

**Министерство образования и науки Украины
Приазовский государственный технический университет
Механико-машиностроительный факультет
Кафедра "Металлорежущие станки и инструменты"**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению курсового проекта
по дисциплине
"Металлорежущие станки"**

**Для бакалавров
специальности 6.090203
"Металлорежущие станки и системы"**

Согласовано:

Методический совет
механико–
машиностроительного фа-
культета

Председатель

/Г.А. Диденко/

Утверждено:

На заседании кафедры
"МСИ"
протокол №7 от 5 января 2005г.

Зав. кафедрой

/С.С. Самогугин/

УДК 621.9. 011

Методические указания к выполнению курсовых и дипломных проектов по дисциплинам "Металлорежущие станки и промышленные роботы", "Конструирование, расчет и САПР станков и станочных комплексов" (для студентов специальностей 9.02 всех форм обучения) / Сост. В. П. Кипчарский. – Мариуполь: ПГТУ, 2005. – 23 с.

Приведены методика кинематического расчета, выбор оптимального варианта автоматической коробки скоростей.

Составитель

В. П. Кипчарский,
ст. преп.

Зав. кафедрой

С. С. Самотугин,
профессор, д.т.н.

Цель курсового проектирования

Курсовой проект по дисциплине "Металлорежущие станки и промышленные роботы" является важным этапом в подготовке специалиста-механика по специальности "Металлорежущие станки и системы".

Цель курсового проектирования – научиться самостоятельно разбираться в технологических, конструкторских, и эксплуатационных вопросах проектирования металлорежущих станков, в том числе, станков с ЧПУ.

Организация проектирования

Курсовой проект выполняется самостоятельно с обязательным еженедельным посещением консультаций.

Задание на проект

Задание на курсовой проект выдается каждому студенту. Проект предусматривает подробную комплексную проработку станка (с приводами главного движения и подачи) с другими узлами станка заданного типа.

При выполнении студент должен руководствоваться рядом основных положений:

Обеспечивать высокую производительность, достаточную жесткость, точность, виброустойчивость станка, которые необходимы для обработки деталей с требуемой точностью и шероховатостью.

Обработку деталей производить на повышенных режимах резания с использованием современных инструментальных материалов, оптимальной геометрии режущей части инструмента и быстродействующих приспособлений, позволяющих сократить основные технологические сроки изготовления деталей.

Проектируемые узлы станка и в целом станок должны иметь малую металлоемкость, не снижающую при этом жесткость системы СПИД. Быть максимально легкими и удобными в управлении, а также обеспечивать полную безопасность работы на станке.

Спроектированные детали и узлы станка должны обеспечить высокую технологичность их изготовления и сборки.

В курсовом проекте использовать новейшие достижения отечественного и зарубежного станкостроения

Следует иметь в виду, что за принятые в проекте конструктивные решения, правильность и обоснованность приведенных расчетов, оформление и составление пояснительной записки ответственность несет студент.

Содержание проекта и его объем

Курсовой проект состоит из двух частей: 1) пояснительной записки; 2) конструкторской части.

1. Пояснительная записка объемом 30-40 страниц текста оформляется на стандартных листах формата А4. В ней в сжатой форме приводится полное представление о проделанной самостоятельной работе студента при выполнении проекта. Она оформляется в соответствии с

требованиями ЕСКД (ГОСТ 2.104-68, ГОСТ 2.105-79, ГОСТ 2.106-68) – формы 5 и 5а. При этом расстояние от верхней или нижней строк текста до верхней или нижней внутренней рамки листа должно быть не менее 10 мм, от рамки границ текста в начале строк – не менее 5 мм, а в конце – не менее 3 мм.

Титульный лист – первый лист записки. Он оформляется по ГОСТ 2.105-7 (СТ СЭВ 2667-80).

Содержание пояснительной записки разбивается на разделы, подразделы и пункты. Разделы имеют порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами с точкой.

Пояснительная записка содержит:

Задание на курсовой проект, выданное студенту кафедрой.

Аннотацию.

Содержание

Введение.

Анализ существующих конструкций станков данного типа. Обоснование выбора модели станка, включая назначение и основные узлы станка и их конструктивные особенности.

Расчет режимов резания [23].

Выбор электродвигателей [21].

Разработку и обоснование кинематической схемы проектируемого станка [21].

Кинематический расчет проектируемых приводов станка [21].

Построение структурных сеток и графиков частот вращения шпинделя.

Выбор оптимального варианта с расчетом на ЭВМ по программе "TRANS" различных вариантов [21]

Построение кинематической схемы выбранного варианта с указанием чисел зубьев и нага передачи винта-гайки качения [22].

Расчет деталей станка на прочность, жесткость, износостойкость и виброустойчивость [21]. Для этой цели необходимо просчитать вручную один вариант: зубчатой пары колес, опоры и вала. После этого применить ЭВМ по соответствующим программам "ZUB", "OPORA", "VAL" и произвести расчеты. Результаты включить в записку.

Расчет передачи винт-гайка качения [2].

Расчет направляющих и стоек [2] и [3].

Расчет шпинделя [3].

Мероприятия, обеспечивающие безопасную работу станка.

Выбор промышленного робота [22].

Расчет циклограммы работы ПР с проектируемым станком [2].

Описание конструкции смены инструмента [2].

Расчет манипулятора и меры их контроля [2]

Смазку станка [2]

Заключение (указать технологические возможности спроектированного станка).

Список используемой литературы.

2. Конструкторская часть проекта выполняется в объеме четырех листов стандартного формата А1 в соответствии с ГОСТ 2.301-68 и содержит:

Листы 1, 2 — общий вид станка с разработанными : приводами главного движения и подач с необходимыми разрезами, сечениями, показывающим конструкцию узлов.

Лист 3 – шпиндельный узел станка – 0.5 листа, планировка РТК – 0.5 листа.

Лист 4 – вычерчивается механизм смены инструмента с необходимыми сечениями и размерами.

График выполнения курсового проекта

Наименование работ	Срок – неделя с начала семестра	
	дневная форма обучения	вечерняя форма обучения
1. Анализ существующих конструкций узлов станков данного типа [23] 1.1. Обоснование выбора модели станка, включая назначение, основные узлы станка и их конструктивные особенности 1.2. Расчет режимов резания [23] 1.3. Выбор электродвигателей [21]	1	2
2. Разработка и обоснование кинематической схемы проектируемого станка [23] 2.1. Кинематический расчет проектируемых приводов станка [21] 2.2. Построение структурных сеток и графиков частот вращения шпинделя Выбор оптимального варианта с расчетом на ЭВМ по программе "TRANS" различных вариантов 2.4. Построение кинематической схемы выбранного варианта с указанием чисел зубьев и шага передачи винт-гайка качения [23]	2	3
3. Расчет деталей привода на прочность, жесткость, износостойкость и виброустойчивость (вручную) [23] 3.1. Расчет по программе "ZUB". 3.2. Вычерчивание в тонких линиях 1-го листа привода главного двигателя 3.3. Программа "OPORA" 3.4. Программа "REMEN" 3.5. Программа "VAL"	4	6
4. Расчет передачи винта-гайки качения [2]	6	8
5. Вычерчивание в тонких линиях 2-го листа привода подачи	8	10
6. Расчет направляющих и стоек [3]	8	10

7. Расчет шпинделя [2] и [3]	8	10
8. Выбор робота и расчет циклограммы робота совместно со станком [2]	10	12
9. Вычерчивание в тонких линиях 3-го листа с циклограммой работы ПР	10	12
10. Выбор механизма смены инструментов [2]	10	12
11. Вычерчивание 4-го листа	11	13
12. Мероприятия, обеспечивающие безопасную работу станка	12	15
13. Смазка станка	12	15
14. Окончательное оформление проекта	13	16
15. Защита проекта	14	17

Последовательность выполнения проекта

В соответствии с ГОСТ 2. 103-68 проектирование машин ведется в несколько стадий.

На первую консультацию необходимо:

Разработать техническое предложение по ГОСТ 2. 118-73.

1.1. Изучить задание на проектирование.

1.2. Произвести анализ существующих конструкций станков [23]

Для этого нужно просмотреть существующие каталоги на выпускаемые станки и ряд данных занести в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные характеристики существующих станков, аналогичных проектируемому

№№ п. п.	Наименование параметров	Размерность	Проектируемый станок	Модели станков, аналогичных проектируемым

1.3. Обосновать выбор модели станка.

На основе данных табл. 1. делается вывод, что за базовую модель принимается такая-то выпускаемая модель станка по таким-то показателям. Затем выясняются назначение, основные узлы выбранного станка и его конструктивные особенности.

1.4. Рассчитать режимы резания [23]

Этот расчет желательно вести на ЭВМ "Искра 202" или микрокалькулятора типа МК-54. Результаты расчетов занести в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов режимов резания.

№№ п. п.	Вид обработки, обрабатываемый материал	Размер обработки детали, мм	Режим резания	Составляющие силы резания	Мощность, кВт	Примечание

			Скорость V	Подача S	Глубина t	Частота вращения n	P_z	P_x	P_y	N_{pz}	N_{px}	

Предварительно выбрать электродвигатель

Мощность электродвигателя привода определяем по формулам:

- для главного движения

$$N_{э} = \frac{N_{Pz \max}}{k \cdot \eta};$$

- для движения подач

$$N_{эс} = \frac{N_{Px \max}}{k \cdot \eta};$$

где k – коэффициент перегрузки электродвигателя (обычно k = 1);

η – КПД привода (для главного движения $\eta = 0,85-0,9$, для подач $\eta = 0,9-0,95$);

По каталогу или табл. 3 выбирают тип электродвигателя переменного тока. Выбор электродвигателя постоянного тока производится по графику (прил. 1), а дальнейший расчет – по [2].

На вторую консультацию отводится 2-я неделя.

1.6. Определить диапазон регулирования R_n , число ступеней передач z:

$$R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}},$$

$$Z_n = \frac{\lg R_n}{\lg \varphi} + 1,$$

$$R_S = \frac{S_{\max}}{S_{\min}},$$

$$Z_S = \frac{\lg R_S}{\lg \varphi} + 1.$$

Выписать ряд частот вращения и подач по нормали Н11 (табл. 4).

1.7 Произвести разбивку общего передаточного отношения от источника движения до последнего (ведомого) звена кинематической цепи:

$$i_{\text{общ(АКС)}} = \frac{n_{\min}}{n_{эл}},$$

$$i_{\text{общ}} = \frac{S_{\min}}{n_{хв} \cdot P_{хв}},$$

где n_{\min} — наименьшая частота вращения (ведомого) последнего вала;

$n_{эл}$ — частота вращения электродвигателя;

$n_{хв.}$ — частота вращения ходового винта;

$P_{хв.}$ — шаг ходового винта, выбирается по пункту, при этом следует

помнить, что общее передаточное отношение является произведением нескольких передаточных отношений:

$$i_{\text{общ}} = i_1 \cdot i_2 \cdot \dots \cdot i_k.$$

Для уменьшения габаритов коробок скоростей должно быть $i_1 > i_2 > \dots > i_k$

Для коробок скоростей необходимо помнить, что для зубчатых колес предельны значения передаточных отношений находятся в пределах

$$\frac{1}{4} \leq i \leq 2.$$

1.8. Разработать структурную формулу привода

$$Z = P_a \cdot P_b \cdot \dots \cdot P_k,$$

учитывая, что $P_a > P_b > \dots > P_k$

где P_a, P_b, \dots, P_k — последовательно расположенные группы передач.

На шпинделе станка не рекомендуется устанавливать два колеса и более, так как это вызывает излишний изгиб, увеличивает вибрации, что отражается на качестве обрабатываемой поверхности.

1.9. Построить варианты структурных сеток и графики частот вращения для различных вариантов (рис. 1-3).

Расчет чисел зубьев по графику частот вращения. Существуют различные методы расчета чисел зубьев по графику частот вращения [3]. Рассмотрим упрощенный метод, смысл которого состоит в следующем (рис. 1). Задаются минимальным числом зубьев: первой группы передач $Z_{\min 1} = 20-24$, второй — $Z_{\min 2} = Z_{\min 1} = 26-30$, а третьев $Z_{\min 3} = 32-36$. На рис. 1 из точки К выходят три луча:

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{1}{\varphi^2} = \frac{20}{z_2} = \frac{20}{1,26^2},$$

$$z_2 = 1,26^2 \cdot 20 = 32, \quad z_1 + z_2 = 20 + 32 = 52;$$

$$i_2 = \frac{z_3}{z_4} = \frac{1}{\varphi} \quad z_3 + z_4 = 52 \quad z_4 = 1,26 \cdot z_3 \quad z_3 = 23 \quad z_4 = 29$$

Аналогично рассчитываются числа зубьев в остальных группах передач.

1.10. Выбрать рациональный вариант передаточных отношений.

1. Критерий минимального числа передач

$$S = \sum_{i=1}^k P_i,$$

где P_i — число передач в i -той группе;

k — число групп передач.

2. Критерий минимальной металлоемкости коробки скоростей, определяемый в соответствии с [21]:

$$G = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{P_i} m_i^3 \cdot (z_{вщ}^2 + z_{вм}^2)_{ji},$$

где m_i — модуль передач в i -той группе;

$z_{вщ}$, $z_{вм}$ — числа зубьев ведущего и ведомого колес j -той передачи i -той группы.

3. Критерии пониженного шума коробки скоростей (передач) уровень которого тем ниже, чем ниже окружная скорость передач и меньше число быстровращающихся передач [21]:

$$G = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{P_i} \ln \frac{V_{ji}}{V_0}$$

где V_{ji} — окружная скорость колеса j -той передачи i -той группы при

$V_{ji} > V_0$ м/сек, $V_0 = 1$ м/с – принятый уровень отсчета скоростей.

4. Критерий наибольшего КПД передач.

5. Непрерывность геометрического ряда частот вращения шпинделя.

6. Возможность использования в приводе передач различных типов (например, зубчатых и ременных, прямозубых и косозубых и т. п.).

7. Возможность разделения тихоходной и быстроходной цепей.

8. Наличие или отсутствие переборных устройств, фрикционных муфт, соосных валов и т. д.

Критерии (1-5) количественно будут удовлетворены, если в различных кинематических структурах, как в разномерных множительных (рис. 1-5), так и сложенных (рис. 1-4) кинематический порядок включения групповых передач будет соответствовать конструктивному их расположению от двигателя к шпинделю в порядках убываний числа передач в группах и возрастания характеристик групп:

$$P_{i-1} > P_i,$$

$$x_{i-1} < x_i,$$

$$i = 1, 2, \dots, k$$

В этом случае большое количество передач на наименее нагруженных валах и будет наименьший модуль. Кроме того, при тех же наименьших частотах вращения промежуточных валов их максимальные частоты будут меньшими. Это приведет к уменьшению ударных нагрузок в зацеплении зубчатых колес, снижению их шума, уменьшению потерь на трение, не зависящих от нагрузок, и к повышению КПД на высоких частотах вращения шпинделя.

Критерии (6-8) являются качественными. Каждый из них удовлетворяет лишь определенному типу кинематической структуры. Например,

равномерная множительная структура не требует соосных валов, а структура множительная с перекрытием отдельных частот вращения шпинделя — перебора. Сложная структура позволяет разделить тихоходные и быстроходные цепи, существенно укоротив последние.

Выбор каждого из этих типов структуры при равенстве количественных критериев диктуется в первую очередь качеством и производительностью обработки, которые определяются инерционно-жесткостными свойствами привода.

Для обеспечения минимальной неравномерности вращения шпинделя, быстрого его разгона и торможения с минимальными нагрузками в переходном процессе, что особенно важно для станков с ЧПУ, необходимо, чтобы момент инерции звеньев, приведенных к валу электродвигателя J_d , был минимальным:

$$J = \sum_{q=1}^k J_q \cdot i_q$$

где J_q - абсолютное значение момента инерции звеньев на q -том валу коробки скоростей;

i_q — передаточное отношение между валом двигателя и q -тым валом коробки скоростей.

$$i_q = \frac{n_q}{n_{эд}}$$

n_q — частота вращения q -того вала

$n_{эд}$ — частота вращения двигателя.

Критерии распределения минимальных передаточных отношений по множительным группам. В п. 1.8 получена предварительная структурная формула (1), по которой построены структурная сетка, график частот вращения и рассчитаны числа зубьев (пп. 1.6, 1.9). Однако рекомендуемый порядок определения передаточных отношений многовариантен. Например, для коробок скоростей (рис. 5), структура которой выражена формулой

$$Z = P_{x1} \cdot P_{x2} \cdot P_{x3} = 3_{(1)} \cdot 2_{(3)} \cdot 2_{(6)} = 12$$

при $\varphi = 1,26 \cdot \frac{n_1}{n_{эл}} = \frac{1}{\varphi}$ и передаточных значениях отношения,

возможны варианты минимальных значений по группам:

$$а) \frac{1}{\varphi^{11}} = \frac{1}{\varphi^3} \cdot \frac{1}{\varphi^4} \cdot \frac{1}{\varphi^4} = i_{11} \cdot i_{21} \cdot i_{31},$$

$$б) \frac{1}{\varphi^{11}} = \frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{1}{\varphi^4} \cdot \frac{1}{\varphi^5},$$

$$в) \frac{1}{\varphi^{11}} = \frac{1}{\varphi} \cdot \frac{1}{\varphi^4} \cdot \frac{1}{\varphi^6},$$

$$\text{г) } \frac{1}{\varphi^{11}} = \frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{1}{\varphi^3} \cdot \frac{1}{\varphi^6},$$

$$\text{д) } \frac{1}{\varphi^{11}} = \frac{1}{\varphi^3} \cdot \frac{1}{\varphi^3} \cdot \frac{1}{\varphi^5},$$

$$\text{е) } \frac{1}{\varphi^{11}} = \frac{1}{\varphi} \cdot \frac{1}{\varphi^5} \cdot \frac{1}{\varphi^5},$$

Соответственно этим вариантам построены графики частот вращения для коробки скоростей, имеющих сложенную кинематическую структуру (рис. 5)

$$Z = P_{x1} \cdot P_{x2} \cdot (1 + P_{x3} \cdot P_{x4}) = 3 \cdot 2 + 3 \cdot 2 \cdot 1 = 18,$$

$$\text{при } \varphi = 1,26, \quad \frac{n_1}{n_{эл}} = \frac{1}{\varphi^{18}}.$$

При предельных значениях отношений возможны два варианта распределения минимальных отношений по группам (рис. 5):

$$1) \frac{1}{\varphi^{18}} = \frac{1}{\varphi^3} \cdot \frac{1}{\varphi^3} \cdot \frac{1}{\varphi^6} \cdot \frac{1}{\varphi^6};$$

$$2) \frac{1}{\varphi^{18}} = \frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{1}{\varphi^4} \cdot \frac{1}{\varphi^6} \cdot \frac{1}{\varphi^6};$$

В связи с многовариантностью распределения передаточных отношений необходим вектор такого варианта, который обеспечит рациональность конструкции привода по критериям наибольшего КПД, минимума приведенного момента инерции и металлоемкости.

Вариант, соответствующий наименьшим значениям этих показателей, принимает оптимальный вариант.

Для вычисления моментов инерции звеньев коробки скоростей и металлоемкости исходными данными являются:

φ — знаменатель частотного ряда;

P_i — число передач в каждой множительной группе;

V_i — число интервалов на графике частот вращения (величин передач), отсекаемый лучом передачи с минимальным передаточным отношением() в каждой множительной группе.

Z — число ступеней скорости без вычета совпадений;

Z_p — число ступеней скорости с учетом совпадений;

Z_1 — число быстроходных ступеней скорости в сложенной кинематической структуре;

K_1 — число множительных групп в равномерной множительной структуре либо в основной (быстроходной) составляющей сложенной структуре;

K_2 — число множительных групп, создающих тихоходную часть диапазона скоростей подач в приводе со сложенной структурой;

K — отличительный признак типа кинематической структуры,

$$K = \max |K_1, K_2|;$$

$K = K_1$ — для равномерной множительной структуры;
 $K = K_2$ — для сложенной структуры, в которой предусмотрено отклонение ее от дополнительной (тихоходной) составляющей группы (рис. 4);
 $K = K_1 = K_2$ — для сложенной структуры, в которой нет отключения дополнительной или тихоходной составляющей групп.

Причем величины K и P_i не должны превысить

$$K \leq 5, \quad P_i \leq 3$$

Затем вычисляются характеристики каждой группы

$$x_i \quad (i = 1, 2, \dots, k)$$

$$x_i = 1, \quad x_2 = x_1 \cdot P_1, \quad x_3 = x_2 \cdot P_2,$$

$$x_k = x_{k-1} \cdot P_{k-1},$$

$$x_i = x_{i-1} \cdot P_{i-1}.$$

Здесь $P_0 = 1, \quad x_0 = 1.$

Если коробка скоростей содержит передачи с повторяющимися скоростями за счет изменения характеристики последней группы, эта характеристика определяется как

$$x_2 = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_{k-1} + Z_0 - Z.$$

Передаточные отношения каждой групповой передачи i и j (отношение числа зубьев ведущего звена передачи к числу зубьев ведомого звена

$$(j = 1, 2, \dots, P_i) \quad \text{и} \quad (e = 1, 2, \dots, k),$$

$$i_{11} = \varphi^{\gamma_1}, \quad i_{12} = i_{11} \cdot \varphi^{\gamma_1} = \varphi^{(\chi_1 - \gamma_1)},$$

$$i_{13} = i_{12} \cdot \varphi^{\chi_1} = \varphi^{(2 \cdot \chi_1 - \gamma_1)},$$

$$i_{ij} = \varphi^{[(j-1) \cdot \chi_1 - \gamma_1]}.$$

Числа зубьев ведущих колес групповых передач $Z_{e,j}$:

$$j = 1, 2, \dots, P_i, \quad e = 1, 2, \dots, k.$$

Так как для всех передач данной группы межосевое расстояние постоянно, то сумма чисел зубьев одна и та же величина:

$$Z_{11} = (1 + i_{11}^{-1}), \quad Z_{12} = (1 + i_{12}^{-1}) = \dots (1 + i_e^{-1} \cdot p_e).$$

Отсюда

$$Z_{12} = Z_{11} \frac{1 + i_{11}^{-1}}{1 + i_{12}^{-1}}, \quad Z_{13} = Z_{12} \frac{1 + i_{12}^{-1}}{1 + i_{13}^{-1}} = Z_{11} \frac{1 + i_{11}^{-1}}{1 + i_{12}^{-1}};$$

$$Z_{1j} = Z_{11} \frac{1 + i_{11}^{-1}}{1 + i_{1j}^{-1}}; \tag{10}$$

$$Z_{e,j} = Z_{e,1} \frac{1 + i_{e,1}^{-1}}{1 + i_{e,j}^{-1}}.$$

Можно задаться суммой чисел зубьев каждой передачи для всех групп и тогда

$$Z_{11}(1 + i_{11}^{-1}) = Z_{21}(1 + i_{21}^{-1}) = Z_{31}(1 + i_{31}^{-1}) = Z_{k,1}(1 + i_{k,1}^{-1})$$

Отсюда

$$Z_{21} = Z_{11} \frac{1 + i_{11}^{-1}}{1 + i_{21}^{-1}}, \quad Z_{31} = Z_{21} \frac{1 + i_{21}^{-1}}{1 + i_{31}^{-1}} = Z_{11} \frac{1 + i_{11}^{-1}}{1 + i_{31}^{-1}},$$

$$Z_{e,1} = Z_{11} \frac{1 + i_{11}^{-1}}{1 + i_{e,1}^{-1}} \dots$$

Приняв $Z_{11} = 1$, получим из выражений (10) и (11)

$$Z_{e,1} = \frac{1 + i_{11}^{-1}}{1 + i_{e,1}^{-1}}.$$

1.11. Найти модуль передач каждой группы

В соответствии (12) модуль передачи с наружным зацеплением (из расчета по контактным напряжениям)

$$m_e = C_m \cdot \left(M_{e1} \cdot \frac{1 + i_{e1}}{Z_{e1}^2} \right)^{1/3},$$

где C_m – коэффициент, зависящий от материала и геометрии колес и допускаемого напряжения в зацеплении;

M_{e1} – крутящий момент на ведущем звене передачи с Z_{e1} .

$$M_{11} = M_{01} \cdot \varphi^{\gamma_0}, \quad M_{21} = M_{11} \cdot \varphi^{\gamma_1} = M_{01} \cdot \varphi^{(\gamma_0 + \gamma_1)},$$

$$M_{e1} = M_{01} \cdot \varphi^{\sum_{r=1}^e \gamma_{r-1}}$$

Поскольку для сравнительной оценки моментов звеньев важны не абсолютные, а относительные значения модулей передачи, то, полагая $C_m=1$, $M_{e1}=1$ и учитывая ранее полученные значения i_{e1} и Z_{e1} , запишем

$$m_e = \frac{1 + \varphi \gamma_e}{(1 + \varphi \gamma_1)^{2/3}} \varphi^{[1/3 (\sum_{r=1}^e \gamma_{r-1} - \gamma_1)]}.$$

В сложенных структурах типа $Z = P_a \cdot P_b \cdot (1 + P_c \cdot P_d)$ модуль передач последней группы тихоходной составляющей структуры должен быть равен модулю последней группы этой же составляющей структуры $m_{k-1} = m_k$. Этим обеспечивается одинаковое межосевое расстояние между валами групп k-1 и k (рис. 1-5).

Минимальное передаточное отношение между ведущим валом коробки скоростей и каждым ведущим валом групповой передачи

$$i_e \quad (e = 1, 2, \dots, k),$$

$$i_1 = 1, \quad i_2 = i_1 \cdot i_{\theta p_1}, \quad i_3 = i_2 \cdot i_{2 p_2},$$

$$i_e = i_{e-1} \cdot i_{e-1, p_{e-1}}.$$

Здесь $i_0 = \omega_0 / p_0 = 1$

1.12. Определить суммарный момент инерции I_e звеньев групповой передачи, приведенный к ведущему валу этой группы при ее максимальной передаточном отношении.

Этот момент инерции определяется как сумма моментов инерции ведомых колес группы, приведенных к ее ведущему валу при максимальном в ней передаточном отношении и моментов инерции ведущих колес этой группы:

уппы:

$$J_e = (J_{e_1}^{BM} + J_{e_2}^{BM} + \dots + J_{e_{p_e}}^{BM}) i_{e p_e}^2 + J_{e_1}^{BUS} + J_{e_2}^{BUS} + \dots + J_{e_{p_e}}^{BUS}.$$

В общем виде момент инерции колеса

$$J_{e_j} = m_e^5 Z_{e_j}^4.$$

Подставив выражения (16) и (15) и произведя преобразование, получим

$$J_e = m^5 \sum_{j=1}^{p_e} Z_{e_j}^4 (1 + i_{e_1 p_e}^2 / i_{e_j}^4).$$

Суммарный момент инерции звеньев коробки скоростей, приведенный к ее ведущему валу 1, определяется при максимальном передаточном отношении i

$$J = J_e \cdot i_e^2 \quad (e = 1, 2, \dots, k).$$

Список рекомендуемой литературы

- 1, 2. Металлорежущие станки / Под ред. В. Э. Пуша. — М.: Машиностроение, 1986. — 565 с.
3. Металлорежущие станки и автоматы / Под ред. А. С. Пронникова. — М.: Машиностроение, 1981. — 479 с.
4. Металлорежущие станки / Под ред В. К. Тепинкичиева. — М.: Машиностроение, 1973. — 467 с.
5. Пуш В. Э Конструирование металлорежущих станков. — М.: Машиностроение, 1977. — 390 с.
6. Кудинов В. А. Динамика станков. — М.: Машиностроение, 1987 — 359 с.
7. Детали и механизмы металлорежущих станков / Под ред. Д. Н. Решетова: в 2 т. — М.: Машиностроение, 1972. — Т 1. — 663 с., Т. 2. — 520 с.
8. Программное управление станками: Учеб. для машиностр. вузов / Под ред. В. Л. Сосонкина. — М.: Машиностроение, 1981, — 398 с.
9. Ратмиров В. А Основы программного управления станками. — М.: Машиностроение, 1978. — 240 с.
10. Многоцелевые системы ЧПУ гибкой механообработкой / Под ред. В. Н. Алексеева. — Л.: Машиностроение, 1984. — 224 с.
11. Станки с числовым программным управлением (специализированные) \ Под ред. Н. А. Лещенко. — М.: Машиностроение, 1979. — 592 с.
12. Управляющие системы промышленных роботов / Под ред. Ю. А. Андрианова. — М.: Машиностроение, 1984. — 235 с.
14. Промышленная робототехника и гибкие автоматизированные производства / Под ред. С. Ю. Белова. — Л.: Лениздат, 1984. — 223 с.
15. Управление электроприводами \ Под ред. А. В. Башарина. — Л.: Энергоиздат, 1982. — 393 с.
16. Трофимов А. М. Металлорежущие станки: Альбом с приложением. — М.: Машиностроение, 1979. — 78 с.
- 17 Локтева С. Е. Станки с программным управлением и промышленные роботы. — М.: Машиностроение, 1986. — 320 с.
18. Ермаков Ю. М., Фролов Б. А. Металлорежущие станки. — М.: Машиностроение, 1985. — 320 с.
19. Кинематические схемы / А. Н. Кучер и др. — М.: Машиностроение, 1972. — 308 с.
20. Программное управление станками и промышленными роботами / В. А. Косовский, Ю. Г. Козырев, А. Н. Ковалев и др. — М.: Машиностроение, 1986. — 287 с.
21. Воеводин А. Б. Методические указания выполнения курсового и дипломного проектов по металлорежущим станкам и промышленным роботам на ЭВМ (для студентов специальности 0501). — Жданов: ЖДМИ, 1986. — 32 с.
22. Промышленные роботы в машиностроении / Под общ. ред. Ю. М. Соломенцева. — М.: Машиностроение, 1986. — 140 с.
23. Справочник технолога. / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова: В 2 т. — М.: Машиностроение, 1985. — Т. 1. — 656 с.; Т. 2. — 496 с.

Объем и содержание курсовых проектов по дисциплине «Металлорежущие станки»

Содержание раздела	Семестр			
	7-й РГР	8-й КР	9-й КП	10-й ДП
Обложка	X	X	X	X
Титульный лист		X	X	X
Задание на курсовой проект		X	X	X
Аннотация		X	X	X
Оглавление		X	X	X
Введение		X	X	X
1. Технологическая часть				
1.1. Разработка технологических операций, выполняемых на станке или разработка технологической операции обработки детали-представителя			X	X
1.2. Расчет режимов, сил и мощности резания			X	X
1.3. Расчет норм основного и вспомогательного времени			X	X
1.4. Выполнение схем обработки (наладок)			X	X
2. Проектная часть				
2.1. Анализ современных конструкций заданного привода станков данного типа			X	X
2.2. Выбор модели станка-аналога			X	X
2.3. Разработка технического задания на проектирование заданного привода			X	X
2.4. Выбор компоновки станка			X	X
2.4.1. Выбор, описание и обоснование компоновки станка			X	X
2.4.2. Описание конструкции исполнительного узла (механизма) станка			X	X
2.5. Определение нагрузок и режима работы станка			X	X
2.5.1. Расчет рабочих нагрузок станка			X	X
2.5.2. Построение нагрузочной и временной циклограмм работы станка			X	X
2.5.3. Выбор и обоснование способа (системы) управления станком (ручное, ЦПУ, ЧПУ) и типа привода (со ступенчатым или бесступенчатым регулированием)			X	X
2.6. Выбор электродвигателя	X		X	X
2.6.1. Определение диапазона регулирования двигателя			X	X
2.7. Проектирование исполнительного механизма (шпиндельного узла, узла "винт-гайка", "шестерня-рейка" и т. д.)			X	X
2.8. Разработка кинематической схемы проектируемого привода	X		X	X

2.8.1. Обоснование структурной формулы привода	X		X	X
2.8.2. Построение вариантов структурной сетки привода	X		X	X
2.8.3. Разработка графика частот вращения (скоростей)	X		X	X
2.8.4. Определение чисел зубьев зубчатых колес	X		X	X
2.8.4.1. Расчет фактических скоростей рабочего органа	X		X	X
2.8.5. Разработка кинематической схемы	X		X	X
2.8.5.1. Уточнение к.п.д. привода и проверка выбранного электродвигателя	X		X	X
2.9. Выбор способов смазки узлов станка		X	X	X
2.10. Выбор типа уплотнений соединений станка		X	X	X
3. Конструкторская часть				
3.1. Определение расчетных нагрузок элементов привода		X	X	X
3.2. Расчет исполнительного механизма (шпинделя, передачи "винт-гайка", шестерня-рейка" и т. п.)			X	X
3.3. Предварительные расчеты деталей и узлов привода				
3.3.1. Определение модуля зубчатых передач		X	X	X
3.3.2. Определение диаметров валов привода		X	X	X
3.3.3. Обоснование типа и серии подшипников качения		X	X	X
3.3.4. Выбор типа соединений валов с деталями (шпоночные, шлицевые, профильные)		X	X	X
3.3.5. Выбор типов муфт		X	X	X
3.3.6. Расчеты элементов корпусных деталей			X	X
3.4. Выполнение компоновки привода		X	X	X
3.5. Корректировка результатов предварительных расчетов на основании компоновки		X	X	X
3.6. Поверочные расчеты				
3.6.1. Расчет зубчатых передач		X	X	X
3.6.2. Расчет валов				
3.6.2.1. На статическую прочность		X	X	X
3.6.2.2. На долговечность		X	X	X
3.6.2.3. Расчет на жесткость		X	X	X
3.6.2.4. Расчет на критическую частоту вращения		X	X	X
3.6.3. Проверка подшипников качения на статическую и динамическую грузоподъемность		X	X	X
3.6.4. Расчет соединений деталей с валами (??? см. п. 3.7.1)			X	X
3.6.5. Расчет муфт			X	X

3.6.6. Расчет резьбовых соединений			X	X
3.7. Конструирование				
3.7.1. Назначение посадок соединений		X	X	X
3.7.2. Выполнение сборочных чертежей		X	X	X
3.7.3. Назначение точности формы, размеров и шероховатости поверхностей деталей		X	X	X
3.7.4. Разработка рабочих чертежей деталей привода			X	X
3.8. Определение характеристик привода				
3.8.1. Определение массы привода				X
3.8.2. Определение инерционных и динамических характеристик				X
3.9. Расчет системы смазки привода				
3.9.1. Тепловой расчет привода		X		X
3.9.2. Выбор смазочного материала		X		X
3.9.3. Расчет расхода смазки		X		X
3.10. Мероприятия, обеспечивающие безопасную работу на станке				
3.10.1. Аварийное отключение станка				X
3.10.2. Защита привода от перегрузок				X
3.10.3. Электробезопасность				X
3.10.4. Защита от вибраций и шума				X
Заключение		X	X	X
Список использованных источников	X	X	X	X
Приложения		X	X	X
Результаты (распечатки) машинных расчетов, тексты программ		X	X	X
Спецификация привода			X	X
Спецификации узлов привода		X	X	X

Графическая часть

Содержание раздела
Схемы обработки
Структурная сетка, график частот вращения и кинематическая схема
Эскизная компоновка привода (свертка и развертка)
Сборочный чертеж исполнительного механизма: шпиндельного узла, "передачи гайка", "шестерня-рейка" и т. п.
Сборочный чертеж привода.
Рабочие чертежи деталей привода

Примечание.

РГР – расчетно-графическая работа

КР – курсовая работа

КП – курсовой проект

ДП – дипломный проект

Варианты заданий
для выполнения курсового проекта по дисциплине "Металлорежущие
станки" для студентов специальности 7.090203
"Металлорежущие станки и системы"

№ варианта	Тип станка	Основной размер, мм	Разрабатываемый привод	Ориентировочные значения		Знаменатель φ	Масса подвижных частей (Н)	Материал обрабатываемой детали σ_b (МПа)
				n_{min}/S_{min}	n_{max}/S_{max}			
1.	Токарный	H=125	главного движения	20	2000	1,26	200	Сталь, 600 МПа
			подач	0,5	20			
2.	Токарный	H=125	главного движения	10	1500	1,26	180	Сталь, 600 МПа
			подач	0,05	8			
3.	Токарный	H=125	главного движения	15	1600	1,26	200	Чугун, HB 200-250
			подач	0,5	20			
4.	Токарный	H=200	главного движения	12	1800	1,26	400	Сталь, 600МПа
			подач	0,5	12			
5.	Токарный	H=200	главного движения	16	1800	1,26	450	Чугун, HB 200-250
			подач	0,2	12			
6.	Токарный	H=200	главного движения	18	2500	1,26	400	Сталь, 600МПа
			подач	0,12	15			
7.	Токарный	H=320	главного движения	12,5	2000	1,26	200	Сталь, 600МПа
			подач	0,5	24			
8.	Токарный	H=320	главного движения	10	2500	1,26	600	Сталь, 600МПа
			подач	0,4	48			
9.	Токарный	H=320	главного движения	12,5	1600	1,26	800	Чугун, HB 300
			подач	0,1	8			
10.	Токарный	H=320	главного движения	10	1400	1,26	600	Сталь, 600МПа
			подач	0,05	24			
11.	Токарно-револьверный	Ф18	главного движения	50	3000	1,26	250	Сталь, 600МПа
			подач	0,05	2			
12.	Токарно-револь-	Ф25	главного движения	50	2500	1,26		Сталь, 450МПа

	верный		подач	0,05	1,18		300	
13.	Токарно-револьверный	Ф40	главного движения	40	2600	1,26		Сталь, 500МПа
			подач	0,05	3		800	
14.	Токарно-револьверный	Ф65	главного движения	30	2500	1,26		Сталь, 550МПа
			подач	0,08	5		900	
15.	Токарно-револьверный	Ф18	главного движения	20	2500	1,26		Сталь, 600МПа
			подач	0,1	2,5		400	
16.	Токарно-револьверный	Ф25	главного движения	40	2200	1,26		Сталь, 600МПа
			подач	0,12	2,5		280	
17.	Токарно-револьверный	Ф40	главного движения	25	2250	1,26		Сталь, 600МПа
			подач	0,25	3,5		850	
18.	Токарно-револьверный	Ф40	главного движения	30	3150	1,26		Сталь, 600МПа
			подач	0,05	4		750	
19.	Токарно-револьверный	Ф65	главного движения	25	2000	1,26		Чугун, НВ 200-250
			подач	0,1	3		950	
20.	Токарно-револьверный	Ф65	главного движения	20	1800	1,26		Чугун, НВ 200-250
			подач	0,12 5	4,5		980	
21.	Вертикально-сверлильный	Ф18	главного движения	50	4000	1,41		Чугун, НВ 200-250
			подач	0,01	2		100	
22.	Вертикально-сверлильный	Ф18	главного движения	100	2150	1,41		Чугун, НВ 200-250
			подач	0,1	2,5		150	
23.	Вертикально-сверлильный	Ф25	главного движения	31,5	2500	1,41		Сталь, 400МПа
			подач	0,05	2,24		180	
24.	Вертикально-сверлильный	Ф35	главного движения	30	2000	1,41		Чугун, НВ 200-250
			подач	0,05	3,15		250	
25.	Вертикально-сверлильный	Ф50	главного движения	22,4	1600	1,41		Сталь, 500МПа
			подач	0,05	3,5		300	
26.	Вертикально-	Ф75	главного движения	18	1600	1,41		Чугун, НВ 200-250

	свер- лильный		подач	0,01	4,5		100	
27.	Ради- ально- свер- лильный	Ф35	главного движения	25	3150	1,41	300	Сталь, 600МПа
			подач	0,01	4,5			
28.	Ради- ально- свер- лильный	Ф50	главного движения	16	2500	1,41	350	Сталь, 450МПа
			подач	0,1	1,5			
29.	Ради- ально- свер- лильный	Ф70	главного движения	12,5	2000	1,41	400	Сталь, 700МПа
			подач	0,05	3,15			
30.	Ради- ально- свер- лильный	Ф35	главного движения	15	2150	1,41	250	Чугун, НВ 200-250
			подач	0,01 25	3,5			
31.	Ради- ально- свер- лильный	Ф50	главного движения	15	2150	1,41	400	Сталь, 400МПа
			подач	0,12 5	4			
32.	Фрезер- ный верти- кально- консо- льный	200x 800	главного движения	30	2000	1,41	350	Сталь, 600МПа
			подач	3	1000			
33.	Фрезер- ный верти- кально- консо- льный	200x 800	главного движения	16	3150	1,41	400	Сталь, 600МПа
			подач	5	1250			
34.	Фрезер- ный верти- кально- консо- льный	250x 1000	главного движения	22,5	2500	1,41	450	Чугун
			подач	10	1500			
35.	Фрезер- ный верти- кально- консо- льный	250x 1000	главного движения	16	2500	1,41	500	Бронза
			подач	10	1600			
36.	Фрезер- ный	320x 1250	главного движения	40	2500	1,41		Чугун

	вертикально-консольный		подач	10	1600		550	
37.	Фрезерный вертикально-консольный	320x1250	главного движения	40	2500	1,41		Сталь, 750МПа
			подач	20	1800		580	
38.	Фрезерный вертикально-консольный	400x1600	главного движения	16	2200	1,41		Сталь, 500МПа
			подач	8	1500		600	
39.	Фрезерный вертикально-консольный	400x1600	главного движения	12	1800	1,41		Сталь, 600МПа
			подач	15	1200		650	
40.	Фрезерный вертикально-консольный	400x1600	главного движения	15	2150	1,41		Чугун
			подач	40	1500		700	
41.	Фрезерный горизонтально-консольный	200x800	главного движения	20	3000	1,41		Сталь, 400МПа
			подач	15	1200		700	
42.	Фрезерный горизонтально-консольный	200x800	главного движения	40	3150	1,41		Сталь, 600МПа
			подач	20	2240		350	
43.	Фрезерный горизонтально-консольный	320x1250	главного движения	16	2000	1,41		Чугун
			подач	5	1500		400	
44.	Фрезерный	320x1250	главного движения	15	1400	1,41		Бронза

	горизонтально-консольный		подач	10	1200		450	
45.	Фрезерный горизонтально-консольный	250x1000	главного движения	18	2200	1,41		Сталь, 600МПа
			подач	12	1500		500	
46.	Фрезерный горизонтально-консольный	250x1000	главного движения	30	2150	1,41		Сталь, 600МПа
			подач	6	1400		550	
47.	Фрезерный горизонтально-консольный	400x1600	главного движения	12	1600	1,41		Сталь, 600МПа
			подач	10	1300		600	
48.	Фрезерный горизонтально-консольный	400-1600	главного движения	20	3150	1,41		Чугун
			подач	0,1	6,3		650	
49.	Горизонтально-расточной	Ф110	главного движения	12,5	1600	1,26		Сталь, 600МПа
			подач	0,1	6,3		300	
50.	Горизонтально-расточной	Ф110	главного движения	10	1800	1,26		Чугун
			подач	0,1	6,3		350	
51.	Горизонтально-расточной	Ф110	главного движения	6,3	1250	1,26		Сталь, 600МПа
			подач	0,1	5,5		400	
52.	Горизонтально-расточной	Ф125	главного движения	10	1000	1,26		Сталь, 600МПа
			подач	0,05	6,3		300	
53.	Горизонтально-расточной	Ф125	главного движения	10	1600	1,26		Сталь, 600МПа
			подач	0,05	4,5		450	