1. **Общий вид станка. Описание назначения и основных характеристик базовой модели станка. Кинематическая схема станка.**

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

*2*

## КП 150305 003 000 ПЗ

Общий вид станка 1720ПФ30 приведен на рис. 1.

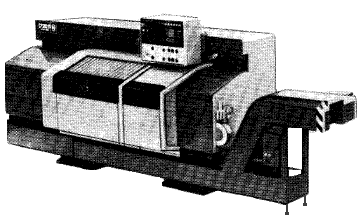


Рис. 1

Токарный патронно-центровой полуавтомат 1720ПФ30 с ЧПУ предназначен для токарной обработки наружных и внутренних поверхностей деталей типа тел вращения со ступенчатым и криволинейным профилем, а также для нарезания резьб в автоматическом режиме по управляющей программе.

Полуавтомат может быть оснащен различными системами ЧПУ.

Таблица 1. Технические характеристики станка

|  |  |
| --- | --- |
| **Наименование показателя** | **Показатель** |
| Наибольший диаметр обрабатываемой детали, установленной над станиной, мм | 400 |
| Наибольший диаметр обрабатываемой детали, установленной над кареткой, мм | 320 |
| Наибольший диаметр обрабатываемой детали, установленной над суппортом, мм | 210 |
| Наибольший диаметр прутка, проходящего через отверстие в шпинделе, мм | 68 |
| Наибольшая длина обрабатываемой детали, мм | 750 |
| Наибольшая масса обрабатываемой детали, кг | 20 |
| Частота вращения шпинделя, об/мин | 25 - 3150 |
| Диапазоны частот вращения шпинделя, об/мин | 25 … 800 100 … 3150 |
| Шаг нарезаемой резьбы, мм | 0,01..40 |
| Величина подач, мм/об продольная поперечная | 0,01 - 20 0,005 - 10 |
| Наибольшая скорость рабочей подачи, мм/мин продольной поперечной | 5000 2500 |
| Скорость быстрого перемещения инструмента, мм/мин продольного поперечного | 10000 5000 |
| Скорость перемещения задней бабки, мм/мин | 4000 |
| Дискретность задания перемещений, мм по оси Х по оси Y | 0,001 0,001 |
| Высота резца, устанавливаемого в резцедержателе, мм | 25 |
| Количество позиций резцедержателя п /автоматической поворотной головке | 12 |
| Наибольшая суммарная потребляемая мощность, кВт | 37 |
| Мощность привода главного движения, кВт | 18,5 |
| Габариты полуавтомата, мм длина (без транспортера) ширина высота | 3795 1515 1800 |
| Масса полуавтомата, кг | 4900 |

Станок с ЧПУ, кинематическая схема которого показана на рис. 2, выпускается в двух исполнениях: силовом - с увеличенным крутящим моментом на шпинделе и скоростном - с увеличенным пределом частоты вращения шпинделя. Вращение шпинделя осуществляется от двигателя 1 (Р=18,5кВт; п=1500 об/мин) с регулируемой частотой вращения вращение передается с вала I на вал II через ременную передачу со шкивами 2 (226) и 3 (180), далее вращение передается через двухступенчатую коробку скоростей с вала II на вал III и далее на вал IV и поликлиновую ременную передачу со шкивами 4 (236) и 5 (187). Коробка скоростей в зависимости от положения шестерни-муфты 6/7 (которая переключается с помощью гидроцилиндра) обеспечивает передачу вращения или напрямую (передаточное отношение 1:1) или через шестерни 7 (z = 20, m = 3) - 8 (z = 56, m = 3), 9 (z = 31, m = 3) - 6 (z = 45, m = 3) с общим передаточным отношением i = 1:4. С вала IV вращение передается на шпиндель 10. Резьбонарезание осуществляется при помощи датчика резьбонарезания 11, связанного со шпинделем зубчато ременной передачей 12 (z = 51, m = 4) - 13 (z = 54, m = 4). Продольное и поперечное перемещение суппортов осуществляется от двигателей 14, 15, 16, через соответствующую ременную передачу со шкивами 17 (63) и 18 (125) и шариковинтовые пары с шагом Р = 10 мм и Р = 5 мм.

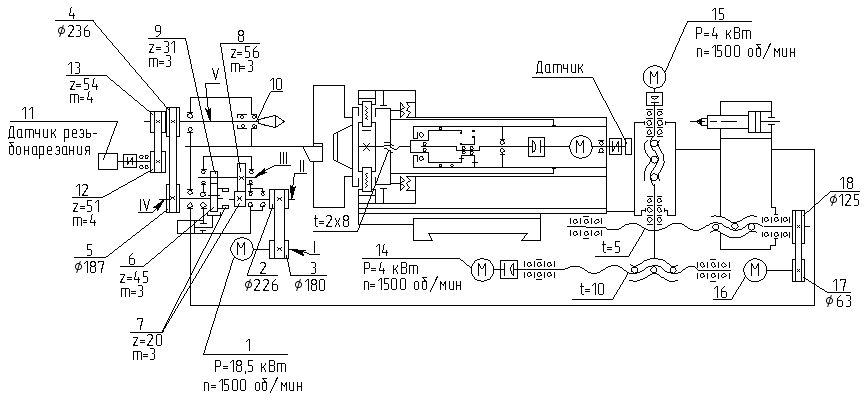


Рис. 2 Кинематическая схема станка 1720ПФ30

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

*3*

## КП 150305 003 000 ПЗ

**2. Определение знаменателя геометрической прогрессии ряда частот вращения выходного вала привода главного движения.**

Недостатком бесступенчатого регулирования скорости является ограниченность диапазона регулирования RБ. У двигателей постоянного тока при постоянной передаваемой мощности обычно **RБ ≤ 4**. Чтобы использовать преимущества бесступенчатого регулирования и охватить больший диапазон регулирования привода RП, к регулируемому двигателю добавляют коробку передач на несколько ступеней с диапазоном регулирования RК. При этом должно выполняться условие RП = RБ·RК, т.е. коробку скоростей можно рассматривать как переборную группу, расширяющую диапазон регулирования привода. При переключении коробки на соседнюю скорость последняя должна меняться в RБ раз, если нет разрывов и перекрытий. Следовательно, знаменатель ряда скоростей у коробки передач **φк = RБ**

Общий диапазон регулирования привода:

RП = RБ·RК= RП = Rz-1Б·RБ= RzБ=42=16

где z - количество скоростей (ступеней) привода

Нежесткость механической характеристики двигателя могут несколько сократить диапазон RБ при изменении нагрузки, что грозит появлением разрывов в ряду скоростей на выходе привода.

Во избежание этого предусматривают небольшое перекрытие частей диапазона, получаемых при переключении передач в группе. Для этого принимают: φк = k ⋅ RБ, где к = 0,95…0,98.

Тогда: RП = k ⋅ RzБ = 0,97 ⋅ 42 = 15,52

1. **Расчёт коробки скоростей станка.**

Анализ кинематической схемы станка 1720ПФ30 показывает, что привод главного движения включает электродвигатель две ременные передачи с передаточными отношениями , муфту, две пары зубчатых колес , и шпиндель (вал V). Двигатель с входным валом II коробки скоростей соединяется через ременную передачу с передаточным отношением , двигатель имеет номинальную *пн* = 1500 об/мин, максимальную *пд max* = 4500 об/мин и минимальную *пд min* = 50 об/мин частоту вращения. Двигатель с двухзонным регулированием в диапазоне от *пн* до *пд max* имеет постоянную мощность P, кВт и переменный крутящий момент. Номинальный момент Мдн и номинальная мощность двигателя Pдн связаны соотношением: Pдн = 2Мдн∙*пн*, где Pдн, в Вт; Мдн, в Н∙м; *пн*, в об/сек.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

*4*

## КП 150305 003 000 ПЗ

До модернизации в станке применялся двигатель серии 2ПФ, характеристики которого приведены в табл. 2. Эти двигатели достаточно часто встречаются в коробках скоростей станков с ЧПУ.

Пределы частот вращения у двигателей



Таблица 2 - Характеристика двигателя серии 2ПФ

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип тиристорного электропривода | Тип электродвигателя постоянного тока | Нормальная мощность электродвигателя, кВт | Номинальная частота вращения электродвигателя об/мин | Нормальное напряжение, кВА |
| ЭТЗ-142-1 802/1 500У4 | 2ПФ-1802ГУ4 | 18,5 | 1500 | 440 |

Привод главного движения необходимо модернизировать с целью расширения диапазона регулирования частот вращения шпинделя. Для этого применим электропривод «Мезоматик-V» структуры привода сохраним, т.е. оставляем две пары зубчатых колес, ременные передачи и муфту. Возможно, по результатам расчета, необходимо будет изменить передаточные отношения при сохранении межосевого расстояния между валами.

**3.1. Выбор основных геометрических параметров.**

Dmax = 210 мм - максимальный диаметр обработки детали;

Dmin = 30 мм - минимальный диаметр обработки детали;

Dрасч = 0,6Dmax = 0,6∙210 = 126 мм - расчетный диаметр обработки детали;

Высота центров



Принимаем по ГОСТ 440-57 *Н* = 160 мм.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

*7*

## КП 150305 003 000 ПЗ

**3.2. Расчет режимов резания.**

Предельный припуск на обработку определяем по формуле:

,

где Сt - коэффициент зависящий от материала и вида заготовки; для стали Сt = 0,7 - 0,8; принимаем Сt = 0,75.



Предельную подачу определяем по формуле:





Скорость резания при обработке твердым сплавом:

Vчерн = 60 - 120 м/мин; Vчист = 120 - 200 м/мин;

при обработке быстрорежущей сталью: Vчерн = 30 - 50 м/мин;

при обработке пластинами СМП: V = 180 - 320 м/мин.

Находим значения расчетных частот вращения шпинделя

где Vminбр - min скорость резания инструментом из быстрорежущей стали, Vminбр = 25 м/мин;

Vmaxтв.сп - max скорость резания инструментом фирмы Korloy из твердого сплава, Vmaxтв.сп = 320 м/мин;





Частоты вращения шпинделя стандартизированы, их нельзя назначать произвольно. Воспользуемся таблицей «Нормальные ряды чисел в станкостроении».

Привод главного движения должен обеспечить частоту вращения шпинделя пшт min = 50 об/мин; пшт max = 3550 об/мин максимально возможная частота вращения шпинделя не должна превышать пд max.

Мощность потребную на резание определяем исходя из составляющих сил резания. По результатам анализа технологических процессов, реализуемых на проектируемом станке и расчёта режимов резания определяем мощность, потребную на резание Рz. Задаваясь коэффициентом полезного действия (η = 0,8÷0,9) коробки скоростей, находим мощность двигателя.

Главную составляющую сил резания определяем по формуле:

****

где Ср = 300; хр = 1,0; ур = 0,75; пр = - 0,15; t = 4,46 мм; s = 1,38 мм/об; Vmax = 320 м/мин.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

*8*

## КП 150305 003 000 ПЗ



Кмр = 0,85; Кр = 0,89; Кγр = 1,0; Кλр = 1,0; Кrр = 0,91.



Определяем крутящий момент от сил резания



Эффективную мощность потребную на резание определяем по формуле:



Мощность электродвигателя главного движения определяем по формуле:



Исходные данные: привод главного движения должен обеспечить частоту вращения шпинделя n1 = пшт min = 50 об/мин; пшт max = 3550 об/мин максимально возможная частота вращения шпинделя не должна превышать пд max. Поэтому примем ее меньше, чем пд max = 4500 об/мин; пz = пшп тах= 3550 об/мин, как удовлетворяющую условию пz < пд max = 4500 об/мин; при знаменателе геометрической прогрессии φ = 1,12.

По ней подбираем двигатель. Выбираем двигатель электропривод типа «Мезоматик-V» производства Чехии (табл. 3) предназначен для приводов главного движения металлорежущих станков и других промышленных механизмов с числовым программным управлением.

Таблица 3 - Характеристика двигателя типа «Мезоматик-V»

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип двигателя | Номинал. мощноcть Рн, кВт. | Номинал. скорость, об/мин | Максимальная скорость, об/мин | | Номинал. момент Мн, Н·м | Номинал. ток Iя, А | Момент инерции J, кг/м2 | Масса, кг |
|  |  |  | при Рн | при снижении Рн |  |  |  |  |
| V160S | 30 | 1500 | 3000 | 4500 | 191 | 83 | 0,28 | 230 |

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

*10*

## КП 150305 003 000 ПЗ

### **3.3. Определение передаточных чисел. Расчет числа зубьев зубчатых колес. Построение графика частот вращения шпинделя.**

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

*12*

## КП 151001 003 000 ПЗ

Построим график частот вращения шпинделя. Для этого проведем горизонтальные линии, соответствующие валам I, II, III, IV, V коробки скоростей и вертикальные линии, соответствующие частотам вращения шпинделя от 50 об/мин до 4500 об/мин. Т.к. на графике откладываются не частоты вращения, а их логарифмы, то расстояние между вертикальными линиями одинаковы и равны lg. Из таблицы 3 переписываем частоты вращения шпинделя, соответствующие знаменателю  = 1,12 и наносим их на график.

Расчетная частота вращения шпинделя, при которой он получает от двигателя полную мощность и полный момент:



где Dz - диапазон частот вращения шпинделя.





Принимаем ближайшее большее стандартное число оборотов шпинделя за расчетное, пр= 160 об/мин.

Рассчитаем диапазон регулирования шпинделя с постоянной мощностью.



Назначим диапазон переключения в группе передач коробки скоростей



пределы передаточных отношений в группе передач 0,25 ≤ i ≤ 2

Примем значения imin = 0,25, imax = 1, тогда:



Диапазон регулирования двигателя с постоянной мощностью



Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

*13*

## КП 150305 003 000 ПЗ

Определим число ступеней скорости в механической части привода главного движения (коробка скоростей)



Принимаем zk = 4, т.к. нам нужно ещё одно передаточное отношение для предотвращения потерь мощности.

Наибольшее и наименьшее передаточные отношения назначены выше imin = 0,25, imax = 1. Выразим эти передаточные отношения через знаменатель ряда 



*i1 = imax = 1 =  0*





Найдем значения передаточного отношения ременной передачи iрем1. При nдmax = 4500 об/мин вал II должен иметь n44 = 3550 об/мин. Значение передаточного отношения iрем1 = 3550/4500 = 0,79. Передаточное отношение ременной передачи определяется также диаметрами шкивов. Зададимся диаметром шкива на двигателе D1 = 180 мм. Шкив на входном валу коробки скоростей находим из соотношения D1/D2= iрем1.

Отсюда D2 = D1/iрем1 = 180/0,8 = 228 мм.

Аналогично для второй ременной передачи iрем 2: D3=236 мм, D4=236 мм.

Нанесем iрем1 на график, соединив точки с частотами вращения 4500 об/мин и 3550 об/мин.

Нанесем на график i2 = 1/2,82 = 1/1,129, отложив в сторону уменьшения частот вращения шпинделя 9 клеток, получим n29 = 1250 об/мин. Нанесем i3=1/4=1/1,1212, отложив в сторону уменьшения частот вращения шпинделя 12 клеток n17 = 315 об/мин; i4=1/1,12, отложив в сторону уменьшения частот вращения шпинделя 1 клетку n28 = 1120 об/мин.

Определим максимальную частоту вращения вала II при частоте вращения двигателя nд.р.мах = 3000 об/мин, задавшись значением iрем1= 0,79:



Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

*13*

## КП 150305 003 000 ПЗ

Нанесем на график i2 = 1/2,82 = 1/1,129, отложив в сторону уменьшения частот вращения шпинделя 9 клеток, получим n26 = 900 об/мин. Нанесем i3=1/4=1/1,1212, отложив в сторону уменьшения частот вращения шпинделя 12 клеток n14 = 224 об/мин; i4=1/1,12, отложив в сторону уменьшения частот вращения шпинделя 1 клетку n25 = 800 об/мин.

Найдем частоту вращения вала II при включении на шпинделе расчетной частоты пр = 160 об/мин и округлим до стандартной:

nII р min =160/(0,25∙1/2,82) = 1800 об/мин.

При этом двигатель должен обеспечить частоту

пдв р = nII р min/(iрем 1) = 1800/0,79 = 2240 об/мин

На данной частоте двигатель развивает полную мощность, так как пдв р > пн.

Определим частоту вращения двигателя при включении n1:

nI р min = n1/(iрем 2∙i3 · i2∙i1) = 50/(1∙0,25 · 1/2,82∙0,79) = 710 об/мин

Определим частоту вращения шпинделя при минимальном передаточном отношении коробки скоростей (i2 = 0,25) и округляем до стандартного:



Для расчета чисел зубьев в коробке скоростей необходимо задаться величиной межцентрового расстояния. Это расстояние задают косвенно, через сумму зубьев зацепленных колес. В станке 1720ПФ30 межцентровое расстояние задано суммой зубьев Σz = 76 определения количества зубьев в конкретных передачах воспользуемся таблицей 1 «Определение чисел зубьев колес» пособия. i1 сохраним прежним, как 20:20, тогда получаем для i2 на пересечении строки с числом 2,82 и столбца Σz = 76 находим Z1=20, тогда Z2 = 76 - 20 = 56. Таким образом, первая пара колес в первой группе передач имеет передаточное отношение 2= Z1: Z2 = 20:56.

Аналогично находим передаточные отношения i3 = 16:60, i4 = 36:40

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

*13*

## КП 150305 003 000 ПЗ

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

*13*

## КП 150305 003 000 ПЗ



Рис. 3 График скоростей после модернизации привода главного движения

(i1=0=1.120=1; i2=1/9=1/1,129=1/2,82; i3=1/12=1/1,1212=1/4=0,25, i4=1/1=1/1,121).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | i1 = -0 | i2 = --9 | i3 = --12 | i4 = --1 |
| Z1/Z2 | 20/20 | 20/56 | 16/60 | 36/40 |
| ΣZ | 40 | 76 | 76 | 76 |

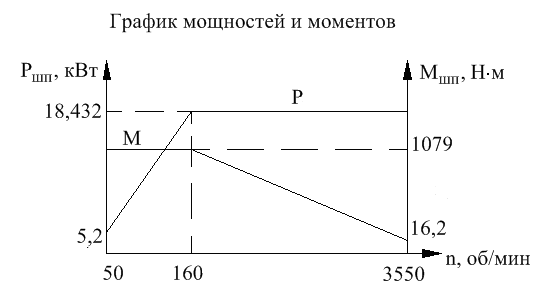


Рис. 4 График мощностей и крутящих моментов после модернизации привода главного движения

**3.4 Расчет мощностей на валах коробки скоростей.**

Эффективная мощность потребная на резание

Nэф = 18,432 кВт

Определим мощности на валах коробки скоростей

NI = Nэф = 18,432 кВт

NII = Nэф ∙ ηрем ∙ηпк = 18,432 ∙ 0,985 ∙ 0,995 =18,065 кВт

NIII = Nэф ∙ ηрем ∙ηпк2 ∙ ηзп = 18,432 ∙ 0,985 ∙ 0,9952 ∙ 0,95 =17,076 кВт

NIV = Nэф ∙ ηрем ∙ηпк3 ∙ ηзп2 = 18,432 ∙ 0,985 ∙ 0,9953 ∙ 0,952 =16,141 кВт

Уточненный кпд коробки скоростей

ηкс = ηрем ∙ηпк3 ∙ ηзп2 = 0,985 ∙ 0,9953 ∙ 0,952 = 0,876

Мощность потребляемая электродвигателем



**3.5 Расчет крутящих моментов на валах коробки скоростей**

Определим крутящие моменты на валах коробки скоростей



MII = 30 ∙ NII /(𝜋nрасч) = 30 ∙ 18065/(3,14 ∙ 2500) = 69,038 Н∙м

MIII = 30 ∙ NIII /(𝜋nрасч) = 30 ∙ 17076/(3,14 ∙ 900) = 181,274 Н∙м

MIV = 30 ∙ NIV /(𝜋nрасч) = 30 ∙ 16141/(3,14 ∙ 224) = 688,453 Н∙м

**3.6 Определение модулей зубчатых колес коробки скоростей**

Поверхностный модульmпов:



Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

*13*

## КП 150305 003 000 ПЗ

где пов - допускаемые напряжения по усталости поверхностных слоев, Н/см2; Р - мощность вала, на котором расположено меньшее (ведущее) колесо, кВт;

n - расчетная частота вращения ведущего колеса, при которой передается полная мощность, об/мин;

Z - число зубьев шестерни (малого, ведущего колеса);

i - передаточное число (принимается i ≥ 1) т.е. для понижающих передач берется величина обратная передаточному отношению;

0=b/dш - коэффициент ширины зуба шестерни (0=0,7… 1,6 при симметричном расположении шестерни на жестких валах (0= 0,4…0,6 при консольном расположении шестерни);

k - коэффициент нагрузки. При предварительных расчетах можно принять k = 1,2..1,4.

Модуль для передачи с i = 1



принимаем тпов = 4 мм.

Модуль для передачи с i = 2,82

принимаем тпов = 4 мм.

Модуль для передачи с i = 3,75



принимаем тпов = 4 мм.

Модуль для передачи с i = 1,11



принимаем тпов = 4 мм.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

*13*

## КП 150305 003 000 ПЗ

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

*13*

## КП 150305 003 000 ПЗ