

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»

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И СТРУКТУР ПРИВОДОВ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

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

Утверждены на заседании кафедры

«7» ноября 2013 г.

Рекомендованы методическим советом университета в рамках проекта
«Инженерные кадры Зауралья»

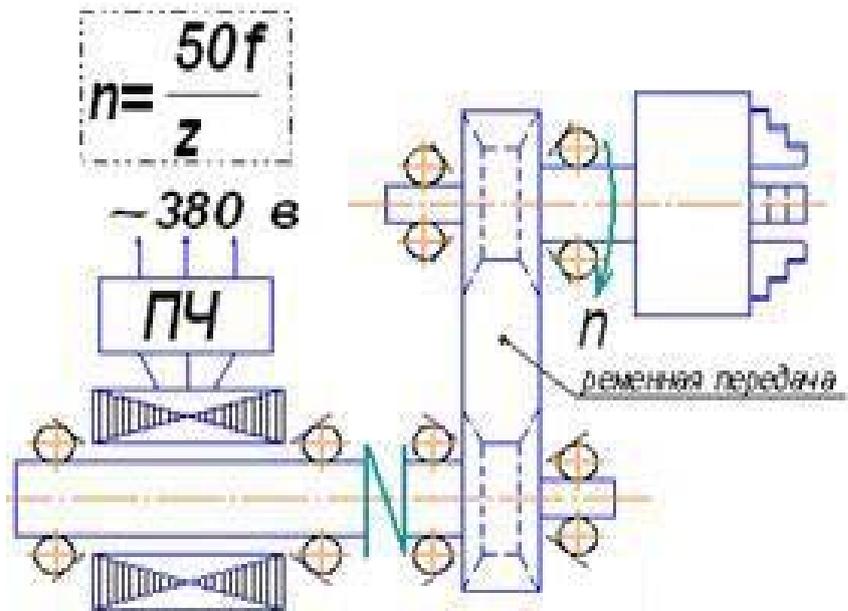
«25» ноября 2013 г.

1 Основные типы приводов и их состав

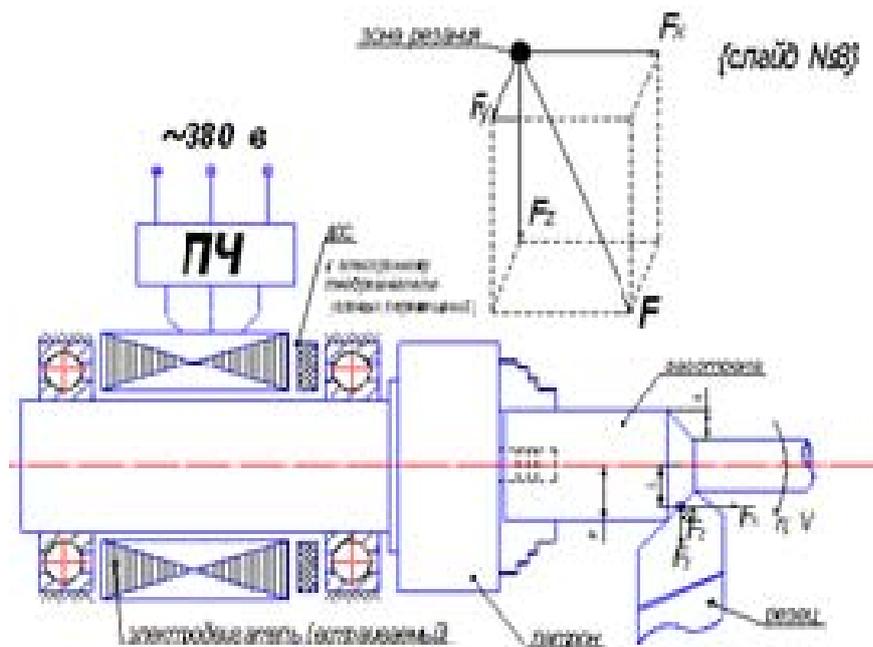
Привод станка сообщает инструменту и заготовке относительные движения необходимые для осуществления технологического процесса обработки. Привод станка делят на привод главного движения, привод подач и вспомогательных перемещений. К каждому виду привода, с учётом его назначения, предъявляют свои специфические требования по передаче силы или крутящего момента, обеспечению: заданных параметров (путь, скорость, направление и др.) движения; их изменения и настройки; точности перемещения и погрешности позиционирования приводного узла; быстродействию; передаваемой мощности и т.п. Главный привод станка обеспечивает получение и настройку одного из движений формообразования (вращательного или поступательного движения заготовки или инструмента) – движения резания. Привод состоит из источника движения (двигателя, чаще всего электродвигателя), постоянных передач, органов настройки на параметры движения и исполнительного органа. В качестве органа настройки на скорость используют: шестеренные коробки, гитары сменных зубчатых колёс, регулируемые двигатели, вариаторы и другие механизмы. Органы настройки конструируют в виде отдельных узлов или встраивают в корпусные детали станка.

Регулирование скорости движения исполнительного органа в приводе может быть ступенчатым или бесступенчатым. Ступенчатое регулирование даёт возможность устанавливать лишь определённые значения скорости в заданном диапазоне, следовательно, расчетная скорость, например частота вращения шпинделя, не всегда может быть установлена точно. Однако приводы со ступенчатым регулированием более компактны и просты, имеют более высокий КПД и долговечность по сравнению с ранее существовавшими устройствами бесступенчатого регулирования и поэтому были более распространены до появления дешёвых и простых в реализации способов бесступенчатого регулирования скорости вращения электродвигателей. Однако и в приводах с такими электродвигателями присутствует механическая часть, спроектированная по принципу проектирования ступенчатых приводов.

В современных высокоскоростных станках с ЧПУ возможно использование приводного регулируемого электродвигателя в качестве единственного органа настройки на скорость. Варианты структуры таких приводов главного движения показаны на рисунке 1.



а



б

а) эл/двигатель – ременная передача – шпиндель; б) мотор – шпиндель
 Рисунок 1 – Варианты структур высокоскоростных приводов станков с ЧПУ

Механическая часть привода главного движения со ступенчатым регулированием частот вращения шпинделя состоит из постоянных и групповых передач (двух валовых шестеренных коробок на две, три и реже четыре ступени). Постоянные передачи (ремённые, зубчатые, червячные и др.) служат для редуцирования частоты вращения и формирования пространственной компоновки станка. Групповые передачи (рисунок 2) обеспечивают требуемый

ряд частот вращения шпинделя.

Передача с передвигными колёсами (скользящий блок зубчатых колёс) (рисунок 2 а) позволяет передавать большие крутящие моменты, имеет высокий КПД, так как в зацеплении участвует только одна пара зубчатых колес. В них нельзя использовать косозубые колёса и нельзя переключать передачи на ходу.

Передачу с электромагнитными муфтами (рисунок 2 б) можно переключать на ходу, что, позволяет автоматизировать управление приводом. В этом случае передача может состоять из косозубых колёс, что уменьшает уровень шума и вибраций.

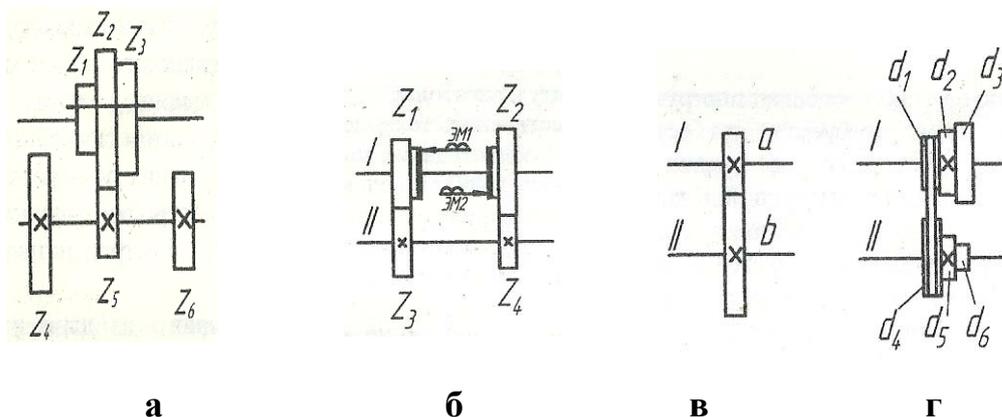


Рисунок 2 – Типы групповых передач

Передача со сменными колёсами – гитара сменных колес (рисунок 2 в) отличается компактностью и, как правило, применяется в комбинации с передвигными зубчатыми колёсами, либо в приводах станков, не требующих частой переналадки.

Передачи со ступенчатыми шкивами (рисунок 2 г) работают плавно, однако имеют большие габариты, низкую кинематическую точность (возможно проскальзывание ремней) и поэтому находят ограниченное применение.

Коробки скоростей обычно состоят из нескольких групп передач, соединенных друг с другом последовательно и/или параллельно-последовательно. При последовательном соединении групп структура коробки скоростей носит название множительной, а при параллельно-последовательном – сложенной (составной).

1.1 Приводы с последовательно соединёнными групповыми передачами

Предположим, что многогрупповая структура привода включает r последовательно соединённых групповых передач a, b, \dots, r с соответствующими числами передач P_a, P_b, \dots, P_r . Общее число частот вращения шпинделя (или выходного вала) определяется произведением чисел передач в группах $Z = P_a \cdot P_b \cdot \dots \cdot P_r$.

В кинематическом порядке расположения группы передач делят на основную и переборные.

Первая в кинематическом порядке расположения группа называется

основной и характеризуется тем, что соседние передаточные отношения ее передач отличаются в φ раз. Следовательно, характеристика X_0 – степень при φ основной группы равна единице. С ее помощью получают основной ряд частот вращения выходного вала коробки скоростей со знаменателем φ . На структурной сетке (рисунок 2 б) привода она изображается лучами, расходящимися на один интервал относительно друг друга. Число лучей соответствует числу передач группы.

Второй в кинематическом порядке расположения будет первая переборная, имеющая характеристику, равную числу передач основной группы, т.е. $X_1 = P_0$. Характеристика второй переборной группы равна произведению чисел передач основной и первой переборной групп – $X_2 = P_0 \cdot P_1$. Для последующих переборных групп характеристика определяется произведением чисел передач в предшествующих группах. На структурной сетке лучи в переборных группах будут расходиться на число интервалов равное характеристике группы.

Конструктивно последовательность расположения групповых передач (основной и переборных) теоретически может быть любой. Этот порядок будет определять конструкцию привода и его габаритные размеры. Конструктивный и кинематический порядок расположения основной и переборных групп записывают в виде структурной формулы. Если группа a является основной, группа b – первой переборной, группа c – второй переборной и т.д., тогда структурная формула запишется в виде:

$$Z = P_a (x_1 = 1) \cdot P_b (x_2 = p_a) \cdot \dots \cdot P_r (x_r = p_a \cdot p_b \cdot \dots \cdot p_{r-1}),$$

где P_a, P_b, \dots, P_r – число передач в группах,

x_1, x_2, \dots, x_r – характеристики групп соответственно основной, первой переборной и т.д.

Такая структура привода носит название нормальной множительной. Выполняя кинематический расчёт привода, сначала строят структурную сетку. Число горизонтальных линий в ней на единицу больше числа групп передач в приводе, число вертикальных линий равно числу частот вращения шпинделя.

В поле между соседними горизонтальными линиями с помощью лучей изображают соответствующую групповую передачу. Структурная сетка всегда симметрична. Вариант структуры, когда конструктивно группы расположены по мере убывания числа передач в них, а за основную принята первая из них, т.е. группа с наибольшим числом передач обычно соответствует оптимальному варианту конструкции коробки (рисунок 3).

Пример 1. Построим структурную сетку привода с последовательно соединёнными групповыми передачами на число частот вращения шпинделя равным 12.

Запишем структурную формулу коробки в следующем виде: $Z = p_a \cdot p_b \cdot p_c = 3 \cdot 2 \cdot 2 = 12$. Пусть первая по порядку группа основная, следующая – первая переборная и последняя – вторая переборная. Тогда

характеристики групповых передач будут: $x_2 = p_a = 3$; $x_3 = p_a \cdot p_b = 3 \cdot 2 = 6$.
Кинематическая схема и структурная сетка привода изображены на рисунке 3.

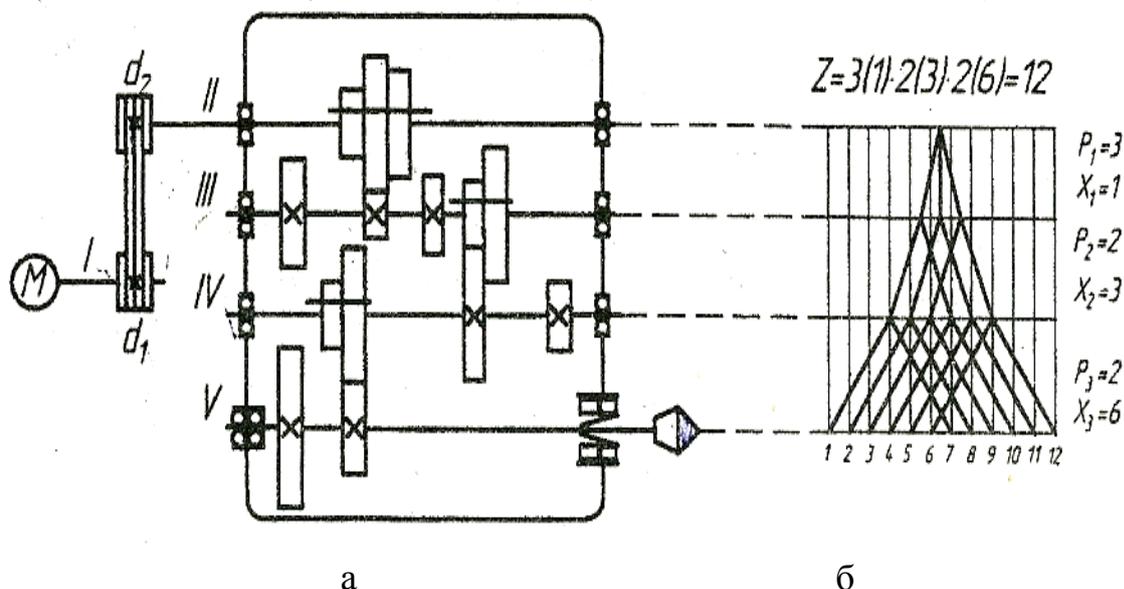


Рисунок 3 – Кинематическая схема привода с последовательно соединенными групповыми передачами на 3, 2 и 2 ступени (а) и его структурная сетка (б)

1.2 Приводы со сменными зубчатыми колёсами

В тех случаях, когда некоторые частоты вращения шпинделя используются особенно часто, в структуре привода применяют однопарные гитары сменных зубчатых колёс с постоянным межцентровым расстоянием между валами гитары. Такая структура позволяет получить более широкий диапазон регулирования частот вращения шпинделя при упрощении конструкции коробки скоростей и, следовательно, уменьшении её габаритов.

Конструктивно гитару сменных колёс целесообразно располагать в области высоких частот вращения привода (как правило, сразу после электродвигателя) и рассматривать её как обычную множительную группу передач. В кинематическом порядке расположения гитару более рационально принять за основную группу с характеристикой $x_1 = 1$.

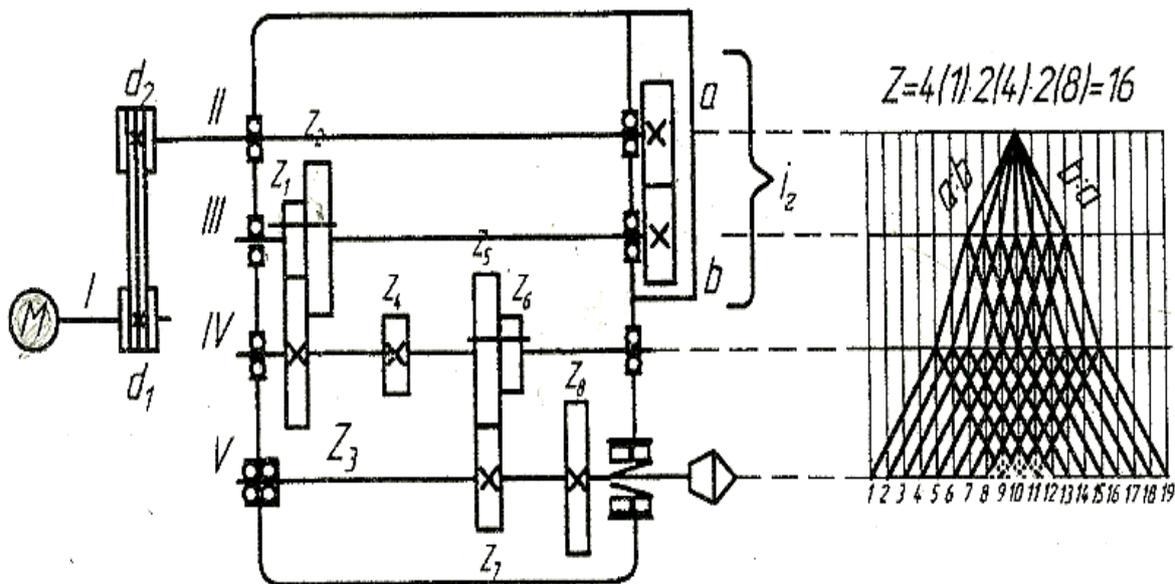
Пример 2. Спроектируем привод на число ступеней (частот) вращения шпинделя $z = 16$, используя гитару сменных зубчатых колёс.

Оптимальным структурным вариантом такого привода будет:

$$Z = 4_1 \cdot 2_4 \cdot 2_8 = 16.$$

Здесь роль основной группы на 4 ступени выполняет гитара с четырьмя парами сменных колёс a и b . Для уменьшения вдвое числа сменных колёс, колёса a и b можно менять местами, а при четырёх парах сменных колёс будем иметь основную группу не на четыре, а на семь ступеней и, в результате, более широкий общий диапазон регулирования привода, получив на шпинделе, например, не 16, а 19 частот вращения.

Кинематическая схема и структурная сетка такого привода изображены на рисунке 4.



а) с гитарой сменных зубчатых колес; б) структурная сетка
Рисунок 4 – Кинематическая схема привода

Из рисунка 4 видно, что в середине диапазона три частоты перекрыты, т.е. каждая получена двумя разными вариантами зацепления шестерен коробки. Это произошло от того, что в варианте структуры $7 \cdot 2 \cdot 2$, для которой построена сетка, правило назначения характеристик групп нарушено, а именно, в место характеристик: $(1 - 7 - 14)$, взяты $-(1 - 4 - 8)$, т.е. размах лучей в первой и второй переборных группах уменьшены на 3 и на 6 интервалов соответственно и сетка построена для формулы:

$$Z = 7_1 \cdot 2_4 \cdot 2_8 = (28 - 3 \cdot 2 - 3) = 19.$$

Это и привело к потере (из-за перекрытия) девяти потенциальных частот вращения шпинделя.

1.3 Приводы сложенной структуры

Сложенную (составную) структуру получают из двух или более определённым образом соединённых структур с последовательно включенными групповыми передачами. Основная структура участвует в передаче на шпиндель всех частот вращения, каждая дополнительная используется для передачи только части частот вращения. Существует несколько вариантов сложенных структур. Один из них приведён на рисунке 4, где 1- основная структура с Z_0 частотами вращения (степенями), 2-дополнительная структура с Z_1 степенями. Такой привод обеспечивает на шпинделе

$$Z = Z_0 + Z_0 \cdot Z_1 = Z_0 \cdot (1 + Z_1) \text{ различных частот вращения.}$$

Структурную сетку строят отдельно для каждой из слагаемых структур так же как для привода с нормальной множительной структурой.

По сравнению с множительными структурами сложенные структуры обладают рядом преимуществ. Во-первых, они позволяют получать большое число частот вращения шпинделя и, следовательно, иметь большой диапазон регулирования. Во-вторых, высокие частоты вращения шпинделя получаются с

помощью коротких кинематических цепей, что снижает металлоемкость привода и повышает его КПД.

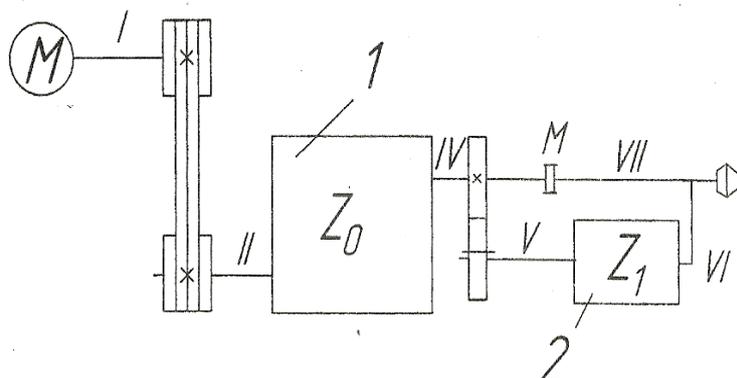


Рисунок 5 – Компоновочная схема привода сложной структуры

Пример 3. Пусть основная структура 1 привода, изображённого на рисунке 5, обеспечивает $Z_0 = 6$ ступеней вращения, дополнительная – $Z_1 = 4$ ступени. Тогда общее число частот вращения шпинделя будет равно $Z = 6 \cdot (1 + 4) = 30$.

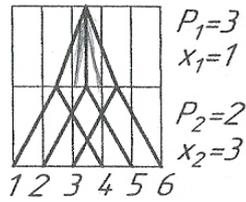
Одна из возможных структурных формул такого привода имеет вид:

$$Z = 3_1 \cdot 2_3 \cdot [1 + 2_6 \cdot 2_{12}] = 30.$$

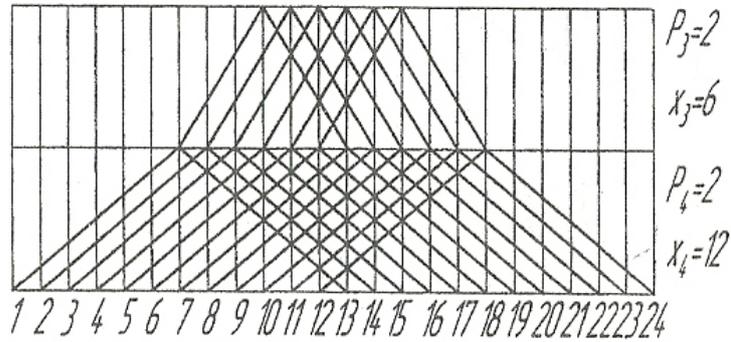
Структурные сетки и график частот вращения этого привода изображены на рисунке 6.

Наиболее простой разновидностью привода сложной структуры является привод с механизмом перебора (рисунок 7 а), в которых одна часть частот вращения шпинделя, как правило высоких, совпадает с частотами вращения ведущего вала III перебора, другая часть (нижние частоты) передается двумя парами зубчатых колёс Z_1/Z_2 и Z_3/Z_4 , входящих в переборное устройство и дающих значительное уменьшение передаточного отношения.

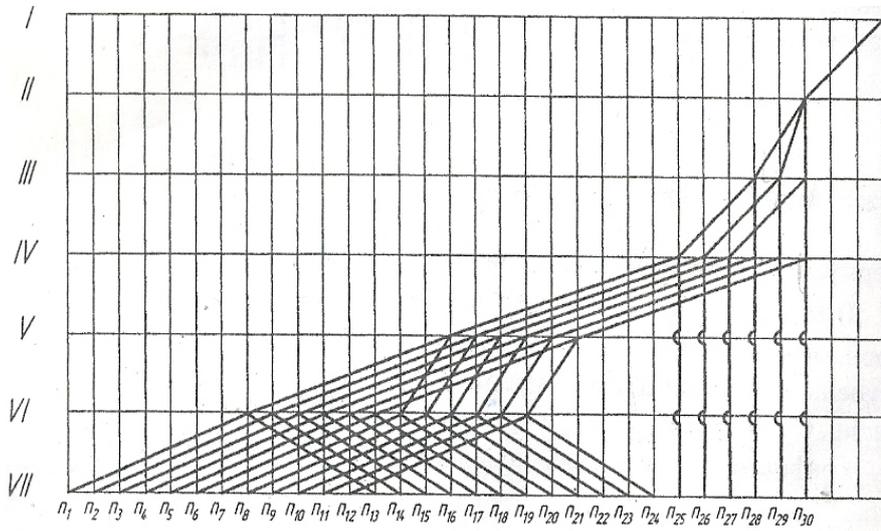
С вала II автоматической коробки скоростей, обеспечивающей получение Z_0 частот вращения (основная структура), движение передаётся на ведущий вал III переборного устройства через ремённую передачу. Далее движение передаётся либо непосредственно шпинделю (вал I) при включении муфты M, либо через две пары колёс перебора: Z_1/Z_2 и Z_3/Z_4 .



а



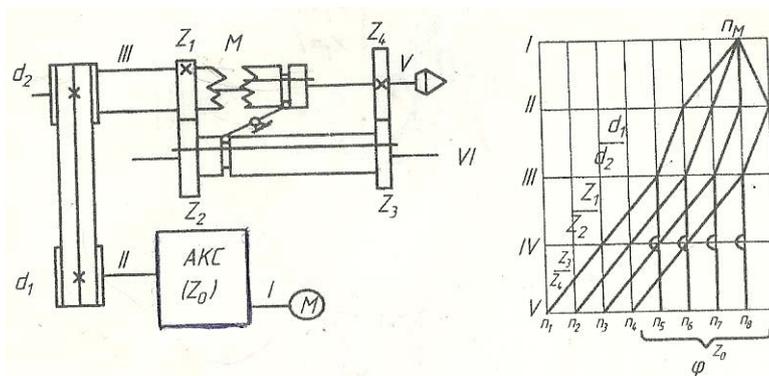
б



в

Рисунок 6 – Структурные сетки: основной (а) и дополнительной (б) структур и график частот вращения (в) привода сложной структуры

$$Z = 3_1 \cdot 2_3 \cdot [1 + 2_6 \cdot 2_{12}] = 30$$



а

б

Рисунок 7 – Схема привода с перебором (а) ($Z = 4_1 \cdot 2_4 = 8$) и график частот вращения шпинделя (б)

Передаточное отношение перебора

$$i_p = Z_1/Z_2 \cdot Z_3/Z_4 = 1/\varphi^{z_0}$$

может достигать предельного значения $\frac{1}{16}$ при $Z_1/Z_2 = Z_3/Z_4 = 1/4$.

В формуле Z_0 – число частот основной структуры привода, например автоматической коробки скоростей (АКС).

Пример 4. Спроектировать привод главного движения с переборным устройством на $Z = 8$. Пусть основная структура привода (АКС) обеспечивает 4 ступени частот вращения, тогда дополнительная (переборное устройство) должно быть на 2 ступени. Структурная формула привода запишется:

$$Z = 4_1 \cdot 2_4 = 8$$

Схема этого привода и график частот вращения шпинделя изображены на рисунке 7.

2 Компоновка приводов

Приводы бывают нераздельными и раздельными. Нераздельный привод (рисунок 2 а) выполняется в виде комплекса коробки скоростей и шпиндельного узла, помещаемых в общий корпус. Такая конструкция компактна, но часто имеет неудовлетворительные динамические характеристики и теплостойкость, так как колебания и выделяемая в коробке скоростей теплота передаются на шпиндель, приводя к потере точности вращения последнего.

Раздельный привод (рисунок 8) состоит из коробки скоростей и шпиндельной бабки (ШБ), выполненных в разных корпусах. Движение от последнего вала коробки скоростей к шпиндельной бабке подаётся через ремённую передачу. Ремённая передача в таком приводе, помимо, своего основного назначения, играет роль демпфера, гася вибрации, возникающие в коробке скоростей и тем самым повышая надёжность и долговечность привода. Для увеличения диапазона регулирования частот в шпиндельную бабку иногда встраивают перебор, который может быть одиночным или двойным. Шпиндельный узел в раздельном приводе нагревается меньше.

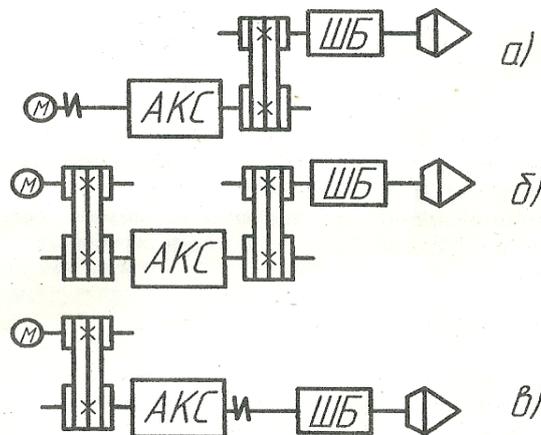


Рисунок 8 – Схемы компоновок раздельных приводов с АКС

Учитывая, что электродвигатель является мощным источником выделения тепла и вибраций более предпочтительными являются компоновки,

изображённые на рисунках 8 б, в.

3 Порядок выполнения работы

Объектом анализа является приводы главного движения токарных станков с ЧПУ моделей: 16Б25ПФ3, АТПР2М12, 16К20Ф3.

Привод главного движения станка 16Б25ПФ3 включает источник движения (односкоростной электродвигатель $n_{э/об} = 930 об/мин$), ремённую передачу, связывающую двигатель с органом настройки (автоматической коробкой скоростей), вторую ремённую передачу, связывающую АКС со шпиндельной бабкой и исполнительный орган (шпиндельный узел).

Привод раздельный, содержит два органа настройки: АКС и расположенный в шпиндельной бабке двойной механизм перебора, связанных между собой зубчатым ремнём.

Главный привод станка АТПР2М12 состоит из односкоростного электродвигателя и совмещенной со шпиндельной бабкой коробки скоростей, имеющей в своей структуре гитару сменных колес.

Привод станка 16К20Ф3 оснащен асинхронным регулируемым электродвигателем и коробкой скоростей, обеспечивающей три бесступенчатых поддиапазона частот вращения шпинделя (рисунок 9).

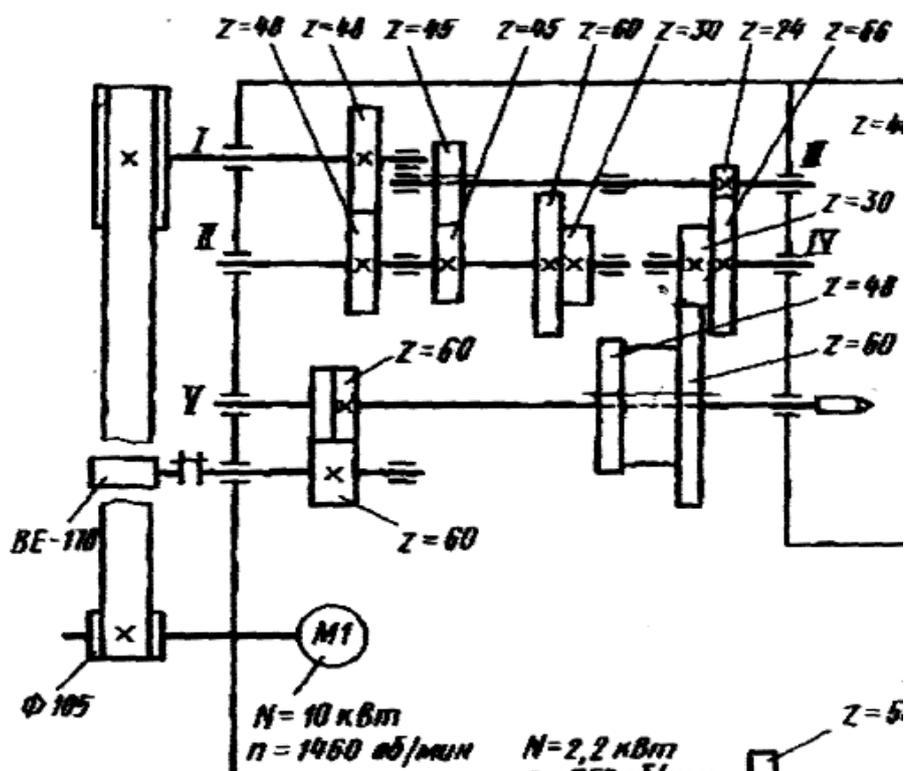


Рисунок 9 – Кинематическая схема привода главного движения станка 16К20Ф3

Работа выполняется в следующем порядке:

- 1 Дать назначение привода главного движения в станке.

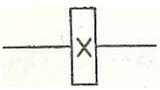
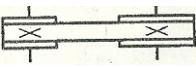
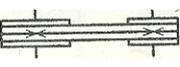
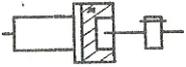
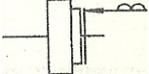
2 Описать компоновки приводов, выделив характерные особенности и преимущества, которыми они обладают. Изобразить компоновочную схему привода для анализируемого станка.

3 По образцу составить кинематическую схему привода.

Примечание. Кинематическая схема какого-либо привода – это условное изображение, развёрнутой на плоскость совокупности ряда передач: зубчатых, ременных и др., осуществляющих передачу движений от начального звена цепи к конечному, например, от электродвигателя к шпинделю.

Схема изображается в соответствии с требованиями ГОСТ 2.770-68 (2000) ЕСКД. Обозначения условные в схемах. Элементы кинематики. Условные обозначения некоторых элементов кинема обозначения технических схем приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Условные обозначения некоторых элементов кинематических схем

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Источник движения (электродвигатель)		Жесткое соединение колеса с валом	
Ременная передача с плоским ремнем.		Подвижное соединение колеса с валом	
Ременная передача с клиновым ремнем		Соединение двух муфт	
Зубчатая муфта		Соединение колеса с валом посредством электромагнитной муфты	

Передачи и механизмы на кинематической схеме показываются наглядным контуром, напоминающим форму действующих устройств.

После изображения кинематической схемы дать описание конструкции привода, т.е. указать и перечислить, какие типовые механизмы используются в данном приводе (например: скользящий блок зубчатых колес, механизмы с муфтами, механизмы реверса, переборные устройства и т.д.), отметив их назначение и конструктивные особенности.

На кинематической схеме пронумеровать валы римскими цифрами, начиная от вала электродвигателя и заканчивая шпинделем.

4 Подсчитать числа зубьев всех колес привода, расположенных как в АКС,

так и шпindelной бабке, диаметры шкивов ременной передачи и число зубьев шкивов в передаче зубчатым ремнем и проставить полученные значения на кинематических схемах рядом соответствующим элементом.

5 Подсчитать передаточные отношения всех передач, выразив их через знаменатель геометрического ряда φ . В рассматриваемом приводе $\varphi = 1,26$. Для повышающих передач, когда передаточное отношение $i > 1$ необходимо записать в виде $i = \varphi^x$, для понижающих передач, когда $i < 1$, должно быть записано $i = \frac{1}{\varphi^x}$ или $i = \varphi^{-x}$.

Таблица 2 – Пример определения передаточных отношений передач через числа зубьев сопрягаемых колес и диаметры шкивов при $\varphi = 1,26$

Пара метр i	$i_1 = 1 = \varphi^0$	$i_2 = \frac{1}{1,26} = \frac{1}{\varphi}$	$i_3 = \frac{1}{1,58} = \frac{1}{\varphi^2}$	$i_4 = \frac{1}{2} = \frac{1}{\varphi^3}$	$i_5 = \frac{1}{1,26} = \frac{1}{\varphi}$	$i_6 = \frac{1}{3,16} = \frac{1}{\varphi^5}$
$Z_1 : Z_2$	27:27	24:30	21:33	18:36	33:42	18:57
$\sum Z$	54				75	

6 По кинематической схеме и передаточным отношениям передач определить количество групповых передач привода, число передач в каждой группе, их кинематический (структурный) порядок расположения и общее число частот вращения шпинделя. На основании этого составить структурную формулу привода.

7 Построить график частот вращения шпинделя, исходя из кинематической схемы и структурной формулы привода по следующему алгоритму. Сначала горизонтальными линиями на графике условно изображают валы привода, в том числе вал электродвигателя. Затем проводят вертикальные линии, число которых должно соответствовать числу частот вращения шпинделя. Точки пересечения вертикальных линий соответствуют частотам вращения валов. Интервал между вертикальными линиями соответствует величине десятичного логарифма знаменателя геометрического ряда частот φ . На валу электродвигателя наносят частоту его вращения. На последнем валу (шпинделе) – стандартные значения частот по нормали станкостроения Н1 1–1. Порядок нанесения частот слева – направо, начиная с минимальной частоты n_1 , и заканчивая максимальной n_z . Валы нумеруются римскими цифрами, включая вал электродвигателя и шпиндель (нумерация сверху – вниз). Масштаб построения графика: расстояние между вертикальными линиями (частотами) – 5мм, между горизонтальными (валами) в четыре раза больше. После этого строят сам график. Последовательно, начиная с первого вала и до последнего, соединяют линиями (лучами) соответствующие точки соседних валов. Число лучей должно соответствовать числу передач в группе (для групповых передач). Число интервалов, на которые луч уходит от вертикального положения,

соответствует передаточному отношению передачи. Луч с наклоном вправо изображает повышающую передачу ($i = \varphi^x$), с наклоном влево – понижающую ($i = 1/\varphi^x$ или $i = \varphi^{-x}$), вертикальный – передачу с $i = 1 = \varphi^0$. Параллельные лучи изображают одну и ту же передачу. Рядом с каждой передачей на графике проставляют передаточные отношения, выражая их через числа зубьев сопряженных колес или диаметры шкивов.

8 Провести анализ структуры привода и дать его характеристику, используя для этого кинематическую схему и структурную формулу привода.

9 Подсчитать передаточное отношение механизма перебора для каждой ступени и показать на графике диапазон частот для каждой ступени перебора.

10 Описать способ управления приводом.

11 Оформить отчет о лабораторной работе.

Курдюков Владимир Ильич

**АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И СТРУКТУР ПРИВОДОВ
ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ**

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 60x841x16	Бумага тип №1
Печать цифровая	Усл. печ. л. 1,0	Уч.-изд. л. 1,0
Заказ 99	Тираж 22	Не для продажи

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