

Молякко Н.А., Переломов Н.Г., Шмаков В.А. Металлорежущие станки. Кинематика и наладка: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. 36 с.

Пособие соответствует государственному образовательному стандарту дисциплины "Теория, инструмент и оборудование обработки металлов резанием" направлений бакалаврской подготовки 551800 "Технологические машины и оборудование" и 552900 "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств".

Пособие содержит необходимые сведения о кинематике и наладке металлорежущих станков, относящихся к группе зубообрабатывающих. Приведены кинематические схемы зубофрезерного и зубодолбежного станков, зубофрезерного полуавтомата для обработки конических зубчатых колес с прямым зубом. Рассмотрена специфика кинематической настройки станков для обработки затыванного инструмента.

Предназначено для студентов четвертого и пятого курсов механико-машиностроительного факультета, изучающих дисциплины "Теория, инструмент и оборудование обработки металлов резанием" и "Металлорежущие станки, автоматы и станочные комплексы" в рамках бакалаврской и магистерской подготовки, а также для студентов ВФТАП.

Табл. 2. Ил. 9. Библиогр.: 5 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Санкт-Петербургского государственного технического университета.



Санкт-Петербургский  
государственный  
технический университет, 1998

## ВВЕДЕНИЕ

Современные металлорежущие станки - это высокоразвитые машины, включающие большое число механизмов и использующие механические, электрические, электронные, гидравлические, пневматические и другие методы осуществления движений и управления циклом. На станках обрабатывают как простые цилиндрические, так и поверхности, описываемые сложными математическими уравнениями.

Основы кинематики станков были разработаны проф. Г.М.Головиным. В разделе кинематики станков изучают методы кинематического расчета, наладки и формообразования деталей резанием.

При настройке кинематических цепей металлорежущих станков всегда движение одного конечного звена цепи строго координируется с движением другого конечного звена. В одних случаях требуется абсолютная точность в согласовании движений, в других - допускается некоторая погрешность и согласование движений может быть приближенным.

Зубчатые колеса - одна из распространенных разновидностей деталей. Метод обкатки, обеспечивая высокую производительность и точность нарезания зубьев, дает возможность одним инструментом обрабатывать зубчатые колеса одного и того же модуля с любым числом зубьев.

Достаточно подробно рассмотрены кинематические структуры станков, реализующих метод обката, предназначенных для нарезания цилиндрических зубчатых колес с прямым и винтовым зубом, конических зубчатых колес с прямолинейным зубом. Некоторой спецификой обладают затыловочные станки, предназначенные для обработки задних поверхностей зубьев режущих инструментов. Особенно-стям настройки станков данного типа посвящен специальный раздел.

Материал пособия может служить дополнением к лекционному курсу. Его можно использовать при проведении лабораторных работ. В приложениях приведены индивидуальные задания для расчета настройки станков.

## Работа 1

### СПОСОБЫ ПОДБОРА СМЕННЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Во многих станках звеном настройки в кинематических цепях является одно- или двухпарная гитара сменных зубчатых колес. После определения передаточного отношения звена настройки необходимо подобрать сменные зубчатые колеса гитары, тем самым обеспечив конкретные расчетные перемещения конечных звеньев кинематической цепи. Точность настройки гитары зависит от назначения кинематической цепи. При этом могут быть использованы различные способы подбора сменных зубчатых колес: приближенный, способ Кнаппе, табличный и др. Обыч-

но при настройке кинематических цепей станка приходится пользоваться вполне конкретным набором зубчатых колес (такой набор сменных зубчатых колес поставляется со станком фирмой - изготовителем). Ограниченность набора приводит к тому, что не всегда возможно обеспечить абсолютное соответствие передаточного отношения звена настройки заданному (расчетному) значению. Допускаемая погрешность настройки зависит от допускаемой погрешности заданного расчетного перемещения. Это можно показать на следующем примере.

Рассмотрим кинематическую схему винторезной цепи токарного станка, представленную на рис.1,а. Назначение этой цепи: обеспечить нарезание на заготовке резьбы шага  $T$  (варьируемый параметр) с помощью резца, связанного с ходовым винтом, имеющим постоянный шаг  $t$ .

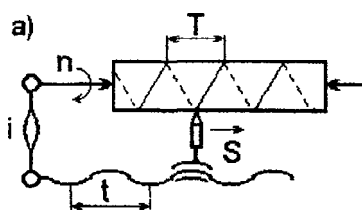


Рис. 1. Винторезная цепь токарного станка

Звено настройки - двух-парная гитара сменных зубчатых колес с передаточным отношением  $i$ . Определим связь между погрешностью шага нарезаемой резьбы  $\Delta T$  и погрешностью передаточного отношения  $\Delta i$ . Допустим, что с помощью набора сменных зубчатых колес обеспечивается передаточное отношение гитары  $i_1$ , отличное от заданного  $i$ . Тогда абсолютная  $\Delta i$  и относительная  $\delta$  погрешности определяются известными соотношениями:

$$\Delta i = i - i_1, \quad \delta = (i - i_1) / i.$$

При передаточном отношении гитары, равном  $i$ , шаг нарезаемой резьбы точно равен заданному:

$$T = it.$$

Если передаточное отношение равно  $i_1$ , то шаг нарезаемой резьбы будет отличаться от заданного и равен:  $T_1 = i_1 t$ .

Погрешность шага нарезаемой резьбы

$$\Delta T = T - T_1 = t(i - i_1) = t \Delta i.$$

Следовательно, погрешность шага нарезаемой резьбы равна произведению шага ходового винта на абсолютную погрешность передаточного отношения звена настройки.

По такой схеме можно определять связь между погрешностью передаточного отношения звена настройки (гитары) и погрешностью расчетного перемещения и для других случаев.

Рассмотрим перечисленные выше способы подбора сменных зубчатых колес.

### Способ замены заданного передаточного отношения приближенным

Этот способ применяется для настройки цепей, не требующих высокой точности (цепи главного движения, некоторые цепи подач). При его использовании заданное значение передаточного отношения заменяется простой дробью с небольшими значениями числителя и знаменателя, позволяющими затем перейти к конкретным числам зубьев сменных зубчатых колес.

Пример: Задано передаточное отношение  $i = 0,944636$ .

$$\text{Выбираем } i_1 = \frac{9}{10} = \frac{45}{25 \cdot 2} = \frac{45}{25} \cdot \frac{35}{70} = 0,90.$$

$$\text{Абсолютная погрешность: } \Delta i = i - i_1 = 0,044636.$$

$$\text{Относительная погрешность: } \delta = \frac{i - i_1}{i} 100\% = 4,7\%.$$

### Способ Кнаппе

Способ Кнаппе применяется для настройки кинематических цепей, у которых погрешность настройки должна быть минимальной (цепи обкатки, деления, дифференциала и др.). В основе способа лежит закономерность: если к числителю и знаменателю дроби прибавить (или вычесть) числа, находящиеся приблизительно в том же отношении, то значение дроби существенно не изменится. Последовательность подбора зубчатых колес по способу Кнаппе следующая:

- записываем заданное передаточное отношение в виде простой дроби;
- разбиваем полученную дробь на две - одну по величине примерно равную заданной с небольшими числителем и знаменателем и вторую - близкую к единице;
- числитель и знаменатель второй дроби делим на разность между ними;
- округляем полученные значения числителя и знаменателя;
- преобразовываем эти дроби в конкретные числа зубьев сменных зубчатых колес.

Пример: Пусть задано передаточное отношение в виде десятичной дроби

$$i = 0,944636$$

Тогда

$$i = \frac{944636}{1000000} = \frac{9}{10} \cdot \frac{9446360}{9000000} = \frac{9}{10} \cdot \frac{9446360}{9000000} = \frac{9}{10} \cdot \frac{21,163097}{20,163097} \approx \frac{9}{10} \cdot \frac{21}{20}$$

$$i_1 = \frac{9}{10} \cdot \frac{21}{20} = \frac{45}{50} \cdot \frac{63}{60} = 0,945.$$

Абсолютная погрешность  $\Delta i = 0,000364$ . Относительная погрешность  $\delta = 0,039\%$ .

### Табличный способ

Применяется в тех случаях, когда необходима высокая точность настройки. Имеются специальные таблицы [1,2,3] с переводом передаточных отношений, выраженных десятичными дробями, в простые дроби, числители и знаменатели которых можно разложить на сомножители, обычно не превышающие 47. По заданному передаточному отношению из таблицы выбирается ближайшее значение и соответствующая простая дробь, которая раскладывается на сомножители. Далее они преобразуются в числа зубьев сменных колес.

Пример. Задано передаточное отношение  $i = 0,944636$ .

Ниже приведена выдержка из таблицы [1]

...	...
0,944606	324 : 343
0,944633	836 : 885
0,944637	273 : 289
0,944643	529 : 500
0,944653	1007 : 1066
0,944667	1178 : 1247

Ближайшее число в таблице  $i_1 = 0,944637$ . Ему соответствует решение:

$$i_1 = 0,944637 = \frac{273}{289} = \frac{3 \cdot 7 \cdot 13}{17 \cdot 17} = \frac{21}{17} \cdot \frac{13}{17} = \frac{84}{68} \cdot \frac{65}{85}$$

Абсолютная погрешность передаточного отношения  $\Delta i = i - i_1 = 0,000001$ .

Данные таблицы применимы для комплекта сменных колес, в котором числа зубьев образуют арифметическую прогрессию с разностью, равной 5.

### Условия зацепляемости сменных зубчатых колес

После определения чисел зубьев сменных зубчатых колес необходимо проверить их зацепляемость. Условия зацепляемости, которые определяют возможность установки колес в двухпарной гитаре (см. рис.1,б), выражаются следующими неравенствами:  $R_1 + R_2 > R_3$ ;  $R_3 + R_4 > R_2$ ,

где  $R_i$  - радиусы делительных окружностей зубчатых колес.

Так как  $R_i = m Z_i$ , то условия зацепляемости можно выразить через числа зубьев:

$$Z_1 + Z_2 > Z_3, \quad Z_3 + Z_4 > Z_2.$$

Эти соотношения не учитывают наружных размеров зубчатых колес и диаметров валов, на которых они устанавливаются. В окончательном варианте условия зацепляемости будут выглядеть следующим образом:

$$Z_1 + Z_2 > Z_3 + 15, \quad Z_3 + Z_4 > Z_2 + 15.$$

Пример. Проверим условие зацепляемости колес, числа зубьев которых получены в предыдущем примере:  $Z_1 = 84$ ,  $Z_2 = 68$ ,  $Z_3 = 65$ ,  $Z_4 = 85$ .

Имеем:  $84 + 68 = 152 > 80 = 65 + 15$ ,  $65 + 85 = 150 > 83 = 68 + 15$ , следовательно условия зацепляемости выполняются.

#### Содержание отчета

1. Подобрать сменные колеса для двухпарной гитары станка тремя способами (передаточное отношение звена настройки задается преподавателем).

2. Определить абсолютную и относительную погрешности настройки каждым из способов.

3. Проверить условия зацепляемости подобранных сменных колес.

При подборе использовать набор сменных зубчатых колес для гитар обкатки, подач и дифференциала станка 5Д32 (см. стр. 10).

#### Литература

1. С а н д а к о в М. В. Таблицы для подбора шестерен. Москва-Свердловск. Машгиз, 1960.

2. Петрик М.И. Прецизионные настройки гитар станков. М.: Машгиз, 1963.

3. Петрик М.И., Шишков В.А. Таблицы для подбора зубчатых колес. М.: Машгиз, 1964.

## Работа 2

### НАСТРОЙКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ЗУБОФРЕЗЕРНОГО СТАНКА МОДЕЛИ 5Д32

#### Назначение и принцип работы станка

Станок 5Д32 предназначен для нарезания цилиндрических колес с прямыми и винтовыми зубьями, а также червячных колес (методом радиальной и осевой подачи) в условиях мелко- и крупносерийного производства. В качестве инструмента на станке используются червячные модульные фрезы. При соответствующей наладке на данном станке нарезаются колеса 6-й и 7-й степеней точности.

#### Техническая характеристика станка

Наибольший нарезаемый модуль, мм	6
Наибольший наружный диаметр цилиндрических колес с прямым зубом и червячных колес, мм	800
Наибольший наружный диаметр цилиндрических колес с винтовым зубом, мм	
при $\beta = 30^\circ$	500
при $\beta = 60^\circ$	190
Наибольшая длина фрезерования, мм	275
Наибольшее вертикальное перемещение фрезы, мм	310

Наибольший диаметр фрезы, мм . . . . .	120
Наибольший угол поворота суппорта . . . . .	60
Количество ступеней частот вращения фрезерного шпинделя	7
Диапазон частот вращения фрезерного шпинделя, мин . . . . .	47,5 - 192
Диапазон вертикальной подачи фрезы, мм/об.заг. . . . .	0,25 - 3
Диапазон радиальной подачи фрезы, мм/об.заг. . . . .	0,06 - 0,72
Диапазон осевой подачи фрезы, мм/об. заг. . . . .	0,075 - 0,9
Мощность основного электродвигателя, кВт . . . . .	2,8

Зубофрезерный станок 5Д32 работает по методу обкатки, следовательно, инструмент (червячная модульная фреза) и заготовка совершают такие же движения, какие они имели бы, являясь червячной парой. К этим движениям добавляются движения подачи и дополнительное вращение заготовки при обработке цилиндрических зубчатых колес с винтовым зубом и червячных колес по методу осевой подачи.

Кинематическая схема станка представлена на рис.2. Она содержит следующие цепи: главного движения, обкатки (деления), подач и дифференциала. Звеньями настройки всех цепей являются гитары сменных зубчатых колес.

#### **В а р и а н т 1. Настройка станка для нарезания цилиндрических зубчатых колес с прямыми зубьями**

В этом случае настраиваются цепи: главного движения, обкатки (деления) и вертикальной подачи.

##### ***Цепь главного движения***

Назначение цепи - обеспечить необходимую окружную скорость вращения фрезы, т.е. скорость резания.

Конечные звенья: двигатель - фреза.

Расчетные перемещения:  $n_{дв} = 1420$  об/мин  $\rightarrow n_{фр}$  об/мин.

Уравнение кинематического баланса:

$$1420 \cdot \frac{105}{224} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \frac{32}{48} \cdot \left(\frac{35}{35}\right) \cdot i_v \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{64} = n_{фр}$$

где  $(1 - \varepsilon) = 0,985$ .

Расчетная формула:  $i_v = A/B = n_{фр}/110$ ,

где А и В - сменные колеса однопарной гитары, причем  $A + B = 60$ ;  $n_{фр}$  - частота вращения фрезы.





Таблица 1

Материал заготовки	Скорость резания, м/мин, при обработке		Вертикальная подача, мм/об, при обработке	
	черновой	чистовой	черновой	чистовой
Сталь, $s_b < 60$ МПа	25 ... 28	30 ... 35	1,5 ... 4,0	—
Сталь, $s_b > 60$ МПа	20 ... 25	25 ... 30	1,0 ... 2,5	0,5 ... 1,0
Чугун	16 ... 20	20 ... 25	1,0 ... 3,0	—
Бронза	25 ... 35	35 ... 50	2,0 ... 4,0	—
Пластмасса	25 ... 40	25 ... 40	—	—

### Цепь обкатки (деления)

Зубофрезерный станок работает по методу непрерывной обкатки и одновременно непрерывного деления, поэтому цепи обкатки и деления здесь совпадают. Цепь обкатки предназначена для согласования вращательного движения инструмента с вращательным движением заготовки. При нарезании фрезы и заготовка воспроизводят зубчатое зацепление червяк - червячное колесо.

Конечные звенья: фреза - стол с заготовкой.

Расчетные перемещения: 1 об. фрезы  $\rightarrow$   $k/z$  об. стола с заготовкой, где  $k$  - число заходов червячной фрезы;  $z$  - число зубьев нарезаемого колеса.

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \cdot \frac{64}{16} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{46}{46} \cdot i'_{\text{диф}} \cdot \frac{e}{f} \cdot i_{\text{обк}} \cdot \frac{1}{96} = \frac{k}{z},$$

где  $i'_{\text{диф}} = 1$  - передаточное отношение дифференциала.

Расчетная формула звена настройки цепи обкатки:  $i_{\text{обк}} = \frac{24 \cdot k \cdot f}{z \cdot e}$ .

Дополнительные сменные колеса  $e$  и  $f$  позволяют расширить возможности гитары обкатки и устанавливаются в зависимости от числа зубьев нарезаемой заготовки:

при  $z < 160$  рекомендуются колеса  $e = f = 36$ ; при  $z > 160$  -  $e = 24, f = 48$ ;

при  $z < 20$  -  $e = 48, f = 24$ ;

Гитара двухпарная. Набор сменных зубчатых колес, поставляемый со станком, представлен следующим рядом: 20 (2шт.), 23, 24, 25 (2шт.), 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.

Следует иметь в виду, что данный набор одновременно используется для настройки гитар обкатки, подач и дифференциала.

Необходимо обеспечить настройку гитары обкатки без погрешности (абсолютно точно). В некоторых специальных случаях допустимая погрешность определяется в зависимости от точности нарезаемых зубчатых колес.

### **Цепь вертикальной подачи**

Эта цепь предназначена для обеспечения определенной скорости перемещения инструмента вдоль зуба нарезаемого зубчатого колеса.

Конечные звенья: стол с заготовкой - фрезерный суппорт (вертикальное перемещение).

Расчетные перемещения: 1 об. стола с заготовкой →  $S_B$  мм. суппорта.

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{2}{24} \cdot i_{S_B} \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{4}{20} \cdot \frac{5}{30} \cdot t_{х.в.} = S_B,$$

где  $t_{х.в.} = 10$  мм. - шаг ходового винта вертикальной подачи.

Расчетная формула:  $i_{S_B} = \frac{3}{10} \cdot S_B,$

где  $S_B$  - вертикальная подача фрезы, мм/об. стола (выбирается по табл. 1).

Гитара двухпарная. Допустимая погрешность настройки  $\pm 10\%$ . Набор сменных зубчатых колес - см. цепь обкатки.

## **В а р и а н т 2. Настройка станка при нарезании цилиндрических зубчатых колес с прямыми зубьями с простым числом зубьев $Z > 100$**

Особенность настройки станка в этом случае заключается в том, что набор сменных зубчатых колес содержит колеса с числом зубьев меньше 100 и это затрудняет точную настройку гитары цепи обкатки. Поэтому настройка станка производится следующим образом:

цепи главного движения и вертикальной подачи настраиваются так же, как и в варианте 1;

заданное значение  $Z$  заменяется алгебраической суммой  $Z = Z_1 \pm \Delta Z$ , причем  $Z_1$  выбирается близким к  $Z$  и таким, чтобы на эту величину можно было точно настроить цепь обкатки (см. вариант 1);

на величину  $\Delta Z$  настраивается цепь дифференциала.

Для включения механизма дифференциала в работу необходимо муфту  $M_2$  заменить муфтой  $M_1$ , которая своими кулачками соединит корпус сателлитов с червячным колесом  $z = 30$  (см. рис.2). В этом случае добавочное движение с вала III будет передано через червячную передачу  $1/30$  на корпус сателлитов II и на центральный вал I. С вала I добавочное движение передается на стол с заготовкой.

### **Цепь дифференциала**

Цепь обкатки вместо заданного значения  $Z$  настроена на величину  $Z_1$ . Для компенсации внесенной погрешности необходимо дополнительно настроить цепь дифференциала.

Конечные звенья: фреза - стол с заготовкой.

Расчетные перемещения: 1 об. фрезы  $\rightarrow$   $k/z$  об. стола с заготовкой.

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \cdot \frac{64}{16} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{46}{46} \cdot i_{\text{диф}}'' \cdot \frac{30}{1} \cdot \frac{1}{i_{\text{диф}}} \cdot \frac{1}{i_{\text{св}}} \cdot \frac{24}{2} \cdot \frac{1}{96} = \frac{k}{\Delta z}$$

$$\text{где } i_{\text{диф}}'' = \frac{1}{2}; \quad i_{\text{св}} = \frac{3}{10} S_B.$$

$$\text{Расчетная формула: } i_{\text{диф}} = \frac{25 \cdot \Delta z}{k \cdot S_B}.$$

Гитара двухпарная. Набор сменных зубчатых колес - см. цепь обкатки. Цепь дифференциала в данном случае настраивается точно.

### **В а р и а н т 3. Настройка станка при нарезании цилиндрических зубчатых колес с винтовыми зубьями**

Цепи главного движения, обкатки (деления) и вертикальной подачи настраиваются так же, как и в варианте 1. Для получения на заготовке винтового зуба необходимо сообщить ей дополнительное вращательное движение, согласованное с вертикальным поступательным перемещением, которое и обеспечивается на станке с помощью цепи дифференциала.

### **Цепь дифференциала**

Для определения связи между дополнительным поворотом заготовки и вертикальным перемещением фрезы рассмотрим схему на рис. 3.

При нарезании колес с прямыми зубьями фреза относительно заготовки будет перемещаться из точки  $b$  в точку  $d$  по образующей 1 цилиндра. А при обработке колес с винтовыми зубьями это перемещение должно происходить по винтовой линии 2. Если принять высоту заготовки равную шагу винтовой линии  $T$ , то за один дополнительный оборот заготовки фреза должна переместиться на величину шага  $T$ , который равен

$$T = (\pi m_n z) / \sin \beta,$$

где  $m_n$  - нормальный модуль нарезаемого колеса;  $\beta$  - угол наклона винтовой линии зуба.

Конечные звенья: стол с заготовкой - фрезерный суппорт.

Расчетные перемещения: 1 доп. об. стола  $\rightarrow$  T мм. фрезерного суппорта.

Уравнение кинематического баланса:

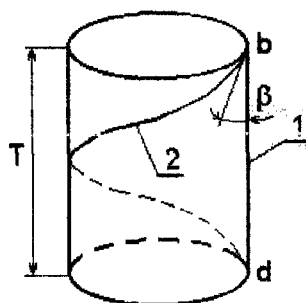


Рис. 3. Схема образования винтовой линии на заготовке

$$1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{1}{i} \cdot \frac{f}{e} \cdot i_{\text{диф}} \cdot \frac{30}{1} \cdot \frac{1}{i} \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{4}{20} \cdot \frac{5}{30} \cdot t_{\text{ж}} = \frac{\pi m_n z}{\sin \beta};$$

где  $i_{\text{диф}} = \frac{1}{2}$ ;  $t_{\text{жв}} = 10 \text{ мм}$ ;  $i_{\text{обк}} = \frac{24 \cdot k}{z}$ .

Расчетная формула: 
$$i_{\text{диф}} = \frac{7,95775 \cdot \sin \beta}{m_n \cdot k}$$

Двухпарная гитара дифференциала настраивается приближенно, однако с такой степенью точности, чтобы погрешность угла наклона зубьев нарезаемого колеса находилась в пределах допуска. Набор сменных зубчатых колес - см. цепь обкатки варианта 1.

#### В а р и а н т 4. Настройка станка при нарезание червячных колес методом радиальной подачи

При обработке червячных колес по методу радиальной подачи червячная фреза постепенно врезается в заготовку, перемещаясь в радиальном направлении (см. рис. 4,а).

Цепи главного движения и обкатки (деления) настраиваются аналогично варианту 1. Вместо цепи вертикальной подачи необходимо настроить цепь радиальной подачи.

##### **Цепь радиальной подачи**

Конечные звенья: стол с заготовкой - стойка фрезерного суппорта (радиальное перемещение).

Расчетные перемещения: 1 об. стола  $\rightarrow$   $S_p$  мм. стойки.

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{2}{24} \cdot i_{sp} \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{4}{20} \cdot \frac{10}{20} \cdot \frac{4}{20} \cdot \frac{10}{20} \cdot \frac{20}{25} \cdot t_{х.в.} = S_p;$$

где  $t_{х.в.} = 10$  мм. - шаг ходового винта радиальной подачи.

Расчетная формула:  $i_{sp} = 5/4 S_p$ .

где  $S_p$  - радиальная подача фрезы, мм/об.стола с заготовкой.

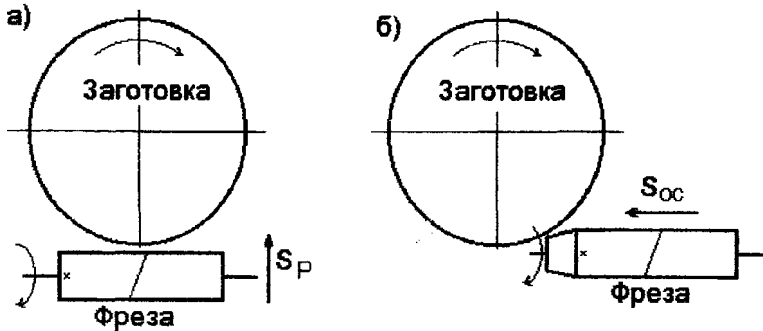


Рис.4. Схемы нарезания червячных колес: а - методом радиальной подачи; б - методом тангенциальной подачи

Двухпарная гитара настраивается приближенно с погрешностью  $\pm 10\%$ .

#### В а р и а н т 5. Настройка станка при нарезание червячных колес методом осевой (тангенциальной) подачи

Схема обработки представлена на рис.4,б. Фреза перемещается с помощью протяжного суппорта в осевом направлении по касательной к обрабатываемой заготовке. Дополнительно к цепям главного движения и обкатки (см. вариант 1) настраиваются цепи осевой подачи и дифференциала.

##### Цель осевой подачи

Конечные звенья: стол с заготовкой - протяжной суппорт (осевое перемещение фрезы).

Расчетные перемещения: 1 об. стола с заг.  $\rightarrow S_{ос}$  мм. прот. суппорта.

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{2}{24} \cdot i_{so} \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{1}{50} \cdot t_{х.в.} = S_{ос},$$

где  $t_{х.в.} = 5$  мм. - шаг ходового винта осевой подачи.

Расчетная формула:  $i_{so} = S_{ос}$ ,

где  $S_{ос}$  - осевая подача фрезы, мм/об. стола.

Двухпарная гитара настраивается приближенно с погрешностью  $\pm 10\%$ .

### Цель дифференциала

Цель дифференциала необходима в данном случае для того, чтобы компенсировать погрешность, вносимую в обкаточное движение осевым перемещением фрезы. Чтобы сохранить движение обкатки, заготовке необходимо сообщить дополнительное вращательное движение, причем, если заготовка сделает один полный оборот (см. рис.4,б), то фреза должна переместиться в направлении осевой подачи на длину делительной окружности колеса, равную  $\pi \cdot m_{ос} \cdot z$  мм.

Конечные звенья: стол с заготовкой - протяжной суппорт.

Расчетные перемещения: 1 доп. об. стола  $\rightarrow \pi m_{ос} z$  мм. протяжн. суппорта.

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{1}{i} \cdot \frac{f}{e} \cdot i_{диф} \cdot \frac{30}{1} \cdot \frac{1}{i} \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{1}{50} \cdot t_{х.в.} = \pi \cdot m_{ос} \cdot z,$$

где  $i_{диф} = \frac{1}{2}$ ;  $t_{х.в.} = 5$  мм.;  $i_{обк} = \frac{2k}{z}$ ;  $m_{ос}$  - осевой модуль.

$$\text{Расчетная формула: } i_{диф} = \frac{2,38778}{m_{ос} k}.$$

Двухпарная гитара настраивается с высокой точностью. Погрешность зависит от степени точности нарезаемого червячного колеса.

### Содержание отчета

1. Составить схемы настраиваемых цепей станка и вывести расчетные формулы.
2. Подобрать сменные колеса гитар станка для нарезания зубчатого колеса (согласно заданию).
3. Привести схему установки фрезы относительно заготовки с указанием направления вращения фрезы и заготовки, а также направления движения подачи.

### Литература

1. Металлорежущие станки и автоматы: Учебник для машиностроительных вузов / Под ред. А.С.Проникова. М.: Машиностроение, 1981.
2. Сильвестров Б.Н. Справочник молодого зуборезчика. М.: Машиностроение, 1981.

## Работа 3

### НАСТРОЙКА ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗУБОДОЛБЕЖНОГО СТАНКА МОДЕЛИ 5В12

#### Назначение и принцип работы станка

Зубодолбежный станок предназначен для нарезания цилиндрических прямо-зубых колес внешнего и внутреннего зацепления, блоков зубчатых колес, колес с буртами, храповых колес, зубчатых реек и т.п. По сравнению с зубофрезерным станком он имеет более низкую производительность, но зато позволяет обрабатывать зубчатые колеса внутреннего зацепления, цельные блоки зубчатых колес и колеса с буртами.

#### Техническая характеристика станка

Наибольший модуль нарезаемых колес, мм . . . . .	4
Наибольший наружный диаметр цилиндрических колес:	
с прямыми зубьями внешнего зацепления, мм . . . . .	208
при внутреннем зацеплении, мм . . . . .	220
Наибольшая ширина нарезаемых колес, мм . . . . .	50
Наибольший ход штосселя долбяка, мм . . . . .	55
Количество ступеней двойных ходов штосселя . . . . .	4
Диапазон чисел двойных ходов штосселя в минуту . . . . .	200...600
Число круговых подач . . . . .	8
Диапазон круговых подач долбяка за один двойной ход . . . . .	0,1 ... 0,46

Станок работает по методу обкатки, имитируя зацепление пары цилиндрических зубчатых колес, одно из которых - инструмент (долбяк), а другое - обрабатываемая заготовка.

Кинематическая схема станка представлена на рис. 5. Она содержит следующие кинематические цепи: главного движения; обкатки (деления); круговой подачи; радиальной подачи (врезания). Рассмотрим настройку кинематических цепей станка.

#### Цепь главного движения

Главным движением на станке является возвратно-поступательное движение долбяка, закрепленного на штосселе. Это движение долбяк получает от электродвигателя через диск D и кривошипно-шатунный механизм. Звеном настройки данной цепи являются сменные шкивы ременной передачи.

Конечные звенья: двигатель - долбяк (возвратно-поступательное движение).

Расчетные перемещения:  $n_{дв} = 950$  об/мин.  $\rightarrow$   $n_{дв.х}$  долбяка в мин.





Расчетная формула: 
$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{n_{\text{дв.х.}}}{950(1-\varepsilon)}$$

где  $d_1/d_2$  отношение диаметров шкивов ременной передачи, выбирается из соотношений:  $\frac{90}{400}, \frac{130}{375}, \frac{160}{355}, \frac{200}{325}$ .

Число двойных ходов долбяка в минуту  $n_{\text{дв.х.}}$  определяется по формуле:

$$n_{\text{дв.х.}} = \frac{1000 \cdot V}{2(b + 2\Delta)}$$

где  $V_{\text{ср.}}$  - средняя скорость поступательного движения долбяка (скорость резания), м/мин.;  $b$  - ширина зубчатого венца заготовки, мм.;  $\Delta = 3 \dots 5$  мм - "перебег" долбяка;  $L = b + 2 \Delta$  - длина хода долбяка.

Скорость резания при работе долбяками из быстрорежущей стали выбирается из табл. 2.

Длина хода долбяка  $L$  регулируется изменением радиуса кривошипного пальца, расположенного на диске  $D$ . Границы хода долбяка устанавливаются с помощью телескопического рычага.

Таблица 2

Материал заготовки	Скорость резания $V$ , м/мин при обработке		Круговая подача $S_{\text{кр.}}$ , мм/дв.х. долб., при обработке	
	черновой	чистовой	черновой	чистовой
Сталь 45 и 45Х	11 ... 30	30	0,35 ... 0,10	0,25 ... 0,30
Сталь 20Х, 12ХН3	9 ... 25	25 ... 28	0,30 ... 0,08	0,20 ... 0,25
Чугун (НВ = 190)	13 ... 22	25	0,40 ... 0,15	0,35

### Цель обкатки (деления)

Станок работает по методу обкатки с непрерывным делением, поэтому цепи обкатки и деления здесь совпадают. Цепь обкатки предназначена для согласования вращательных движений долбяка и заготовки как пары цилиндрических зубчатых колес.

Конечные звенья: долбяк - заготовка.

Расчетные перемещения: 1 об. долбяка  $\rightarrow Z_d / Z_z$  об. заготовки.

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \cdot \frac{90}{1} \cdot \frac{64}{35} \cdot \frac{35}{64} \cdot \frac{64}{72} \cdot \frac{72}{64} \cdot \frac{52}{74} \cdot \frac{74}{44} \cdot \frac{44}{35} \cdot \frac{35}{80} \cdot \frac{80}{39} \cdot \frac{1}{120} = \frac{Z_d}{Z_z}$$

Расчетная формула:

$$i_{\text{обк}} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{Z_d}{Z_3},$$

где  $Z_d$  и  $Z_3$  - числа зубьев долбяка и заготовки;  $a, b, c$  и  $d$  - сменные колеса гитары обкатки, причем  $a + b = 120$ .

Гитара двухпарная, для настройки используется следующий набор сменных зубчатых колес: 24 (2шт.), 25, 27, 28, 30 (2шт.), 31, 34, 36, 38, 40, 43, 44 (2шт.), 45, 47, 48 (2шт.), 49, 50, 52, 56, 57, 58, 60 (4шт.), 61, 62, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 72 (2шт.), 74, 75 (2шт.), 76 (2шт.), 77, 78, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 92, 94, 95, 96, 98. Цепь обкатки настраивается абсолютно точно.

В цепь обкатки включены два механизма реверса - перед долбяком и перед заготовкой, с помощью которых можно периодически (после нарезания нескольких зубчатых колес одним долбяком) изменять направление вращения долбяка и заготовки. Делается это для того, чтобы износ режущих кромок зубьев долбяка был более равномерным. Кроме того, эти механизмы используются для согласования направлений вращения долбяка и заготовки при нарезании колес внешнего и внутреннего зацепления.

### **Цепь круговой подачи**

Круговой подачей называется длина дуги по делительной окружности долбяка или заготовки, на величину которой они повернутся за один двойной ход долбяка (или один оборот диска D). Таким образом круговая подача определяет скорость обкаточного движения долбяка и заготовки.

Конечные звенья: диск D - долбяк (вращательное движение).

Расчетные перемещения: 1 об. диска D  $\rightarrow S_{\text{кр}} / (\pi d_d)$  об. долбяка.

Здесь  $S_{\text{кр}}$  - круговая подача, мм/дв.ход долбяка,  $d_d$  - делительный диаметр долбяка, мм.

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \cdot \frac{4}{50} \cdot i_s \cdot \frac{64}{72} \cdot \frac{72}{64} \cdot \frac{64}{35} \cdot \frac{35}{64} \cdot \frac{1}{90} = \frac{S_{\text{кр}}}{\pi \cdot d_d}.$$

Расчетная формула:

$$i_s = a_1 / b_1 = 358,3 S_{\text{кр}} / d_d,$$

где  $a_1, b_1$  - сменные колеса гитары подачи, причем  $a_1 + b_1 = 110$ .

Значения круговой подачи можно выбрать по табл.2. Для настройки гитары используется набор сменных зубчатых колес с числами зубьев: 35, 40, 46, 52, 58, 64, 70, 75. Настройка приближенная с погрешностью  $\pm 10\%$ .

### Цепь радиальной подачи (врезания)

Радиальной подачей называется перемещение долбяка в радиальном направлении за один двойной ход. Радиальная подача осуществляется с помощью плоского кулачка  $K_1$  только в процессе врезания долбяка в заготовку.

Плоский кулачок  $K_1$  (см. рис.5), вращаясь, перемещает вправо рейку  $P_1$ , а вместе с ней и шпindelную бабку, связанную с рейкой  $P_1$  червячной передачей 1:113. Силовое замыкание рейки с кулачком обеспечивается пружиной 3 через рейку  $P_2$  и зубчатые колеса 15 и 12. Радиальная подача (врезание) прекращается в момент выхода ролика рейки  $P_1$  на цилиндрический участок профиля кулачка, после чего нарезание зубьев ведется на постоянной глубине.

Установочные перемещения долбяка (установка на требуемую глубину врезания) производятся рукоятками 1 (грубая установка) и 2 (точная установка). От рукоятки 1 через цилиндрическую передачу (при откинута червяке) или от рукоятки 2 через червячную передачу (при включенном червяке) вращение передается на зубчатое колесо 12. Последнее катится по неподвижной рейке  $P_1$ , прижатой пружиной 3 к кулачку  $K_1$ , и перемещает шпindelную бабку.

Конечные звенья: заготовка - кулачок  $K_1$ .

Расчетные перемещения: 1 об. заготовки  $\rightarrow \alpha / 360^\circ$  об. кулачка  $K_1$ .

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \cdot \frac{120}{1} \cdot \frac{39}{80} \cdot \frac{80}{35} \cdot \frac{35}{44} \cdot \frac{44}{74} \cdot \frac{74}{52} \cdot \frac{40}{80} \cdot i_{бл} \cdot \frac{1}{100} = \frac{\alpha}{360^\circ},$$

где  $i_{бл}$  - передаточное отношение звена настройки - тройного блока.

Расчетная формула:

$$i_{бл} = 2,22 \alpha / 360^\circ,$$

где  $\alpha$  - угол поворота кулачка  $K_1$ , град.;  $\alpha = 270, 135, 90^\circ$ .

Настройка этой цепи на станке осуществляется путем переключения тройного блока в одно из возможных положений в зависимости от типа кулачка  $K_1$ , который используется. Применяются: однопроходные ( $\alpha = 270^\circ$ ), двухпроходные ( $\alpha = 135^\circ$ ) и трехпроходные ( $\alpha = 90^\circ$ ) кулачки.

Однопроходный кулачок применяется при нарезании колес из мягкой углеродистой стали сразу на полную высоту зуба с модулем не более 3 мм., а также при больших значениях модуля, когда обработка производится после чернового нарезания.

Двухпроходный кулачок применяется при нарезании колес из сталей средней твердости с модулем до 5 мм.

Трехпроходный кулачок устанавливается при нарезании колес из твердых сталей с модулем выше 5 мм., а также колес с меньшим модулем для получения повышенной точности профиля нарезаемых зубьев.

### Содержание отчета

1. Составить схемы настраиваемых цепей зубодолбежного станка и вывести расчетные формулы.
2. Подобрать сменные колеса на все гитары станка для нарезания зубчатого колеса согласно заданию.
3. Дать необходимые указания о наладке станка.

## Работа 4

### НАСТРОЙКА ТОКАРНО - ЗАТЫЛОВОЧНОГО СТАНКА МОДЕЛИ 1Б811

#### Назначение и принцип работы

Токарно-затыловочный станок модели 1Б811 предназначен для затылования резцом или шлифовальным кругом задних поверхностей зубьев червячных и дисковых фрез, метчиков, зенкеров и других многолезвийных инструментов.

#### Техническая характеристика станка

Высота линии центров над станиной, мм . . . . .	260
Максимальное расстояние между центрами, мм . . . . .	710
Максимальный диаметр обрабатываемого изделия, мм	
над суппортом . . . . .	240
над станиной . . . . .	520
Наибольшая длина затылования, мм . . . . .	600
Количество частот вращения шпинделя . . . . .	10
Пределы частот вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	
при правом вращении . . . . .	1,8...63
при левом вращении . . . . .	3,6...126
Мощность электродвигателя, кВт . . . . .	3,0

Кинематическая схема станка приведена на рис. 6. Она состоит из следующих кинематических цепей: главного движения, возвратно-поступательного движения резца (деления), продольной подачи, ходового винта, дифференциала.

#### Цепь главного движения

Данная цепь предназначена для получения требуемой частоты вращения шпинделя с обрабатываемой заготовкой (следовательно, скорости резания). В качестве привода используется двухскоростной асинхронный электродвигатель. Частота вращения и мощность двигателя при рабочем ходе (правое вращение шпинделя) равны  $n = 700 \text{ мин}^{-1}$ ;  $N = 3,0 \text{ кВт}$ , а при обратном ходе (левое вращение) -  $n =$

1400 мин<sup>-1</sup>, N = 4,5 кВт. В качестве звена настройки цепи используется коробка скоростей станка. Переключением зубчатых блоков коробки скоростей обеспечиваются 10 значений частот вращений шпинделя в диапазоне 1,8...63 мин<sup>-1</sup>; знаменатель ряда  $\phi = 1,41$ . После определения необходимой частоты вращения заготовки по формуле  $n = 1000V/(\pi D)$  из этого диапазона выбирается ближайшее значение.

### ***Цепь возвратно - поступательных движений реза (деления)***

Эта цепь необходима для согласования вращательного движения заготовки с возвратно-поступательными перемещениями инструмента от кулачка К.

Конечные звенья: шпиндель с заготовкой - затыловочный кулачок К.

Расчетные перемещения: 1 об.шпинделя → Z/К об. кулачка К.

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \cdot \frac{96}{24} \cdot i_{\Pi} \cdot \frac{44}{36} \cdot \frac{45}{47} \cdot \frac{47}{33} \cdot \frac{1}{2} \cdot i_{\Delta} \cdot \frac{27}{27} = \frac{Z}{K}$$

где Z - число зубьев (стружечных канавок) затылуемого инструмента; K - число подъемов кулачка К.

Расчетная формула:  $i_{\Delta} = \frac{3 \cdot Z}{10 \cdot K \cdot i_{\Pi}}$ ,

где  $i_{\Pi}$  - передаточное отношение двойного блока, равное

$$i_{\Pi} = \frac{50}{50} = 1 \text{ или } i_{\Pi} = \frac{80}{20} = 4.$$

Двухпарная гитара цепи деления настраивается точно.

### ***Цепь продольной подачи***

Цепь используется при затыловании дисковых и цилиндрических фрез, длина рабочей части зубьев которых превышает длину режущей кромки затыловочного инструмента. Она связывает вращательное движение заготовки и продольное перемещение инструмента и работает так же, как цепь продольной подачи обычного токарного станка. Звеном настройки является коробка подач, обеспечивающая шесть значений продольной подачи суппорта с инструментом: 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,64; 1,0 мм/об. заготовки.

### ***Цепь ходового винта (винторезная цепь)***

Эта цепь настраивается при затыловании инструментов, у которых режущие кромки зубьев располагаются на винтовой поверхности (червячные фрезы, метчики и т.п.). Назначение цепи - обеспечить перемещение инструмента по винтовой линии, по которой располагаются зубья обрабатываемой заготовки.

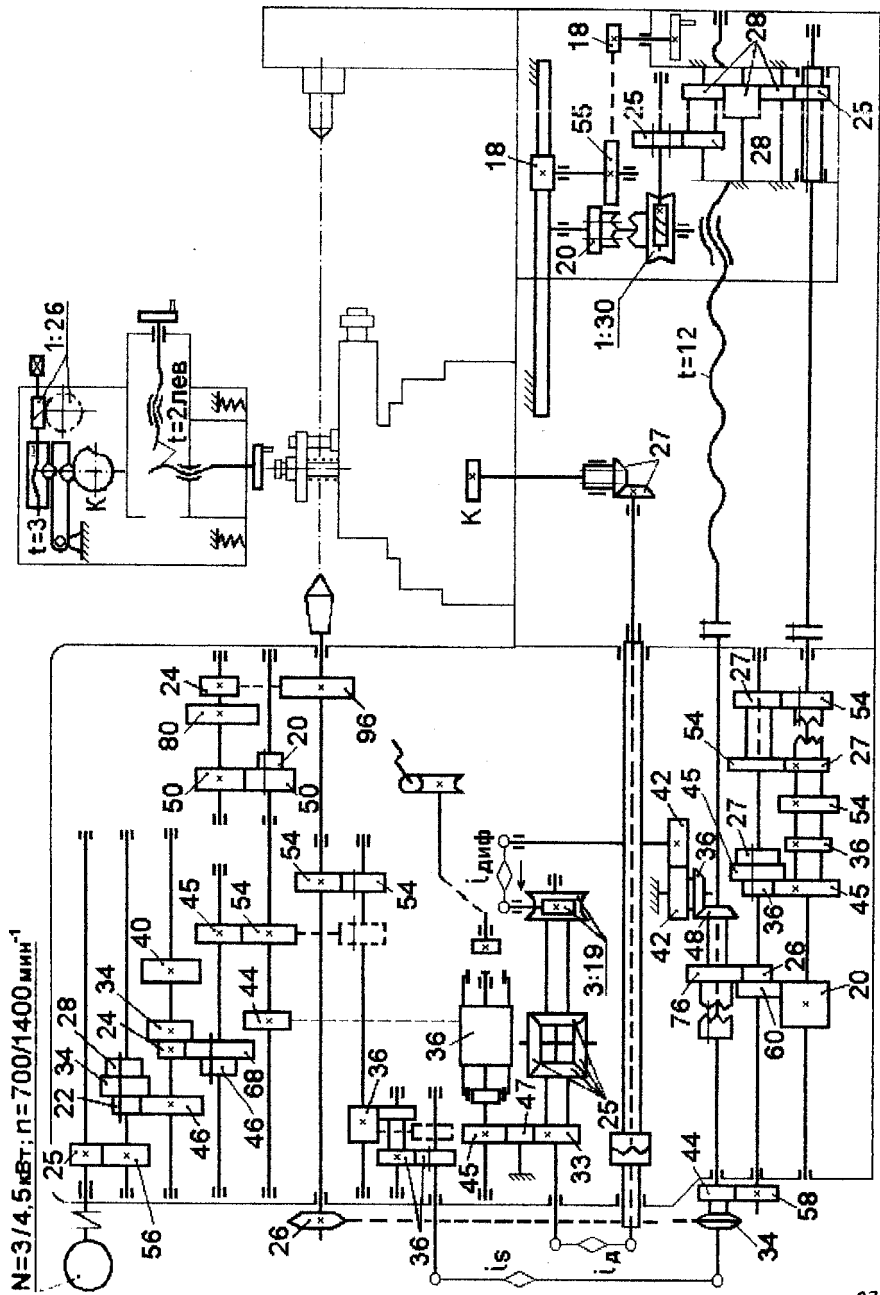


Рис.6.Кинематическая схема токарно-затыловочного станка модели 1Б81

Конечные звенья: шпindelь с заготовкой - продольный суппорт с инструментом.

Расчетные перемещения: 1 об.шпинделя  $\rightarrow$   $\tau$  мм.суппорта.

Уравнение кинематического баланса:

$$i \cdot i_n \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{36}{36} \cdot i_s \cdot 12 = \tau.$$

Расчетная формула:  $i_s = \frac{\tau}{12 \cdot i_n}$ ,

где  $\tau$  - осевой шаг винтовой линии, по которой располагаются зубья затылуемой заготовки;  $i_n = 54/54 = 1$  - при передаче движения от шпинделя к ходовому винту на-

прямую, или  $i_n = \frac{96}{24} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{54}{54} = 4$ ;  $i_n = \frac{96}{24} \cdot \frac{80}{20} \cdot \frac{54}{54} = 16$  - при передаче движения от шпинделя через звено увеличения шага.

Двухпарная гитара цепи ходового винта настраивается с погрешностью, которая зависит от схемы обработки и степени точности обрабатываемой заготовки.

### **Цепь дифференциала**

Данная цепь используется при затыловании инструментов с винтовыми стружечными канавками.

Конечные звенья: продольный суппорт - затыловочный кулачок.

Расчетные перемещения:  $T$  мм.продольного суппорта  $\rightarrow Z / K$  дополнительных оборота кулачка.

Уравнение кинематического баланса:

$$\frac{T}{12} \cdot \frac{48}{36} \cdot \frac{42}{42} \cdot i_{\text{диф}} \cdot \frac{3}{19} \cdot \frac{1}{2} \cdot i_A = \frac{Z}{K},$$

где  $T$  - шаг винтовой линии стружечной канавки.

Расчетная формула:

$$i_{\text{диф}} = \frac{114 \cdot Z}{i_A \cdot T \cdot K}$$

$$\text{При } i_A = \frac{3 \cdot Z}{10 \cdot K \cdot i_B}; \quad i_{\text{диф}} = \frac{380}{T} \cdot i_B.$$

Двухпарная гитара цепи дифференциала настраивается точно.

Для настройки гитар деления, ходового винта и дифференциала к станку прилагается общий набор сменных зубчатых колес: 22, 24, 26, 28, 30, 31, 32, 35, 36, 38, 39, 42, 43, 44, 48, 52, 54, 55, 57, 58, 60, 63, 65, 66, 67, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 78, 80, 84, 87, 88, 90, 93, 95, 96, 98, 99, 104, 108, 111, 113, 114, 120, 123, 128, 132.

#### Содержание отчета

1. Составить схемы настраиваемых кинематических цепей и вывести расчетные формулы.
2. Подобрать сменные колеса на все гитары станка для затылования червячной фрезы (согласно заданию).
3. Привести схему затылования с указанием на ней движений, совершаемых заготовкой и инструментом.

## Работа 5

### НАСТРОЙКА ЗУБОФРЕЗЕРНОГО ПОЛУАВТОМАТА МОДЕЛИ 5П23

#### Назначение и принцип работы

Полуавтомат 5П23 предназначен для нарезания прямозубых конических колес методом обкатки в условиях серийного и массового производства. Как правило, зубья нарезаются на целой заготовке за один проход.

#### Техническая характеристика станка

Наибольший диаметр нарезаемых колес, мм . . . . .	125
Модули нарезаемых колес, мм:	
наименьший . . . . .	0,5
наибольший . . . . .	2,5
Числа зубьев нарезаемых колес . . . . .	5 ... 100
Длина образующей делительного конуса, мм . . . . .	0 ... 60
Угол делительного конуса, град:	
наименьший . . . . .	10
наибольший . . . . .	170
Наибольшее передаточное отношение нарезаемой пары . . .	10 : 1
Наибольшая длина нарезаемого зуба, мм . . . . .	20
Наибольший угол качания люльки, град . . . . .	70
Номинальный диаметр зуборезных фрез, мм . . . . .	150
Диапазон частот вращения фрез, мин <sup>-1</sup> . . . . .	71 ... 426
Количество ступеней частот вращения фрез . . . . .	16
Машинное время на обработку одного зуба, с . . . . .	2,4 ... 49,0
Мощность электродвигателя главного движения, кВт . . . . .	1,7



Кинематическая схема полуавтомата приведена на рис. 7. Она состоит из следующих настраиваемых цепей: главного движения, подачи, деления и обкатки.

На станке в качестве инструмента используются две дисковые фрезы, торцовые режущие кромки которых воспроизводят боковые поверхности одного зуба производящего плоского колеса.

Профиль зубьев нарезаемого конического колеса образуется в результате обкатки производящего колеса и заготовки. В обкаточном движении эти исполнительные звенья имитируют коническую передачу.

Рабочий цикл станка следующий: при пуске станка стол с заготовкой быстро подводится в зону обработки, включаются вращательные движения фрез и заготовки, а также качение люльки; по окончании обработки зуба стол с бабкой изделия быстро отводится назад, люлька получает быстрое движение в обратную сторону, а заготовка продолжает вращаться в ту же сторону, что и при рабочем ходе. Далее цикл повторяется столько раз, сколько зубьев требуется нарезать на заготовке. Поскольку в течение всего цикла заготовка вращается только в одну сторону, к началу следующего цикла будет пропущено определенное число зубьев.

При нарезании конических колес с углами начального конуса до  $70^\circ$  стол с заготовкой в начале цикла подводится до жесткого упора и во время обработки зуба остается в неподвижном состоянии. Врезание фрез происходит в процессе обкатки. При нарезании конических колес с углами начального конуса от  $70^\circ$  до  $85^\circ$  для сокращения времени цикла применяется комбинированный способ: в начале цикла одновременно с обкаткой заготовка медленно подводится к фрезам и по достижении требуемой глубины зуба подвод стола с заготовкой прекращается. Профилирование зуба заканчивается обкаткой при неподвижном столе.

Автоматическим циклом работы станка управляют кулачки, смонтированные на распределительном валу, который за время цикла (нарезание одного зуба) делает один оборот. Кулачок  $K_1$  служит для подвода и отвода стола с заготовкой в соответствующие моменты цикла. Кулачок  $K_2$  управляет врезанием при комбинированном способе обработки. Переставные кулачки  $K_3$  на барабане предназначены для переключения фрикционной муфты с рабочего хода на ускоренный и наоборот. На станке имеется счетчик циклов, с помощью которого по окончании обработки всех зубьев станок выключается.

#### **Цепь главного движения**

Цепь предназначена для обеспечения необходимой окружной скорости вращения фрез - скорости резания  $V$ .

Конечные звенья: двигатель - шпиндели фрез.

Расчетные перемещения:  $n_{дв} = 1420 \text{ об/мин} \rightarrow n_{фр}$ .

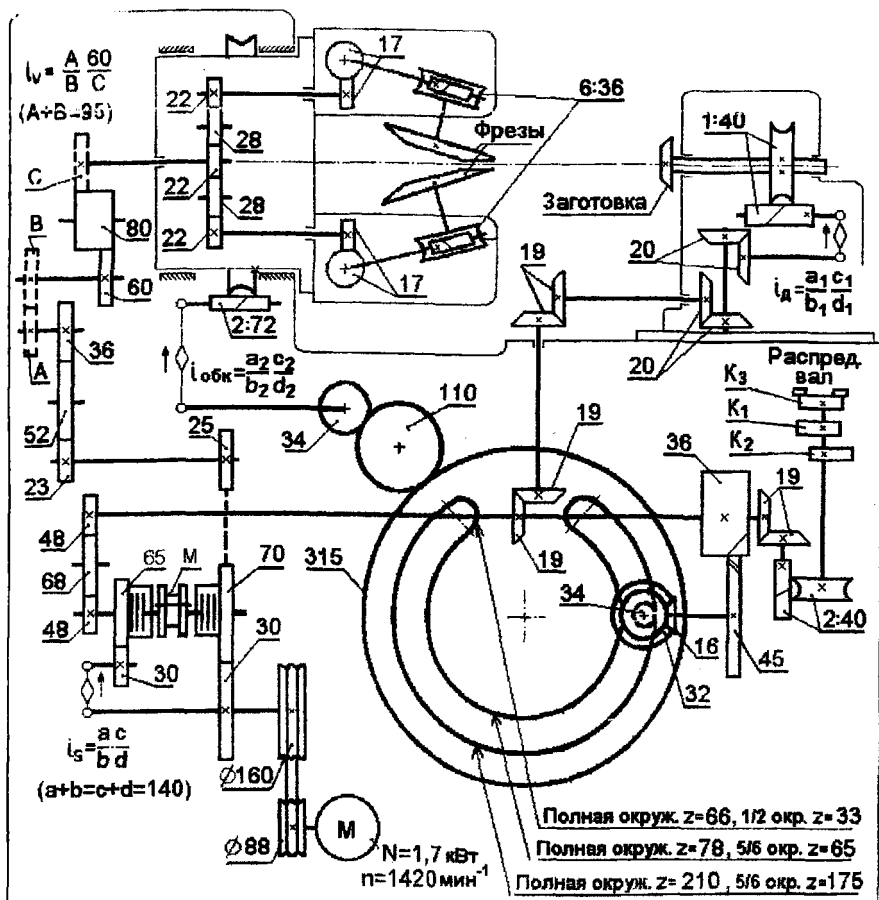


Рис. 7. Кинематическая схема зубофрезерного полуавтомата модели 5П23

Уравнение кинематического баланса:

$$1420 \cdot \frac{88}{160} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \frac{30}{70} \cdot \frac{70}{25} \cdot \frac{23}{52} \cdot \frac{52}{36} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{60}{80} \cdot \frac{80}{C} \cdot \left( \text{или} \frac{A}{B} \cdot \frac{60}{80} \cdot \frac{80}{1} \cdot \frac{1}{C} \right) \cdot \frac{22}{28} \cdot \frac{28}{22} \cdot \frac{17}{17} \cdot \frac{6}{36} = n_{\text{фр}}$$

где  $(1 - \varepsilon) = 0,985$ .

Расчетная формула:  $i_v = \frac{A}{B} \cdot \frac{60}{C} \approx \frac{n_{\text{фр}}}{100}$ ;  $n_{\text{фр}} = 1000V / (\pi D_{\text{фр}})$

где А, В и С - сменные колеса гитары;  $n_{фр}$  - частота вращения фрезы в об/мин;  $D_{фр}$  - наружный диаметр фрезы, мм (у стандартной фрезы для данного станка  $D_{фр} = 150$  мм); V - скорость резания, м/мин.

В приложенном к станку наборе для данной гитары предусмотрены зубчатые колеса с числами зубьев: 29, 32, 34, 37, 39, 45, 50, 56, 61 и 66. При подборе сменных колес следует иметь в виду, что  $A + B = 95$ , а допустимая погрешность настройки 10%.

### **Цель подачи**

Для станка полуавтомата исходным параметром для настройки гитары подач является время цикла  $t_{ц}$  в секундах, необходимое для обработки одного зуба. За время цикла распределительный вал делает один оборот.

Конечные звенья: двигатель - распределительный вал.

Расчетные перемещения:  $n_{дв} = 1420 t_{ц} / 60$  об. вала двигателя за время цикла → 1 оборот распределительного вала.

Уравнение кинематического баланса:

$$\frac{1420}{60} \cdot t_{ц} \cdot \frac{88}{160} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{30}{65} \cdot \frac{48}{68} \cdot \frac{68}{48} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{2}{40} = 1,$$

где  $(1 - \varepsilon) = 0,985$ .

$$\text{Расчетная формула: } i_s = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \approx \frac{3,4}{t_{ц}},$$

где a, b, c и d - сменные колеса гитары подач.

При подборе сменных колес для этой гитары должно обеспечиваться постоянство сумм  $a + b = c + d = 140$ . Набор сменных колес тот же, что и для гитар деления и обкатки. Допустимая погрешность настройки гитары 10 %.

### **Цель деления**

Выше уже отмечалось, что за время каждого цикла, т. е. за время нарезания одного зуба, распределительный вал делает один оборот. За это же время постоянно вращающаяся в одном направлении заготовка поворачивается на некоторую часть оборота, чем и обеспечивается деление.

Конечные звенья: распределительный вал - заготовка.

Расчетные перемещения: 1 об. распред. вала →  $Z_i / Z$  об. заготовки.

Здесь  $Z_i$  - число зубьев, на которое поворачивается заготовка за время цикла; Z - число зубьев нарезаемой заготовки. Числа зубьев  $Z_i$  и Z должны быть взаимно простыми, т. е. не должны иметь общих множителей.

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \cdot \frac{40}{2} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{1}{40} = \frac{z_i}{z}$$

Расчетная формула:  $i_{\text{дел}} = \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{2 \cdot z_i}{z}$ ,

где  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$  и  $d_1$  - сменные колеса гитары деления.

Для настройки этой гитары (а также гитар подачи и обкатки) к станку прилагаются сменные зубчатые колеса с числами зубьев: 24, 30, 31, 33, 34, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 50, 52, 53, 54, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 82, 83, 86, 89, 90, 91, 93, 94, 97, 100, 104, 109 и 116.

Гитара настраивается точно.

### Цель обкатки

Требуемый профиль зубьев нарезаемых колес получается методом обкатки, при котором производящему колесу (люльке) и заготовке сообщаются вращательные движения, аналогичные движениям в обычной конической передаче.

Конечные звенья: производящее колесо (люлька) - заготовка.

Расчетные перемещения: 1 об. производ. колеса  $\rightarrow Z_0 / Z$  об. заготовки.

Уравнение кинематического баланса:

$$1 \cdot \frac{72}{2} \cdot \frac{b_2}{c_2} \cdot \frac{d_2}{a_2} \cdot \frac{34}{110} \cdot \frac{110}{315} \cdot \frac{210}{34} \cdot \frac{32}{16} \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{19}{20} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{1}{40} = \frac{z_0}{z}$$

где  $a_2$ ,  $b_2$ ,  $c_2$ ,  $d_2$  - сменные колеса гитары обкатки;  $Z_0$  - число зубьев плоского производящего колеса, определяемое из соотношения  $Z_0 = Z / \sin \varphi$  ( $\varphi$  - половина угла начального конуса нарезаемого колеса);  $210^*$  - при рабочем ходе (обкатке) колесо  $z = 34$  находится в зацеплении с внутренним венцом составного колеса, имеющим на полной окружности 210 зубьев.

Принимая во внимание, что  $\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{2 \cdot z_i}{z}$ , получаем следующую формулу

настройки гитары обкатки:

$$i_{\text{обк}} = \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2} = \frac{3 \cdot z_1 \cdot \sin \varphi}{z}$$

Набор сменных колес для гитары обкатки тот же, что и для гитары деления. Погрешность настройки определяется в зависимости от заданной степени точности нарезаемого колеса.

Определение числа зубьев  $Z_i$ , пропускаемых при делении

Если при образовании зуба (врезании и профилировании) люлька повернется на угол  $\Theta$ , а распределительный вал - на угол  $\delta_{p,x}$ , то можно записать:

$$\frac{\delta_{p,x}}{360} \cdot \frac{40}{2} \cdot \frac{19}{45} \cdot \frac{36}{32} \cdot \frac{16}{210} \cdot \frac{34}{110} \cdot \frac{315}{34} \cdot \frac{110}{72} \cdot i_{обк} \cdot \frac{2}{360} = \frac{\theta^0}{360^0}$$

Так как  $i_{обк} = \frac{3 \cdot Z_i \cdot \sin \varphi}{z}$ , то  $Z_i = \frac{\theta \cdot z}{\delta_{p,x} \cdot \sin \varphi}$ ,

где  $\Theta$  и  $\delta_{p,x}$  выражены в одинаковых угловых единицах.

Угол  $\delta_{p,x}$  поворота распределительного вала за время образования профиля зуба определяется следующим образом. Прямой ход люльки происходит при сцеплении колеса  $z = 34$  с внутренним венцом составного колеса реверсивного механизма, имеющим 175 зубьев на  $5/6$  окружности и 210 зубьев на полной окружности. Значит, за это время распределительный вал повернется на угол:

$$\frac{175}{210} \cdot \frac{210}{34} \cdot \frac{32}{16} \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{2}{40} \cdot 360 \approx 230^0$$

Учитывая, что подвод и отвод заготовки осуществляется в начале и конце прямого хода люльки, принимают  $\delta_{p,x} = 210^0$ . Тогда

$$Z_i = \frac{\theta \cdot z}{210 \cdot \sin \varphi}$$

Угол качения люльки  $\Theta$  для данного станка определяется по соотношениям:

при  $\varphi < 70^0$

$$\theta = \frac{600 \cdot \sin \varphi}{z} + \arccos \left( \frac{\cos \varphi_e}{\cos \varphi_i} \right),$$

при  $\varphi > 70^0$

$$\theta = \frac{720 \cdot \sin \varphi}{z} + 0,8 \cdot \arccos \left( \frac{\cos \varphi_e}{\cos \varphi_i} \right),$$

где  $\varphi$ ,  $\varphi_e$  и  $\varphi_i$  - половина угла начального, наружного и внутреннего конусов, соответственно.

Найденное расчетным путем число зубьев  $Z_i$  округляется в большую сторону до целого числа. Если окажется, что  $Z_i$  имеет общие множители с  $Z$ , то к нему добавляется такое число целых единиц, чтобы  $Z_i$  и  $Z$  были взаимно простыми. Во из-

Важные потери времени, т. е. снижения производительности, увеличение числа  $Z_i$  компенсируется соответствующим уменьшением угла  $\delta_{p,x}$  путем перестановки куличков  $K_3$ .

#### Содержание отчета

1. Составить схемы настраиваемых цепей станка и вывести расчетные формулы.
2. Подобрать сменные колеса на все гитары станка для нарезания зубчатого колеса с заданными параметрами.
3. Привести эскиз заданного для нарезания зубчатого колеса и расчеты величин наладочных установок.

## РАБОТА 6

### Устройства кинематической настройки универсальных станков

#### Делительные головки

Универсальные делительные головки предназначены: для установки оси обрабатываемой заготовки под требуемым углом относительно шпинделя станка; для периодического поворота заготовки вокруг ее оси на определенный угол (деление на равные и неравные части); для непрерывного вращения заготовки при нарезании винтовых канавок или винтовых зубьев зубчатых колес.

Делительные головки бывают: *лимбовые* с делительными дисками (непосредственного деления, простого деления, полууниверсальные, универсальные); *безлимбовые* (без делительного диска) с зубчатым планетарным механизмом и набором сменных зубчатых колес; *оптические* (для точных делений и контрольных операций).

Обычно делительные головки бывают одношпиндельными (рис. 8). Иногда применяют многошпиндельные (двух- и трехшпиндельные) для одновременной обработки соответственно двух или трех заготовок.

Конструкция и кинематическая схема безлимбовых делительных головок значительно сложнее, чем лимбовых, поэтому последние получили наиболь-

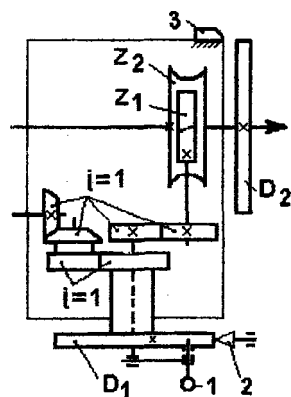


Рис. 8. Схема наладки делительной головки на простое деление

шее распространение.

Существуют три способа настройки универсальных делительных головок: для непосредственного, простого и дифференциального делений.

### **Непосредственное деление**

Непосредственное деление производят с помощью диска  $D_2$  и фиксатора 3. Для этого однозаходный червяк  $z_1$  (рис. 8) выводят из зацепления с червячным колесом и заготовку при делении поворачивают вручную. Фиксатор 3 удерживает заготовку от проворота при обработке. Делительный диск  $D_2$  чаще всего имеет 24 паза (отверстия), тогда деление возможно на 2, 3, 4, 6, 12, и 24 части. Таким образом, область использования непосредственного деления весьма ограничена.

### **Простое деление**

Простое деление (рис.8) применяют тогда, когда на делительном диске  $D_1$  (лимбе) можно подобрать концентрическую окружность для отсчета. Однозаходный червяк вводят в зацепление с червячным колесом. Делительный диск  $D_1$  с помощью защелки 2 закрепляется неподвижно. Поворот шпинделя с заготовкой на  $1/z$  часть ( $z$  - число частей на которое требуется выполнить деление) должен быть произведен за  $n_p$  оборотов рукоятки 1.

Конечные звенья: рукоятка - шпиндель с заготовкой.

Расчетные перемещения:  $n_p - 1/z$  оборота заготовки.

Уравнение кинематического баланса:  $n_p i_3 i_4 = 1/z$ ,

где  $i_3 = 1$  - передаточное отношение зубчатых зацеплений;  $i_4 = 1/40$  - передаточное отношение червячной передачи.

Формула наладки универсальной делительной головки имеет вид

$$n_p = 40/z.$$

Величина, обратная передаточному отношению червячной пары, называется характеристикой делительной головки.

Число зубьев червячного колеса составляет 40, но бывает 60, 80, 120.

Преобразуя предыдущую формулу, получим  $n = 40/z = a + b/c$ ,

где  $a$  - целое число оборотов рукоятки;  $c$  - число отверстий в одном из рядов делительного диска;  $b$  - число отверстий (шагов), на которое надо дополнительно повернуть рукоятку.

Дополнительные диски универсальных делительных головок имеют ряд concentрических окружностей со следующим количеством отверстий:

с одной стороны - 16, 17, 19, 21, 23, 29, 30, 31;

с другой стороны - 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49, 54.

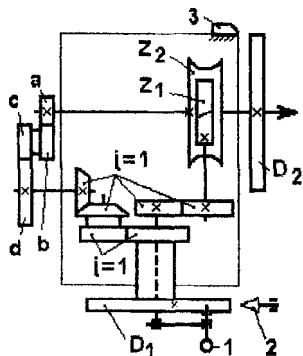
### Дифференциальное деление

Дифференциальное деление (рис.9) применяют в тех случаях, когда из-за ограниченного количества отверстий на делительном диске нельзя применять простое деление.

Обороты рукоятки делительной головки при дифференциальном делении определяют по формуле

$$n_p = 40/z_{\phi},$$

где  $z_{\phi}$  - близкое к заданному  $z$ , кратное хотя бы одному числу отверстий на дели-



тельному диску и имеющему общие множители с числом 40. Если выполнить простое деление, то шпиндель повернется на  $1/z_{\phi}$  оборота вместо  $1/z$ . Для компенсации полученной разницы шпинделю сообщают дополнительный поворот, равный

$1/z - 1/z_{\phi}$ . Таким образом, рукоятка 1 (см. рис. 9) должна совершить основной поворот, чтобы разделить окружность на  $z_{\phi}$  частей, и дополнительный, чтобы компенсировать указанную выше разницу. Вращение диска  $D_1$  передается от шпинделя делительной головки через сменные колеса  $\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$  и

Рис. 9. Схема наладки делительной головки на дифференциальное деление

коническую пару зубчатых колес. Расчет настройки сводится к определению передаточного отношения сменных зубчатых колес

$$n_p = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{40}{z_{\phi}} (z_{\phi} - z),$$

Если  $z_{\phi} > z$ , то делительный диск должен вращаться по часовой стрелке, т.е. по направлению вращения рукоятки делительной головки.

Если  $z_{\phi} < z$ , то делительный диск должен вращаться против часовой стрелки, т.е. навстречу вращения рукоятки делительной головки. для этого в гитару сменных зубчатых колес необходимо установить дополнительную паразитную шестерню.



С универсальной делительной головкой поставляется набор сменных зубчатых колес с числами зубьев: 20, 25, 30, 35, 40, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100.

### Содержание отчета

1. Подобрать сменные зубчатые колеса при наладке делительной головки для нарезания зубчатого колеса с заданными параметрами.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Задания по настройке зубофрезерного станка 5Д32 на нарезание цилиндрического зубчатого колеса

Таблица 1

N задания	Параметры нарезаемого колеса		Режимы резания		N задания	Параметры нарезаемого колеса		Режимы резания	
	z	$\beta$	v	s		z	$\beta$	v	s
		град	м/мин	мм/об			град	м/мин	мм/об
1	28	24	24	1,4	11	46	7	18	0,8
2	30	16	20	0,9	12	47	9	16	0,9
3	32	8	16	0,7	13	48	11	21	1,1
4	35	30	17	1,3	14	49	15	25	1,3
5	36	14	18	1,1	15	50	18	10	0,8
6	38	10	25	0,7	16	101	0	20	0,6
7	40	9	14	0,9	17	107	0	18	1,2
8	43	11	21	0,8	18	109	0	15	1,1
9	45	6	15	0,7	19	113	0	25	0,9
10	57	15	30	0,8	20	127	0	21	0,8

Примечание: червячная фреза  $m=2$  мм,  $k=1$ ,  $D=60$  мм

### Задания по настройке зубодолбежного станка 5В12 на нарезание цилиндрического зубчатого колеса

Таблица 2

N задания	Параметры нарезаемого колеса		Режимы резания		N задания	Параметры нарезаемого колеса		Режимы резания	
	b	z	v	s		b	z	v	s
	мм		м/мин	мм/дв.х		мм		м/мин	мм/дв.х
1	8m	20	20	0,06	11	8m	29	32	0,06
2		21	21	0,07	12		30	34	0,07
3		22	22	0,09	13		31	36	0,09
4		23	24	0,10	14		32	38	0,10
5		24	25	0,12	15		33	40	0,12
6		25	26	0,14	16		34	30	0,14
7		26	27	0,13	17		35	28	0,13
8		27	28	0,12	18		36	26	0,12
9		28	30	0,15	19		37	20	0,15
10		40	25	0,12	20		43	20	0,09

Примечание: долбяк  $z=34$ ,  $m=1,5$ ,  $D=51$  мм.

**Задания по настройке токарно-затыловочного станка 1Б811  
на обработку червячной модульной фрезы**

Таблица 3

N задания	Параметры обрабатываемого изделия				Режимы резания	N задания	Параметры обрабатываемого изделия				Режимы резания
	k	m	z	D	V		k	m	z	D	V
	мм	мм	мм	мм	м/мин		мм	мм	мм	мм	м/мин
1		2	6	40	3	11		4	8	110	4
2		2	8	50	4	12		4	10	80	5
3		2	10	60	5	13		2	12	90	3
4		2	12	80	3	14		2	7	100	4
5	1,0	3	7	90	4	15	1,0	3	9	110	5
6		3	9	110	5	16		3	11	120	3
7		3	11	120	3	17		3	13	130	4
8		3	13	140	4	18		4	15	140	5
9		4	15	90	5	19		4	10	60	3
10		4	6	100	3	20		4	12	80	5

**Задания по настройке зубофрезерного полуавтомата 5П23  
на нарезание конического зубчатого колеса**

Таблица 4

N задания	Параметры обрабатываемого изделия			Режимы резания		N задания	Параметры обрабатываемого изделия			Режимы резания	
	m	z	φ	V	t		m	z	φ	V	t
	мм		град	м/мин	с		мм		град	м/мин	с
1		20	30		18	11		33	48		28
2		21	32		19	12		34	50		29
3		22	34		20	13		35	52		30
4		24	35		21	14		36	60		31
5	2,0	25	36	50	22	15	2,0	37	58	50	32
6		26	37		23	16		38	57		33
7		27	38		24	17		39	65		34
8		28	39		25	18		40	70		35
9		29	40		26	19		41	75		36
10		31	45		27	20		42	80		37

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	3
Работа 1. Способы подбора сменных зубчатых колес . . . . .	3
Работа 2. Настройка универсального зубофрезерного станка модели 5Д32 . . . . .	7
Работа 3. Настройка вертикального зубодолбежного станка модели 5В12 . . . . .	16
Работа 4. Настройка токарно-затыловочного станка модели 1Б811 . . . . .	21
Работа 5. Настройка зубофрезерного полуавтомата модели 5П23 . . . . .	25
Работа 6. Устройства кинематической настройки универсальных станков . . . . .	31
Приложения . . . . .	34