	37		38		39		40	40	41	41		42		43		44	44
1,33	34	35		36		37	37	38	38		39		40	40	41	41		42		43	
1,41	33		34		35	35	36			37	37	38	38		39	39	40	40		41	
1,50	32		33	33		34		35	35		36		37	37	38	38		39	39	40	40
1,58	31		32	32		33	33		34		35	35		36		37	37		38	38	39
1,68	30		31		32	32		33	33		34		35	35		36	36		37	37	
1,78	29	29		30	30		31			32		33	33		34	34		35	35		36
1,88	28	28		29	29		30	30		31	31		32	32		33	33		34	34	35
2,00		27			28		29	29		30	30		31	31		32	32		33	33	
2,11		26			27			28	28		29	29		30	30		31	31		32	32
2,24		25			26	26		27	27		28	28		29	29			30	30		31
2,37		24			25	25		26	26			27	27		28	28		29	29		
2,51	23	23			24	24		25	25			26	26		27	27			28	28	
2,66	22	22			23	23		24	24			25	25			26	26		27	27	
2,82	21	21			22			23	23			24	24			25	25			26	26
2,99	20			21	21			22	22			23	23			24	24			25	25
3,16	19			20	20			21	21			22	22			23	23			24	24
3,35			19	19			20	20	20			21	21			22	22			23	23
3,55		18	18	18			19	19			20	20	20			21	21			22	22
3,76	17	17				18	18				19	19				20	20			21	21
3,98	16	16			17	17	17			18	18	18			19	19	19			20	20

Продолжение таблицы А.1

<i>i</i>	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
1,00	51	51	52	52	53	54	54	54	55	55	55	56	57	57	58	58	59	59	60	60
1,06	49		50		51		52		53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58
1,12		48		49		50		51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	56	56	57
1,19	47		47		48		49	49	50	50	51	51	52	52		53		54	54	55
1,26	45		46		47	47	48	48	49	49	50	50		51	51	52	52	53	53	53
1,33	43	44	44	45		46		46	47	47		48	48	49	49	50	50	51	51	52
1,41	42	42	43	43		44	44	45	45	46	46		47	47	48	48		49	49	50
1,50		41	41	42	42		43	43	44	44		45	45	46	46		47	47	48	48
1,58	39		40	40	41	41	42	42			43	43	44	44		45	45	46	46	46
1,68	38	38		39	39		40	40	41	41		42	42		43	43	44	44	45	45
1,78	36	37	37		38	38		39	39		40	40	41	41	41	42	42		43	43
1,88	35		36	36		37	37		38	38		39	39	39		40	40		41	41
2,00	34	34		35	35			36	36		37	37		38	38	38	39	39	40	40
2,11	33		33		34	34		35	35	35	36	36	36		37	37		38	38	
2,24	31		32	32		33	33	33	34	34	34		35	35		36	36		37	37
2,37	30	30		31	31		32	32	32		33	33		34	34		35	35	35	
2,51	29	29			30	30		31	31	31		32	32		33	33	33	33		34
2,66		28	28		29	29	29		30	30	30		31	31		32	32	32		33
2,82		27	27	27		28	28	28		29	29	29		30	30			31	31	
2,99			26	26	26		27	27			28	28			29	29			30	30
3,16	24		25	25	25		26	26	26			27	27			28	28			29
3,35	23			24	24			25	25	25		26	26	26			27	27		
3,55	22			23	23	23		24	24	24			25	25	25		26	26	26	
3,76				22	22	22		23	23	23			24	24	24			25	25	25
3,98	20		21	21	21	21		22	22	22	22		23	23	23	23		24	24	24

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература:

- 1 Схиртладзе А.Г., Иванова Т.И., Борискин В.П. Технологическое оборудование машиностроительных производств. Учебное пособие (гриф УМО) – ТНТ, 2009. – 708 с.
- 2 Схиртладзе А.Г., Борискин В.П., Выходец В.И., Никифоров И.И., Отений Я.Н. Оборудование машиностроительных предприятий. Учебное пособие (гриф УМО) – ТНТ, 2011. – 168 с.
- 3 Аверьянов О.И., Аверьянова И.О., Клепиков В.В. Технологическое оборудование. Учебное пособие (ГРИФ) - М.: ИНФРА-М: Форум, 2011. – 240 с.
- 4 Ефремов В.Д., Горохов В.А., Схиртладзе А.Г., Коротков И.А. Металлорежущие станки. Учебник – ТНТ, 2009 – 696 с.
- 5 Металлорежущие станки: Альбом по курсу «Металлорежущие станки». Составитель – А.Ю. Чирков. – Глазов: ГИЭИ, 2006. – 84 с.
- 6 Описание станков, их кинематических схем и механизмов: приложение к альбому «Металлорежущие станки». Составитель – А.Ю. Чирков. – Глазов: ГИЭИ (филиал) ИжГТУ, 2006. – 156 с.
- 7 Сибикин М.Ю. Технологическое оборудование. Учебник (ГРИФ) - М.: ИНФРА-М: Форум, 2010. – 400с.

### Дополнительная литература:

- 8 Станочное оборудование автоматизированного производства. Том 1./Под.ред. В.В. Бушуева. - М.: Изд-во «Станкин», 1993.-584 с.
- 9 Станочное оборудование автоматизированного производства. Том 2./Под.ред. В.В. Бушуева. - М.: Изд-во «Станкин», 1994.-656 с.
- 10 Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных вузов./ Под.ред. В.Э. Пуша. -М.: Машиностроение, 1986.-576 с.
- 11 Металлорежущие станки. Том 17 Под. ред. Н.С. Ачеркана. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1965.-764 с
- 12 Металлорежущие станки. Том 27 Под. ред. Н.С. Ачеркана. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1965.-628 с.
- 13 Кучер А.М., Киватицкий М.М., Покровский А.А. Металлорежущие станки: Альбом общих видов, кинематических схем и узлов.-Л.: Машиностроение. 1972.-308с.
- 14 Металлорежущие системы машиностроительных производств: Учеб. пособие для студентов технических вузов/ Под.ред. Г.Г. Земскова, О.В. Таратынова. - М.: Высшая школа, 1998.-464 с.
- 15 Схиртладзе А.Г., Новиков В.Ю., Тулаев Ю.И., Технологическое оборудование машиностроительных производств: Учеб. пособие для студентов машиностроительных специальностей вузов. В 2-х кн.: Кн. 1. - М.: Изд-во «Станкин», 1997.-311с.



16 Схиртладзе А.Г., Новиков В.Ю., Тулаев Ю.И., Технологическое оборудование машиностроительных производств: Учеб. пособие для студентов машиностроительных специальностей вузов. В 2-х кн.: Кн. 2. - М.: Изд-во «Станкин», 1997.-212с.

17 Металлорежущие станки: Учеб. пособие для вузов/ Н.С. Колев, Л.В. Красниченко, Н.С. Никулин и др. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1980.-500 с.

18 Металлорежущие станки и автоматы: Учебник для машиностроительных вузов./ Под. ред. А.С. Проникова. - М.: Машиностроение, 1981.-479 с.