

Проект «Инженерные кадры Зауралья»

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Курганский государственный университет»
Кафедра «Технология машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты»

НАСТРОЙКА ЗУБОФРЕЗЕРНОГО СТАНКА НА НАРЕЗАНИЕ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Оборудование машиностроительных производств»
для студентов направления 151900.62 «Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств»
(профиль «Технология машиностроения») и
150700.62 «Машиностроение» (профиль «Менеджмент высоких технологий»)

Курган 2014

Кафедра: «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»

Дисциплина: «Оборудование машиностроительных производств»
(направление 151900.62, 150700.62).

Составил: д-р техн. наук, проф. В.И. Курдюков,
канд. техн. наук, доц. В.Л. Рохин.

Утверждены на заседании кафедры

«7» ноября 2013 г.

Рекомендованы методическим советом университета в рамках проекта
«Инженерные кадры Зауралья» «25» ноября 2013 г.

Введение

Наладка станка является одним из ответственных этапов его эксплуатации. Наладка – это подготовка технологического оборудования, инструмента и оснастки к выполнению определенной технологической операции. Основной операцией наладки является настройка кинематических цепей станка и установка заготовки и инструмента в исходное для работы положение.

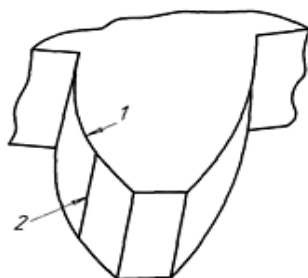
Качественное выполнение наладки базируется на знании конструктивных особенностей станка, методов настройки кинематических цепей и практических навыков проведения ее основных операций.

Целью данной лабораторной работы является ознакомление с назначением, устройством и работой зубофрезерного станка, получение практических навыков в настройке кинематических цепей станка на нарезание цилиндрических колес с винтовым зубом.

Оборудование, инструмент и оснастка: зубофрезерный станок модели 5310, набор сменных зубчатых колес для гитар главного движения, деления, подачи и дифференциала; червячная фреза с оправкой; заготовка нарезаемой шестерни; оправка для базирования и закрепления заготовки на станке; штангенциркуль; ключи гаечные.

1 Общие положения

Зуб цилиндрического косозубого колеса имеет две производящих линии (рисунок 1). Линия 1, формирующая зуб по высоте, является эвольвентной и образуется методом обката. Линия 2, формирующая зуб по длине, является винтовой и получается методом касания. Обе производящие линии сложные, поэтому для формирования каждой из них в станке необходимо создать по два элементарных движения. Рассмотрим, какие же формообразующие движения необходимо обеспечить в зубофрезерном станке, работающем по методу обкатки, для получения данных производящих линий на цилиндрическом косозубом колесе.

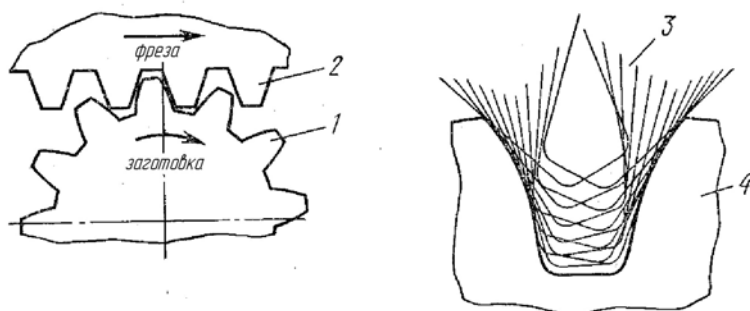


1 – эвольвента;

2 – винтовая линия

Рисунок 1 – Производящие линии зуба цилиндрического косозубого колеса

Эвольвентный профиль обрабатываемых зубьев возникает как огибающая ряда последовательных положений режущих кромок инструмента или иначе как огибающая ряда последовательных срезов металла во впадинах между зубьями.



а – зацепление червячной фрезы с колесом;
б – образование эвольвентного профиля

Рисунок 2 – Зубофрезерование цилиндрических колёс

Инструментом является червячная фреза, представляющая собой винт с прорезанными продольными канавками, образующими режущие элементы зубьев фрезы. В сечении, перпендикулярном к направлению витков, профиль зуба имеет форму трапеции, а в осевом сечении образуется рейка бесконечной длины (рисунок 2 и 3). Эта рейка смещается вдоль ее оси на k шагов (зубьев), а сопряженная с ней заготовка поворачивается на k/z оборота, где k – число заходов фрезы, z – число зубьев нарезаемого колеса, т.е. движение обкатки получается за счет сочетания осевого бега винтовой линии червячной фрезы при ее вращении с вращением заготовки. Следовательно, движениями формообразования зуба по эвольвенте (высоте) являются вращение фрезы B_1 и согласованное с ним вращение заготовки B_2 (рисунок 3). Получается, что при формировании зуба по высоте в зубофрезерном станке воспроизводятся те же движения, что при работе червячной пары.

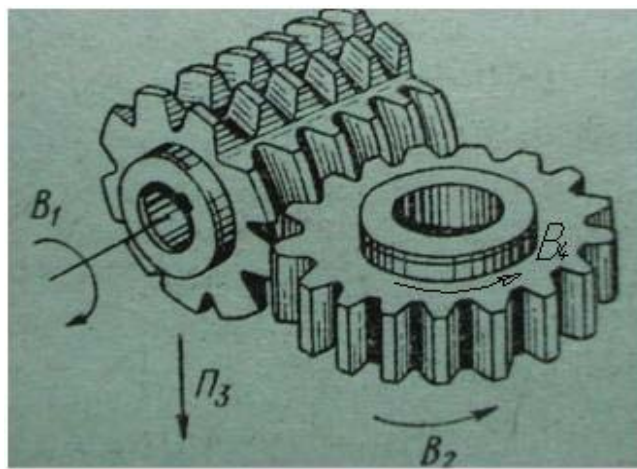


Рисунок 3 – Формообразование зубьев цилиндрического колеса червячной фрезой

Выясним теперь, какие движения необходимы в станке для образования винтового зуба по длине. Для того чтобы представить, как получается винтовая линия на заготовке, обратимся к рисунку 4. Впадина зуба направлена по линии AC . Продолжим длину колеса и винтовой линии до образования полного витка с шагом T и развернем колесо по делительной окружности. Получим треугольник DEF со сторонами: $DF=\pi d$ и $EF=T$. Допустим, что фреза опустилась на величину S_B . В результате этого она окажется не в точке B , лежащей на линии зуба, а в точке A_1 , т.е. в стороне от требуемого рабочего положения. Чтобы фреза непрерывно находилась в контакте с образуемым зубом, необходимо повернуть заготовку дополнительно к ее движению B_4 на величину дуги A/B в направлении точки B . При дальнейшем перемещении фрезы вдоль оси заготовки на величину шага T заготовка должна повернуться на один оборот. Таким образом, движениями формообразования винтового зуба по длине являются вертикальное перемещение фрезы $П_3$ и согласованное с ним вращательное движение заготовки B_4 (рисунок 3). Направление движения B_4 определяется направлениями винтовых линий фрезы и заготовки. Если винтовые линии одноименны (обе правые или обе левые), то направление движения B_2 и B_4 совпадает и наоборот. Для сложения на заготовке движений B_2 и B_4 зубофрезерных станках применяется суммирующий механизм (Σ).

На основании перечисленных движений, необходимых для образования цилиндрического косозубого колеса, структурная схема зубофрезерного станка будет иметь вид, представленный на рисунке 5. Из структурной схемы видно, что в станке должны быть созданы две сложные кинематические группы. Первая группа – $\Phi\nu(B_1 B_2)$ - группа формообразования зуба по высоте (эвольвенте), вторая $\Phi s(П_3 B_4)$ - группа формообразования зуба по длине.

На первом этапе произведем настройку станка в структурном варианте.

Первая кинематическая группа $\Phi\nu(B_1 B_2)$ состоит из двух кинематических цепей. Цепь главного движения составляет внешнюю связь кинематической группы $\Phi\nu(B_1 B_2)$ и служит для настройки движения B_1 на скорость резания с помощью органа настройки i_v . Эта цепь связывает вращение вала электродвигателя с вращением фрезы B_1 . Следовательно, расчетными перемещениями конечных звеньев цепи главного движения будут:

$$n_{\text{э/д}} (\text{об/мин}) \rightarrow n_{\text{фр.}} (\text{об/мин}).$$

Уравнение кинематического баланса (УКБ):

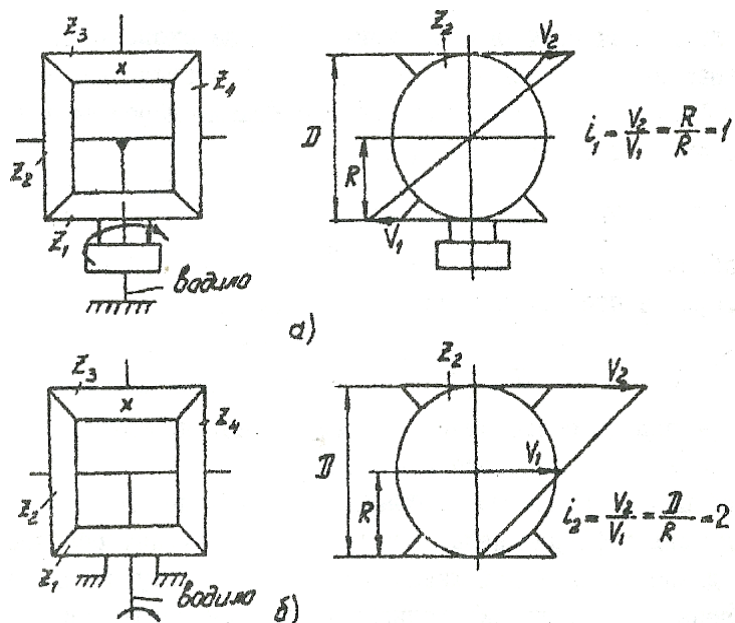
$$n_{\text{э/д}} \cdot P_{1-2} \cdot i_v = n_{\text{фр.}}$$

Решая уравнение относительно неизвестного передаточного отношения органа настройки i_v , получаем формулу настройки цепи главного движения:

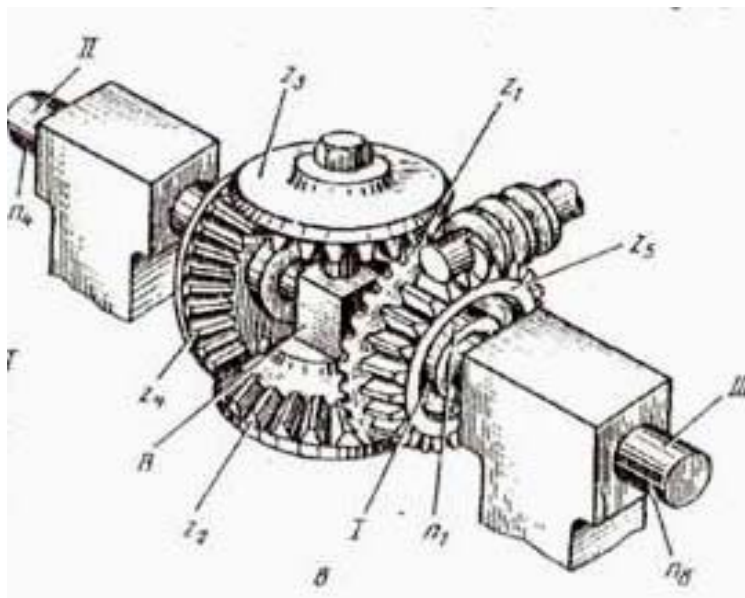
$$i_v = \frac{n_{\text{фр.}}}{n_{\text{э.д.}} \cdot P_{1-2}},$$

где P_{1-2} – передаточное отношение постоянных передач на участке 1-2; (рисунок 5).

Скорость этого движения определяет толщину срезаемого каждым зубом фрезы слоя металла, поэтому движение Π_3 называют движением подачи и измеряют в мм/об.заг, а цепь, обеспечивающую это движение – цепью подачи. Цепь подачи связывает вращательное движение заготовки B_2 с поступательным перемещением фрезы Π_3 , следовательно расчетными перемещениями конечных звеньев цепи подачи будут:



а) водило неподвижно, колесо Z_1 – ведущее
 б) водило ведущее, колесо Z_2 – неподвижно
 Рисунок 6 – Схема конического дифференциала



R – водило; Z_2, Z_3 – сателлиты; Z_1 – солнечная шестерня;
 Z_4 – ведомая шестерня; Z_5 – приводная шестерня (червячная);
 I, II, III – входы – выходы вращательных движений $n_1, n_4, n_в$
 со стороны солнечной и ведомой шестерен, водила соответственно
 Рисунок 6 а – Конический дифференциал

$$1(\text{об.заг.}) \rightarrow S_B (\text{мм/об})$$

$$\text{УКБ: } 1(\text{об.заг.}) \cdot P_{4-5} \cdot i_s \cdot P_{x.в.} = S_B (\text{мм/об.заг.})$$

Отсюда формула настройки цепи:

$$i_s = \frac{S_B}{P_{4-5} \cdot P_{x.в.}},$$

где P_{4-5} – передаточное отношение постоянных передач на участке 4–5;

$P_{x.в.}$ – шаг ходового винта.

Второй цепью группы формообразования зуба по длине $\Phi S(\Pi_3 B_4)$ является цепь дифференциала. Эта цепь обеспечивает образование зуба по длине по винтовой линии и связывает поступательное движение фрезы Π_3 с дополнительным вращением заготовки B_4 . Учитывая, что за время перемещения фрезы на величину, равную шагу винтовой линии заготовки T , начальное звено цепи ходовой винт с шагом $P_{x.в.}$ сделает $T/P_{x.в.}$ оборотов, при этом конечное звено заготовка повернется на один оборот. Уравнения расчетных перемещений цепи будут иметь вид:

$$T / P_{x.в.} (\text{об.х.в.}) \rightarrow \pm 1(\text{об.заг.})$$

$$\text{УКБ: } T / P_{x.в.} \cdot P_{5-6-4} \cdot i_y \cdot P_{\Sigma} \cdot i_x = \pm 1(\text{об.заг.})$$

Отсюда формула настройки цепи:

$$i_y = \frac{P_{x.в.}}{T} \cdot \frac{1}{P_{5-6-4} \cdot P_2 \cdot P_{\Sigma} \cdot i_x},$$

где P_{5-6-4} – передаточное отношение постоянных передач на участке 5–6–4;

P_{Σ} – передаточное отношение суммирующего механизма.

При нарезании прямозубых цилиндрических колес необходимость в движении B_4 , а значит и в настройке цепи дифференциала отпадает. Следует отметить, что приведенная на рис. 5 структурная схема справедлива для любого зубофрезерного станка. Рассмотрим реализацию этой схемы на примере зубофрезерных станков моделей 5К324 и 5310.

2 Зубофрезерный станок модели 5К324

Ознакомиться со схемой станка можно на рисунке 7. Вертикальный зубофрезерный станок 5К324 является широкоуниверсальным и предназначен для нарезания цилиндрических колес с прямыми и винтовыми зубьями, червячных колес методом радиальной и тангенциальной (осевой) подачи, а также фрезеровать шлицевые валики, многогранники, нарезать зубья на цепных звездочках, храповых колесах и т.д. Для изготовления всех указанных деталей применяют червячные фрезы соответствующих профилей.

На этом станке можно обрабатывать цилиндрические колеса методом встречного (вертикальная подача фрезы сверху вниз) и попутного (вертикальная подача снизу вверх) фрезерования. При попутном фрезеровании по сравнению со встречным скорость резания может быть увеличена на 20-25%.

Цикл работы станка автоматизирован. Быстрый подвод инструмента к заготовке, зубонарезание, быстрый отвод инструмента в исходное положение и остановка станка осуществляются автоматически после пуска станка. Для уборки стружки станок имеет шнековый транспортер.

Техническая характеристика станка

1 Наибольший диаметр нарезаемых колёс, мм	500
2 Наибольший нарезаемый модуль, мм	8
3 Наибольший угол наклона зубьев	$\pm 60^\circ$
4 Наибольший вертикальный ход фрезы, мм	360
5 Осевое перемещение фрезы, мм	100
8 Частота вращения шпинделя фрезы, об/мин	50-310
9 Мощность привода главного движения, кВт	1,7

2.1 Нарезание прямозубых цилиндрических колес

При нарезании прямозубых колес в станке должно быть получено движение обкатки, состоящее из взаимно связанных вращений фрезы и заготовки и являющееся движением скорости резания, а также вертикальное перемещение суппорта с фрезой – движение подачи.

Цепь главного движения (скоростная цепь) (рисунок 8) приводится от электродвигателя ($P = 7$ кВт, $n = 1440$ об/мин) через коробку скоростей с электромагнитными муфтами, на девять ступеней.

Уравнение кинематического баланса цепи главного движения имеет вид:

$$\text{УКБ } 1440 \cdot \frac{140}{320} \cdot i_{к.с.} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{16}{64} = n_{фр.}$$

отсюда формула настройки цепи: $i_{к.с.} = \frac{n_{фр.}}{158}$,

где $i_{к.с.}$ – передаточное отношение коробки скоростей,

$n_{фр.}$ – частота вращения фрезы рассчитываемая по выражению:

$$n_{фр.} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_{фр.}}$$

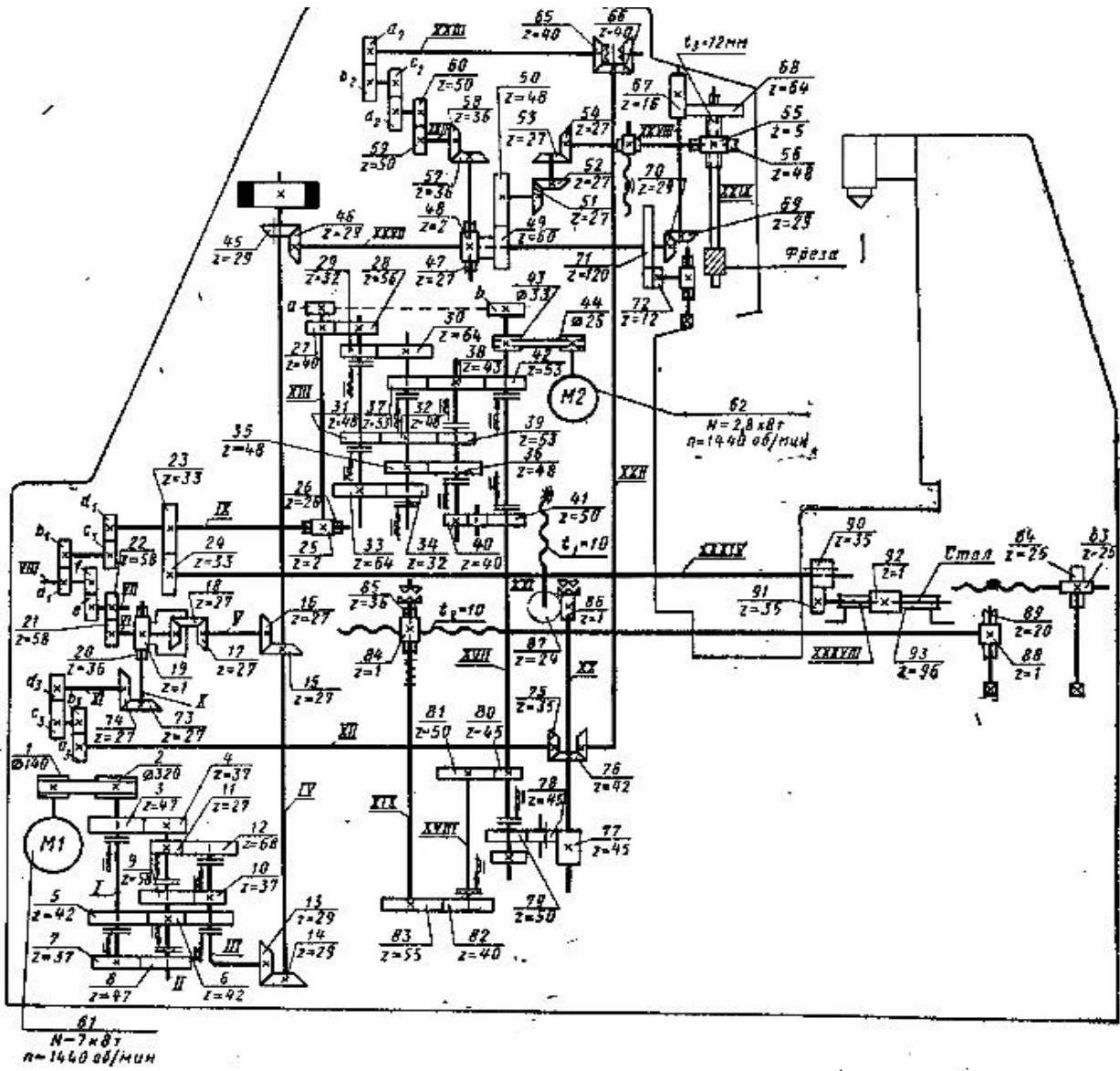


Рисунок 7 – Схема кинематическая станка 5K324

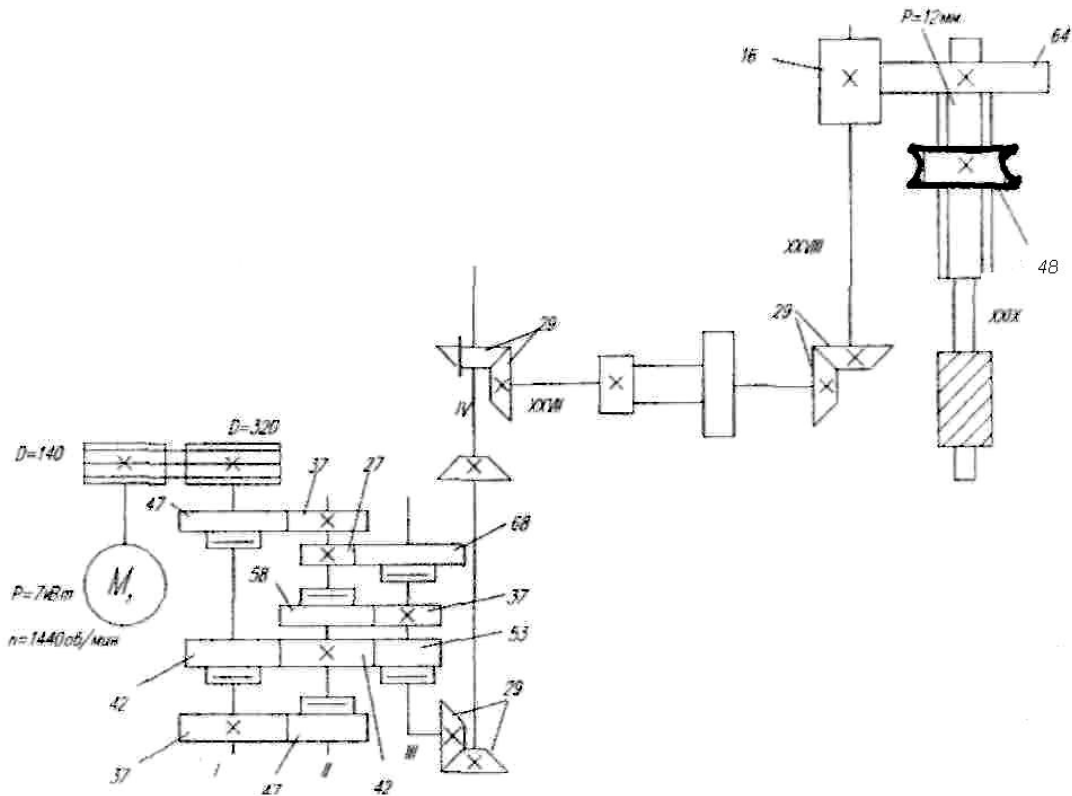


Рисунок 8 – Кинематическая схема цепи главного движения станка 5К324

Цепь обкатки (деления) настраивается подбором сменных колес $a_1/b_1 \cdot c_1/d_1$.

Имеем следующее уравнение кинематического баланса:

$$1 \cdot \frac{64}{16} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{27}{27} \cdot i_{\text{диф.}} \cdot \frac{58}{58} \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{1}{96} = \frac{k}{z}$$

Откуда формула настройки:
$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{24 \cdot k}{z \cdot i_{\text{диф.}}} \cdot \frac{f}{e}$$

Зубчатые колеса e и f , служащие для расширения диапазона регулирования сменных колес гитары деления, подбирают следующим образом:

при $z \leq 160$ $\frac{e}{f} = \frac{54}{54} = 1$, тогда $\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{24 \cdot k}{z \cdot i_{\text{диф.}}}$,

а если $z > 160$ $\frac{e}{f} = \frac{36}{72} = \frac{1}{2}$, то $\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{48 \cdot k}{z \cdot i_{\text{диф.}}}$

Поскольку при нарезании цилиндрических прямозубых колес при передаче движения с вала V на вал VI дифференциал работает как обычная зубчатая передача, то его передаточное отношение $i_{\text{диф}} = 1$. В этом случае формулы настройки примут вид:

$$\text{при } z \leq 160 \quad \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{24 \cdot k}{z}; \quad \text{при } z > 160 \quad \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{48 \cdot k}{z}$$

К станку прилагается набор сменных зубчатых колес с числами зубьев 23, 24, 25 (по 2 шт.), 30, 34, 35, 37, 40, 41, 43, 45, 47, 48, 50, 53, 55, 58, 59, 60, 61, 62,

65, 67, 70, 71, 73, 79, 80, 83, 85, 89, 90, 92, 95, 98, 100. Этот набор предназначен для гитар деления (обкатки), подач и дифференциала.

Цепь вертикальной подачи фрезы (рисунок 10).

Уравнение кинематического баланса цепи вертикальной подачи:

$$1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{40}{56} \cdot i_{к.п.} \cdot \frac{43}{53} \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{1}{24} \cdot 10 = S_B,$$

откуда формула настройки: $i_{к.п.} = \frac{S_e}{2}$,

где $i_{к.п.}$ – передаточное отношение коробки подач.

Ускоренные вертикальные перемещения фрезы осуществляются от отдельного электродвигателя ($N=2,8$ кВт; $n=1440$ об/мин) через цепную передачу 25/33.

Уравнение кинематического перемещения для цепи ускоренной вертикальной подачи:

$$n_{дв.} \rightarrow S_{в.уск.}$$

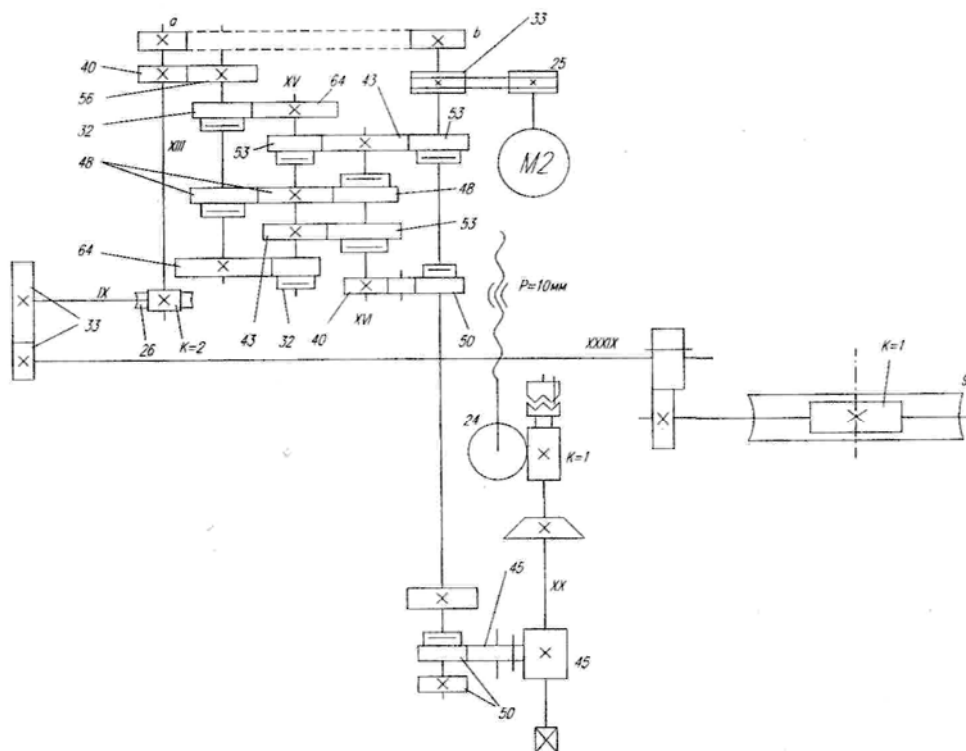


Рисунок 9 – Кинематическая схема цепи вертикальной подачи фрезы станка 5К324

$$УКБ \quad 1440 \cdot \frac{25}{33} \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{1}{24} \cdot 10 = S_{в.уск.}$$

2.2 Нарезание цилиндрических колёс с винтовым зубом

2.2.1 Наладка станка с применением дифференциала

В этом случае кроме расчета наладки цепей главного движения обкатки и цепи вертикальной подачи фрезы рассчитывается так же, при нарезании прямозубых цилиндрических колес.

Расчетные перемещения и нагрузка цепи дифференциала (рисунок 10):

У.К.Б. цепи дифференциала:

$$\pm 1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{d_1}{c_1} \cdot \frac{b_1}{a_1} \cdot \frac{f}{e} \cdot \frac{58}{58} \cdot i_{\text{диф.}} \cdot \frac{36}{1} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{d_3}{c_3} \cdot \frac{b_3}{a_3} \cdot \frac{35}{42} \cdot \frac{1}{24} = \frac{T}{t_{x.в.}}$$

Учитывая, что для этого случая $i_{\text{диф.}} = \frac{1}{2}$, $T = \frac{\pi \cdot m_H \cdot z}{\sin \beta}$, $t_{x.в.} = 10 \text{ мм}$; и уже

известно выражение для гитары деления $\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{24 \cdot k}{z \cdot i_{\text{диф.}}} \cdot \frac{f}{e}$, после подстановки

этих данных в уравнение баланса, получим: $\frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} = \frac{7.95775 \cdot \sin \beta}{m_H \cdot k}$,

где β – угол наклона зуба,

m_H – нормальный модуль нарезаемого колеса,

k – число заходов червячной фрезы.

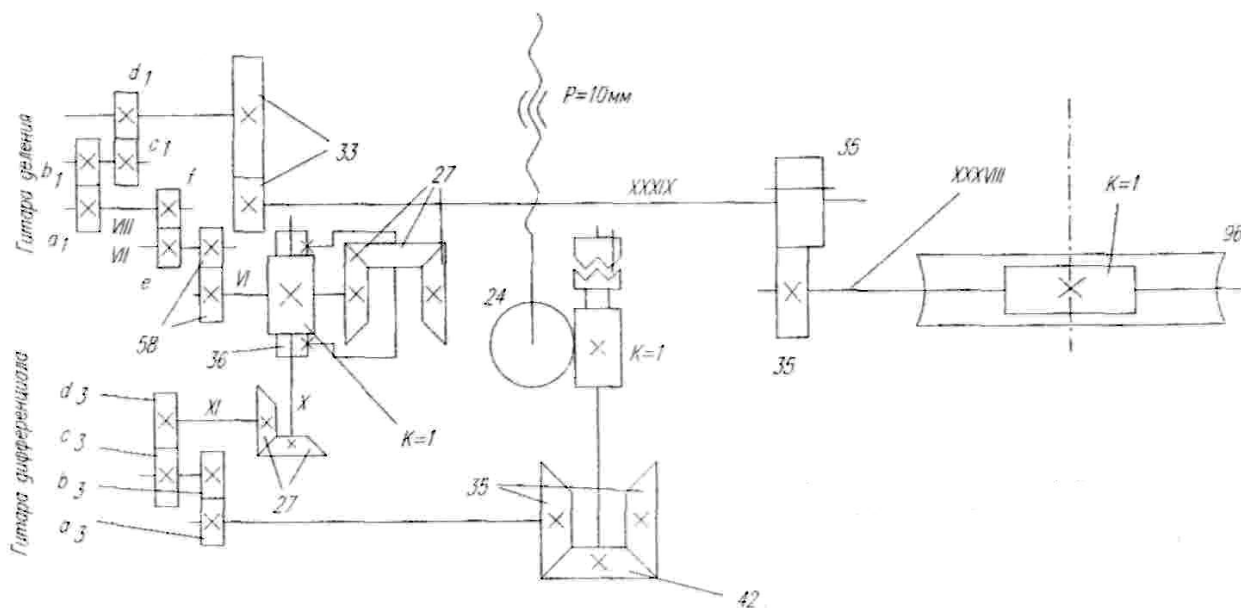


Рисунок 10 – Цепь дифференциала

2.2.2 Бездифференциальная наладка зубофрезерного станка

Для этого необходимо следующим образом согласовать вращение фрезы и заготовки. Если фреза опустится на величину T шага зуба колеса, то при нарезании прямых зубьев при подаче S_B заготовка бы сделала T/S_B оборотов, а фреза за этот же период $T/S_B \cdot z/k$ оборотов. Для получения винтовых зубьев необходимо за тот же период либо добавить заготовке ± 1 оборот, либо

уменьшить число оборотов фрезы на $\pm z/k$, не изменяя частоты вращения заготовки.

Тогда для получения винтовых зубьев выключают дифференциал (т.е. $i_{\text{диф}} = 1$), а кинематическую наладку делительной цепи производят в соответствии со следующими расчетными перемещениями:

$$1(\text{об.заготовки}) \rightarrow \left(\frac{z}{k} \pm \frac{z}{k} \cdot \frac{S_B}{T} \right) \text{об.фрезы.}$$

Уравнение кинематического баланса делительной цепи:

$$1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{d_1}{c_1} \cdot \frac{b_1}{a_1} \cdot \frac{f}{e} \cdot \frac{58}{58} \cdot i_{\text{диф}} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{16}{64} = \frac{z}{k} \pm \frac{z}{k} \cdot \frac{S_B}{T},$$

откуда

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{24 \cdot k \cdot f}{z \cdot e} \cdot \frac{T}{T \pm S_B}$$

При встречном методе зубонарезания знак минус применяют при одноименных, а знак плюс – при разноименных направлениях винтовых линий фрезы и детали. В формулу для определения сменных зубчатых колес гитары деления при бездифференциальной наладке следует подставлять точное фактическое значение вертикальной подачи фрезы, выраженное через сменные колеса a/b гитары вертикальной подачи. В этом случае уравнение кинематического баланса цепи вертикальной подачи запишется следующим образом:

$$1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{1}{24} \cdot 10 = S_B, \text{ откуда } \frac{a}{b} = \frac{13 \cdot 9}{400} \cdot S_B.$$

В формулу подбора сменных колес гитары деления подставляют значение

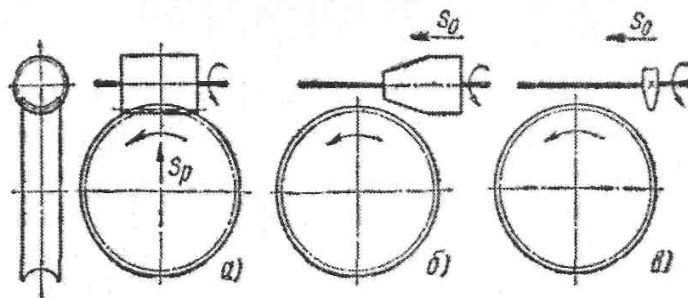
$$S_B = \frac{400}{13 \cdot 9} \cdot \frac{a}{b}.$$

2.3 Нарезание червячных колёс

На станке 5К324 можно нарезать червячные колеса методами радиальной подачи, осевой (тангенциальной) подачи, а также летучим резцом.

2.3.1 Метод радиальной подачи

Ось фрезы устанавливают строго горизонтально (рисунок 11 а).



а) радиальная подача; б) осевая подача; в) летучим резцом

Рисунок 11 – Схемы нарезания червячных колес

Расчетные перемещения цепи радиальной подачи: 1 оборот заготовки $\rightarrow S_p$ радиального перемещения заготовки.

Движение радиальной подачи в этом случае сообщается столу с заготовкой.

Уравнение кинематического баланса цепи радиальной подачи (рисунок 7).

$$1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{40}{56} \cdot i_{к.п.} \cdot \frac{43}{53} \cdot \frac{45}{50} \cdot \frac{40}{55} \cdot \frac{1}{36} \cdot 10 = S_p$$

откуда
$$i_{к.п.} = \frac{S_p}{0.8}.$$

2.3.2 Метод осевой подачи

Заключается в том, что фрезу устанавливают относительно заготовки на полную глубину зуба и подача S_0 осуществляется за счет ее осевого перемещения. Чтобы осуществить нарезание колеса этим методом, необходимы следующие движения: вращение фрезы, вращение заготовки, осевая подача фрезы; дополнительное вращение заготовки, вызываемое осевым перемещением фрезы.

Наладка скоростной и делительной цепи производится так же, как и при нарезании прямозубых цилиндрических колес.

Расчетные перемещения для осевой подачи 1 об. заготовки $\rightarrow S_0$ мм осевого перемещения фрезы.

Уравнение кинематического баланса цепи осевой подачи фрезы:

$$1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{46} \cdot \frac{40}{56} \cdot i_{к.п.} \cdot \frac{43}{53} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{42}{35} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{2}{27} \cdot \frac{60}{48} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{5}{48} \cdot 12_{мм} = S_0.$$

В данном случае передаточное отношение сменных зубчатых колес гитары диагональной подачи $\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2}$ (гитара используется при нарезании зубчатых колес методом диагонального фрезерования – см. ниже) принимают равным 1, тогда

$$i_{к.п.} = \frac{S_0}{0,66}.$$

Перемещая червячную фрезу в осевом направлении, нарушают условие обкатки фрезы и нарезаемого колеса, поэтому заготовке необходимо сообщить дополнительное вращение, соответствующее осевому движению фрезы. Это дополнительное вращение заготовки осуществляется механизмом дифференциала и рассчитывается исходя из следующих соображений. При перемещении фрезы вдоль оси на один торцовый шаг зубьев колеса t_s заготовка дополнительно должна повернуться на один зуб $1/z$.

При составлении уравнения баланса необходимо учесть влияние скрытого дифференциала, который имеет рассматриваемый станок, из-за следующего.

Передача 16/64 у шпинделя фрезы станка 5К324 имеет винтовые зубья.

Следовательно, при осевом перемещении червячной фрезы она получит дополнительный поворот. Найдем величину дополнительного поворота фрезы. При осевом перемещении фрезы от ходового винта с шагом 12 мм на величину осевой подачи t_s она дополнительно повернется на величину t_s / T .

Шаг винтовой линии зубчатого колеса $Z = 64$.

$$T = \frac{\pi m_n \cdot z}{\sin \beta}$$

Для колеса $Z = 64$, $m_n = 4$ мм, $\beta = 20^\circ 20'$ величина добавочного вращения фрезы, возникающего из-за скрытого дифференциала,

$$\frac{t_s}{T} = \frac{t_s \cdot \sin \beta}{\pi \cdot m_n \cdot z} = \frac{t_s \cdot \sin 20^\circ 20'}{\pi \cdot 4 \cdot 64} = \frac{t_s \cdot 0.34748}{256\pi} = 0.000432 \cdot t_s$$

Чтобы не нарушилась работа делительной цепи станка, необходимо скомпенсировать это добавочное вращение фрезы добавочным вращением заготовки, причем последнее учесть при наладке цепи дифференциала.

$$t_s (\text{перемещения фрезы}) \rightarrow \left(\frac{1}{z} \pm 0.000432 \cdot \frac{k}{z} \cdot t_s \right) \text{об.стола.}$$

$$\frac{t_s}{12} \cdot \frac{48}{5} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{48}{60} \cdot \frac{27}{2} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{1}{i_o} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{35}{42} \cdot \frac{42}{35} \cdot \frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} \times \frac{27}{27} \cdot \frac{1}{36} \cdot \frac{2}{1} \cdot \frac{58}{58} \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{1}{96} = \frac{1}{z} \pm 0.000432 \cdot \frac{k}{z} \cdot t_s$$

где i_o передаточное отношение гитары диагональной подачи;

$$\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = 1.$$

После подстановки в это уравнение $\frac{e}{f} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{24k}{z}$ и $t_s = \frac{\pi \cdot m}{\cos \beta}$ будем иметь:

$$\frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} = \frac{25 \cdot \cos \beta}{3 \cdot \pi \cdot m \cdot k} \pm 0.0036.$$

Таким образом, формула подбора сменных колес гитары дифференциала, при нарезании червячных колес методом тангенциальной подачи, состоит из двух слагаемых: первое слагаемое обеспечивает дополнительный поворот нарезаемого колеса вследствие перемещения фрезы в осевом направлении, второе слагаемое обеспечивает дополнительный поворот нарезаемого колеса, компенсирующий влияние косозубых колес, вращающих фрезу.

Величина $+ 0,0036$ компенсирует влияние винтовой пары зубчатых колес суппорта для правозаходных фрез, величина $- 0,0036$ – для левозаходных фрез.

2.3.3 Нарезание червячных колес летучим резцом

Применяют при единичном производстве. Этим способом нарезают зубья при осевой подаче инструмента. Настройку станка производят по формулам гитар, полученным при нарезании червячных колес методом тангенциальной подачи.

2.3.4 Диагональное фрезерование

Диагональное зубофрезерование заключается в том, что червячной фрезе сообщают одновременно две подачи – параллельно оси заготовки и вдоль оси фрезы, в результате чего фреза будет перемещаться по диагонали. Для этой цели на станке 5К324 имеется отдельная гитара сменных зубчатых колес

диагональной подачи $\frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2}$.

Диагональное зубофрезерование повышает стойкость червячной фрезы и улучшает качество обработки. Оно дает меньшее отклонение профиля зуба от эвольвенты, чем при обычном зубофрезеровании. Диагональное фрезерование можно применять и при фрезеровании шлицевых валиков, зубьев звездочек и т.п. При этом не требуется применение специальных приспособлений. Пользуясь диагональным фрезерованием, можно нарезать бочкообразные зубья.

При диагональном зубофрезеровании необходимы более длинные, а следовательно, и более дорогие червячные фрезы, чем при нарезании червячных колес методами тангенциальной и радиальной подач, однако повышенная стойкость фрез делает этот метод экономически выгодным.

3 Зубофрезерный станок модели 5310

Станок предназначен для фрезерования цилиндрических зубчатых колес с прямым и винтовым зубом, а также червячных колес методом радиальной подачи.

3.1 Техническая характеристика станка

1 Наибольший диаметр нарезаемых колёс, с углом наклона зуба , мм	
0°	200
30°	180
60°	150
2 Наибольший нарезаемый модуль, мм	
по чугуну	3
по стали	4
3 Наибольший угол поворота оси фрезы, град	±60°
4 Число частот вращения фрезы	8
5 Предел частот вращения фрезы, мин	63-316
6 Мощность привода главного движения, кВт	1,7

3.2 Краткое описание станка

Станок состоит из ряда базовых деталей определяющих его компоновку (рисунок 12). На горизонтальной станине 1 установлены передняя 2 и задняя 3 стойки, связанные между собой порталом 5. По горизонтальным

направляющим станка перемещается стол 6 с заготовкой. По вертикальным направляющим передней стойки перемещается фрезерный суппорт 4 с червячной фрезой. Оправка с фрезой имеет возможность поворачиваться вокруг горизонтальной оси на угол γ (таблица 3). Все механизмы и исполнительные органы станка приводятся в движение электродвигателем мощностью 1,7 кВт с частотой вращения 1420 1/мин. Перечень основных органов управления станком приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень основных органов управления станком (рисунок 13)

№ поз.	Наименование органов управления
1	Станина
2	Передняя бабка
3	Задняя стойка
4	Фрезерный суппорт
5	Портал
6	Стол
7	Оправка для заготовки
8	Переключатель «включено-выключено» станка
9	Переключатель насоса охлаждения «включено-выключено»
10	Упор автоматического выключения подачи стола
11	Квадрат для ручного перемещения стола
12	Квадрат для ручного перемещения фрезерного суппорта
13	Рукоятка включения падающего червяка
14	Рукоятка включения вертикальной подачи фрезерного суппорта
15	Рукоятка включения подачи протяжного суппорта
16	Рукоятка включения и выключения рабочей подачи
17	Упор автоматического выключения подачи фрезерного суппорта
18	Пуск электродвигателя станка
19	Останов электродвигателя станка
20	Пуск быстрого хода суппорта вверх
21	Пуск быстрого хода суппорта вниз
22	Переключатель местного освещения
23	Упоры автоматического останова станка в крайних положениях салазок суппорта

На кинематической схеме (рисунок 14) видно расположение кинематических цепей и органов настройки станка.

3.3 Указания по настройке станка

Для рассматриваемого станка необходимо настроить четыре

кинематических цепи: главного движения, обкатки (деления), вертикальной подачи и дифференциала. Составив уравнения кинематического баланса названных цепей, надо решить их относительно неизвестных передаточных отношений органов настройки этих цепей и тем самым получить формулы настройки цепей в общем виде. Затем, подставляя в эти формулы исходные данные, полученные у преподавателя, определить передаточные отношения органов настройки (гитар сменных зубчатых колес). По найденным передаточным отношениям произвести подбор чисел зубьев сменных колес гитар всех перечисленных цепей станка.

3.3.1 Настройка цепи главного движения

По заданным величинам скорости резания и диаметра червячной фрезы определяется частота вращения шпинделя (фрезы), 1/мин:

$$n_{фр} = \frac{1000 * V}{\pi * D_{фр}}$$

где V – скорость резания, м/мин;

$D_{фр}$ – наружный диаметр фрезы, мм.

Полученная таким образом расчетная частота вращения фрезы затем корректируется по станку (таблица 2). Из этой же таблицы ведется подбор колес гитары скоростей A и B . Гитара однопарная с постоянными валами, поэтому

$$\sum A + B = 65 = const .$$

При нарезании правозаходных косозубых колес с большим углом наклона винтовой линии D когда требуется перевертывать суппорт на 180° (маховик при этом оказывается со стороны пульта управления), ведущее сменное колесо A гитары скоростей необходимо устанавливать на промежуточный вал H_a (рисунке 8). Во всех остальных случаях ведущее сменное колесо A ставится на нижний вал H_b (рисунок 12).

Таблица 2 – Варианты сопряжений сменных колес гитары скоростей в зависимости от частоты вращения фрезы

Фактическая частота вращения фрезы, мин ⁻¹		63	78	100	121	165	200	258	316
Числа зубьев сменных колёс	A	20	23	27	30	35	38	42	45
	B	45	42	38	35	30	27	23	20

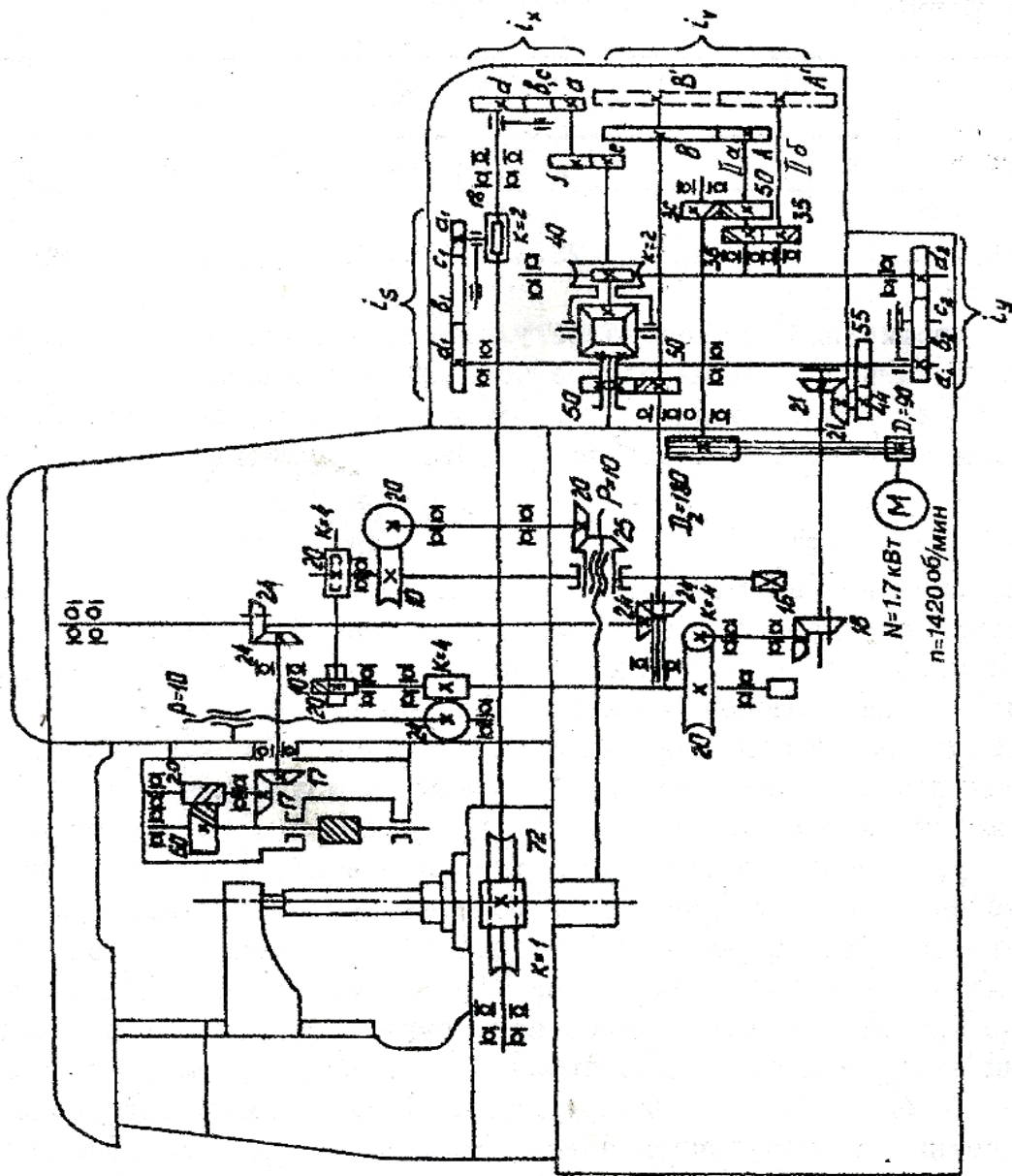


Рисунок 12 – Кинематическая схема станка 5310

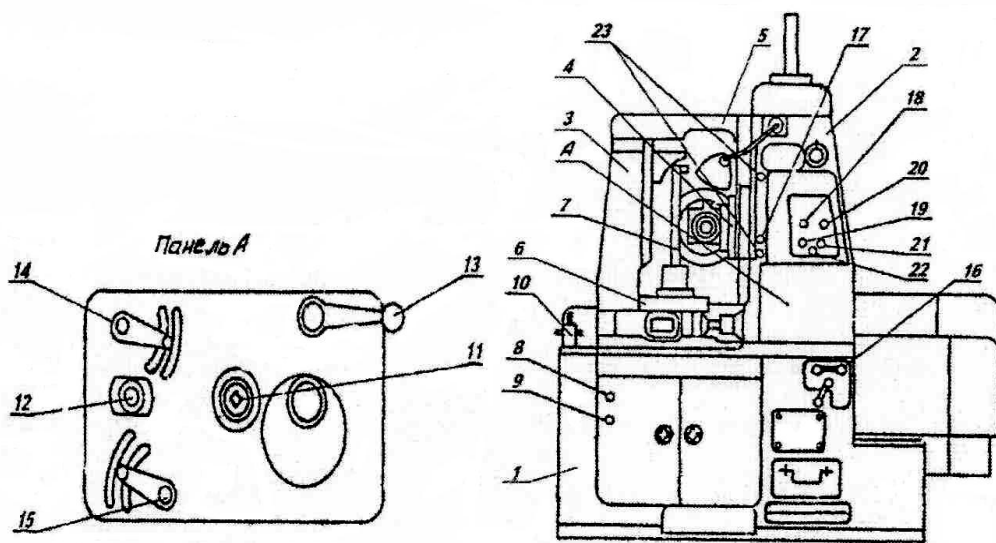


Рисунок 13 – Общий вид зубофрезерного станка мод. 5310

3.3.2 Настройка цепей обката, подачи и дифференциала

Сменные колеса гитар обката, подачи и дифференциала выбираются из прилагаемого к станку набора, состоящего из 43 колес со следующими числами зубьев: 20 (2 шт.), 23, 24, 25 (2 шт.), 30, 33, 34, 35, 37, 40, 41, 43, 45, 47, 48, 50, 53, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 65, 67, 70, 71, 73, 75, 79, 80, 83, 85, 89, 90, 92, 95, 97, 98, 100.

Для расширения диапазона регулирования сменных колес гитары обката (деления) в цепи обката установлены сменные шестерни перебора e/f . Передаточное отношение колес перебора устанавливается в зависимости от числа зубьев нарезаемого колеса:

$$\text{При } z \leq 160 \quad e/f = 36/36 = 1.$$

$$\text{При } z \geq 160 \quad e/f = 24/48 = 0,5.$$

При заданном направлении вращения фрезы направление вращения заготовки определяется направлением винтовой линии фрезы. На станке необходимое направление вращения заготовки обеспечивается установкой паразитного колеса в перебор (таблица 3).

Гитара деления двухпарная с подвижным промежуточным валом, поэтому при подборе колес этой гитары возможны два варианта. Первый, когда гитара собирается из двух колес a, d с паразитным колесом, устанавливаемым на промежуточном валу, и второй – из четырех колес a, b, c, d (таблица 3). Передаточное отношение суммирующего механизма (дифференциала) в цепи обката равно 1 (рисунок 6 а).

Величина вертикальной подачи S_B выбирается по нормативам. Размерность подачи – мм/об заготовки. Настройка требуемой величины вертикальной подачи производится путем установки сменных колес a_1, b_1, c_1, d_1 в гитару подач. Гитара подач двухпарная с подвижным промежуточным валом. Поэтому и для этой гитары возможны различные варианты сопряжения сменных колес, в зависимости от метода фрезерования и направлений винтовых линий фрезы и заготовки (таблица 3).

Величина дополнительного поворота заготовки настраивается установкой сменных колес a_2, b_2, c_2, d_2 в гитару дифференциала. Расчет передаточного отношения гитары дифференциала ведут по формуле:

$$i_y = \frac{a_2 \cdot c_2}{b_2 \cdot d_2} = \frac{3.9788 \cdot \sin \beta}{m_n \cdot K},$$

где m_n – нормальный модуль, мм;

K – число заходов фрезы;

β – угол наклона зуба к оси заготовки.

Примечание: формула дана для справки, при выполнении данной работы ее необходимо вывести.

Наличие в формуле трансцендентных величин делает невозможным точный подбор сменных колес гитары. Расчет величины передаточного отношения ведется с точностью до 5–6 знака после запятой. При этом значения k и $\sin(\varphi)$ необходимо брать с такой же точностью. Некоторые значения синусов угла приведены в таблице 4.

Таблица 3 – Установка фрезы, промежуточных колес в гитарах деления, подачи и дифференциала при нарезании цилиндрических косозубых колес

Направления винтовых линий	Схемы установки фрезы и Заготовки		Колёса Перебора	Сменные колёса гитары деления		Сменные колёса гитары подачи				Сменные колёса гитары дифференциала		
	Заготовки	фрезы		2 колёса	4 колёса	Встречное фрезерование	Полупное фрезерование	2 колёса	4 колёса	2 колёса	4 колёса	
левое	левое											
правое	правое											
левое	левое											
правое	правое											

Таблица 4 – Значение синусов угла наклона зуба заготовки

$\beta, ^\circ$	$\sin\beta$	$\beta, ^\circ$	$\sin\beta$	$\beta, ^\circ$	$\sin\beta$
10°	0.173648	12°	0.207912	14°	0.241922
11°	0.190809	13°	0.224951	15°	0.258819

Подбор колес гитары дифференциала можно вести методом непрерывных дробей или по специальным таблицам, например, по таблицам Сандакова. Выдержки из таблиц Сандакова для некоторых дробных чисел приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Замена десятичной дроби на простую и разложение чисел на простые множители

Десятичная дробь	Простая дробь	Множители чисел
0,460618	462 1003	$\frac{2 \times 3 \times 7 \times 11}{17 \times 59}$
0,460630	117 254	$\frac{3^2 \times 13}{2 \times 127}$
0,506122	124 245	$\frac{2^2 \times 31}{5 \times 7^2}$
0,506127	413 816	$\frac{7 \times 59}{2^4 \times 3 \times 17}$
0,506148	247 488	$\frac{13 \times 19}{2^3 \times 61}$
0,551499	423 767	$\frac{3^2 \times 47}{13 \times 59}$
0,551509	530 961	$\frac{2 \times 5 \times 53}{31 \times 31}$
0,596698	253 424	$\frac{11 \times 23}{2^3 \times 53}$
0,596708	145 243	$\frac{5 \times 29}{3^5}$
0,596721	182 305	$\frac{2 \times 7 \times 13}{5 \times 61}$
0,641702	754 1175	$\frac{2 \times 13 \times 29}{5^2 \times 47}$
0,641711	120 187	$\frac{2^3 \times 3 \times 5}{11 \times 17}$
0,641725	729 1136	$\frac{3^6}{2^4 \times 71}$
0,686531	841 1225	$\frac{29^2}{5^2 \times 7^2}$
0,686540	357 520	$\frac{3 \times 7 \times 17}{2^3 \times 5 \times 13}$

Там же даны примеры разложения чисел на простые множители. Направление дополнительного вращения заготовки В4 зависит от направления винтовых линий фрезы и заготовки. В станке это достигается установкой паразитного колеса в гитару дифференциала (таблица 3). Передаточное отношение суммирующего механизма в цепи дифференциала при ведущем водиле равно двум (рисунок 15).

После подбора колес всех трех двухпарных гитар необходимо проверить сменные колеса на сцепляемость. Для того чтобы промежуточные колеса гитары не касались ведущего и ведомого валов, необходимо выполнить условие: $a + b > c + 15$; $c + d > b + 15$. Кроме того, для осуществления нормального зацепления нужно чтобы колеса гитары были достаточного

размера. Для этого необходимо выполнить второе условие: $a + B > 100$ и $c + d > 100$. Число 100 является средним значением для двухпарных гитар большинства станков.

Примечание: Поскольку колеса трех гитар подбираются из одного набора, необходимо следить за тем, чтобы не было повтора колес с одним и тем же числом зубьев в разных гитарах.

4 Порядок выполнения работы

«Настройка станка 5310 на нарезание косозубых шестерен»

- 1 Ознакомиться с настоящим руководством.
- 2 Четко уяснить движения в станке, необходимые для получения цилиндрического косозубого колеса, и связи между этими движениями.
- 3 Внимательно изучить описание станка 5310, его кинематическую схему и, осматривая станок, проследить все цепи, расположение органов настройки, рукояток управления и т.д.
- 4 Составить уравнения кинематического баланса цепей, необходимых для настройки станка на обработку заданной детали, и вывести формулы настройки в общем виде.
- 5 Получить у преподавателя задание.
- 6 По формулам настройки цепей подобрать число зубьев сменных колес гитар. Проверить условия сцепляемости колес в двухпарных гитарах.
- 7 Представить результаты расчетов преподавателю для проверки.
- 8 Произвести наладку станков в следующем порядке:
 - установить и закрепить заготовку;
 - установить фрезу;
 - установить сменные зубчатые колеса гитар, обращая внимание на постановку паразитных колес в связи с направлением вращения фрезы и заготовки (таблица 3);
 - установить глубину фрезерования;
 - ознакомить преподавателя с произведенной наладкой станка.
- 9 Без разрешения преподавателя или учебного мастера пуск станка **ЗАПРЕЩЁН!**
- 10 Пустить станок, произвести нарезание зубьев заготовки.
- 11 Заполнить форму отчета (приложение А).
- 12 Демонтировать наладку, убрать рабочее место, сдать инструмент.

4.1 Некоторые рекомендации по наладке станка

4.1.1 Установка и закрепление заготовки

Правильность самой заготовки и ее установки является первым условием точности нарезаемых колес. Заготовка должна быть закреплена жестко и не деформироваться при обработке. Для этого заготовку устанавливают на оправку 7 (рисунок 12) и зажимают гайкой. Окончательный зажим задней стойки производится после установки требуемой глубины фрезерования.

4.1.2 Установка фрезы

При обработке цилиндрического колеса с винтовым зубом фрезерный суппорт, с установленной на оправку червячной фрезой, должен быть развернут таким образом, чтобы направление винтовых линий на фрезе совпадало с направлением винтовых линий на заготовке (таблица 3).

Угол наклона оси фрезы относительно горизонтали определяется по формуле:
 $\gamma = \beta \pm \alpha$,

где β – угол наклона винтовой линии зубьев нарезаемого колеса по делительному цилиндру, определяемый по чертежу;

α – угол подъема винтовой линии фрезы, указывается в клейме на торце фрезы.

Знак «+» в формуле берется при разноименных направлениях винтовых линий, знак «-» – при одноименных. При настройке станка стремятся, чтобы угол γ был минимален, что положительно влияет на точность колеса. Требуемый угол отсчитывается по имеющейся на суппорте градусной шкале. Перед разворотом суппорта крепящие болты необходимо отпустить, а после разворота затянуть.

При нарезании косозубых колес рекомендуется брать фрезу с тем же направлением винтовой линии, что и нарезаемое колесо. Этим повышается точность изделия, т.к. направление фрезерования противоположно вращению заготовки, вследствие чего уничтожается зазор в делительной паре, возможный при разноименных направлениях винтовых линий.

4.1.3 Настройка глубины фрезерования

Зубчатые колеса могут быть нарезаны за 1, 2 и более проходов в зависимости от модуля нарезаемого колеса и материала заготовки. Глубина фрезерования зависит от выбранного числа проходов. При работе в один проход – от высоты обрабатываемых зубьев.

Для установки глубины фрезерования необходимо:

- вращая рукоятку 12 (рисунок 13) вертикального перемещения салазок суппорта, установить фрезу на уровне заготовки;
- вращая рукоятку 11 горизонтального перемещения стола, подвести стол с заготовкой к фрезе до легкого их соприкосновения;
- поднять фрезу по стойке так, чтобы фреза установилась выше заготовки;
- переместить стол с заготовкой на величину требуемой глубины фрезерования. Один оборот рукоятки 11 горизонтального перемещения стола соответствует перемещению на 4 мм. Точный отсчет производят по лимбу с ценой деления 0,05 мм (стол с заготовкой перемещается по направлению к фрезе при вращении рукоятки 11 по часовой стрелке).

4.1.4 Пуск станка в работу

После произведенной наладки можно приступить к фрезерованию. Нажимом кнопки «пуск» главного электродвигателя сообщают рабочему

вращение фрезе и заготовке. Включение подачи производят поворотом рукоятки 16 в положение «вверх», а рукояток 14 и 15 в положение «включено». Останов рабочей подачи по окончании резания происходит автоматически по упору.

5 Вопросы для самопроверки знаний

1 Для нарезания каких зубчатых колес преимущественно применяется станок мод. 5310?

2 Какой воображаемый зубчатый элемент воспроизводится режущими кромками фрезы на зубофрезерном станке?

3 Какие движения и цепи необходимо создать в станке мод. 5310 для формообразования зуба по высоте?

4 Какие движения и цепи в станке мод. 5310 служат для формообразования винтового зуба по длине?

5 Какова размерность вертикальной подачи на зубофрезерном станке?

6 Каковы расчетные перемещения цепей обкатки и дифференциала зубофрезерного станка?

7 Чем определяется установка паразитной шестерни в гитаре деления?

8 Что произойдет при неправильной настройке гитары обкатки (деления)?

9 Как определяется наружный диаметр цилиндрического косозубого колеса?

Приложение А

Таблица А1 – Отчет по лабораторной работе «Настройка зубофрезерного станка на нарезание цилиндрических зубчатых колес»

Работу выполнили студенты гр.				Работу принял	Подпись			
1								
2								
Нарезаемая	Модуль m_n			Эскиз нарезаемой шестерни				
	Число зубьев Z							
	Угол наклона зуба β							
	Направление зуба							
Фреза	Модуль m_n	Число заходов k	Угол подъема α	Направление спирали	Наружный диаметр $d_{фр.}$	Угол поворота суппорта $\gamma = \beta + \alpha$		
Цепь главного движения	Назначение					Расчетные перемещения		
	Уравнение кинематического баланса:					Расчетная формула		
	$V_{расч.}$	$P_{фр.расч.}$	i_v	Сменные шестерни гитары		$P_{фр.факт.}$	$V_{факт.}$	$P_{ст.} \leq 14$
				А	Б			

Продолжение таблицы А1

Цепь обкатки (деления)	Назначение				Расчетные перемещения				
	Уравнение кинематического баланса:				Расчетная формула				
	Шестерни перебора			i_x (обк.)	Сменные шестерни гитары				
	e	f	паразитное		a	b	c	d	паразитное
Цепь подачи	Назначение				Расчетные перемещения				
	Уравнение кинематического баланса:				Расчетная формула				
	S_b	i_s	Сменные шестерни гитары				$S_{b \text{ факт.}}$		
			a_1	b_1	c_1	d_1		паразитное	
Цепь дифференциала	Назначение				Расчетные перемещения				
	Уравнение кинематического баланса:				Расчетная формула				
	$i_{y(диф.)}$	Сменные шестерни гитары				Кулачок			
		a_2	b_2	c_2	d_2		паразитное		

Рохин Владимир Леонидович
Курдюков Владимир Ильич

НАСТРОЙКА ЗУБОФРЕЗЕРНОГО СТАНКА НА НАРЕЗАНИЕ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Оборудование машиностроительных производств»
для студентов направления 151900.62 «Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств»
(профиль «Технология машиностроения») и
150700.62 «Машиностроение» (профиль «Менеджмент высоких технологий»)

Редактор Е.А. Могутова

Подписано к печати 02.04.14	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать цифровая	Усл.печ.л. 2,0	Уч.-изл. л. 2,0
Заказ 103	Тираж 20	Не для продажи

РИЦ Курганского государственного университета.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25,
Курганский государственный университет.