

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Настройка зубофрезерного станка мод. FO-6

для нарезания цилиндрических и червячных зубчатых колёс

Цель работы: изучить устройство станка и методы его настройки для нарезания прямозубых, косозубых и червячных колёс; получить визуальную информацию при нарезании колёс на действующем оборудовании.

2.1. Средства технического оснащения

Зубофрезерный полуавтомат мод. FO-6.

Заготовки зубчатых и червячных колёс.

Червячно-модульные фрезы.

Оправки для крепления заготовок на станке.

Набор гаечных ключей и мерительного инструмента.

Комплект сменных зубчатых колёс для гитар настройки станка FO-6 приведен в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Комплект сменных зубчатых колёс для гитар настройки станка

Числа зубьев сменных колёс: $m=2$ мм (всего 76 шт.)									
		23	24	24	25	26	27	28	29
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80		82	83	84	85	86	87	88	89
90		92		94		96	97	98	
100									
110									
120									

2.2. Общие сведения

Зубофрезерный станок FO-6 является универсальным и предназначен для нарезания цилиндрических прямозубых и косозубых зубчатых колёс, а также червячных колёс в условиях мелкосерийного и крупносерийного производства (рис.2.1).

Прямозубые и косозубые колёса могут нарезаться по одной штуке и пакетом – несколько штук сразу. Для закрепления заготовок служат оправки разных диаметров, которые, в свою очередь, крепятся на столе станка при помощи специальных приспособлений. Фрезы при помощи оправок устанавливаются на шпинделе фрезерного суппорта.

Станок работает по методу обката, который заключается в том, что инструменту – червячно-модульной фрезе – и заготовке сообщаются согласованные вращательные движения, аналогичные движениям в обычной червячной передаче: червяк – червячное колесо. По методу обката на этом станке можно также фрезеровать шлицевые валы, нарезать зубья на цепных звёздочках, храповых колёсах и т. д. Для всех видов указанных специальных зацеплений применяются червячные фрезы, имеющие соответствующий профиль зубьев.

Нарезание цилиндрических прямозубых и косозубых колёс может осуществляться с попутной (рис.2.2,а) и встречной подачей (рис.2.2,б), различающихся направлением векторов скорости и подачи. При попутном фрезеровании (векторы скорости и подачи совпадают) скорость резания может быть увеличена на 20...25% по сравнению со встречным – при одновременном уменьшении шероховатости зуба.

Зубчатые колёса можно нарезать на станке за один или несколько проходов, изменяя соответствующим образом установку глубины резания.

Внешний вид станка с обозначением основных узлов и органов управления представлен на рис.2.3.

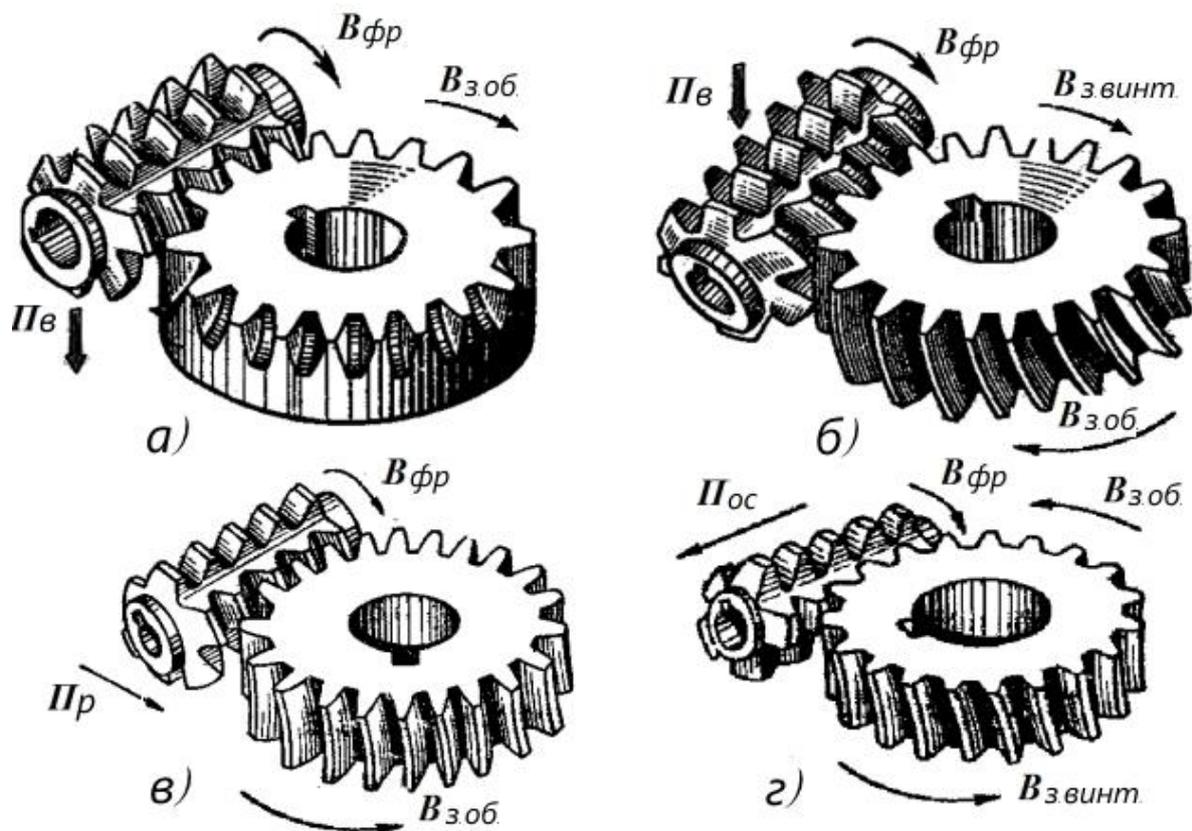


Рис.2.1. Формообразование зубьев колёс, нарезаемых на станке:
а – прямозубых, *б* – косозубых, *в*, *г* – червячных, соответственно,
 методом радиальной и осевой подачи

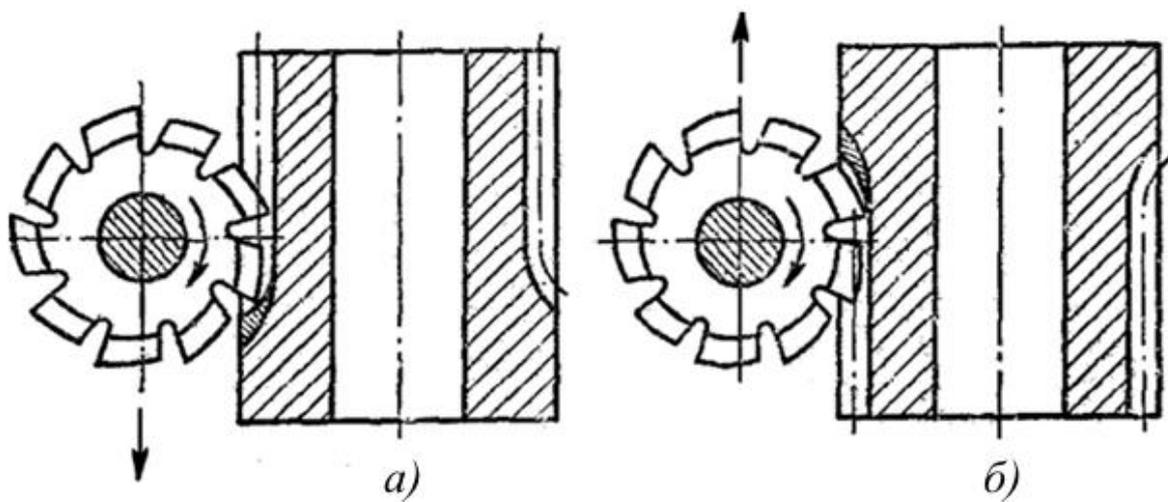


Рис.2.2. Схема нарезания цилиндрических прямозубых и косозубых колёс
 с попутной (*а*) и встречной (*б*) подачей

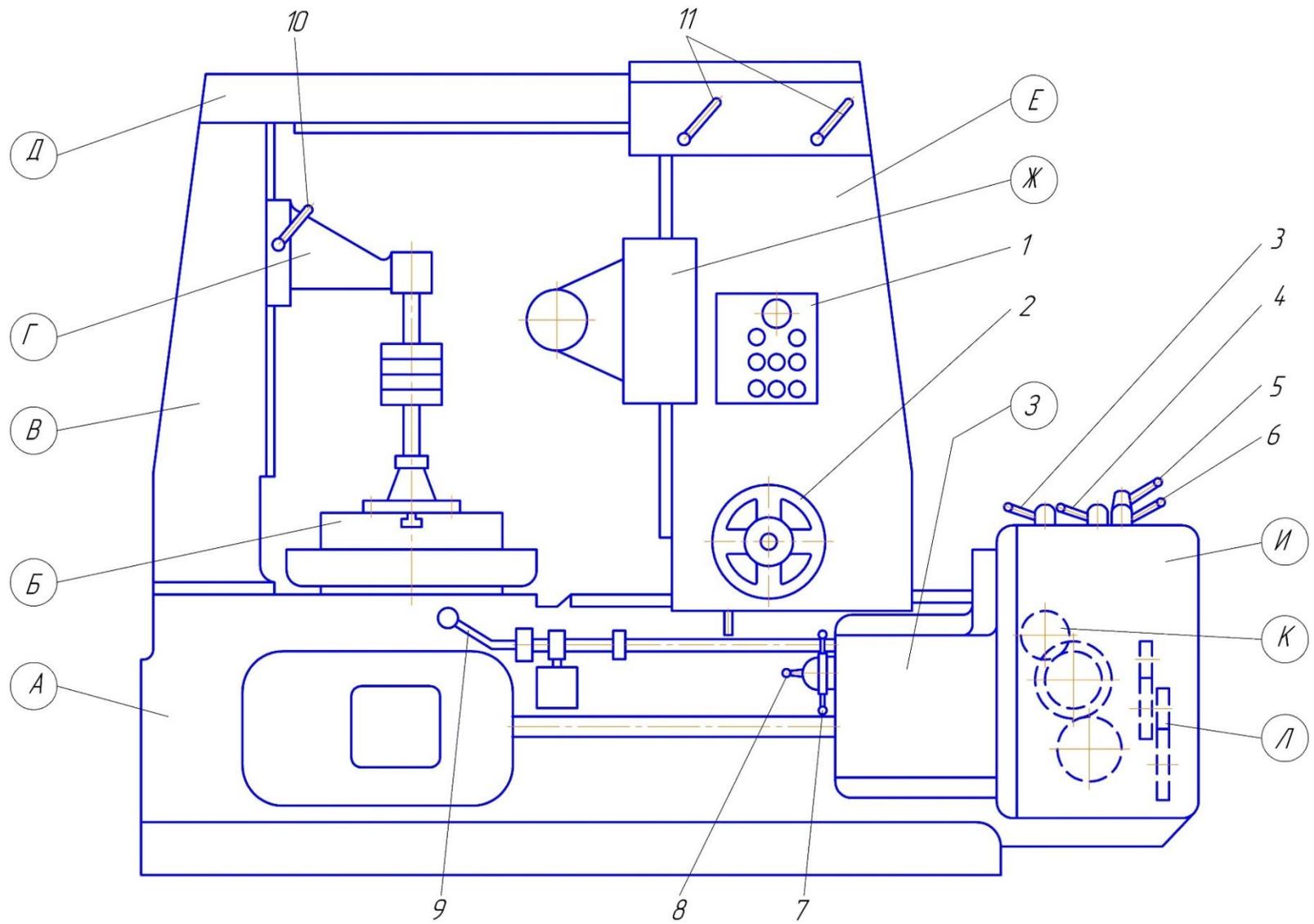


Рис. 2.3. Внешний вид станка FO-6

Наибольшая длина фрезы, мм	130
Число частот вращения шпинделя	12
Пределы частот вращения шпинделя, об/мин.....	15...190
Пределы величин подач фрезы в мм за 1 оборот стола (заготовки):	
вертикальных	0,34...5,15
продольных (радиальных).....	0,11...1,75
осевых	0,16...2,41
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	3/4
Частоты вращения вала электродвигателя, об/мин	1400/2800
Вес станка, кг	4100

2.3. Нарезание цилиндрических прямозубых и косозубых (с винтовыми зубьями) колёс

Колеса с винтовым зубом (см. рис.2.9) имеют правую и левую нарезку зуба (право- и левозаходные) с одним и тем же разнонаправленным углом, для того чтобы обеспечить их правильное сопряжение при работе в паре.

Прямозубые и косозубые колёса нарезаются червячно-модульными фрезами одинаковой конструкции. Эти фрезы имеют либо правое (правозаходные), либо левое (левозаходные) направление винтовой линии и могут работать как с попутной, так и встречной подачей (см. рис.2.2).

При зубофрезеровании, в зависимости от тех или иных условий, возможны различные комбинации фрез и колёс с разнонаправленными винтовыми линиями. Для упрощения изложения в данной работе основной упор сделан на рассмотрении вопросов нарезания правозаходных косозубых колёс праворежущими фрезами.

Направление винтовых линий у фрез и колёс определяется по правилу «буравчика», в котором вращение осуществляется слева направо. При этом вращать «буравчик» необходимо со стороны задней опоры шпинделя фрезы или стола (заготовки).

2.3.1. Задание для нарезания цилиндрических зубчатых колёс и содержание отчёта

Произвести настройку станка для нарезания косозубого цилиндрического колеса при попутном фрезеровании.

Исходные данные:

1. Материал заготовки(см.прил.А)
2. Число нарезаемых зубьев Z
3. Модуль нормальный, мм m_n
4. Наружный диаметр нарезаемого колеса, мм D
5. Угол наклона нарезаемых зубьев, градус. β
6. Направление винтовой линии зубаправое
7. Ширина нарезаемого колеса или пакета заготовок, мм... B
8. Число заходов фрезы K
9. Угол подъёма витков фрезы, градус. ω_t
10. Направление винтовой линии фрезыправое
11. Наружный диаметр фрезы, мм $d_{фр}$

Численные значения исходных параметров приведены в приложении А для каждого варианта задания.

Отчёт должен содержать:

1. Наименование работы.
2. Задание с исходными данными для настройки станка на нарезание косозубого колеса.
3. Схемы обработки колёс с прямыми (см. рис.2.4) и винтовыми зубьями (см. рис.2.7).
4. Расчёт настройки цепей с приведением количественных зависимостей движений и уравнений кинематического баланса:
 - главного движения;
 - движения обката;

– движения вертикальных подач;

– винторезной (дифференциала).

5. Определение угла поворота оси фрезы в вертикальной плоскости (см.рис.2.9).

6. Определение высоты зуба (рис.2.4) и числа заготовок обрабатываемых в пакете (см. технические характеристики станка)

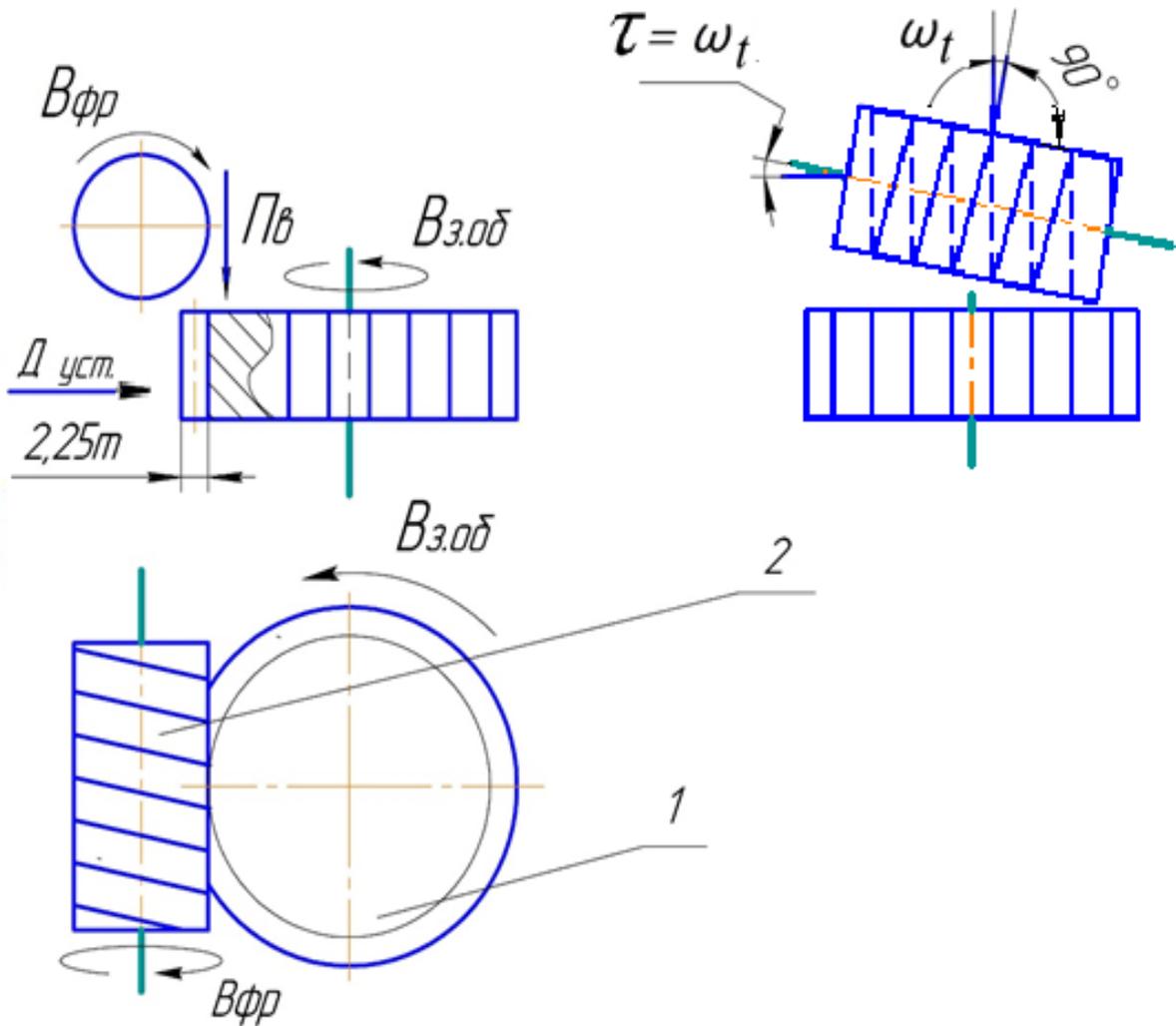


Рис.2.4. Схема нарезания прямозубых колёс:

1 –заготовка,2– червячно-модульная фреза; $V_{з.об}$ – вращение заготовки в процессе обкатки, согласованное с вращением фрезы $V_{фр}$.

2.3.2. Настройка станка для нарезания цилиндрических прямозубых колёс

На рис.2.4 представлена схема обработки и направления движений, необходимых для нарезания прямозубого колеса червячно-модульной фрезой. Число зубьев нарезаемого колеса – Z , число заходов фрезы – K .

Из схемы следует, что для нарезания колеса необходимы три движения формообразования и одно установочное:

1. **Главное движение резания** – вращение фрезы $V_{фр}$, обеспечивающее требуемую скорость резания V , м/мин.

2. **Движение обката** – вращение фрезы $V_{фр}$, строго согласованное с вращением заготовки $V_{з.об}$ (точнее, стола с заготовкой).

3. **Движение подачи** – вертикальное перемещение фрезы P_B , точнее, фрезерного суппорта с фрезой.

4. **Движение установки фрезы** $D_{уст}$ на нарезание зубьев высотой $2,25m_n$ (m_n – модуль нормальный, мм).

При нарезании прямозубых колёс ось фрезы устанавливается под углом подъёма винтовой линии фрезы ω_f .

Указанные на схеме обработки движения выполняются отдельными кинематическими цепями станка, которые проще всего проследить по структурной схеме (рис.2.5). Каждая из цепей имеет начальное звено (источник движения) и конечное – исполнительный орган.

На схеме показаны:

1. **Цепь главного движения** $0 - i_V - 1$, внешняя цепь, передающая вращение электродвигателя M_1 фрезе $V_{фр}$.

2. **Цепь обкатки** $1 - 2 - i_\Sigma - 3 - i_{об} - 4$, внутренняя формообразующая цепь, согласовывающая вращение фрезы $V_{фр}$ с вращением заготовки (стола) $V_{з.об}$.

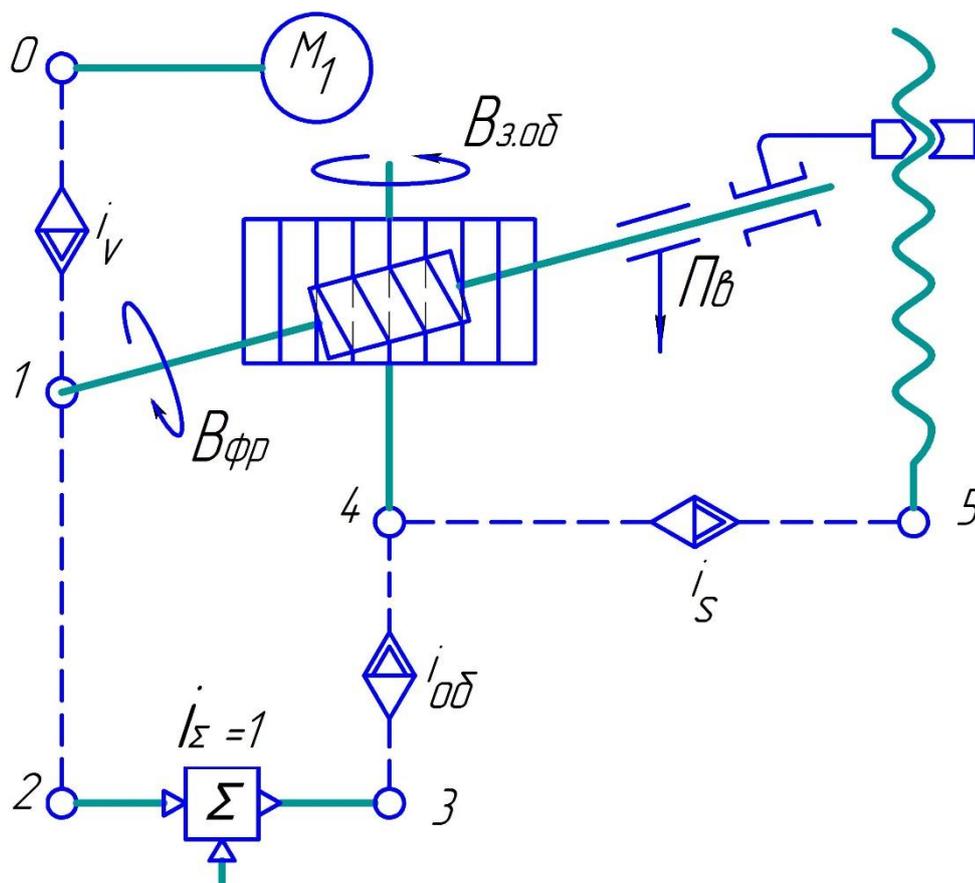


Рис.2.5. Структурная схема зубофрезерного станка для нарезания прямозубых колёс

3. **Цепь вертикальных подач** 4 – i_s – 5, внутренняя цепь, согласовывающая вращение стола $V_{з.обс}$ вертикальным перемещением фрезерного суппорта Π_B посредством передачи винт-гайка.

Для количественного согласования движений между начальными и конечными звеньями цепей служат органы настройки скорости \dot{i}_v , $\dot{i}_{об}$, \dot{i}_s , условно изображаемые на схеме в виде ромба, а физически – представляемые в станке коробкой скоростей \dot{i}_v , гитарой обкатки $\dot{i}_{об}$ и коробкой подач \dot{i}_s .

Показанный на схеме суммирующий механизм Σ (дифференциал) предназначен для сложения двух движений, но при нарезке прямозубых колёс он не нужен и поэтому работает как жёсткий вал $\dot{i}_{диф} = \dot{i}_\Sigma = 1$ (см. п.2.7, рис.2.15).

Зная необходимые движения и представляя кинематические цепи для их реализации, достаточно просто, с помощью кинематической схемы (рис.2.6), произвести настройку станка FO-6 на нарезание прямозубых колёс.

Настройка цепей станка

1. Цепь главного движения связывает вращение электродвигателя M_1 с вращением фрезы $B_{фр}$:

а) количественная зависимость движений в цепи (см. рис.2.4 и 2.5):

$$n_{э} \text{ об/мин электродвигателя} \rightarrow n_{фр} \text{ об/мин фрезы}; \quad (2.1)$$

б) уравнение кинематического баланса:

$$n_{э} \cdot \frac{110}{218} \cdot \frac{23}{19} \cdot i_v \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{24}{40} \cdot \frac{20}{24} \cdot \frac{16}{64} = n_{фр}, \quad (2.2)$$

где i_v – передаточное отношение коробки скоростей;

в) формула настройки передаточных отношений коробки скоростей:

$$i_v = \frac{n_{фр}}{4,887 \cdot n_{э}} \quad (2.3)$$

не имеет практического смысла, т. к. нужная частота $n_{фр}$ в данном станке устанавливается переключением рукояток 5 и 6 (см. рис.2.3) в соответствии с данными таблички, прикреплённой рядом с этими рукоятками.

Искомая частота вращения фрезы определяется по формуле

$$n_{фр} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_{фр}}, \quad (2.4)$$

где V – скорость резания, м/мин; $d_{фр}$ – диаметр фрезы, мм.

Скорость резания выбирается или рассчитывается с помощью справочников. Ориентировочные величины скоростей резания для фрез из быстрорежущей стали приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Ориентировочные величины скоростей резания при нарезании
прямозубых и косозубых колёс

Материал заготовки	Скорость резания V , м/мин	
	Встречное фрезерование	Попутное фрезерование
Чугун	16...25	20...28
Сталь	20...28	25...36
Бронза	30...40	40...50

Коробка скоростей, смонтированная на III и IV валах, обеспечивает шесть различных передаточных отношений \dot{i}_V , а с учётом двухскоростного электродвигателя $n_3 = 1400/2800$ об/мин привод главного движения имеет $6 \times 2 = 12$ частот вращения фрезы (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Частоты вращения фрезы при различных оборотах вала электродвигателя

n_3 , об/мин	Частоты вращения фрезы $n'_{фр}$, об/мин					
1400	15	19	24	60	75	95
2800	30	38	48	120	150	190

По рассчитанному значению $n_{фр}$ из табл. 2.3 выбирается ближайшее фактическое значение $n'_{фр}$. Установка нужной частоты $n'_{фр}$ обеспечивается рукоятками 5 и 6, расположенными на коробке скоростей И (см. рис.2.3).

2. Цепь обкатки согласовывает вращение фрезы $V_{фр}$ с вращением заготовки $V_{з,об}$ (см. рис.2.4). Количественное согласование этих движений в цепи $1 - 2 - \dot{i}_\Sigma - 3 - \dot{i}_{об} - 4$ (см. рис.2.5) обеспечивается гитарой сменных колёс $\dot{i}_{об}$. При этом червячно-модульную фрезу и заготовку рассматривают как

зацепление одно Σ или многозаходного червяка с червячным колесом. Очевидно, что за один оборот однозаходного червяка сопряжённое колесо с числом зубьев Z провернётся на $\frac{1}{Z}$ оборота, а при К-заходном червяке колесо провернётся на $\frac{K}{Z}$ оборота.

Ниже приводится последовательность записи зависимостей и формул, необходимых для настройки цепи:

а) количественная зависимость движений в цепи обкатки (см.рис.2.4 и 2.5):

$$1 \text{ об. фрезы} \rightarrow \frac{K}{Z} \text{ об. заготовки}; \quad (2.5)$$

б) уравнение кинематического баланса (см. рис.2.6):

$$1 \text{ об. фр.} \cdot \frac{64}{16} \cdot \frac{24}{20} \cdot \frac{40}{24} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{46}{46} \cdot i_{\text{диф}} \cdot i_{\text{об}} \cdot \frac{1}{96} = \frac{K}{Z} \text{ об. заг.}, \quad (2.6)$$

где $i_{\text{диф}}=1$ (дифференциал работает как жёсткий вал, см.п.2.5.1);

в) формула настройки передаточных отношений гитары обкатки:

$$i_{\text{об}} = 12 \cdot \frac{K}{Z}; \quad (2.7)$$

г) подбор чисел зубьев сменных колёс гитары обкатки

$$i_{\text{об}} = \dots = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \dots \quad (2.8)$$

производится в соответствии с имеющимся для станка FO-6 комплектом сменных зубчатых колёс (см. табл. 2.1).

3. Цепь вертикальных подач связывает вращение стола (заготовки) $B_{3,об}$ с вертикальным перемещением фрезерного суппорта (фрезы) Π_B (см. рис.2.4). Количественная настройка этих движений в цепи $4 - i_S - 5$ (см. рис.2.5) обеспечивается коробкой подач i_S . По аналогии с токарной обработкой за один оборот заготовки (стола) инструмент (фреза) должен переместиться вдоль оси заготовки на величину S_B мм.

Алгоритм настройки цепи:

а) количественная зависимость движений в цепи вертикальных подач (см. рис.2.4 и 2.5):

$$1 \text{ об.заготовки} \rightarrow S_{\text{В}} \text{ мм вертикальной подачи } \Pi_{\text{В}}; \quad (2.9)$$

б) уравнение кинематического баланса (см. рис.2.6):

$$1 \text{ об. заг.} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{38}{30} \cdot \frac{38}{30} \cdot \dot{i}_S \cdot \frac{23}{29} \cdot \frac{1}{24} \cdot \frac{30}{64} \cdot \frac{2}{24} \cdot \frac{24}{24} \cdot P_1 = S_{\text{В}} \text{ мм/об.заг.}, \quad (2.10)$$

где $P_1 = 8 \text{ мм}$ – шаг ходового винта;

в) формула настройки передаточных отношений \dot{i}_S не имеет практического смысла, т. к. нужная величина подачи $S_{\text{В}}$ в станке FO-6 устанавливается переключением рукоятки 7 (см. рис.2.3).

Необходимые величины вертикальных подач определяются по справочникам. Их ориентировочные величины для фрез из быстрорежущей стали с модулем $m_n = 2,5 \dots 6 \text{ мм}$ приведены в табл. 2.4.

Коробка подач \dot{i}_S смонтирована на XII, XIII, XIV и XV валах (см. рис.2.6). За счёт переключения двух тройных блоков она обеспечивает девять величин подач ($3 \times 3 = 9$) фрезерному суппорту сверху вниз или снизу вверх. Реверсирование подач осуществляется переключением двойного блока на XIII валу. Величины рабочих подач указаны в табл.2.5, а их переключение осуществляется рукояткой 7 (см. рис.2.3).

Таблица 2.4

Ориентировочные величины вертикальных подач при нарезании
цилиндрических зубчатых колёс

Материал заготовки	Величины подач $S_{\text{В}}$ в мм на 1 оборот заготовки	
	Черновая обработка	Чистовая обработка
Чугун	2,4...3,0	0,6...0,9
Сталь	2...2,6	0,5...0,7
Бронза	3...3,8	0,9...1,2

Таблица 2.5

Величины вертикальных подач фрезерного суппорта

Подача S_v , в мм на 1 оборот заготовки								
0,34	0,47	0,67	0,93	1,30	1,86	2,58	3,59	5,15

Быстрые (холостые) подачи суппорту, равно как и стойке, сообщаются от электродвигателя M_2 (см.рис.2.6), для чего отключаемый червяк выводится из зацепления с червячным колесом на XVI валу. Включение вертикальной, радиальной или осевой подач суппорта осуществляется с помощью кулачковых муфт M_1 , M_2 и M_3 .

2.3.3. Настройка станка для нарезания колёс с винтовыми зубьями

Для нарезания зубчатых колёс с винтовыми зубьями необходимы те же движения, что и для нарезания прямозубых колёс. Кроме того, для образования винтовых линий (косых зубьев) на поверхности заготовки необходимо ещё одно сложное формообразующее движение.

Представим себе заготовку такой длины P (рис.2.7), чтобы на ней разместился полный виток зуба. Очевидно, что винтовую линию можно получить, если за один оборот заготовки переместить фрезу вниз на величину шага P . Таким образом, для получения винтовой линии необходимо сложное формообразующее движение $\Phi (V_{з.винт}, P_v)$, состоящее из двух согласованных элементарных движений: вращения заготовки $V_{з.винт}$ и вертикальной подачи фрезы P_v .

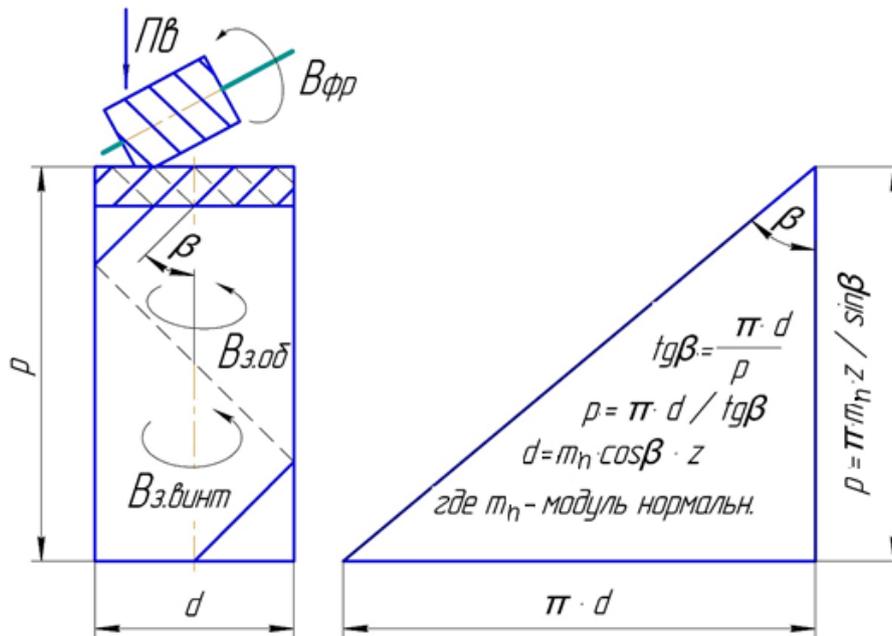


Рис.2.7. Схема нарезания колёс с винтовыми зубьями червячной фрезой:
 В_{з.об}– вращение заготовки в процессе обкатки с В_{фр}:
 В_{з.винт}– вращение заготовки винторезное, согласованное с П_в

Отсюда следует, что для получения винтовых линий зубьев необходимо, чтобы заготовка помимо основного вращения $V_{з.об}$, участвующего в движении обкатки, получила ещё 1 дополнительный оборот $V_{з.винт}$. Этот дополнительный оборот суммируется с основным вращением заготовки при помощи дифференциала (см.п.2.5.1). Направление дополнительного вращения зависит от направления винтовых линий колеса и фрезы (см. ниже) и может быть со знаком (+) или знаком (-).

Показанный на схеме прямоугольный треугольник представляет из себя развёртку винтовой линии на плоскости, где P – шаг; β – угол наклона зуба к оси заготовки; d – начальный диаметр; m_n – нормальный модуль.

На рис.2.8 изображена структурная схема станка для нарезания косозубых колёс, которая отличается от схемы на рис.2.5 лишь тем, что в ней имеется винторезная цепь $5 - i_{винт} - 6 - \Sigma - 3 - i_{об} - 4$, согласовывающая вертикальное перемещение суппорта $P_в$ с вращением заготовки (стола) $V_{з.винт}$.

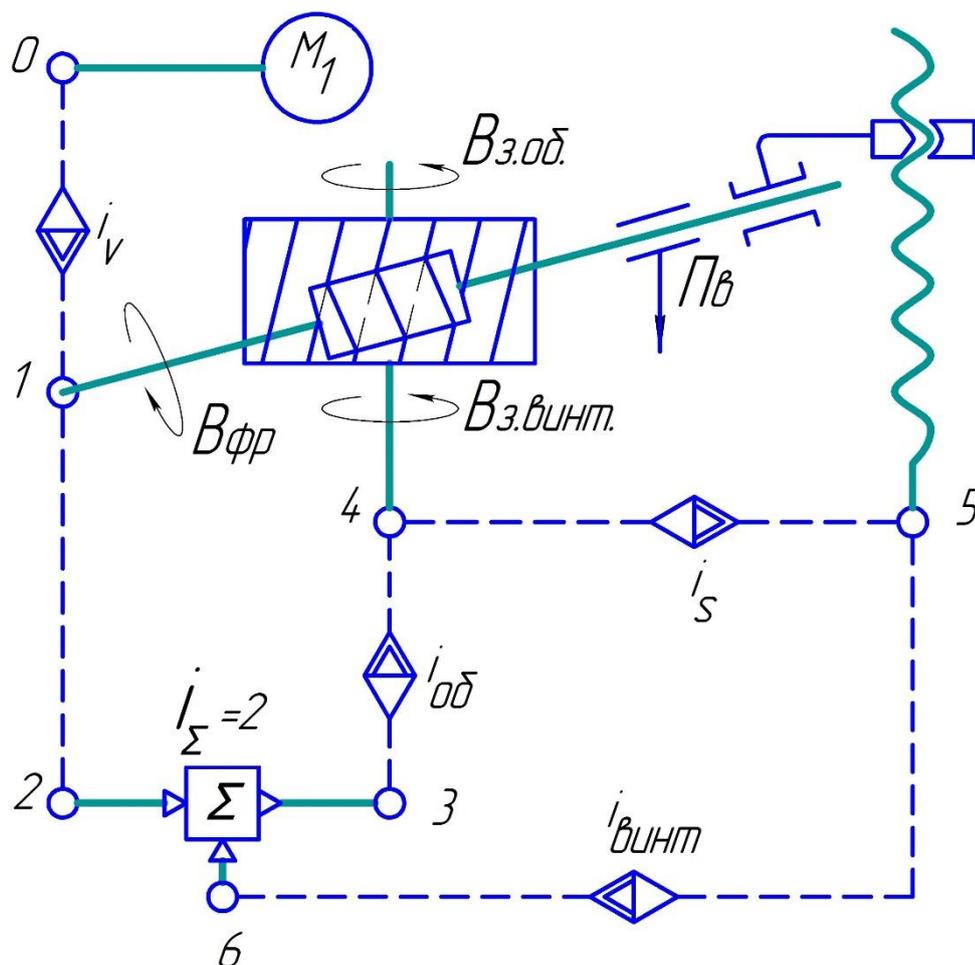


Рис.2.8. Структурная схема зубофрезерного станка для нарезания колёс с винтовыми зубьями

Согласование движений $V_{з.винт}$ и $\Pi_в$ в винторезной цепи осуществляется гитарой сменных колёс $i_{винт}$, а сложение основного вращения $V_{з.обс}$ дополнительным вращением $V_{з.винт}$ выполняется суммирующим механизмом – дифференциалом (Σ).

Настройка цепей станка

1. Цепь главного движения настраивается так же, как и цепь для прямозубых колёс (см. п.2.3.2, настройка цепей станка).

2. Цепь обкатки настраивается аналогично настройке цепи обката для прямозубых колёс (см. п.2.3.2, настройка цепей станка).

3. Цепь вертикальных подач настраивается подобно цепи для прямозубых колёс (см. п.2.3.2).

4. Винторезная (дифференциальная) цепь:

а) количественная зависимость движений между конечными звеньями цепи (см. рис.2.7):

$$R_{\text{мм}} \text{ перемещения суппорта} \rightarrow \pm 1 \text{ об. заготовки (стола);} \quad (2.11)$$

б) уравнение кинематического баланса (см. рис.2.6):

$$P \cdot \frac{96}{P_1} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{24}{2} \cdot \frac{64}{30} \cdot i_{\text{винт}} \cdot \frac{2}{30} \cdot i_{\text{диф}} \cdot i_{\text{об}} \cdot \frac{1}{96} = \pm 1 \text{ об. заг.}, \quad (2.12)$$

где $P = \frac{\pi \cdot m_n \cdot Z}{\sin \beta}$ – шаг винтовой линии нарезаемых зубьев (см. рис. 2.7),

$P_1 = 8$ мм – шаг ходового винта, $i_{\Sigma} = i_{\text{диф}} = 2$ – передаточное отношение дифференциала (см.п.2.5.1), $i_{\text{об}} = \frac{12 K}{Z}$ (выведено ранее, см. формулу 2.7);

в) формула настройки передаточных отношений винторезной гитары

$$i_{\text{винт}} = \pm \frac{5,96831 \cdot \sin \beta}{m_n \cdot K}; \quad (2.13)$$

г) подбор чисел зубьев сменных колёс винторезной гитары

$$\pm i_{\text{винт}} = \dots \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \dots \quad (2.14)$$

производится в соответствии с имеющимся для станка FO-6 комплектом сменных зубчатых колёс (см. табл.2.1).

Знак (+) берётся при одноимённых направлениях винтовых линий зуба нарезаемой шестерни и витка фрезы, знак (–) – при разноимённых. Знак указывает направление дополнительного вращения, а реализация этого направления обеспечивается установкой в винторезную гитару паразитной шестерни.

При нарезании косозубых колёс (рис.2.9) ось фрезы устанавливается под углом $\tau = (\beta + \omega_f)$ при разноимённых направлениях винтовых линий у нарезаемого колеса и фрезы; $\tau = (\beta - \omega_f)$ – при одноимённых направлениях.

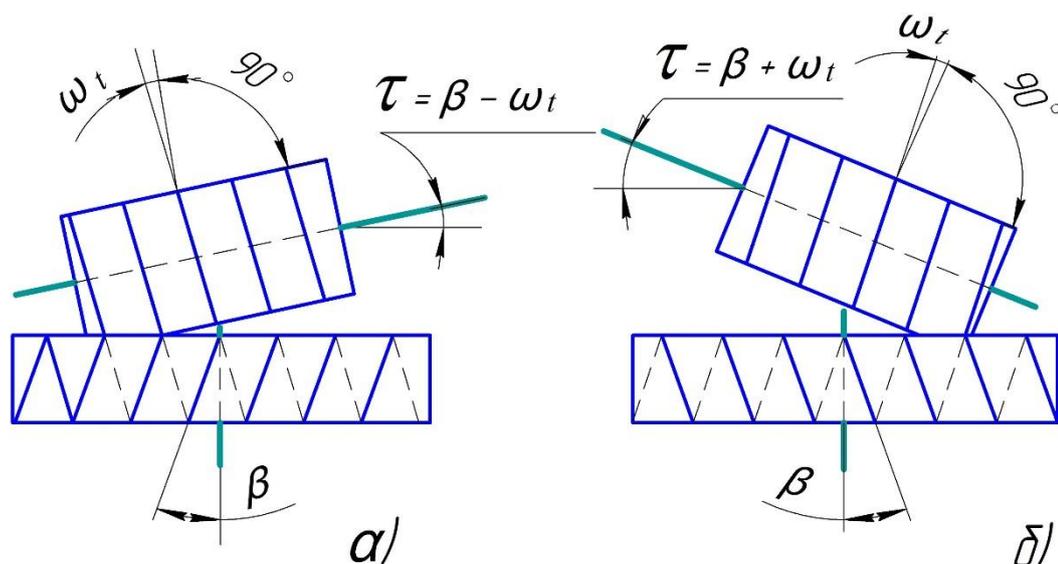


Рис.2.9. Схема установки оси червячной фрезы при нарезании косозубых колёс:
а – фреза правозаходная, колесо правое, **б**– фреза правозаходная, колесо левое

2.4. Нарезание червячных колёс

Нарезание зубьев червячных колёс методом обкатки (червячно-модульной фрезой) на станке FO-6 можно производить методом радиальной (см.рис.2.1,в) или осевой (тангенциальной) подачи инструмента (см.рис.2.1,г). В первом случае используется обычная червячно-модульная фреза, что и для нарезания прямозубого колеса, во втором – червячно-модульная фреза с режущей конусной частью или летучий резец.

Диаметр обычной цилиндрической фрезы и диаметр калибрующей части конусной фрезы должны быть равными диаметру червяка, сопрягаемого с нарезаемым червячным колесом.

2.4.1. Задание для нарезания червячных колёс и содержание отчёта

Произвести настройку станка для нарезания червячного колеса методом осевой или радиальной подачи (уточняется преподавателем).

Исходные данные:

1. Материал заготовки.....(см. прил. Б)
2. Число нарезаемых зубьев Z
3. Модуль расчётный, мм m
4. Число заходов фрезы k
5. Направление витков фрезыправое
6. Наружный диаметр фрезы, мм $d_{фр}$
7. Коэффициент делительного диаметра червяка
(червячной фрезы) q

Численные значения исходных параметров приведены в приложении Б для каждого варианта задания.

Отчёт должен содержать:

1. Наименование работы.
2. Задание с исходными данными для настройки станка на нарезание червячного колеса методом осевой или радиальной подачи.
3. Схемы обработки червячных колёс методом радиальной (см. рис.2.10) и осевой (см. рис.2.12) подач.
4. Расчёт настройки цепей с приведением количественных зависимостей движений и уравнений кинематического баланса:
 - **главного движения;**
 - **движение обката (метод радиальной подачи);**
 - **движения радиальной подачи (метод радиальной подачи);**
 - **движения основного обката (метод осевой подачи);**
 - **движения дополнительного обката (метод осевой подачи);**
 - **движения осевой подачи (метод осевой подачи).**

2.4.2. Настройка станка для нарезания червячных колёс методом радиальной подачи

Метод нарезания червячных колёс радиальной подачей является весьма распространённым и высокопроизводительным, не требующем фрез с конусной частью, но менее точным, чем метод обработки с помощью осевой подачи.

Из схемы на рис. 2.10 следует, что для нарезания червячных колёс методом радиальной подачи необходимы следующие движения.

1. Главное движение резания – вращение фрезы $V_{фр}$, обеспечивающее требуемую скорость резания V , м/мин (см. цепь главного движения для нарезания прямозубых колёс).

2. Движение обкатки – вращение фрезы $V_{фр}$, строго согласованное с вращением заготовки $V_{з.об}$ (см. цепь обкатки для нарезания прямозубых колёс).

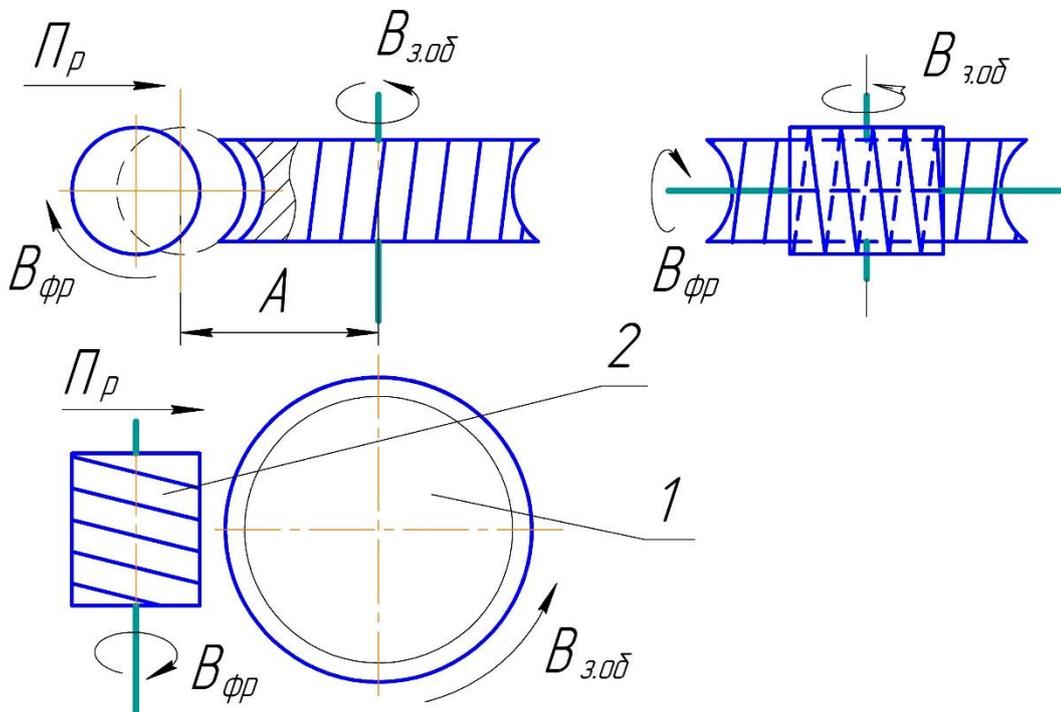


Рис. 2.10. Схема нарезания червячных колёс методом радиальной подачи: 1– заготовка, 2– фреза; $V_{з.об}$ – вращение заготовки в процессе обкатки, согласованное с вращением фрезы $V_{фр}$

3. Движение и подача – радиальное перемещение фрезы (точнее продольное перемещение стойки с фрезерным суппортом).

При нарезании червячных колёс ось фрезы устанавливается без всякого наклона в вертикальной плоскости, имитируя работу червяка с червячным колесом. Помимо этого фреза перемещается к заготовке в радиальном направлении с подачей Π_r до тех пор, пока между осью фрезы и осью нарезаемого колеса не будет выдержан размер A .

На рис.2.11 изображена структурная схема станка для нарезания червячных колёс методом радиальной подачи.

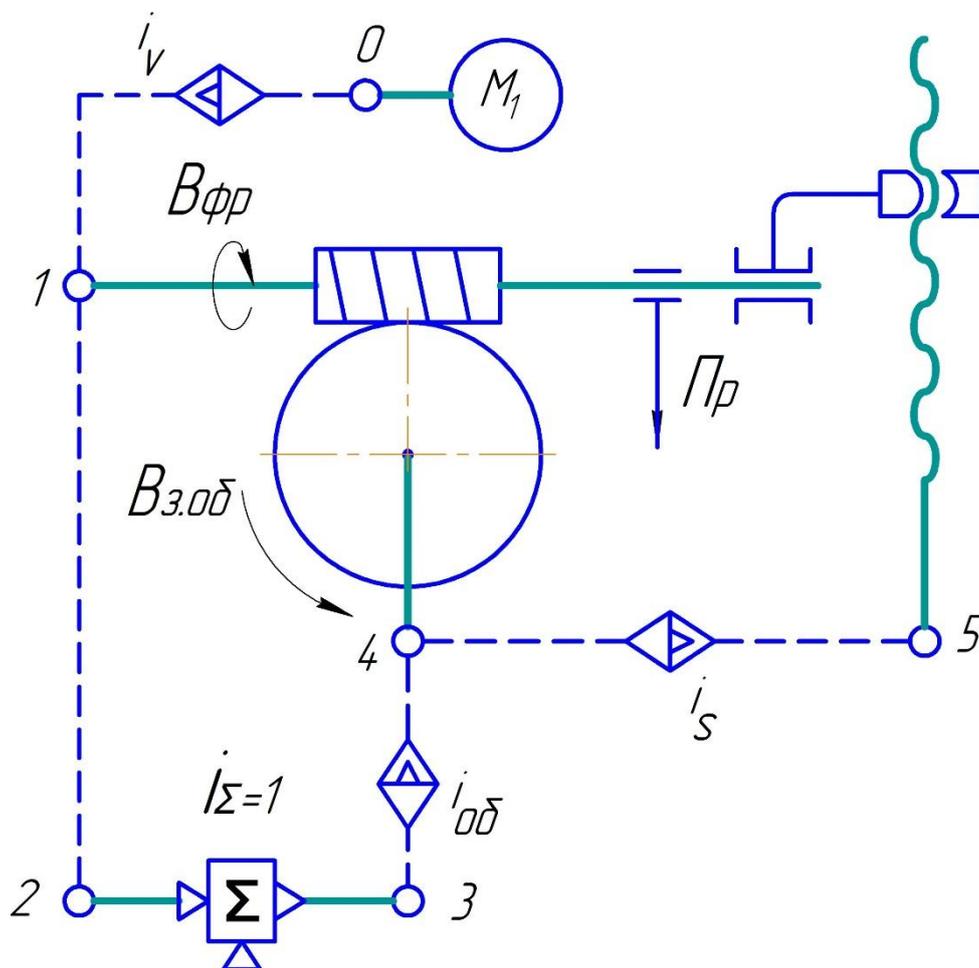


Рис.2.11. Структурная схема зубофрезерного станка для нарезания червячных колёс методом радиальной подачи

Она отличается от схемы на рис.2.5 лишь тем, что вместо вертикальной подачи Π_B суппорта включается в работу цепь радиальной продольной подачи стойки $4 - \dot{i}_S - 5$, которая согласовывает вращение заготовки (стола) $V_{3.обс}$ подачей Π_p . За один оборот стола стойка с фрезой должна переместиться на S_p мм радиальной подачи (S_p , мм/об стола). Суммирующий механизм Σ в этом случае работает как жёсткий вал с передаточным отношением $\dot{i}_{диф} = \dot{i}_\Sigma = 1$.

Настройка цепей станка.

1. **Цепь главного движения** $0 - \dot{i}_V - 1$ (см. рис.2.11) настраивается так же, как и цепь для прямозубых колёс (см. формулы 2.1 ... 2.4).

2. **Цепь обкатки** $1 - 2 - \dot{i}_\Sigma - 3 - \dot{i}_{об}$ настраивается так же, как и цепь обкатки для прямозубых колёс (см. формулы 2.5 ... 2.8).

2. **Цепь радиальной подачи** $4 - \dot{i}_S - 5$ настраивается в следующем порядке:

а) количественная зависимость движений между конечными звеньями цепи (см. рис.2.10 и 2.11):

$$1 \text{ об.заг} \rightarrow S_p \text{ мм радиальной подачи фрезы}; \quad (2.15)$$

б) уравнение кинематического баланса (см. рис. 2.6):

$$1 \text{ об.заг} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{38}{23} \cdot \frac{38}{24} \cdot \dot{i}_S \cdot \frac{23}{29} \cdot \frac{1}{24} \cdot \frac{30}{64} \cdot \frac{1}{23} \cdot P_2 = S_p, \text{ мм/об стола}, \quad (2.16)$$

где $P_2 = 5$ мм – шаг ходового винта, \dot{i}_S – передаточное отношение коробки подач;

в) формула настройки передаточного отношения \dot{i}_S коробки подач не имеет практического смысла, так как нужная величина подачи S_p в станке FO-6 устанавливается переключением рукоятки 7 (см.рис.2.3).

Необходимые величины радиальных подач определяются по справочникам. Их примерные величины для фрез из быстрорежущей стали приведены в табл.2.6.

Таблица 2.6

Ориентировочные величины радиальных подач фрезы
при нарезании червячных колёс методом радиальной подачи

Материал заготовки	Величины подач S_p в мм на 1об. стола	
	Модуль 2...4 мм	Модуль 4...6 мм
Чугун	0,9	0,7
Бронза	1,4	1,0

Значения радиальных подач, устанавливаемых на станке, приведены в табл.2.7 и соответствуют приблизительно $1/3$ значений вертикальных подач, указанных в табличке, закреплённой на ступице рукоятки 7 переключения величин подач (см. рис.2.3).

Таблица 2.7

Величины радиальных (продольных) подач подвижной стойки станка FO-6

Величины подач S_p в мм на 1об. стола								
0,11	0,16	0,22	0,31	0,43	0,66	0,87	1,25	1,75

Фреза относительно боковых сторон венца заготовки червячного колеса должна быть расположена строго симметрично (см. рис.2.10) без наклона её оси к горизонту, т. е. угол $\tau = 0^\circ$.

2.4.3.Настройка станка для нарезания червячных колёс методом осевой подачи

При нарезании колёс методом осевой (тангенциальной) подачи применяют специальные червячные фрезы (рис.2.12), у которых режущие зубья расположены на конической части, а калибрующие на цилиндрической. Фрезу 1 устанавливают относительно заготовки 2 на заданное межосевое расстояние A , по оси симметрии между боковыми сторонами венца нарезаемого колеса.

Этот метод обеспечивает более высокую точность изготовления колёс, равномерной износ фрезы и большой период стойкости инструмента.

В случае отсутствия специальной фрезы может использоваться одинарный (летучий) резец 1 (рис.2.13), который крепится в оправке 2. Такой инструмент имеет простейшую конструкцию и представляет собой как бы однозубую червячную фрезу.

Из схемы на рис.2.12 видно, что для нарезания червячного колеса методом осевой подачи необходимы следующие формообразующие движения:

1. Г л а в н о е д в и ж е н и е р е з а н и я – вращение фрезы $V_{фр}$, обеспечивающее требуемую скорость резания V , м/мин.

2. О с н о в н о е д в и ж е н и е о б к а т а – вращение фрезы $V_{фр}$, строго согласованное с вращением заготовки $V_{з.об}$, обеспечивающее нарезание Z зубьев эвольвентного профиля на заготовке и имитирующее работу обычного зацепления: червяк – червячное колесо. Очевидно, что за один оборот однозаходного червяка червячное колесо провернётся на $\frac{1}{Z}$ оборота, а если червяк многозаходный, то колесо провернётся на $\frac{K}{Z}$ оборота.

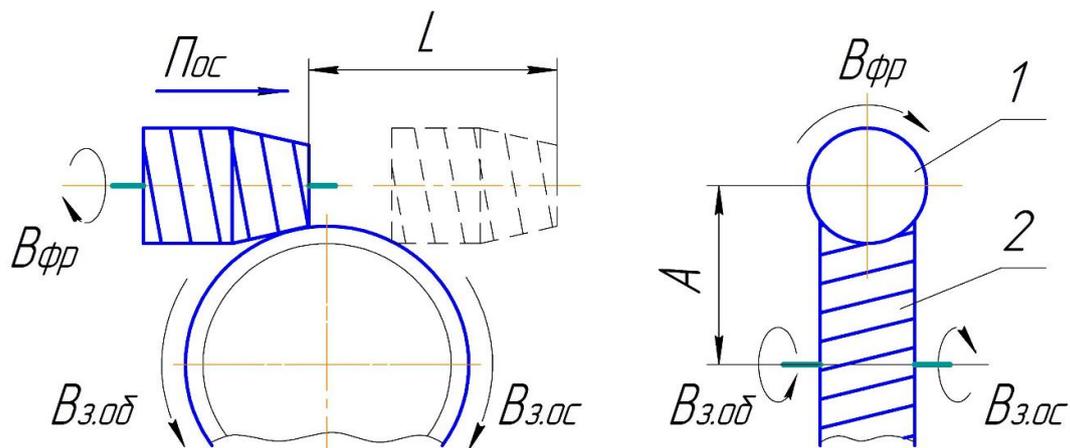


Рис. 2.12. Схема нарезания червячных колёс методом осевой подачи:
 $V_{з.об}$ – вращение заготовки в процессе обкатки, согласованное с $V_{фр}$;
 $V_{з.ос}$ – вращение заготовки, зависимое от осевой подачи фрезы $V_{фр}$

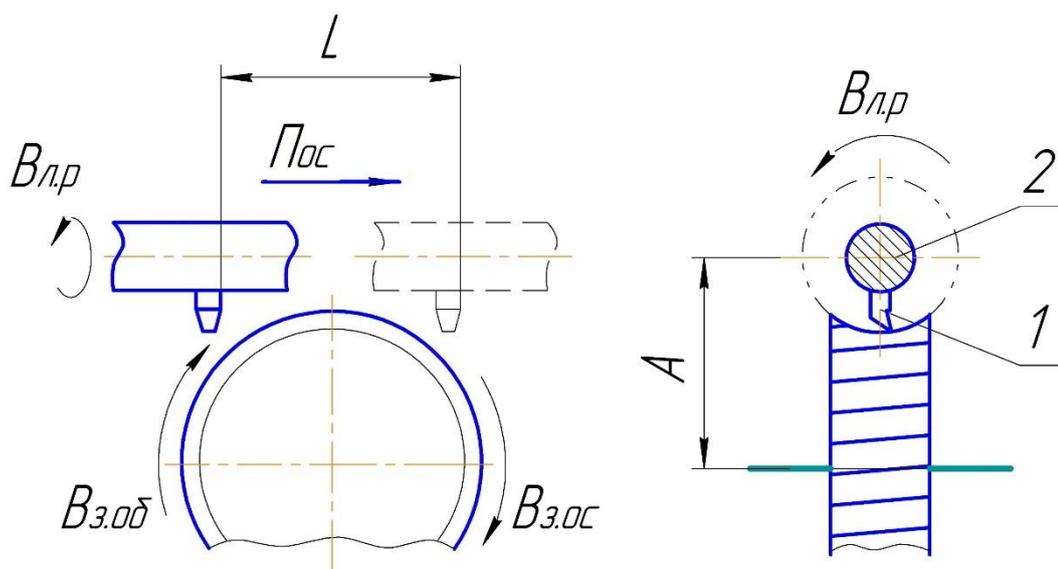


Рис. 2.13. Схема нарезания червячных колёслетучим резцом методом осевой подачи:
1– летучий резец, 2– оправка; $V_{л.р}$ – вращение летучего резца

3. Д о п о л н и т е л ь н о е д в и ж е н и е о б к а т а – осевое перемещение фрезы P_{oc} на величину L , строго согласованное с дополнительным вращением заготовки $V_{з.ос}$ и имитирующее работу зацепления рейка – колесо или червяк – червячное колесо.

Очевидно, что при осевом перемещении невращающегося червяка на величину L (см. рис. 2.12), червячное колесо повернётся на $\frac{L}{\pi \cdot m \cdot Z}$ оборота по часовой стрелке, где произведение $\pi \cdot m \cdot Z$ – длина делительной окружности колеса, а m – расчётный модуль.

4. Д в и ж е н и е о с е в о й п о д а ч и ф р е з ы P_{oc} – осевое перемещение фрезы (в мм) за один оборот заготовки (S_{oc} , мм/об.заг), определяющее толщину срезаемой стружки и производительность обработки.

Кинематические цепи, необходимые для реализации вышеперечисленных движений, представлены на структурной схеме станка (рис.2.14):

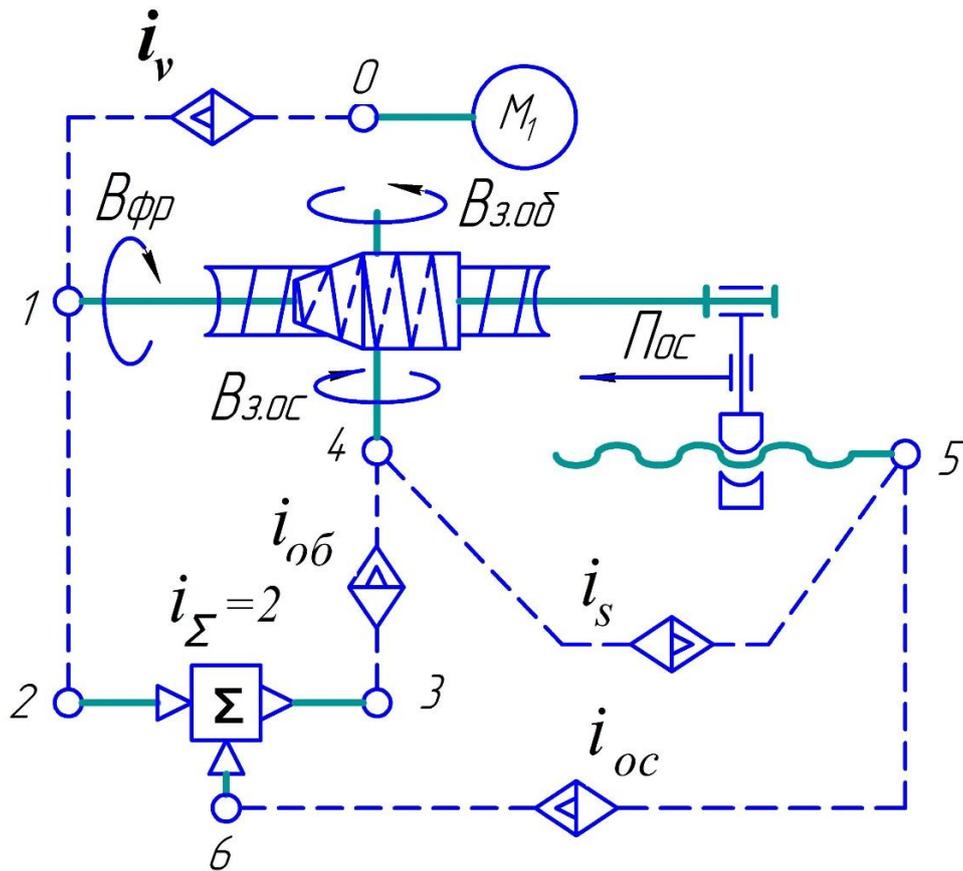


Рис.2.14. Структурная схема зубофрезерного станка для нарезания червячных колёс методом осевой подачи

1. Цепь главного движения $0 - \dot{i}_V - 1$, связывает вращение электродвигателя M_1 с вращением фрезы $V_{фр}$ и настраивается коробкой скоростей \dot{i}_V .

2. Цепь основного обката $1 - 2 - \Sigma - 3 - \dot{i}_{об} - 4$, связывает вращение фрезы с заготовкой (столом) и обеспечивает при помощи гитары обкатки $\dot{i}_{об}$ строгое количественное согласование движений $V_{фр}$ и $V_{з.об}$.

3. Цепь дополнительного обката $5 - \dot{i}_{ос} - 6 - \Sigma - 3 - \dot{i}_{об} - 4$, в общем случае называемая цепью дифференциала, количественно согласовывает осевое перемещение фрезерного суппорта $\Pi_{ос}$ на величину L с дополнительным поворотом заготовки $V_{з.ос}$.

Согласование движений в цепи осуществляется гитарой сменных колёс i_{oc} , а сложение основного вращения $V_{3.ob}$ с дополнительным поворотом $V_{3.oc}$ выполняется суммирующим механизмом Σ (дифференциалом) $V_{3.ob} + V_{3.oc} = V_3$.

4. Цепь осевых подач $i_s - 5$ связывает суммарное вращение заготовки $V_3 = V_{3.ob} + V_{3.oc}$ с осевым перемещением фрезы P_{oc} и настраивается на нужную величину S_{oc} , мм/об.заг при помощи коробки подач.

Настройка цепей станка

1. Цепь главного движения настраивается так же, как и цепь для прямозубых колёс (см. п.2.3.2).

2. Цепь основного обката настраивается также, как цепь обкатки для прямозубых колёс (см. п.2.3.2).

3. Цепь дополнительного обката:

а) количественная зависимость движений между конечными звеньями цепи (см. рис.2.12):

$$L_{mm} \text{ осевого перемещения фрезы } \rightarrow \frac{L}{\pi \cdot m_{\Sigma} \cdot Z} \text{ об. заготовки; } \quad (2.17)$$

б) уравнение кинематического баланса (см. рис.2.6):

$$L \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{35}{2} \cdot \frac{30}{26} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{43}{33} \cdot \frac{25}{24} \cdot i_{oc} \cdot \frac{2}{30} \cdot i_{диф} \cdot i_{об} \cdot \frac{2}{30} = \frac{L}{\pi \cdot m_{\Sigma} \cdot Z} \text{ об.заг, } \quad (2.18)$$

где $i_{oc} = i_{диф} = 2$ – передаточное отношение дифференциала при ведомом водиле; $i_{об} = \frac{12 K}{Z}$ (выведено ранее, см. формулу 2.7); $\pi = 3,14159$.

Подставив значения, имеем:

$$\frac{1}{4} \cdot \frac{35}{2} \cdot \frac{30}{26} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{43}{33} \cdot \frac{25}{24} \cdot i_{oc} \cdot \frac{2}{30} \cdot 2 \cdot \frac{12 K}{Z} \cdot \frac{1}{96} = \frac{L}{3,14159 m \cdot Z};$$

в) формула настройки передаточных отношений гитары дополнительного обката:

$$i_{oc} = \frac{2,78521}{m \cdot K}; (2.19)$$

г) подбор чисел зубьев сменных колёс гитары дополнительного обката

$$i_{oc} = \dots \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \dots (2.20)$$

производится в соответствии с имеющимся для станка FO-6 комплектом сменных зубчатых колёс (см. табл.2.1)

4. Цепь осевых подач:

а) количественная зависимость движений между конечными звеньями цепи (см. рис. 2.12):

$$1 \text{ об.заготовки} \rightarrow S_{oc} \text{ мм осевого перемещения фрезы}; (2.21)$$

б) уравнение кинематического баланса (см. рис. 2.6):

$$1 \text{ об.заг.} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{38}{23} \cdot \frac{38}{24} \cdot i_s \cdot \frac{23}{29} \cdot \frac{1}{24} \cdot \frac{24}{25} \cdot \frac{33}{43} \cdot \frac{26}{30} \cdot \frac{2}{35} \cdot P_3 = S_{oc}, \text{ мм/об.заг}, (2.22)$$

где $P_3 = 4$ мм – шаг ходового винта;

в) формула настройки передаточных отношений i_s не имеет практического смысла, так как нужная величина подачи S_{oc} в станке FO-6 устанавливается переключением рукоятки 7 (см. рис.2.3).

Необходимые величины осевых подач определяются по справочникам. Их примерные значения для фрез из быстрорежущей стали приведены в табл.2.8.

Таблица 2.8

Ориентировочные величины осевых подач фрезы

Материал заготовки	Величины подач S_{oc} в мм на 1 об. стола	
	Модуль 2...4 мм	Модуль 4...6 мм
Чугун	0,2...0,4	0,4...0,9
Бронза	0,4...0,9	0,9...2,4

Значения осевых подач устанавливаемых на станке приведены в табл.2.9 и приблизительно соответствуют 40%-ным значениям вертикальных подач, указанных в табличке, закрепленной на ободу рукоятки 7 (см. рис.2.3).

Таблица 2.9

Величины осевых подач фрезы, реализуемые приводом подач станка FO-6

Величины подач S_{oc} в мм на 1 об. стола								
0,16	0,22	0,31	0,44	0,61	0,87	1,20	1,68	2,41

2.5. Устройство некоторых узлов станка

2.5.1. Дифференциал

Конический дифференциал в станке FO-6 предназначен для сложения двух вращательных движений (от двух разных валов) и получения на выходном валу суммарного вращательного движения. Кинематическое изображение дифференциала представлено на кинематической схеме (см. рис.2.6), а его полуконструктивный вид приведён на рис.2.15.

Основные детали дифференциала и их взаимодействие:

- центральные колёса 1 и 6, жёстко сидящие на валах 2 (IX) и 7 (X);
- сателлитное колесо 3, свободно вращающееся на оси 4 и передающее вращение с колеса 1 на колесо 6;
- водило 5 (в котором запрессована ось 4), свободно сидящее на валу X, и имеющее на правом торце прямоугольные зубья;
- червячное колесо 8, свободно сидящее на ступице водила 5, и имеющее на правом торце такие же прямоугольные зубья, как и у водила;
- червяк 9, жёстко сидящий на валу XX и передающий вращение на червячное колесо 8.

Прямоугольные зубья (кулачки) на торцах водила 5 и червячного колеса 8 могут соединяться с зубьями сменных кулачковых муфт M_1 и M_2 (см. ниже).

При обработке цилиндрических колёс с прямыми зубьями и червячных колёс методом радиальной подачи дифференциал работает как жёсткий вал, передающий вращение с IX на X вал напрямую, т. е. $i_{диф} = i_{\Sigma} = 1$. Для этого на шлицевый вал X устанавливается кулачковая муфта M_1 , которая жёстко соединяет водило 5 с этим валом. Получается, что водило 5 и вал X представляют из себя единое тело.

А если так, то вращение центрального колеса 1 заставит совместно вращаться водило и вал, т. к. сателлитное колесо 3, заторможенное шестерней 6, не сможет вращаться вокруг оси 4 и будет совершать планетарное движение вокруг осей центральных валов IX и X. Червячное колесо 8 в этом случае не вращается, т. к. оно заторможено невращающимся червяком 9.

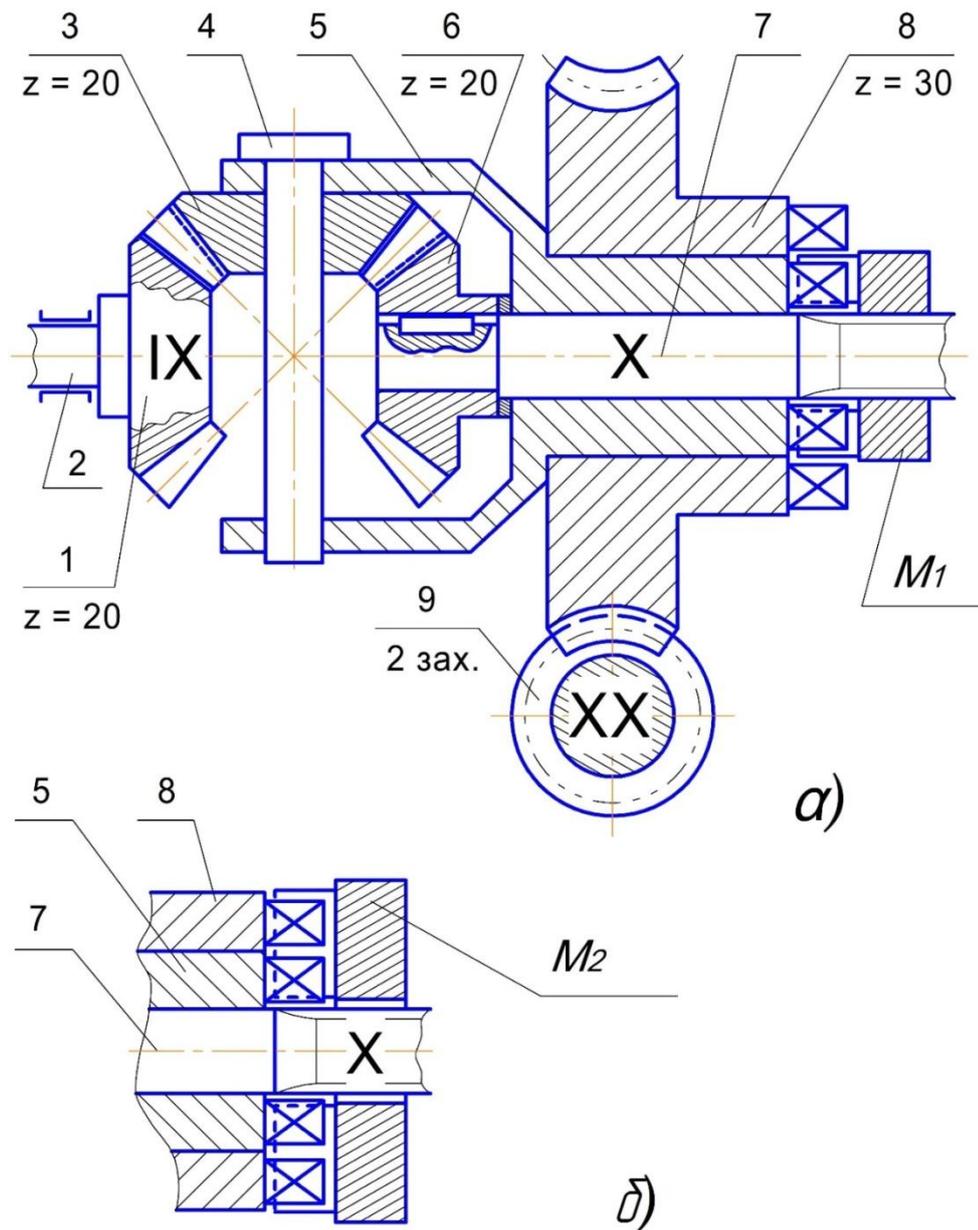


Рис.2.15. Схема настройки дифференциала

а – при нарезании прямозубых и червячных колёс методом радиальной подачи;

б– при нарезании косозубых и червячных колёс методом осевой подачи

При обработке цилиндрических колёс с винтовыми зубьями и червячных колёс методом осевой подачи дифференциал выполняет сложение двух движений – основного вращения вала IX ($B_{з.об}$) с дополнительным вращением вала XX ($B_{з.винт}$ или $B_{з.ос}$). Суммирование этих движений осуществляется на выходном валу X. С этой целью на вал 7 (X) устанавливается **свободно сидящая** кулачковая муфта M_2 (см. рис.2.15, б). Кулачки этой муфты жёстко соединяют червячное колесо 8 с корпусом водила 5, объединяя их в единое целое. Передача дополнительного вращения ($B_{з.винт}$ или $B_{з.ос}$) с вала XX на вал X происходит по цепочке: червяк 9 – червячное колесо 8 с водилом 5 – сателлитное колесо 3 – ведомое колесо 6. При этом условно полагают, что центральное колесо 1 не вращается, а передаточное отношение дифференциала при передаче вращения от водила 5 на вал X равно 2 (т.е. $i_{диф} = i_{\Sigma} = 2$).

2.5.2. Устройства автоматического выключения вертикальных и продольных подач

Механическая подача фрезерного суппорта (вертикальная подача P_v) и стойки (продольная или радиальная подача P_p) может автоматически выключаться при помощи переставных упоров.

Для выключения вертикальной подачи суппорта (рис.2.16) служат два упора 3 и 10, которые устанавливаются в нужное положение на линейке 2, скреплённой с суппортом 1. При подъёме или опускании суппорта упоры нажимают на рычаг 9, который, поворачиваясь, взаимодействует с нижним 8 или верхним 5 конечными выключателями. При срабатывании одного из выключателей происходит отключение главного двигателя M_1 или двигателя быстрых перемещений M_2 (если был включён) и фрезерный суппорт останавливается. Для точного отсчёта величины вертикального перемещения суппорта ($\pm 0,01$ мм) служит неподвижный нониус 4.

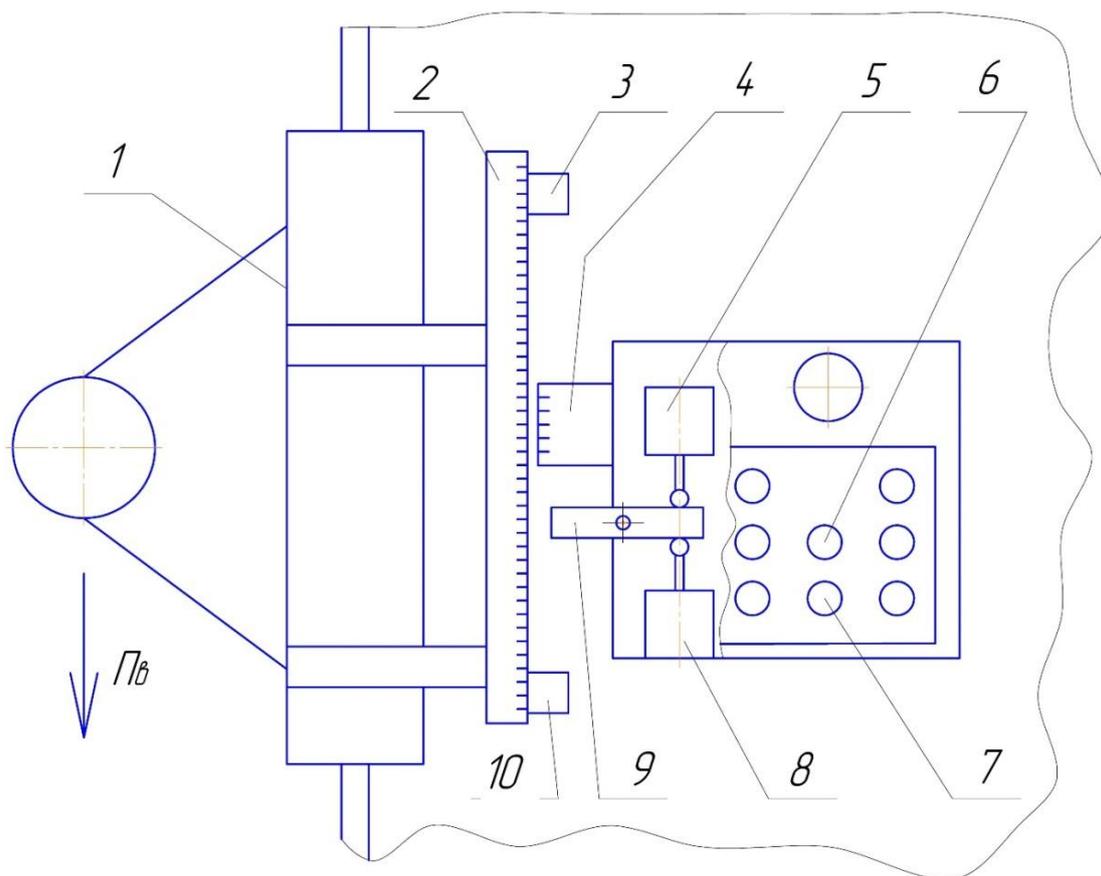


Рис .2.16. Механизм автоматического выключения вертикальной подачи

Для выключения продольной подачи стойки 1 влево (рис.2.17) служит палец 2, прикреплённый к основанию этой стойки. При набегании пальца 2 на кольцо-упор 3, перезакрепляемое в нужное положение на подвижной штанге 4, последняя смещается влево, и при помощи кулака 5 воздействует на конечный выключатель 6. Выключатель 6 отключает главный двигатель M_1 или двигатель быстрых перемещений M_2 (если был включён). После этого включение механической подачи стойки возможно только вправо, что осуществляется нажатием кнопки 6 (см. рис.2.16). При пользовании этой кнопкой необходимо соблюдать осторожность, т. к. быстрое перемещение не может выключаться конечными выключателями.

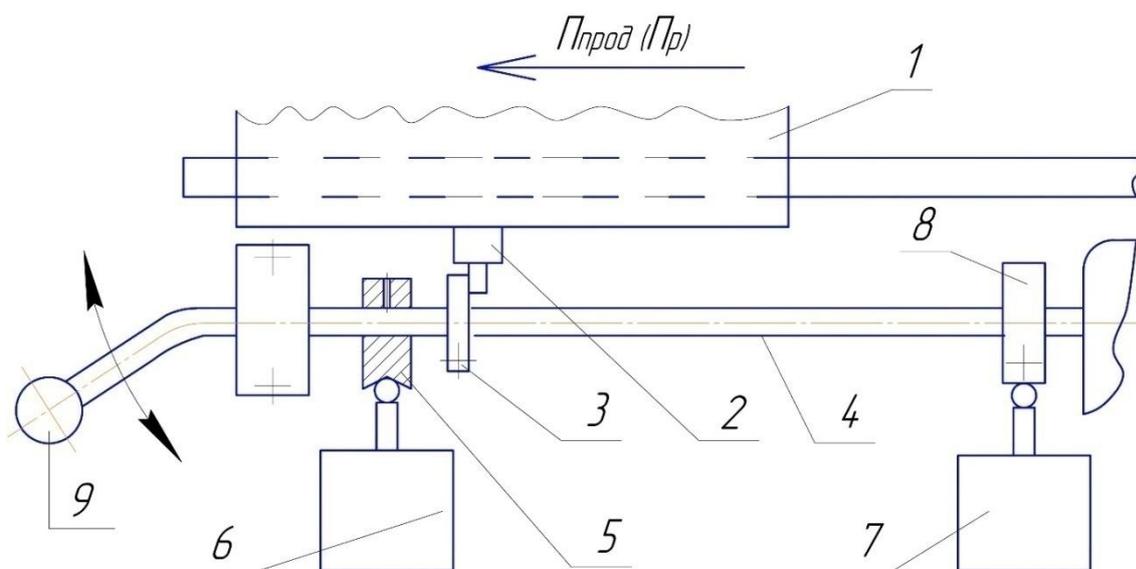


Рис.2.17. Механизм автоматического выключения продольной (радиальной) подачи

Для предотвращения одновременного включения рабочей (двигатель M_1) и ускоренной (двигатель M_2) подачи рабочих органов служит блокировочный конечный выключатель 7 (см. рис.2.17). Он срабатывает (обесточивая цепь двигателя M_1) от кулачка 8, воздействующего на него при повороте штанги 4 рукояткой 9. Одновременно с этим, поворотом штанги 4 выводится из зацепления с червячным колесом на XVI валу (см. рис.2.6) однозаходный отключаемый червяк. После этого кнопками 6 или 7 (см. рис.2.16) включается ускоренная подача суппорта или стойки.

2.6. Подбор чисел зубьев сменных колёс гитар

Известен целый ряд способов подбора чисел зубьев сменных колёс гитар: способ простых дробей, при помощи специальных таблиц [4], при помощи ЭВМ и др. Выбор того или иного способа подбора во многом определяется видом формулы настройки гитары и требуемой точностью расчёта.

В приложении В приводятся примеры и практические рекомендации по подбору чисел зубьев сменных колёс гитар станка FO-6, настраиваемого на зубофрезерование тех или иных изделий.

Контрольные вопросы

1. Назначение станка, основные узлы и движения рабочих органов.
2. Вычертить упрощённую схему нарезания прямозубых колёс (в двух проекциях) и записать необходимые количественные зависимости движений.
3. Показать на кинематической схеме станка цепи при нарезании прямозубых колёс.
4. Вычертить схему нарезания косозубых колёс и записать необходимые количественные зависимости движений.
5. Показать на кинематической схеме станка цепи при нарезании косозубых колёс.
6. Перечислить преимущества и недостатки встречного и попутного фрезерования.
7. Каким образом происходит выключение вертикальной подачи фрезерного суппорта?
8. Перечислить органы настройки станка для нарезания прямозубых колёс и указать, какие из них и как влияют на точность формирования зубьев.
9. Перечислить органы настройки станка для нарезания косозубых колёс и указать, какие из них и как влияют на точность формирования зубьев.
10. Что и почему необходимо изменить в наладке станка при замене фрезы с правым направлением витков на фрезу с левым направлением?
11. Каково назначение суммирующего механизма (дифференциала) в станке и как он работает?
12. Можно ли на станке выполнять обработку в несколько проходов?
13. Какую гитару ($i_{об}$ или $i_{винт}$) при нарезании косозубых колёс необходимо настроить в первую очередь и почему?

14. Почему в формуле настройки винторезной гитары стоит знак \pm ? Чем и как реализуется тот или иной знак?

15. Перечислить способы нарезания червячных колёс и записать необходимые количественные зависимости движений.

16. Показать на кинематической схеме цепи станка, которые необходимы для нарезания червячных колёс методом радиальной подачи.

17. Показать на кинематической схеме цепи станка, которые необходимы для нарезания червячных колёс методом осевой подачи.

18. Как происходит автоматическое выключение радиальной подачи при нарезании червячных колёс?

19. Как и чем точно устанавливается глубина фрезерования при нарезании червячного колеса?

20. Могут ли нарезаться червячные колёса в пакете из нескольких заготовок?

21. Какую гитару (i_{Oc} или i_{Ob}) при нарезании червячных колёс методом осевой подачи необходимо настроить в первую очередь, и почему?

22. Перечислить органы настройки станка для нарезания червячных колёс методом осевой подачи и указать, какие из них влияют на точность формообразования зубьев.

23. Как и чем переключается дифференциал с режима работы напрямую ($i_{диф=1}$) на режим суммирования движений ($i_{диф=2}$)?

24. В чем заключается суть метода обката при нарезании червячных колёс способом радиальной подачи?

25. Из каких соображений записывается количественная зависимость движений в цепи обката?

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Настройка модели зубообрабатывающего станка для нарезания конических колёс с круговыми зубьями

Цель работы: закрепление знаний и привитие практических навыков по настройке зубообрабатывающих станков для нарезания конических колёс с круговыми зубьями.

3.1. Сущность способа нарезания конических колёс с круговыми зубьями

При обработке конических зубчатых колёс с круговыми зубьями в качестве производящего колеса применяют воображаемое плоское колесо 1 (рис. 3.1), зубья которого направлены по дуге окружности радиуса r .

Заготовка 2 в процессе нарезания зубьев обкатывается с воображаемым плоским колесом, зубья которого воспроизводятся резцовой головкой 3, вращающейся вокруг точки O_1 . В зависимости от положения оси резцовой головки O_1 угол наклона зубьев β (см. рис. 3.1) на венце нарезаемого колеса может быть: а) не равен нулю; б) равен нулю в середине зуба; в) равен нулю на малом диаметре зуба. Изменяя положение оси вращения резцовой головки O_1 относительно центра O плоского колеса (люльки) путём изменения координаты X и Y , можно получить различные углы наклона β нарезаемых зубьев.

Вершины резцов головки 3 должны двигаться по образующей внутреннего конуса нарезаемого колеса, для этого ось вращения заготовки необходимо установить под углом φ_1 внутреннего конуса к плоскости, в которой движутся вершины резцов (рис. 3.2).

Заготовка 2 (см. рис. 3.1 и 3.2) должна быть также правильно установлена относительно центра станка. Центром станка называется точка, в которой пересекаются горизонтальная ось OO люльки 1, ось OO_2 шпиндельной бабки изделия (заготовки 2) и вертикальная ось поворотного стола (на рис. 3.2 не показана). Через центр станка проходит плоскость $A - A$, в которой передвигаются вершины резцов головки 3. С центром станка должна совпадать также вершина начального конуса нарезаемого колеса.

Для правильной установки заготовки относительно центра станка применяется специальный прибор.

Указанные на рис.3.1 и рис. 3.2 движения в модели станка выполняются отдельными кинематическими цепями (рис. 3.3).

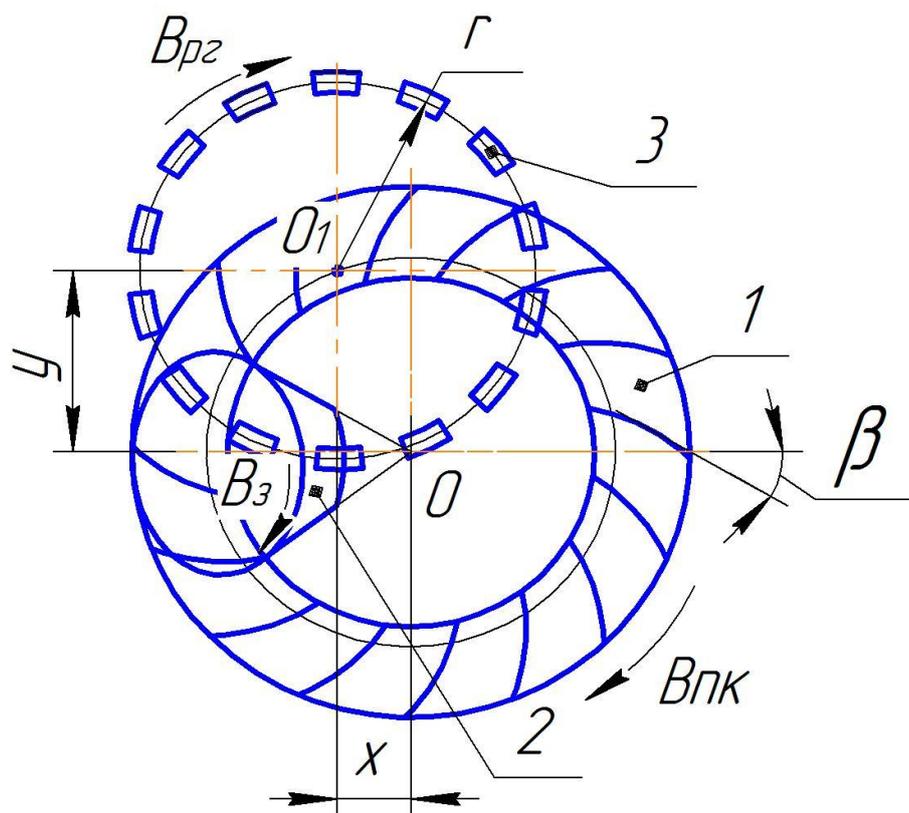


Рис. 3.1. Схема нарезания конических колёс с круговыми зубьями

1. Цепь главного движения $0 - 1 - i_v - 2$, внешняя цепь, передающая вращение вала электродвигателя M резцовой головке $B_{РГ}$.

2. Цепь круговой подачи $0 - 1 - i_s - 3 - 4 - i_{обк} - 5$, внешняя цепь, передающая вращение вала электродвигателя M люльке (плоскому колесу). Гитара подач i_s в модели станка отсутствует.

3. Цепь обкатки $5 - i_{об} - 4 - 6 - i_{дел} - 7$, внутренняя формообразующая цепь, обеспечивающая согласование движений: вращение заготовки $B_{з.об.}$ и вращение люльки $B_{л.об.}$.

4. Цепь деления $3 - 4 - 6 - i_{дел} - 7$, внутренняя формообразующая цепь, обеспечивающая согласование движений: отвод заготовки от люльки и поворот заготовки на угол, зависящий от числа пропускаемых зубьев Z_i .

3.2. Средства технического оснащения:

- действующая модель зубообрабатывающего станка;
- комплект сменных зубчатых колёс с модулем $m = 1$ мм для гитар обкатки и деления с таким же числом зубьев Z , как в табл. 2.1;
- заготовки для зубчатых колес с модулем $m = 2$ мм; и числом зубьев $Z = 20 \div 70$;
- штангенциркуль, отвертка и гаечные ключи.

Практическая часть работы выполняется на действующей модели, изготовленной по типу серийного зубообрабатывающего станка модели 525 с упрощённой кинематической схемой и открытыми передачами [5].

Заготовки конических колёс изготавливаются из пластмассы или технического воска.

Техническая характеристика модели станка

Электродвигатель – однофазный	$N = 0,18$ кВт; $n = 1460$ об/мин
Модуль нарезаемых колёс, мм	$0,5 \div 2$
Число нарезаемых зубьев, Z	$20 \div 70$
Наибольший диаметр делительной окружности, мм.....	100
Наибольшая длина образующего конуса, мм	50
Угол наклона зубьев, градус.....	45
Наибольшая длина зубчатого венца, мм	50
Угол поворота (качания) люльки, градус.....	130
Величина отвода стола при делении, мм.....	10
Скорость резаная, м/мин	30
Время обработки одного зуба, с	11,3

3.3.Кинематическая схема модели станка

От электродвигателя M (рис. 3.4) через клиноременную передачу и червячную пару вращение передаётся на центральный вал III .

$$n_{цв} = 1460 \cdot 0,98 \cdot \frac{1}{30} \cdot \frac{90}{90} = 48 \text{ об/мин.} \quad (3.1)$$

Главное движение резания (вращение резцовой головки) сообщается от электродвигателя с вала III через цилиндрическую зубчатую пару $\frac{50}{25}$.

$$n_{рГ} = 48 \cdot \frac{50}{25} = 96 \text{ об/мин.} \quad (3.2)$$

Движение деления - с вала III через цилиндрические зубчатые передачи вращение передаётся распределительному валу VI , на одном конце которого закреплён барабанный кулачок $БК$ для подвода и отвода заготовки от резцовой головки. Частота вращения распределительного вала VI определяется по формуле

$$n_{рВ} = 48 \cdot \frac{20}{60} \cdot \frac{20}{36} \cdot \frac{36}{60} = 5,3 \text{ об/мин.} \quad (3.3)$$

С другого конца распределительного вала вращение через червячную пару $\frac{1}{60}$ передаётся на считывающий механизм (на рис. 3,4 не показан), который после обработки последней впадины на заготовке воздействует на микровыключатель и выключает электродвигатель М.

За один оборот распределительного вала VI обрабатывается одна впадина. Время обработки одной впадины равно

$$\tau = \frac{60}{n_{PB}} = \frac{60}{5,3} = 11,3 \text{ с.} \quad (3.4)$$

От распределительного вала VI через цилиндрическую передачу, $\frac{50}{20}$ ряд конических передач, гитару деления $i_{\text{дел.}}$ и червячную пару вращение передаётся шпинделю VII, на котором закреплена заготовка нарезаемого колеса.

3.4. Настройка кинематических цепей модели станка

Цепь главного движения

Эта цепь связывает вращение вала электродвигателя М с вращением резцовой головки B_{rg} :

а) количественная зависимость движений в цепи (см. рис. 3.3 и 3.4)

$$n_э \text{ об/мин} \rightarrow n_{rg} \text{ об/мин};$$

б) уравнение кинематического баланса:

$$n_э \cdot \frac{90}{90} \cdot 0,98 \cdot \frac{1}{30} \cdot \frac{50}{25} = n_{rg}.$$

Цепь круговой подачи ($S_{кр}$)

Эта цепь связывает вращение вала электродвигателя М с вращением люльки:

а) количественная зависимость движений в цепи (см. рис. 3.3 и 3.4)

$$n_э \text{ об/мин} \rightarrow n_{\text{люльки}} \text{ об/мин};$$

б) уравнение кинематического баланса:

$$n_3 \cdot \frac{90}{90} \cdot 0,98 \cdot \frac{1}{30} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{33}{144} \cdot \frac{192}{30} \cdot \frac{30}{33} \cdot i_{об} \cdot \frac{2}{30} = n_{люльки}$$

Из уравнения следует, что $n_{люльки}$ ($S_{кр}$) зависит от передаточного отношения гитары обкатки $i_{об}$

Цепь, обеспечивающая необходимый угол качания люльки

От вала III (см. рис.3.4) через коническую зубчатую пару $\frac{25}{25}$ вращение передаётся валу IV ползуна. На конце вала закреплена шестерня $Z=33$, которая передаёт вращение составному колесу (реверсивный механизм качания люльки). Вращаясь всегда в одном направлении, шестерня $Z=33$ заставляет вращаться составное колесо вместе с зубчатым колесом $Z=192$ (см. рис. 3.4) то в одну, то в другую сторону. При зацеплении этой шестерни с участком составного колеса $Z=144$ наружного зацепления осуществляется рабочий ход станка (обкатка), а при зацеплении с остальной его частью – холостой ход. Причем в момент зацепления шестерни $Z=33$ с переходными участками составного колеса $Z=24$, осуществляется перемещение её оси (вала IV) с ползуном по валу V с участка с наружным зацеплением на участок с внутренним зацеплением (из положения (1) в положение (2)) или наоборот. Качательное движение составного колеса через зубчатые передачи $\frac{192}{30}, \frac{30}{33}$, гитару обкатки $i_{обк}$ и червячную пару $\frac{2}{30}$ передается люльке (планшайбе I).

Угол качания люльки устанавливается таким, чтобы резцы во время обкатки полностью обрабатывали боковые поверхности зубьев. Величина угла качания зависит от выбранного числа пропускаемых зубьев Z_i в течение одного рабочего цикла. Если этот угол выбран недостаточным, то отвод стола начнется раньше, чем закончится обработка впадины.

Изменить угол качания люльки можно путём замены Z_i с пересчётом передаточных отношений сменных шестерён гитар обкатки и деления. При

малом угле качания люльки надо увеличить Z_i , а если он велик (большой перебег люльки) – уменьшить.

При нарезании зубьев может получиться, что угол качания люльки вниз от нулевого её положения будет недостаточным, а угол качания вверх, наоборот, избыточным. В этом случае можно произвести перераспределение величины углов качания. Для этого с гитары обкатки снимают ведомую шестерню, надевают вместо неё специальную рукоятку, с помощью которой поворачивают люльку на некоторый угол, после чего снова надевают сменную шестерню. Ориентировочно угол качания люльки может быть определён по формуле

$$\theta = \arccos\left(\frac{\cos \varphi_e}{\cos \varphi_i}\right) + \frac{600^\circ}{Z_{\text{ПЛ}}}. \quad (3.5)$$

Для определения угла θ при нарезании, например, шестерни с числом зубьев $Z = 20$ значения углов φ_e и φ_i берём из табл. 3.1.

$$\begin{aligned} \theta &= \arccos\left(\frac{\cos 29,08^\circ}{\cos 24,04^\circ}\right) + \frac{600^\circ}{44,72130} = \arccos 0,87394 + 13,41640 \approx \\ &\approx 16,874^\circ + 13,416^\circ = 30,25^\circ. \end{aligned}$$

Цепь деления

Цепью деления в данной модели и аналогичных станках [5] является кинематическая цепь, связывающая распределительный вал VI (см. рис. 3.4) со шпинделем VII бабки изделия (заготовки).

Шпиндель заготовки во время работы станка непрерывно вращается в одном и том же направлении. Это движение берёт начало от распределительного вала VI и передаётся на червячное колесо с $Z=24$. За время, пока планшайба (плоское колесо) по окончании обработки очередной впадины на заготовке, изменит направление вращения и вернётся в исходное положение, заготовка успеет повернуться на Z_i зубьев. Следовательно, к резцовой головке будет подведена не соседняя впадина, а Z_i -я. За один оборот распределителя VI заготовка повернётся на Z_i / Z оборота, и уравнение кинематического баланса примет вид

$$1 \cdot \frac{50}{20} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{4}{24} = \frac{Z_i}{Z}$$

Расчётная формула настройки гитары деления:

$$i_{\text{дел}} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \Pi_{\text{д}} \cdot \frac{Z_i}{Z}, \quad (3.6)$$

где $\Pi_{\text{д}} = 0,41666$ – постоянная цепи деления;

Z – число нарезаемых зубьев;

Z_i – число зубьев, пропускаемых при делении, определяется по формуле

$$Z_i = \frac{\theta \cdot Z_{\text{пл}}}{160^\circ} = \frac{30,25^\circ \cdot 44,72136}{160^\circ} = 8,455. \quad (3.7)$$

Полученное значение Z_i округляется до ближайшего целого числа или выбирается произвольно таким, чтобы оно не имело общих множителей с числом зубьев нарезаемого колеса. Например, для $Z=20$ оно может быть: 7, 9, 11, 13.

В качестве примера подставим в формулу (3.6) $Z_i=13$ и определим $i_{\text{дел}}$.

$$i_{\text{дел}} = 0,41666 \cdot \frac{13}{20} = 0,27083.$$

По справочнику [4] определяем числа зубьев колёс гитары. Находим ближайшее число – 0,27059, а числа зубьев сменных колёс гитары выбираем из табл. 2.1.

$$i_{\text{дел.}} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{23}{85} \cdot \frac{24}{24} = 0,27059.$$

Допускаемая относительная погрешность δ передаточного отношения гитар формообразующих цепей должна быть не более 0,01%.

Абсолютная погрешность передаточного отношения подбора гитары деления в данном примере равна

$$\Delta_i = i_{\text{дел.}} - i_{\text{дел.факт.}} = 0,27083 - 0,27059 = 0,00024.$$

Относительная погрешность равна

$$\sigma_{\text{дел}} = \frac{\Delta_i}{i_{\text{дел.факт}}} \cdot 100\% = \frac{0,00024}{0,27059} \cdot 100\% = 0,0009\%.$$

Условие $\sigma \leq 0,01\%$ выполняется, следовательно, числа зубьев сменных колес гитары деления подобраны правильно.

Цепь обкатки

Цепь обкатки связывает вращение заготовки с вращением люльки:

а) количественная зависимость движений в цепи (см.рис. 3.3 и 3.4)

$$n_3 \text{ ОБ/МИН} \rightarrow n_{\text{люльки}} \text{ ОБ/МИН};$$

б) уравнение кинематического баланса:

$$1 \cdot \frac{24}{4} \cdot \frac{1}{i_{\text{дел}}} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{20}{50} \cdot \frac{60}{36} \cdot \frac{36}{20} \cdot \frac{60}{20} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{33}{134} \cdot \frac{192}{30} \cdot \frac{30}{33} \cdot i_{\text{об}} \cdot \frac{2}{30} = \frac{Z}{Z_{\text{пл}}},$$

где Z – число нарезанных зубьев; $Z_{\text{пл}}$ – число зубьев воображаемого плоского колеса.

После подстановки в УКБ $i_{\text{дел}} = \dots \frac{Z_i}{Z}$ и сокращения сомножителей, получим расчётную формулу гитары обкатки

$$i_{\text{обк.}} = \frac{a'}{b'} \cdot \frac{c'}{d'} = \Pi_{\text{обк}} \cdot \frac{1}{i_{\text{дел.факт}}} \cdot \frac{Z_i}{Z_{\text{пл}}},$$

где $\Pi_{\text{обк}} = 1,91999$ – постоянная цепи обкатки.

Движение обкатки (см. рис. 3.1) осуществляется до тех пор, пока не будет обработана очередная впадина. После этого заготовка отводится от резцовой головки, и люлька начинает поворачиваться в обратном направлении до исходного положения. Заготовка при этом продолжает вращаться в том же направлении, как и во время резания. За время обратного (холостого) поворота люльки заготовка поворачивается на число зубьев Z_i , не кратное числу зубьев, нарезаемых на заготовке (движение деления). Затем заготовка подводится к резцовой головке, и цикл повторяется.

Заготовка устанавливается на шпиндель бабки изделия, которая может быть повернута вокруг центра станка на требуемый угол φ_i . Положение заготовки в осевом направлении регулируется промежуточными кольцами.

3.5. Наладка модели для нарезания зубьев колёс

1. Установить заготовку и сменные шестерни гитар $i_{\text{дел}}$ и $i_{\text{обк}}$.

2. Установить бабку изделия на угол φ_i . Чтобы повернуть бабку изделия на угол φ_i , необходимо освободить стопорный винт и вручную переместить её по круговым направляющим. Отсчёт угла производится по градусной шкале.

3. Переместить заготовку вдоль оси с целью совмещения вершины начального конуса с центром O станка (модели) путём набора дистанционных колец (см. рис. 3.2). Если после пробного прохода высота нарезаемых зубьев окажется меньше или больше расчётной, то необходимо переместить стол с бабкой изделия в нужном направлении. Для этого необходимо освободить стопорный винт, соединяющий стол с пальцем барабанного кулачка, и вручную передвинуть стол на нужную величину.

4. Настроить считывающий механизм.

Если число нарезаемых зубьев меньше 60, то после обработки первой впадины стрелку считывающего механизма повернуть против часовой стрелки на число делений, равное числу зубьев. Если число зубьев больше 60, то считывающий механизм настраивается дважды. Первый раз на 60 зубьев, второй – на оставшее число зубьев.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить принцип работы, структурную и кинематические схемы действующей модели станка.

2. По заданным численным значениям $Z_{\text{ш}}, Z_{\text{к}}, m_{\text{н}}$ и β рассчитать размеры пары нарезаемых конических колёс (пример расчёта смотри в табл. 3.1).

3. По данным табл. 3.1 вычертить чертёж зубчатых колёс в зацеплении (рис. 3.3).

4. Составить УКБ одной из кинематических цепей и вычертить её, определить угол качания люльки – θ , число пропускаемых зубьев Z_1 , числа зубьев сменных колёс в гитарах деления и обкатки для одного нарезаемого колеса ($Z_{ш}$ или $Z_к$).

5. Ответить на контрольные вопросы.

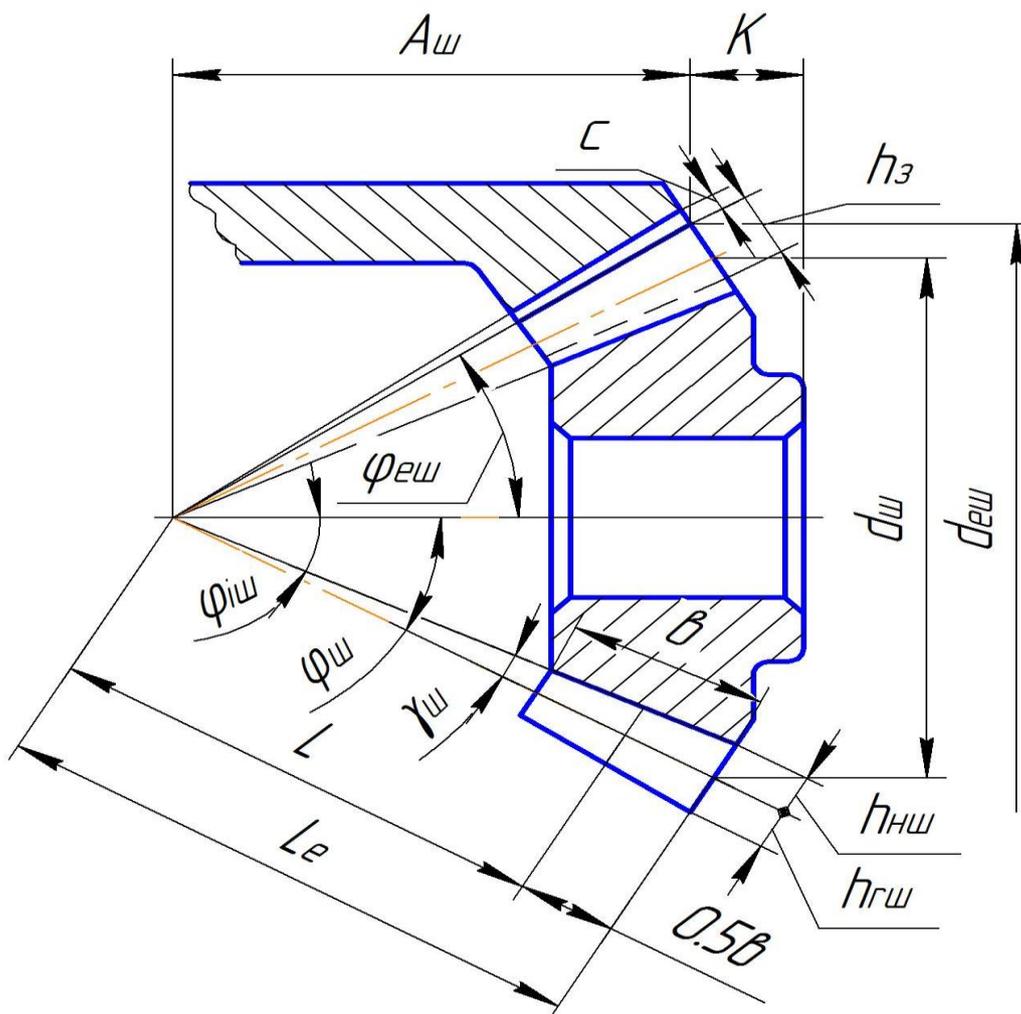


Рис. 3.3. Основные конструктивные и геометрические параметры конического зубчатого колеса шестерни

Таблица 3.1

Пример расчёта основных размеров пары конических зубчатых колёс с круговыми зубьями (угол между осями 90° , угол зацепления 20°)

Исходные данные: число зубьев шестерни $Z_{Ш} = 20$, колеса $Z_{К} = 40$, модуль нормальный $m_H = 2$; угол спирали $\beta = 20^\circ$ (см. рис. 3.1)		
Р а с ч ё т н ы е ф о р м у л ы	Результат расчёта	
	шестерня	колесо
1	2	3
1. Число зубьев плоского колеса $Z_{Пл.} = \sqrt{Z_{Ш}^2 + Z_{К}^2}$ *	44,72136	
2. Длина образующей делительного конуса до середины зуба (см. рис. 3.3) $L = \frac{m_H \cdot Z_{Пл.}}{2 \cdot \cos \beta}$	47,59 мм	
3. Ширина зубчатого венца $b = 0,36 \cdot L$	17,13 мм	
4. Наружная длина образующей $L_e = L + 0,5 \cdot b$	56,15 мм	
5. Модуль торцовый $m_S = \frac{2L_e}{Z_{Пл.}}$	2,51 мм	
6. Глубина захода зуба во впадину $h_3 = 2 m_S \cdot \cos \beta$	4,72 мм	
7. Радиальный зазор $c = 0,2 m_S$	0,5	
8. Полная высота зуба $h = h_3 + c$	5,22 мм	
9. Высота головки зуба $h_{ГШ} = m_S (1 + \xi_n \cdot \cos \beta)$, мм $h_{ГК} = h - h_{ГШ}$ (при $Z_{К} : Z_{Ш} = 2 \dots 6$, $\xi = 0,1 \dots 0,3$), мм	2,74	2,47
10. Высота ножки зуба $h_{НШ} = h - h_{ГШ}$; $h_{НК} = h - h_{ГК}$	2,47	2,74
11. Угол ножки зуба $\gamma_{Ш} = \arctg h_{НШ} / L_e$; $\gamma_{К} = \arctg h_{НК} / L_e$	2,52°	2,79°
12. Угол начального конуса $\varphi_{Ш} = \arctg Z_{Ш} / Z_{К}$; $\varphi_{К} = 90^\circ - \varphi_{Ш}$	26,56°	63,44°
13. Угол наружного конуса $\varphi_{eШ} = \varphi_{Ш} + \gamma_{К}$; $\varphi_{eК} = \varphi_{К} + \gamma_{Ш}$	29,08°	65,96°
14. Угол внутреннего конуса $\varphi_{iШ} = \varphi_{Ш} - \gamma_{Ш}$; $\varphi_{iК} = \varphi_{К} - \gamma_{К}$	24,04°	60,92°
15. Диаметр делительной окружности $d_{Ш} = Z_{Ш} \cdot m_S$; $d_{К} = Z_{К} \cdot m_S$, мм	50,16	100,32
16. Наружный диаметр $d_{eШ} = d_{Ш} + 2h_{ГШ} \cdot \cos \varphi_{Ш}$; $d_{eК} = d_{К} + 2h_{ГК} \cdot \cos \varphi_{К}$, мм	55,07	102,53
17. Расстояние от вершины конуса до венца $A_{Ш} = L_e \cdot \cos \varphi_{Ш} - h_{ГШ} \cdot \sin \varphi_{Ш}$ $A_{К} = L_e \cdot \cos \varphi_{К} - h_{ГК} \cdot \sin \varphi_{К}$	48,94	22,88

*) Вычисляется с точностью до 5-го знака после запятой

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

Отчёт должен содержать:

1. Таблицу расчёта основных размеров конических колёс (табл. 3.1);
2. Чертёж зубчатых колёс в зацеплении (см. рис. 3.3);
3. Уравнения кинематического баланса и формулы настройки гитар

формообразующих цепей $i_{\text{дел}}$ и $i_{\text{обк}}$;

4. Численное значение зубьев сменных шестерён гитар

$$i_{\text{дел}} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \dots; i_{\text{обк}} = \frac{a'}{b'} \cdot \frac{c'}{d'} = \dots;$$

5. Кинематическую схему одной из формообразующих цепей.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. С помощью каких инструментов и какими методами нарезаются конические зубчатые колёса?
2. Каким может быть угол спирали на венце нарезаемого колеса и как изменить его значение?
3. Что называется центром станка?
4. Какие зависимые движения совершают заготовка и резцовая головка в процессе нарезания (количественные зависимости движений)?
5. Почему число пропускаемых зубьев при делении Z_i не должно быть кратным числу зубьев нарезаемого колеса?
6. Как производится перераспределение углов качения люльки вверх и вниз от нулевого положения?
7. От чего зависит точность нарезаемых конических колёс с круговыми зубьями?

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Варианты заданий для настройки станка на нарезание косозубых колёс

Материал заготовки – чугун, $m_n=1,5$ мм; $\omega_t=1^\circ 40''$; $d_{фр}=62$ мм; $K=1$				Материал заготовки – сталь, $m_n=3$ мм; $\omega_t=2^\circ 47''$; $d_{фр}=69$ мм; $K=2$			
Номер варианта	Z	β , град	ϕ , мм	Номер варианта	Z	β , град	ϕ , мм
1	30	12°	16	19	30	23°	24
2	31	14°		20	31	24°	
3	32	16°		21	32	25°	
4	33	18°		22	33	26°	
5	34	20°		23	34	27°	
6	35	22°		24	35	28°	
7	36	23°	18	25	36	17°	26
8	37	24°		26	37	18°	
9	38	25°		27	38	19°	
10	39	26°		28	39	20°	
11	40	27°		29	40	21°	
12	41	28°		30	41	22°	
13	42	29°	20	31	42	34°	28
14	43	30°		32	43	33°	
15	44	31°		33	44	32°	
16	45	32°		34	45	31°	
17	46	33°		35	46	30°	
18	47	34°		36	47	29°	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Варианты заданий для настройки станка на нарезание червячных колёс

Материал заготовки – бронза, $d_{фр}=q \cdot m+2m$, мм					Материал заготовки – чугун, $d_{фр}=q \cdot m+2m$, мм				
Номер варианта	Z	m, мм	K	q	Номер варианта	Z	m, мм	K	q
1	32	2	1	25	19	33	2,25	2	22
2	34	2,5	1	22	20	35	2,5	2	25
3	36	2,75	2	20	21	37	2,75	3	22
4	38	3	2	18	22	39	3	3	20
5	40	3,25	3	20	23	41	3,25	2	18
6	42	3,5	3	22	24	43	3,5	4	20
7	44	3,75	4	20	25	45	3,75	3	22
8	46	4	2	18	26	47	4	1	20
9	48	4,5	3	20	27	49	4,5	2	18
10	50	5	4	16	28	51	5	3	18
11	52	5,5	2	20	29	53	5,5	3	16
12	54	6	1	14	30	55	6	2	16
13	56	3	3	20	31	57	3	1	22
14	58	3,5	2	20	32	59	3,5	4	18
15	60	4	3	16	33	61	4	4	20
16	62	5	3	18	34	63	5	2	20
17	64	5,5	3	18	35	65	5,5	4	16
18	66	6	2	16	36	67	6	3	12,5

Примеры подбора сменных зубчатых колёс гитар

1. **Подбор сменных колёс гитары обкатки**, в формуле настройки которой (см. формулу 2.7)

$$i_{об} = 12 \cdot \frac{K}{Z},$$

величины K и Z выражены целыми числами, обычно (за редким исключением) выполняется способом простых дробей.

Пример 1: $Z=85, K=2$, тогда

$$i_{об} = 12 \cdot \frac{2}{85} = \frac{24}{85} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{24}{85} \cdot \frac{c}{d}.$$

В комплекте сменных колёс (см. табл.2.1) $a = 24$ и $b = 85$ имеются, но нужны ещё два колеса c и d с одинаковым числом зубьев, которых в комплекте нет. Тогда принимаем $\frac{c}{d} = \frac{1}{2} = \frac{26}{52}$ (см. табл.2.1) и, соответственно, увеличиваем в 2

раза отношение $\frac{a}{b}$, т.е.

$$i_{об} = \frac{24 \cdot 2}{85} \cdot \frac{26}{52} = \frac{48}{85} \cdot \frac{26}{52}.$$

Окончательно записываем в общепринятом виде:

$$i_{об} = 12 \cdot \frac{2}{85} = \frac{24}{85} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{24}{85} \cdot \frac{c}{d} = \frac{48}{85} \cdot \frac{26}{52}$$

и, сверяя с таблицей 2.1, ещё раз убеждаемся, что все подобранные колёса имеются в прилагаемом к станку наборе.

Пример 2: $Z=85, K=2$.

Предположим, что в комплекте (см. табл.2.1) отсутствует колесо с $Z=85$.

Тогда числитель и знаменатель в формуле настройки

$$i_{об} = 12 \cdot \frac{2}{85} = \frac{24}{85}$$

разлагают на множители из простых чисел:

$$i_{об} = \frac{24}{85} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3}{5 \cdot 17} .$$

Далее составляют комбинацию из этих множителей так, чтобы в числителе и знаменателе осталось по два множителя. Группировать их нужно таким образом, чтобы множители в числителе и знаменателе были по величине как можно ближе друг к другу. Лучше всего сгруппировать их следующим образом:

$$\frac{2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3}{5 \cdot 17} = \frac{8}{17} \cdot \frac{3}{5}$$

и, умножив на вспомогательные множители, получить числа зубьев сменных колёс гитары приведённых в табл.2.1:

$$i_{об} = \frac{8}{17} \cdot \left(\frac{3}{3}\right) \cdot \frac{3}{5} \cdot \left(\frac{10}{10}\right) = \frac{24}{51} \cdot \frac{30}{50} .$$

Окончательно записываем числа зубьев сменных колёс гитары обкатки в общепринятом виде:

$$i_{об} = 12 \cdot \frac{2}{85} = \frac{24}{85} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{24}{51} \cdot \frac{30}{50} .$$

Пример 3: $Z = 131$, $K = 2$, тогда

$$i_{об} = 12 \cdot \frac{2}{131} = \frac{24}{131} = 0,183206.$$

Передаточное отношение гитары обкатки в этом (весьма редком) случае можно выразить только десятичной дробью. Подробное рассмотрение таких примеров приведено ниже.

После определения чисел зубьев сменных зубчатых колёс гитары необходимо выполнить проверку их на сцепляемость и при неудовлетворительном результате повторить подбор колёс с другими числами зубьев, которые обеспечат их сцепляемость (в данной работе не производится).

2. **Подбор сменных колёс гитары дифференциала** ($i_{\text{винт}}$ и $i_{\text{ос}}$, см. формулы 2.13 и 2.19) выполняется приближённо. При этом передаточные отношения настраиваемых гитар выражаются десятичными дробями и определяются с точностью до 5-го знака после запятой. Для лабораторных работ передаточное отношение гитар, реализуемое подобранными сменными колёсами, не должно отличаться от расчётного на величину не более чем $\pm 0,00003$.

Десятичную дробь с помощью специальных таблиц М.В. Сандакова [4] представляют в виде произведения двух простых дробей $\frac{a'}{b'} \cdot \frac{c'}{d'}$, которые с помощью данных в табл.2.1 преобразуются в числа зубьев сменных колёс гитары дифференциала

$$i_{\text{диф}} = \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} .$$

Пример 1: $i_{\text{диф}} = 0,17634$. По таблицам М.В. Сандакова этому числу будет соответствовать простая дробь $\frac{82}{465}$. При помощи тех же таблиц разлагаем числитель и знаменатель этой дроби на простые множители:

$$i_{\text{диф}} = 0,17634 = \frac{82}{465} = \frac{41 \cdot 2}{3 \cdot 5 \cdot 31} .$$

Теперь, ориентируясь на имеющийся комплект сменных колёс в табл.2.1, группируем числа и добавляем вспомогательные множители:

$$\frac{41}{31} \cdot \frac{2}{15} \cdot \left(\frac{2}{2}\right) = \frac{41}{62} \cdot \frac{4}{15} \cdot \left(\frac{6}{6}\right) = \frac{41}{62} \cdot \frac{24}{90} .$$

Окончательно записываем числа зубьев сменных колёс гитары дифференциала в общепринятом виде:

$$i_{\text{диф}} = 0,17634 = \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{24}{90} \cdot \frac{41}{62}$$

и проверяем точность подбора колёс.

Пример 2: $i_{\text{диф}} = 0,183206$.

Точное значение этого передаточного отношения в таблицах М.В. Сандакова отсутствует, поэтому принимаем из таблиц ближайшее значение 0,183215.

По тем же таблицам этому числу будет соответствовать дробь $\frac{155}{846}$. Опять же, при помощи таблиц, находим множители, образующие числа 155 и 846:

$$\frac{155}{846} = \frac{5 \cdot 31}{2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 47}.$$

Ориентируясь на имеющийся комплект сменных колёс в табл. 2.1, группируем числа и добавляем вспомогательные множители

$$\frac{31}{2 \cdot 47} \cdot \frac{5}{3 \cdot 3} = \frac{31 \cdot 5}{94 \cdot 9} \cdot \left(\frac{10}{10} \right) = \frac{31 \cdot 50}{94 \cdot 90}.$$

Записываем числа зубьев сменных колёс гитары дифференциала в общепринятом виде:

$$i_{\text{диф}} = 0,183206 = \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{31 \cdot 50}{94 \cdot 90}$$

и проверяем точность подбора, которая определяется разбросом расчётного передаточного отношения в пределах не более $\pm 0,00003$.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Алгоритм расчёта основных размеров конических зубчатых колёс с круговыми зубьями (угол между осями 90° , угол зацепления 20°)

Исходные данные: число зубьев шестерни $Z_{Ш} =$, колеса $Z_{К} =$, модуль нормальный $m_H =$; угол спирали $\beta = ^\circ$ (см. рис. 3.1)		
Р а с ч ё т н ы е ф о р м у л ы	Результат расчёта	
	шестерня	колесо
1. Число зубьев плоского колеса $Z_{Пл.} = \sqrt{Z_{Ш}^2 + Z_{К}^2}$ *)		
2. Длина образующей делительного конуса до середины зуба (см. рис. 3.3) $L = \frac{m_H \cdot Z_{Пл.}}{2 \cdot \cos \beta}$		
3. Ширина зубчатого венца $b = 0,36 \cdot L$		
4. Наружная длина образующей $L_e = L + 0,5 \cdot b$		
5. Модуль торцовый $m_S = \frac{2L_e}{Z_{Пл.}}$		
6. Глубина захода зуба во впадину $h_3 = 2 m_S \cdot \cos \beta$		
7. Радиальный зазор $c = 0,2 m_S$		
8. Полная высота зуба $h = h_3 + c$		
9. Высота головки зуба $h_{ГШ} = m_S (1 + \xi_n \cdot \cos \beta)$, мм $h_{ГК} = h - h_{ГШ}$ (при $Z_{К} : Z_{Ш} = 2 \dots 6$, $\xi = 0,1 \dots 0,3$), мм		
10. Высота ножки зуба $h_{НШ} = h - h_{ГШ}$; $h_{НК} = h - h_{ГК}$		
11. Угол ножки зуба $\gamma_{Ш} = \arctg h_{НШ}/L_e$; $\gamma_{К} = \arctg h_{НК}/L_e$		
12. Угол начального конуса $\varphi_{Ш} = \arctg Z_{Ш} / Z_{К}$; $\varphi_{К} = 90^\circ - \varphi_{Ш}$		
13. Угол наружного конуса $\varphi_{eШ} = \varphi_{Ш} + \gamma_{К}$; $\varphi_{eК} = \varphi_{К} + \gamma_{Ш}$		
14. Угол внутреннего конуса $\varphi_{iШ} = \varphi_{Ш} - \gamma_{Ш}$; $\varphi_{iК} = \varphi_{К} - \gamma_{К}$		
15. Диаметр делительной окружности $d_{Ш} = Z_{Ш} \cdot m_S$; $d_{К} = Z_{К} \cdot m_S$, мм		
16. Наружный диаметр $d_{eШ} = d_{Ш} + 2h_{ГШ} \cdot \cos \varphi_{Ш}$; $d_{eК} = d_{К} + 2h_{ГК} \cdot \cos \varphi_{К}$, мм		
17. Расстояние от вершины конуса до венца $A_{Ш} = L_e \cdot \cos \varphi_{Ш} - h_{ГШ} \cdot \sin \varphi_{Ш}$ $A_{К} = L_e \cdot \cos \varphi_{К} - h_{ГК} \cdot \sin \varphi_{К}$		

*) Вычисляется с точностью до 5-го знака после запятой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зубофрезерный станок: Модель FO-6. Руководство к станку/ Станкозавод TOS – Варнсдорф, ЧССР : Заводская типография, 1972. –65с.
2. Metallорежущие станки: Сборник лабораторных работ для студентов специальности 1201 всех форм обучения: в 2 ч. Ч.2/ сост. Г.И. Киреев. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 50с.
3. Metallорежущие станки: учебник. В 2. т. Т2/ В.В. Бушуев, А.В. Еремин, А.А. Какойло и др.; под ред. В.В. Бушуева. Т.2. – М.: Машиностроение, 2011. – 584с.
4. Таблицы для подбора шестерён: Справочник/ М.В. Сандаков, В.А. Вегнер, М.К. Вегнер; под ред. М.В. Сандакова. – 6-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 576с.
5. Metallорежущие станки / Н.С. Колев, Л.В. Красниченко и др.; под ред. В.К. Тепинкичиева. – М. : Машиностроение, 1973. – 472 с.

Учебное издание
ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИЕ СТАНКИ
Практикум
Составители: КИРЕЕВ Геннадий Иванович
ШЕСТЕРНИНОВ Александр Владимирович

Подписано в печать 01.04.2016г. Формат 60x84/16.
Усл. печ.л. 3,72. Тираж 75 экз. Заказ _____

Ульяновский государственный технический университет
432027, г. Ульяновск, Северный Венец, 32.

ИПК «Венец» УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, Северный Венец, 32.