

«

»

“ ”

“ ”
_____ .

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Расчет и конструирование станочного оборудования

: 15.04.05

-

:

: 1, : 1 2

		1	2
1	()	6	6
2		216	216
3	, .	69	68
4	, .	18	0
5	, .	18	18
6	, .	0	0
7	, .	21	9
8	, .	2	2
9	, .	31	48
10	, .	147	148
11	(, , ,)		
12			

(): 15.04.05

-

1485 21.11.2014 ., : 17.12.2014 .

: 1,

(): 15.04.05 -

, 5 20.06.2017

- , 5 21.06.2017

:

,

:

,

:

. . .

1.

1.1

Компетенция ФГОС: ПК.11 способность организовывать работы по проектированию новых высокоэффективных машиностроительных производств и их элементов, модернизации и автоматизации действующих, по выбору технологий, инструментальных средств и средств вычислительной техники при реализации процессов проектирования, изготовления, контроля, технического диагностирования и промышленных испытаний машиностроительных изделий, поиску оптимальных решений при их создании, разработке технологий машиностроительных производств, и элементов и систем технического и аппаратно-программного обеспечения с учетом требований качества, надежности, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и требований экологии; <i>в части следующих результатов обучения:</i>	
2.	,
Компетенция ФГОС: ПК.15 способность осознавать основные проблемы своей предметной области, при решении которых возникает необходимость в сложных задачах выбора, требующих использования современных научных методов исследования, ориентироваться в постановке задач и определять пути поиска и средства их решения, применять знания о современных методах исследования, ставить и решать прикладные исследовательские задачи; <i>в части следующих результатов обучения:</i>	
13.	
14.	,
8.	,
1.	
2.	,
Компетенция ФГОС: ПК.2 способность участвовать в разработке проектов машиностроительных изделий и производств с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, разрабатывать обобщенные варианты решения проектных задач, анализировать и выбирать оптимальные решения, прогнозировать их последствия, планировать реализацию проектов, проводить патентные исследования, обеспечивающие чистоту и патентоспособность новых проектных решений и определять показатели технического уровня проектируемых процессов машиностроительных производств и изделий различного служебного назначения; <i>в части следующих результатов обучения:</i>	
2.	,
3.	,
Компетенция ФГОС: ПК.5 способность разрабатывать и внедрять эффективные технологии изготовления машиностроительных изделий, участвовать в модернизации и автоматизации действующих и проектировании новых машиностроительных производств различного назначения, средств и систем их оснащения, производственных и технологических процессов с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства; <i>в части следующих результатов обучения:</i>	
5.	,

2.

2.1

(
---	--

.2. 2 , ,	
1.методических, нормативных и руководящих материалы, касающихся вопросов проектирования типовых узлов металлообрабатывающих станков.	; ;
2.методы конструирования и расчета основных элементов механизмов станка, в том числе автоматизированные, а также оптимизации принятых решений.	; ;
.2. 3 , ,	
3.методы конструирования и расчета основных элементов механизмов станка, в том числе автоматизированные, а также оптимизации принятых решений.	; ;
.2. 2 , ,	
4.конструирования и расчета основных узлов и элементов технологического оборудования с применением ЭВМ на базе привлечения современного программного продукта.	; ;
.2. 3 , ,	
5.конструирования и расчета основных узлов и элементов технологического оборудования с применением ЭВМ на базе привлечения современного программного продукта.	; ;
.5. 5 ,	
6.методических, нормативных и руководящих материалы, касающихся вопросов проектирования типовых узлов металлообрабатывающих станков.	; ;
7.методы конструирования и расчета основных элементов механизмов станка, в том числе автоматизированные, а также оптимизации принятых решений.	; ;
8.конструирования и расчета основных узлов и элементов технологического оборудования с применением ЭВМ на базе привлечения современного программного продукта.	; ;
9.разработки математических моделей поведения объектов проектирования в условиях изменения внешних факторов.	; ;
.11. 2 , ,	
10.современных конструкциях металлообрабатывающих станков и основных тенденциях их совершенствования.	; ;
11.методических, нормативных и руководящих материалы, касающихся вопросов проектирования типовых узлов металлообрабатывающих станков.	; ;
12.методы конструирования и расчета основных элементов механизмов станка, в том числе автоматизированные, а также оптимизации принятых решений.	; ;
13.проектировать сложные технические системы, в том числе с использованием современных компьютерных средств.	; ;
14.разработки математических моделей поведения объектов проектирования в условиях изменения внешних факторов.	; ;
.15. 8 , ,	
15.достижениях науки и техники, передовом отечественном и зарубежном опыте в области станкостроения.	; ;
16.методы конструирования и расчета основных элементов механизмов станка, в том числе автоматизированные, а также оптимизации принятых решений.	; ;
17.конструирования и расчета основных узлов и элементов технологического оборудования с применением ЭВМ на базе привлечения современного программного продукта.	; ;

18.разработки математических моделей поведения объектов проектирования в условиях изменения внешних факторов.		;
.15. 13		
19.современных конструкциях металлообрабатывающих станков и основных тенденциях их совершенствования.		;
20.достижениях науки и техники, передовом отечественном и зарубежном опыте в области станкостроения.		;
.15. 14		
21.показатели качества и критерии работоспособности основных подсистем и узлов станочных комплексов.		;
.15. 13		
22.проектировать сложные технические системы, в том числе с использованием современных компьютерных средств.		;
.15. 14		
23.конструирования и расчета основных узлов и элементов технологического оборудования с применением ЭВМ на базе привлечения современного программного продукта.		;
.15. 13		
24.конструирования и расчета основных узлов и элементов технологического оборудования с применением ЭВМ на базе привлечения современного программного продукта.		;
.15. 1		
25.показатели качества и критерии работоспособности основных подсистем и узлов станочных комплексов.		;
.15. 2		
26.методы конструирования и расчета основных элементов механизмов станка, в том числе автоматизированные, а также оптимизации принятых решений.		;
.15. 1		
27.методы конструирования и расчета основных элементов механизмов станка, в том числе автоматизированные, а также оптимизации принятых решений.		;
28.анализировать и оценивать качество конструкций узлов металлорежущих станков.		;
.15. 2		
29.анализировать и оценивать качество конструкций узлов металлорежущих станков.		;
30.конструирования и расчета основных узлов и элементов технологического оборудования с применением ЭВМ на базе привлечения современного программного продукта.		;

4.	1	2	13, 17, 22, 23, 24, 30, 4, 5, 8	， 。 ， ， - 。 。 - ， ； 。
5.	1	2	12, 16, 17, 2, 23, 24, 26, 27, 3, 30, 4, 5, 7, 8	- ，
6.	1	2	10, 13, 15, 19, 20	’ ，
：				
7.	1	2	10, 13, 15, 20, 21, 22, 28, 29	， (), 。 ()。 - 。 。
：				
8.	1	1	10, 12, 16, 19, 2, 20, 21, 26, 27, 3, 6, 7	， ， ’ 。 。

9.	0	1	12, 17, 19, 2, 23, 24, 26, 27, 3, 30, 4, 5, 7, 8	.
----	---	---	--	---

3.2

	,	.		
: 1				
:				
1.	4	6	12, 16, 17, 2, 23, 24, 26, 27, 3, 30, 4, 5, 7, 8	,
2.	4	6	12, 16, 2, 23, 24, 26, 3, 30, 4, 5, 7, 8	,
3.	4	6	11, 12, 16, 2, 21, 23, 24, 26, 27, 28, 3, 30, 4, 5, 7, 8	,
: 2				
:				
4.	3	6	13, 14, 17, 18, 22, 23, 24, 30, 4, 5, 8, 9	,
5.	3	6	13, 14, 17, 18, 22, 23, 24, 30, 4, 5, 8	,

:				
6.	3	6	1, 15, 2, 20, 25, 27, 3, 30, 7, 9	,

4.

: 1				
1		1, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 2, 21, 22, 23, 25, 28, 30, 4, 6, 7, 8	107	16
<p>[: - -]: - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234166.</p> <p>- : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234042</p>				
2		1, 11, 13, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 24, 26, 29, 3, 30, 5, 6, 7, 9	40	15
<p>]: - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234166. -</p>				
: 2				
1		1, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 24, 27, 29, 3, 30, 5, 6, 7, 9	108	33
<p>-</p> <p>[]: - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234166. -</p>				

2		1, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 2, 21, 22, 23, 25, 28, 30, 4, 6, 7, 8	40	15
<p>]; [</p> <p>, [2017]. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234166. -</p>				

5.

(. 5.1).

5.1

	-
	e-mail:skiba@corp.nstu.ru; :http://ciu.nstu.ru/kaf/persons/20541
	e-mail:skiba@corp.nstu.ru; :vk.com; :Skype: skeeba_vadim
	e-mail:skiba@corp.nstu.ru

5.2

1		.11; .15; .2; .5;
<p>Формируемые умения: з13. знать проблемы проектирования и изготовления машиностроительных изделий; з14. знать структурный подход к проектированию, изготовлению, эксплуатации и переработки машиностроительных изделий - методы решения научных и технических проблем в машиностроении; з8. знать методы конструирования, расчета, моделирования и оптимизации основных подсистем и узлов оборудования с компьютерным управлением; у1. уметь анализировать конструкции и компоновки технологического оборудования с компьютерным управлением; у2. навыками анализа конструкций, компоновок технологического оборудования с компьютерным управлением, конструирования его основных деталей, узлов и подсистем;; у2. уметь использовать структурный подход к проектированию, изготовлению, эксплуатации и переработки машиностроительной продукции; у2. уметь конструировать основные детали, узлы и подсистемы оборудования с компьютерным управлением на современной элементной базе, разрабатывать их математические модели; у3. владение идеологией структурного подхода к проектированию, изготовлению, эксплуатации и переработке машиностроительной продукции; у5. уметь проектировать и рассчитывать инструментальные системы, выбирать технологии их изготовления, транспортные и складские системы инструментообеспечения машиностроительных производств</p> <p>Краткое описание применения: Обсуждение особенности конструирования и расчета основных элементов приводов технологического оборудования</p>		

6.

(), - 15- ECTS.
6.1.

1

6.1

: 1		
<i>Практические занятия:</i>	24	60
" ; , [2017]. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234166 . - "		
<i>Экзамен:</i>	26	40
() " ; , [2017]. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234166 . - "		
: 2		
<i>Практические занятия:</i>	10	30
" ; , [2017]. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234166 . - "		
<i>Курсовой проект: Итого</i>	0	50
" ; , [2017]. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234166 . - "		
<i>Зачет:</i>	10	20
() " ; , [2017]. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234166 . - "		

6.2

6.2

		/		
.11	2.	+	+	+
.15	13.	+	+	+
	14.	+	+	+
	8.	+	+	+
	1.	+	+	+
	2.	+	+	+

.2	2.	+	+	+
	3.	+	+	+
.5	5.	+	+	+

1

7.

1. Бушуев В. В. Металлорежущие станки. В 2 т. Т. 1 : учебник / В. В. Бушуев. - М., 2011
2. Бушуев В. В. Металлорежущие станки. В 2 т. Т. 2 : учебник / В. В. Бушуев. - М., 2011
3. Гуртяков А.М. Расчет и проектирование металлорежущих станков [Электронный ресурс]: учебное пособие/ А.М. Гуртяков— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский политехнический университет, 2014.— 136 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34708.html>.— ЭБС «IPRbooks»
4. Чесов Ю. С. Проектирование металлорежущего оборудования : учебное пособие для МТФ всех форм обучения / Ю. С. Чёсов, С. В. Птицын ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 102, [1] с. : ил., черт., табл.. - Режим доступа: <http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2005/checov.rar>
5. Металлорежущие станки : учебник для вузов по направлению подготовки дипломированных специалистов - "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" / В. Д. Ефремов [и др.] ; под общ. ред. П. И. Ящерицына. - М., 2005. - 553 с. : ил., схемы
6. Чесов Ю. С. Кинематический расчет привода главного движения металлорежущих станков : учебное пособие / Ю. С. Чёсов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2013. - 79 с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000184533
7. Бушуев В. В. Практика конструирования машин : справочник / В. В. Бушуев. - М., 2006. - 448 с. : ил., черт.
8. Синтез и анализ компоновок металлорежущих станков [Электронный ресурс]: методические указания к курсовому проектированию по дисциплинам «Металлорежущие станки» и «Проектирование станочного оборудования»/ — Электрон. текстовые данные.— Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2012.— 22 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17697.html>.— ЭБС «IPRbooks»
9. Ванин В.А. Точность кинематических цепей металлорежущих станков [Электронный ресурс]: учебное пособие/ В.А. Ванин, А.Н. Колодин, В.Х. Фидаров— Электрон. текстовые данные.— Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2012.— 189 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/64599.html>.— ЭБС «IPRbooks»
10. Чёсов Ю.С. Кинематический расчет привода главного движения металлорежущих станков [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Ю.С. Чёсов— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013.— 80 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45098.html>.— ЭБС «IPRbooks»
11. Металлорежущие станки. Том 1 [Электронный ресурс]: учебник/ Т.М. Авраамова [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Машиностроение, 2012.— 608 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/18524.html>.— ЭБС «IPRbooks»

12. Металлорежущие станки. Том 2 [Электронный ресурс]: учебник/ В.В. Бушуев [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Машиностроение, 2012.— 584 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/18525.html>.— ЭБС «IPRbooks»

13. Васильков Д.В. Электромеханические приводы металлообрабатывающих станков. Расчет и конструирование [Электронный ресурс]: учебник/ Д.В. Васильков, В.Л. Вейц, А.Г. Схиртладзе— Электрон. текстовые данные.— СПб.: Политехника, 2016.— 760 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/59488.html>.— ЭБС «IPRbooks»

1. Чесов Ю. С. Качество технологического оборудования : учебное пособие для МТФ всех форм обучения / Ю. С. Чёсов, С. В. Птицын, В. В. Иванцовский. - Новосибирск, 1998. - 74 с. : ил.

2. Расчет и конструирование станков : Рабочая программа и метод. указания для МТФ спец. 120100, 120200 и 210200 всех форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т; сост.: Чесов Ю. С., Птицын С. В. - Новосибирск, 2003

3. Пуш В. Э. Конструирование металлорежущих станков / В. Э. Пуш. - М., 1977. - 391, [1] с.

4. Чесов Ю. С. Энергетический баланс привода металлорежущего оборудования : Метод. указания к лаб. работе для ФАМ всех форм обучения / Сост. : Чесов Ю. С. , Птицын С. В. - Новосибирск, 1994. - 21 с. : ил.

5. Кочергин А. И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов : курсовое проектирование : учебное пособие для вузов / А. И. Кочергин. - Минск, 1991. - 381, [1] с. : ил.

6. Жесткость металлорежущего оборудования : Методические указания к лаб. работе для ФАМ всех форм обучения / Новосибирский гос. техн. ун-т; Сост. : Ю. С. Чесов и др. - Новосибирск, 1994. - 16 с.

7. Анализ и оценка качества конструкций технологического оборудования : методические указания к лабораторной работе для ФАМ всех форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. : Ю. С. Чёсов, С. В. Птицын]. - Новосибирск, 1995. - 23 с. : табл.

8. Пуш А. В. Шпиндельные узлы : качество и надежность / А. В. Пуш. - М., 1992. - 287 с. : ил.

9. Автоматизированный расчет станочных приводов : учебное пособие для ФАМ всех форм обучения / С. В. Птицын, В. В. Иванцовский, В. П. Титоренко и др. ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 1996. - 97 с. : ил.

10. Точность позиционирования исполнительных органов станков : методические указания к лаб. работе для ФАМ всех форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. Ю. С. Чесов, С. В. Птицын]. - Новосибирск, 1995. - 21 с.

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>

2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>

3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>

4. ЭБС "Znanium.com" : <http://znanium.com/>

5. :

8.

8.1

1. Организация самостоятельной работы студентов Новосибирского государственного технического университета : методическое руководство / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Ю. В. Никитин, Т. Ю. Сурнина]. - Новосибирск, 2016. - 19, [1] с. : табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234042
2. Скиба В. Ю. Расчет и конструирование станочного оборудования [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / В. Ю. Скиба ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2017]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234166. - Загл. с экрана.
3. Геометрическая точность металлообрабатывающих станков : методические указания к лабораторной работе для МТФ специальностей 151001, 151002 и 220301 всех форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. Ю. С. Чесов, С. В. Птицын]. - Новосибирск, 2006. - 18, [1] с. : ил.. - Режим доступа: http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2006/2006_3072.pdf

8.2

- 1 Microsoft Office
- 2 MathCAD
- 3 Ansys Academic Research
- 4 APM WinMachine

9. -

1	6	,

1	BenQ W1200 DLP 1800 ANSI 1080P(.5, .250)	

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра проектирования технологических машин

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН МТФ
к.т.н., доцент В.В. Янпольский
“ ” _____ Г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Расчет и конструирование станочного оборудования

Образовательная программа: 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, магистерская программа: Проектирование технологических машин

1. **Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины**

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине «Расчет и конструирование станочного оборудования» приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ПК.11/ОУ способность организовывать работы по проектированию новых высокоэффективных машиностроительных производств и их элементов, модернизации и автоматизации действующих, по выбору технологий, инструментальных средств и средств вычислительной техники при реализации процессов проектирования, изготовления, контроля, технического диагностирования и промышленных испытаний машиностроительных изделий, поиску оптимальных решений при их создании, разработке технологий машиностроительных производств, и элементов и систем технического и аппаратно-программного обеспечения с учетом требований качества, надежности, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и требований экологии	у2. уметь использовать структурный подход к проектированию, изготовлению, эксплуатации и переработки машиностроительной продукции	Направляющие Несущая система Особенности конструирования и расчета основных элементов привода. Привод подач Расчёт валов, подшипников и ременных передач коробок скоростей Расчёт зубчатых передач приводов станков Расчёт шпиндельного узла на точность и жесткость. Расчётные нагрузки станков Системы смазывания Системы управления Типовые конструкции шпиндельных узлов и приводов главного движения и подач станков Тяговые устройства. Устройства для микроперемещений рабочего органа Шпиндельные узлы	Курсовой проект	Экзамен (1 семестр), Зачет (2 семестр)

ПК.15/НИ способность осознавать основные проблемы своей предметной области, при решении которых возникает необходимость в сложных задачах выбора, требующих использования современных научных методов исследования, ориентироваться в постановке задач и определять пути поиска и средства их решения, применять знания о современных методах исследования, ставить и решать прикладные исследовательские задачи	38. знать методы конструирования, расчета, моделирования и оптимизации основных подсистем и узлов оборудования с компьютерным управлением	Конструирование основных элементов коробки скоростей Направляющие Несущая система Особенности конструирования и расчета основных элементов привода. Расчёт валов, подшипников и ременных передач коробок скоростей Расчёт зубчатых передач приводов станков Расчёт шпиндельного узла на точность и жесткость Расчётные нагрузки станков Системы смазывания Системы управления Типовые конструкции шпиндельных узлов и приводов главного движения и подач станков Тяговые устройства Устройства для микроперемещений рабочего органа Шпиндельные узлы	Курсовой проект	Экзамен (1 семестр), Зачет (2 семестр)
ПК.15/НИ	313. знать проблемы проектирования и изготовления машиностроительны х изделий	Конструирование основных элементов коробки скоростей Направляющие Несущая система Особенности конструирования и расчета основных элементов привода. Привод подач Расчёт валов, подшипников и ременных передач коробок скоростей Расчёт зубчатых передач приводов станков Расчёт шпиндельного узла на точность и жесткость Расчётные нагрузки станков Системы смазывания Системы управления Типовые конструкции шпиндельных узлов и приводов главного движения и подач станков Тяговые устройства Устройства для микроперемещений рабочего органа Шпиндельные узлы	Курсовой проект	Экзамен (1 семестр), Зачет (2 семестр)
ПК.15/НИ	314. знать структурный подход к проектированию, изготовлению, эксплуатации и переработки машиностроительны х изделий - методы решения научных и технических проблем в машиностроении	Направляющие Несущая система Особенности конструирования и расчета основных элементов привода. Привод подач Расчёт валов, подшипников и ременных передач коробок скоростей Расчёт зубчатых передач приводов станков Расчёт шпиндельного узла на точность и жесткость Расчётные нагрузки станков Системы смазывания Системы управления Типовые конструкции шпиндельных узлов и приводов главного движения и подач станков Тяговые устройства	Курсовой проект	Экзамен (1 семестр), Зачет (2 семестр)
ПК.15/НИ	у1. уметь анализировать конструкции и компоновки технологического оборудования с компьютерным управлением	Конструирование основных элементов коробки скоростей Несущая система Особенности конструирования и расчета основных элементов привода. Привод подач Расчёт валов, подшипников и ременных передач коробок скоростей Расчётные нагрузки станков Системы смазывания Системы	Курсовой проект	Экзамен (1 семестр), Зачет (2 семестр)

		управления Тяговые устройства Шпиндельные узлы		
ПК.15/НИ	у2. навыками анализа конструкций, компоновок технологического оборудования с компьютерным управлением, конструирования его основных деталей, узлов и подсистем;	Конструирование основных элементов коробки скоростей Направляющие Несущая система Особенности конструирования и расчета основных элементов привода. Расчёт валов, подшипников и ременных передач коробок скоростей Расчёт зубчатых передач приводов станков Расчёт шпиндельного узла на точность и жесткость Расчётные нагрузки станков Системы смазывания Системы управления Типовые конструкции шпиндельных узлов и приводов главного движения и подачи станков Тяговые устройства Шпиндельные узлы	Курсовой проект	Экзамен (1 семестр), Зачет (2 семестр)
ПК.2/ПК способность участвовать в разработке проектов машиностроительных изделий и производств с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, разрабатывать обобщенные варианты решения проектных задач, анализировать и выбирать оптимальные решения, прогнозировать их последствия, планировать реализацию проектов, проводить патентные исследования, обеспечивающие чистоту и патентоспособность новых проектных решений и определять показатели технического уровня проектируемых процессов машиностроительных производств и изделий различного служебного	у2. уметь конструировать основные детали, узлы и подсистемы оборудования с компьютерным управлением на современной элементной базе, разрабатывать их математические модели	Конструирование основных элементов коробки скоростей Направляющие Особенности конструирования и расчета основных элементов привода. Расчёт валов, подшипников и ременных передач коробок скоростей Расчёт зубчатых передач приводов станков Расчёт шпиндельного узла на точность и жесткость Расчётные нагрузки станков Системы смазывания Системы управления Типовые конструкции шпиндельных узлов и приводов главного движения и подачи станков Тяговые устройства Шпиндельные узлы	Курсовой проект	Экзамен (1 семестр), Зачет (2 семестр)

назначения				
ПК.2/ПК	у3. владение идеологией структурного подхода к проектированию, изготовлению, эксплуатации и переработке машиностроительной продукции	Конструирование основных элементов коробки скоростей Направляющие Особенности конструирования и расчета основных элементов привода. Расчёт валов, подшипников и ременных передач коробок скоростей Расчёт зубчатых передач приводов станков Расчёт шпиндельного узла на точность и жесткость Расчётные нагрузки станков Системы смазывания Системы управления Типовые конструкции шпиндельных узлов и приводов главного движения и подач станков Тяговые устройства	Курсовой проект	Экзамен (1 семестр), Зачет (2 семестр)
ПК.5/ПТ способность разрабатывать и внедрять эффективные технологии изготовления машиностроительных изделий, участвовать в модернизации и автоматизации действующих проектировании новых машиностроительных производств различного назначения, средств и систем их оснащения, производственных и технологических процессов с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства	у5. уметь проектировать и рассчитывать инструментальные системы, выбирать технологии их изготовления, транспортные и складские системы инструментального обеспечения машиностроительных производств	Конструирование основных элементов коробки скоростей Направляющие Особенности конструирования и расчета основных элементов привода. Расчёт валов, подшипников и ременных передач коробок скоростей Расчёт зубчатых передач приводов станков Расчёт шпиндельного узла на точность и жесткость Расчётные нагрузки станков Системы смазывания Системы управления Типовые конструкции шпиндельных узлов и приводов главного движения и подач станков Тяговые устройства Шпиндельные узлы	Курсовой проект	Экзамен (1 семестр), Зачет (2 семестр)

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 1 семестре - в форме экзамена, в 2 семестре – в форме зачета, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.11/ОУ, ПК.15/НИ, ПК.2/ПК, ПК.5/ПТ.

Экзамен (1 семестр) проводится в устной и письменной форме, по билетам. На экзамене студенту выдается билет, содержащий два вопроса. Распределение дидактических единиц по проверяемым компетенциям указано в таблице «Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины». Требования к допуску студентов к сдаче экзамена, состав билета и критерии оценки на экзамене приведены в паспорте экзамена.

Зачет (2 семестр) проводится в устной и письменной форме, по билетам. На зачете студенту выдается билет, включающий 2 вопроса. Распределение дидактических единиц по проверяемым компетенциям указано в таблице «Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины». Требования к допуску студентов к сдаче зачета, состав билета и критерии оценки на зачете приведены в

паспорте зачета.

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 2 семестре обязательным этапом текущей аттестации является курсовой проект. Требования к выполнению курсового проекта, состав и правила оценки сформулированы в паспорте курсового проекта.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ПК.11/ОУ, ПК.15/НИ, ПК.2/ПК, ПК.5/ПТ, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра проектирования технологических машин

Паспорт экзамена

по дисциплине «Расчет и конструирование станочного оборудования», 1 семестр

1. Методика оценки

Студент допускается к сдаче экзамена при условии, что он выполнил и защитил все практические работы и набрал не менее 24 баллов.

На экзамене студенту выдается билет, включающий 2 вопроса (рис. 1), включающий 2 теоретических вопроса и 2 практических задания. Распределение дидактических единиц по проверяемым компетенциям указано в таблице «Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины».

Выставление оценок на экзамене осуществляется на основе выполнения и защиты двух теоретических вопросов и двух практических заданий. Экзамен считается сданным, если ответы даны на все 4 вопроса при этом рейтинг студента по итоговой аттестации составляет не менее 26 баллов.

Оценивание ответов на вопросы осуществляется в соответствии с уровнем знаний: "удовлетворительно" – 6,5-7,5 баллов; "хорошо" – 8-9 баллов; "отлично" – 9,5-10 баллов. Всего за четыре вопроса студент может получить максимум 40 баллов.

Форма билета для экзамена

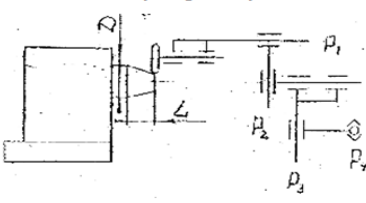
Министерство образования и науки Российской Федерации	Экзаменационный билет № 1 экзамен «РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ» <i>МТФ магистратура 1 семестр</i>
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ	

Теория

- Основные показатели качества металлообрабатывающего оборудования.
- Пути повышения технологичности конструкций.

Практика

- Построить структурную схему по выданному варианту компоновочной схемы станка



- Построить Типовой вариант картины частот вращения привода с $\varphi_1 = 1,26$ и $\varphi_2 = 1,58$ на базе структурной формулы $Z = 1 * 2_1 2_2 2_3$ при условии, что $Z_2 = 4$.

Составил: доц. Скиба В.Ю.
Утверждаю: Зав. кафедрой ПТМ

Дата: _____. 2015 г.

Рисунок 1. Экзаменационный билет

2. Критерии оценки

Защита считается неудовлетворительной, если студент не освоил теоретический материал и не смог обобщить теоретический и практический материал; оценка составляет менее 26 баллов.

*Защита считается состоявшейся на **пороговом уровне***, если студент освоил теоретический материал, но не смог обобщить теоретический и практический материал; оценка составляет 26-30 баллов.

*Защита считается состоявшейся на **базовом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, допустил несколько ошибок при защите, привёл не достаточно чёткую аргументацию своей точки зрения при ответе на вопросы, оценка составляет 31-36 баллов.

*Защита считается состоявшейся на **продвинутом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, привёл достаточно чёткую аргументацию своей точки зрения по всем вопросам, оценка составляет 37-40 баллов.

3. Шкала оценки

Если студент в семестре работал не систематически, в результате чего не набрал требуемое количество баллов, то ему выдается дополнительное задание, тематика и объем которого определяются преподавателем.

Если в результате сдачи экзамена студент не набирает 26 баллов или с учетом сдачи экзамена его суммарный рейтинг (**ОЦЕНКА НА ЭКЗАМЕНЕ** + оценка за выполнение практических работ) не превышает 49 баллов, ему выставляется оценка "неудовлетворительно" (FX) с возможностью пересдачи.

При пересдаче экзамена студент имеет возможность получить оценку не выше E ("удовлетворительно").

Студент имеет возможность получить дополнительно до 20 баллов при выполнении работ, не предусмотренных основной программой освоения курса. Данные виды работ согласуются с преподавателем. Одним из вариантов дополнительной работы может быть выполнение расчётно-графической работы по заданной преподавателем тематике.

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Итоговая оценка по дисциплине выставляется согласно таблице.

Таблица

98–100	93-97	90-92	87-89	83-86	80-82	77-79	73-76	70-72	67-69	63-66	60-62	50-59	25-49	0-24
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	D-	E	FX	F
отлично				хорошо				удовлетворительно				неудовлетворительно		
зачтено												не зачтено		

4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Расчет и конструирование станочного оборудования»

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

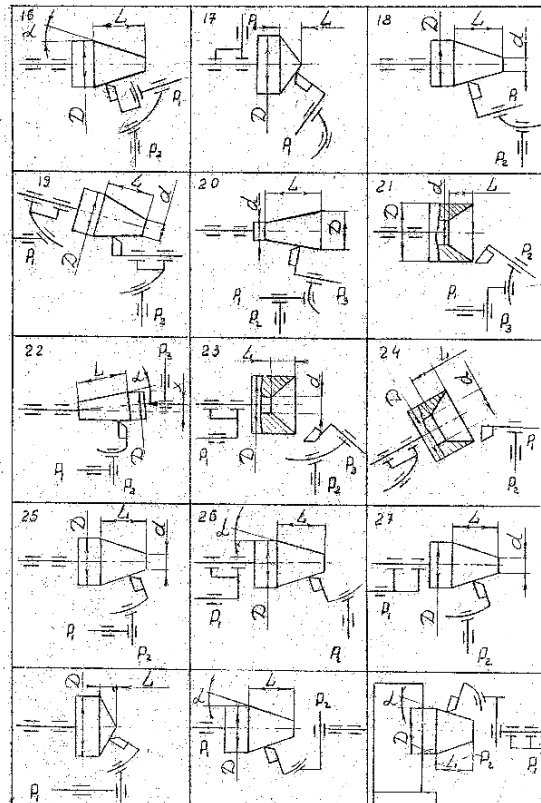
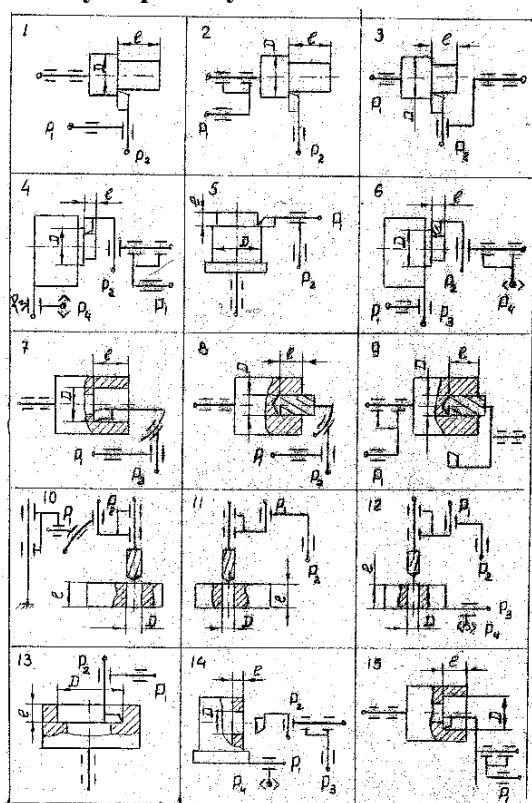
1. Основные показатели качества металлообрабатывающего оборудования.
2. Показатели качества, характеризующие производительность станков. Факторы, влияющие на производительность.
3. Показатели качества, характеризующие надежность станков.
4. Показатели качества, характеризующие безотказность и долговечность станков. Основные пути повышения надежности.

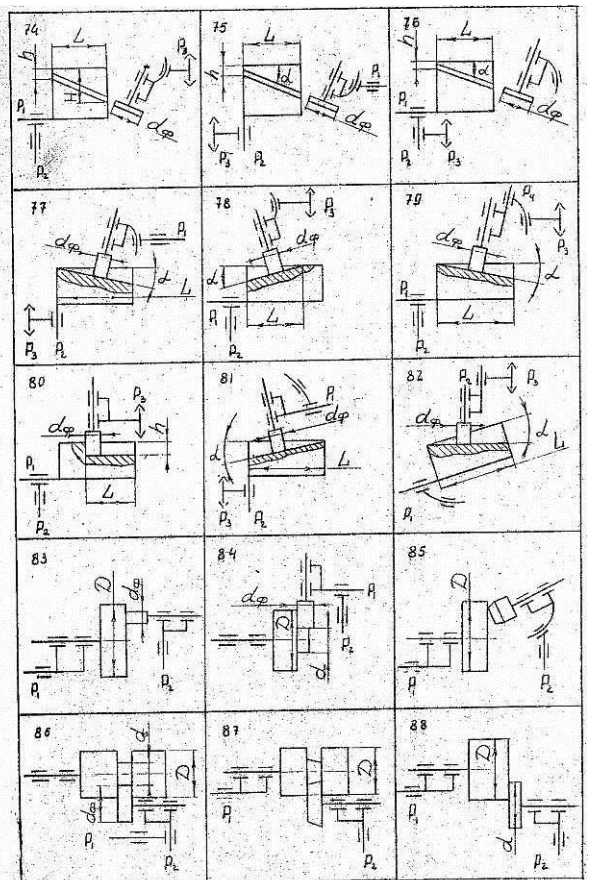
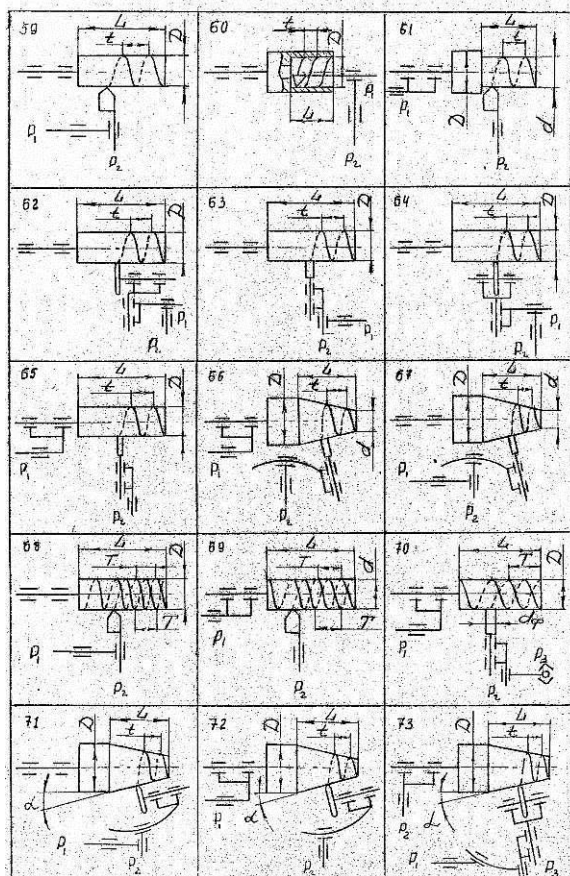
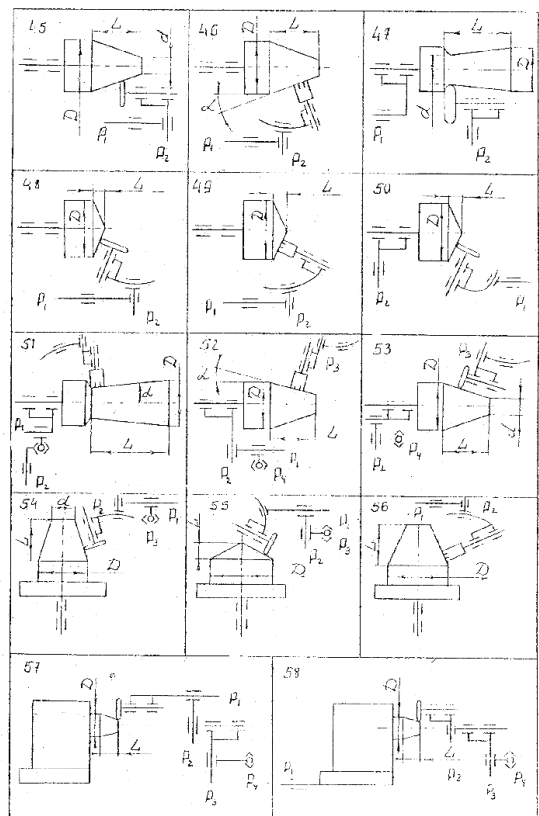
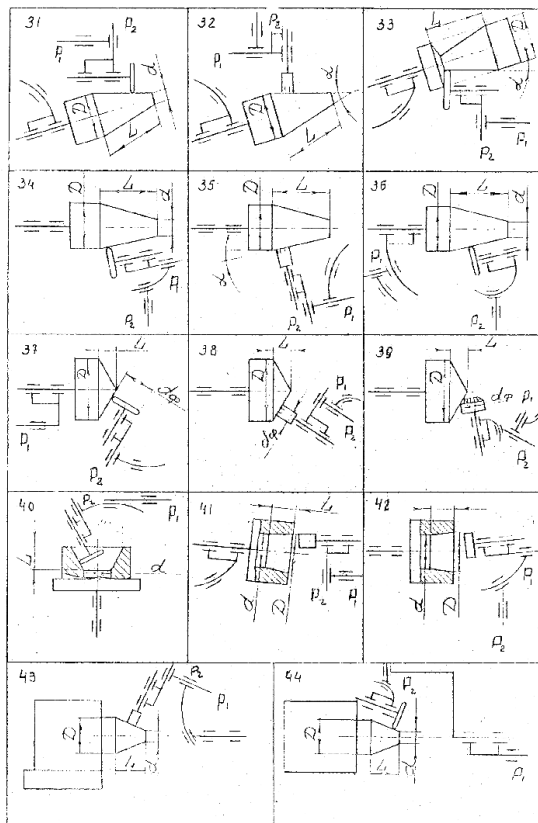
5. Факторы, влияющие на температурные деформации шпиндельных узлов (ШУ). Основные пути повышения теплостойкости ШУ.
6. Энергетический баланс привода главного движения (ПГД) станков.
7. Причины возникновения геометрических погрешностей станков и пути их уменьшения.
8. Причины возникновения кинематических погрешностей и пути их снижения.
9. Жесткость станочных систем и пути ее повышения.
10. Структура КПД привода главного движения станков и пути его повышения.
11. Показатели качества, характеризующие гибкость станочных систем.
12. Факторы, определяющие виброустойчивость ШУ, и пути повышения устойчивости ШУ к внешним воздействиям.
13. Пути повышения технологичности конструкций.
14. Структура погрешностей (ошибок) станочного оборудования и причины их появления.
15. Суть графоаналитического метода расчета передаточных отношений передач привода на примере нормальной множительной структуры.
16. Требования, предъявляемые к шпиндельным узлам (ШУ).
17. Материалы, методы и способы упрочнения ШУ.
18. Способы смазывания опор ШУ и валов. Критерии применения.
19. Выборка зазоров и создание натяга в опорах ШУ. Общие положения.
20. Конструктивные варианты выборки зазоров и создания натяга в опорах ШУ.
21. Область применения и принцип работы гидростатических опор (на примере радиальных опор), достоинства и недостатки.
22. Область применения и принцип работы упорных гидростатических подшипников, достоинства и недостатки.
23. Факторы, определяющие несущую способность и жесткость гидростатических опор.
24. Область применения и принцип работы гидродинамических подшипников, достоинства и недостатки.
25. Факторы, определяющие несущую способность и жесткость гидродинамических опор.
26. Область применения и принцип работы аэростатических опор. Факторы, определяющие несущую способность и жесткость опор.
27. Достоинства и недостатки активных магнитных опор, область применения.
28. Методики расчёта радиальной и осевой точности вращения ШУ.
29. Методики расчёта радиальной и осевой жесткости ШУ.
30. Специфика расчёта и конструирования зубчатых колес, валов и опор в станкостроении.
31. Структуры привода подач.
32. Геометрическая форма направляющих скольжения, достоинства и недостатки.
33. Материал направляющих смешанного трения.
34. Защитные устройства направляющих смешанного трения.
35. Сущность методики расчёта направляющих смешанного трения на износостойкость.
36. Сущность методики расчёта направляющих смешанного трения на жесткость.
37. Дать сравнительную оценку направляющим скольжения и качения.
38. Классификация направляющих качения по характеру движения тел качения, достоинства и недостатки.
39. Способы создания натяга в направляющих качения.
40. Материал направляющих качения. Устройства защиты и смазывания.
41. Методика расчёта направляющих качения на контактную прочность.
42. Методика расчёта направляющих качения на жесткость.
43. Конструктивные особенности комбинированных направляющих. Область применения.
44. Область применения и принцип действия гидродинамических направляющих. Факторы, определяющие несущую способность направляющих.
45. Область применения и принцип действия гидростатических направляющих. Факторы, определяющие жесткость направляющих.
46. Геометрическая форма направляющих кругового движения. Достоинства и недостатки.

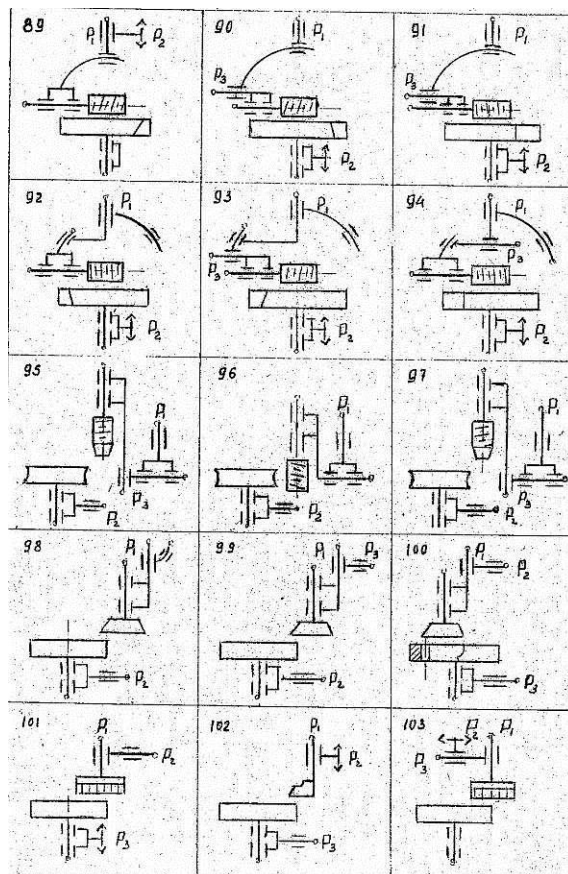
47. Требования, предъявляемые к тяговым устройствам привода подач.
48. Достоинства и недостатки передачи винт-гайка скольжения.
49. Способы регулировки передачи винт-гайка скольжения.
50. Характерные особенности передачи винт-гайка качения.
51. Способы решения проблемы фрикционных автоколебаний в приводе подач.
52. Термодинамический привод.
53. Магнитострикционный привод.
54. Упруго-силовой привод.
55. Способы смазывания зубчатых передач и муфт. Достоинства и недостатки.
56. Методика расчета и подбор аппаратуры системы смазывания привода главного движения.
57. Конструктивные особенности систем с ручным управлением. Достоинства и недостатки.
58. Конструктивные особенности систем управления на базе электромагнитных и гидравлических фрикционных муфт. Достоинства и недостатки.
59. Специфика проектирования корпусов коробок скоростей и подач.
60. Требования, предъявляемые к элементам несущей системы станка, их конструктивные формы и материалы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Вопросы первого практического задания заключается в построении структурной схемы по выданному варианту компоновочной схемы станка:







2. Вопросы второго практического задания:

2.1 Типовой вариант картины частот вращения привода с $\varphi_1 = 1,26$ и $\varphi_2 = 1,58$ на базе структурной формулы $Z = 1 \cdot 2_1 2_2 2_3$ при условии, что $Z_2 = 4$.

2.2 Построить картину частот вращения привода с $Z = 3_3 2_1 2_2$ и $\varphi = 1,26$, полагая, что максимальная частота вращения привода сопоставима с частотой вращения электродвигателя.

2.3 Построить картину частот вращения привода со структурной формулой $Z = 1 \cdot 4_2 2_1$ и $\varphi = 1,41$ при условии, что максимальная частота вращения привода равна частоте вращения электродвигателя.

2.4 Построить картину частот вращения привода с $Z = 2_2 2_1 2_3$ и $\varphi = 1,41$, полагая, что максимальная частота вращения привода сопоставима с частотой вращения электродвигателя.

2.5 Построить картину частот вращения привода с числом ступеней скорости $Z = 11$ и $\varphi = 1,41$ при условии, что максимальная частота вращения привода равна частоте вращения электродвигателя.

2.6 Построить картину частот вращения привода с числом ступеней скорости $Z = 12$ и $\varphi = 1,26$ при условии, что максимальная частота вращения привода равна частоте вращения электродвигателя.

2.7 Построить картину частот вращения привода с числом ступеней скорости $Z = 7$ и $\varphi = 1,41$ при условии, что максимальная частота вращения привода равна частоте вращения электродвигателя.

2.8 Построить вариант картины частот вращения привода для структурной формулы $Z = 2_1 \cdot 2_2 (1 + 1 \cdot 1)$, считая, что частота вращения двигателя несколько выше максимальной частоте вращения привода.

2.9 Построить вариант картины частот вращения привода для структурной формулы $Z = 2_1 (1 + 2_2 \cdot 1 \cdot 1)$, считая, что частота вращения двигателя несколько выше максимальной частоте вращения привода.

2.10 Построить картину частот вращения привода с числом ступеней скорости $Z = 10$ и $\varphi = 1,41$ при условии, что максимальная частота вращения привода равна частоте вращения электродвигателя.

2.11 Построить вариант картины частот вращения привода с двухскоростным электродвигателем на базе структурной формулы, обеспечивающей $Z = 8$ при $\varphi = 1,41$, считая, что максимальная частота вращения привода сопоставима с частотой вращения электродвигателя.

2.12 Построить вариант картины частот вращения привода для структурной формулы $Z = 2_1 (1 + 1 \cdot 1 \cdot 2_2)$, считая, что частота вращения двигателя несколько выше максимальной частоте вращения привода.

2.13 Построить картину частот вращения привода с $Z = 2_3 2_1 2_2$ и $\varphi = 1,26$, полагая, что максимальная частота вращения привода сопоставима с частотой вращения электродвигателя.

2.14 Построить вариант картины частот вращения привода с плавным регулированием скорости на базе электродвигателя для структурной формулы $Z = 2(1 \cdot 1 + 1 \cdot 1)$ и $n_{\text{дmax}} = n_{\text{max}}$.

2.15 Построить вариант картины частот вращения привода с плавным регулированием скорости на базе вариатора при $Z = 4$ и $n_{\text{д}} < n_{\text{max}}$.

2.16 Построить вариант картины частот вращения привода с плавным регулированием скорости на базе электродвигателя для структурной формулы $Z = (1 + 1 \cdot 1)$, считая, что частота вращения двигателя несколько выше максимальной частоте вращения привода.

2.17 Построить вариант картины частот вращения привода с плавным регулированием скорости на базе электродвигателя для структурной формулы $Z = (1 + 1 \cdot 2)$, считая, что частота вращения двигателя равна максимальной частоте вращения привода.

2.18 Построить вариант картины частот вращения привода с плавным регулированием скорости на базе электродвигателя для структурной формулы $Z = 1(1 + 1 \cdot 1)$, считая, что частота вращения двигателя несколько выше максимальной частоте вращения привода.

Паспорт заданий для выполнения практических работ
по дисциплине «Расчет и конструирование станочного оборудования», 1 семестр

1. Методика оценки

Для защиты практических работ студентам предлагается выполнить следующий типовый набор заданий: Практическая работа № 1: «Расчётные нагрузки станков»; Практическая работа № 2: «Расчёт зубчатых передач приводов станков»; Практические работы № 3: «Расчёт валов, подшипников и ременных передач коробок скоростей». Распределение заданий практических занятий по проверяемым компетенциям указано в таблице «Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины».

Выставление оценок на практическом занятии осуществляется на основе выполнения и защиты одного типового задания (см. выше). Защита практической работы в соответствии с уровнем знаний: "удовлетворительно" – 8-11 баллов; "хорошо" – 12-16 балла; "отлично" – 17-20 баллов. Максимальное количество баллов, которые можно заработать за выполнение и защиту трех практических работ составляет 60 баллов.

2. Критерии оценки

*Работа считается **не выполненной***, если студент не освоил практический и теоретический материалы; оценка составляет менее 8 баллов.

*Работа считается выполненной на **пороговом уровне***, если студент освоил практический материал, но не смог обобщить теоретический материал; оценка составляет 8-11 баллов.

*Работа считается выполненной на **базовом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, допустил несколько ошибок при определении параметров математической модели, привёл не достаточно чёткую аргументацию своих действий и выводов, оценка составляет 12-16 баллов.

*Работа считается выполненной на **продвинутом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, привёл достаточно чёткую аргументацию своих действий при построении математической модели, оценка составляет 17-20 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за практические занятия учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Если в результате сдачи экзамена студент не набирает 26 баллов или с учетом сдачи экзамена его суммарный рейтинг (оценка на экзамене + **ОЦЕНКА ЗА ВЫПОЛНЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**) не превышает 49 баллов, ему выставляется оценка "неудовлетворительно" (FX) с возможностью пересдачи.

При пересдаче экзамена студент имеет возможность получить оценку не выше Е ("удовлетворительно").

Студент имеет возможность получить дополнительно до 20 баллов при выполнении работ, не предусмотренных основной программой освоения курса. Данные виды работ согласуются с преподавателем. Одним из вариантов дополнительной работы может быть выполнение расчётно-графической работы по заданной преподавателем тематике.

98-100	93-97	90-92	87-89	83-86	80-82	77-79	73-76	70-72	67-69	63-66	60-62	50-59	25-49	0-24
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	D-	E	FX	F
отлично				хорошо				удовлетворительно					неудовлетворительно	
зачтено													не зачтено	

4. Перечень практических работ

Практическая работа № 1 «Расчётные нагрузки станков».

Задание:

Студенты выполняют групповые задания по построению проектов в программных комплексах *APM WinMachine* и *Ansys*, а также разработанной на кафедре программе *RNAG*. На первом практическом занятии выдается комплект исходных данных: 1) Нагрузочные характеристики привода главного движения станка (табл. 1-6).

Вариант задания формируется на основе цифрового трехразрядного кода, устанавливаемого руководителем курсового проектирования. В частности, при шифре 754 необходимо выписать данные седьмой колонки табл. 1 (или 4), а из табл. 2 (или 5) и табл. 3 (или 6) – соответственно пятого и четвертого столбцов.

Кратко прокомментируем принятые в заданиях условные обозначения.

Табл. 1 и 4 содержат информацию о типоразмере и классе точности станка, варианте компоновки привода главного движения, а также о значении одной из эксплуатационных характеристик последнего – эффективной (номинальной) мощности на шпинделе. Заданием предусмотрено проектирование унифицированного привода с главным вращательным движением рабочего органа для двух наиболее распространенных типов металлообрабатывающего оборудования: токарного – Т и фрезерного – Ф. Основным размерным параметром для токарных станков является максимальный диаметр обрабатываемой детали над станиной, а для фрезерных – ширина стола. С учетом функционального назначения и компоновки привода, которая определяет расположение направляющих элементов несущей системы металлорежущего оборудования или положение оси шпинделя в пространстве, универсальные токарные станки подразделяются на патронные – ТП и центровые – ТЦ. Соответственно для многоцелевых токарных станков с ЧПУ, а также фрезерного оборудования предусмотрено наклонное – ТН, вертикальное – ТВ и ВФ и горизонтальное – ГФ исполнение привода. В общем случае проектированию подлежат приводы станков трех классов точности: нормального – Н, повышенного – П и высокого – В.

Т а б л и ц а 1

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип станка	ТП	ВФ	ТЦ	ГФ	ТП	ВФ	ТЦ	ГФ	ТП	ВФ
Основной параметр станка, мм	160	320	200	400	250	160	400	200	320	250
Эффективная мощность на шпинделе, кВт	1,8	6,0	2,4	8,8	3,2	2,4	6,0	3,2	4,6	4,2
Класс точности станка	В	П	П	Н	В	П	П	Н	Н	В

Т а б л и ц а 2

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Максимальная частота вращения, 10^3 мин^{-1}	4,0	2,5	2,5	4,0	2,8	1,4	2,0	1,6	3,2	2,0
Общий диапазон регулирования скорости	16	25	12,5	14	45	11,2	22,4	10	20	31,5
Диапазон регулирования скорости с $N=\text{const}$	5,6	16	5	10	22,4	4	11,2	6,3	8	12,5
Допустимая потеря скорости резания, %	30	40	20	40	50*	30	30	40	40*	20

Т а б л и ц а 3

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Система управления приводом	Д	Р	Д	Р	Д	Р	Д	Р	Р	Д
Технический ресурс привода, 10^3 ч	20	14	11,2	10	16	17,5	12	18	12,5	15
Режим нагружения привода $\bar{N}/N_{\text{ном}}$	Л	Т	С	Л	Т	С	С	Т	С	Л
Система смазывания привода	Ц	И	Ц	И	Ц	И	Ц	И	И	Ц

Т а б л и ц а 4

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип станка	ТН	ВФ	ТН	ГФ	ТВ	ВФ	ТВ	ГФ	ТН	ВФ
Основной параметр станка, мм	500	320	400	250	500	400	400	200	320	250
Эффективная мощность на шпинделе, кВт	14	8	3	12	6	16	10	4	6,8	5
Класс точности станка	П	В	В	П	В	П	П	В	В	П

Т а б л и ц а 5

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Максимальная частота вращения, 10^3 мин^{-1}	5,0	2,8	4,5	3,2	2,0	5,6	2,5	6,0	4,0	3,6
Общий диапазон регулирования скорости	110	65	80	100	85	90	75	60	120	70
Диапазон регулирования скорости с $N=\text{const}$	40	12,5	24	28	20	32	10	8	36	16
Вид электропривода	П	А	А	П	А	П	П	А	А	П

Т а б л и ц а 6

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Система управления приводом	Г	Э	Э	Г	Э	Г	Э	Г	Г	Э
Технический ресурс привода, 10^3 ч	20	14	11,2	10	16	17,5	12	18	12,5	15
Режим нагружения привода $\bar{N}/N_{\text{ном}}$	Л	Т	С	Л	Т	С	С	Т	С	Л

Оставшиеся таблицы включают сведения о скоростных возможностях, режиме работы привода и особенностях конструктивного исполнения его отдельных систем.

Общий диапазон регулирования отражает отношение максимальной частоты вращения шпинделя к минимальной. Диапазон регулирования с постоянной мощностью позволяет найти значение так называемой расчетной частоты вращения привода. Допустимая потеря скорости резания предопределяет величину знаменателя ϕ геометрического ряда частот вращения привода с дискретным регулированием, причем значение потери скорости, отмеченное звездочкой, присуще большему ϕ (структура привода с двумя знаменателями ряда). Для станков с плавным регулированием его величина, как известно, равна нулю. Поэтому для станков с ЧПУ вместо этого параметра в качестве исходного данного введено другое требование: вид электропривода (табл. 5). В этих станках бесступенчатое изменение частоты вращения шпинделя можно обеспечить путем применения электродвигателя либо постоянного тока – П, либо асинхронного с частотным регулированием – А.

Приводам станков общего назначения присущи два типа систем управления: ручной – Р и дистанционный – Д. Последняя, как и в станках с ЧПУ, конструктивно может быть выполнена на базе электрической – Э или гидравлической – Г энергий. Режим нагружения (легкий – Л, средний – С, тяжелый – Т) отражает отношение средней мощности, реализуемой в процессе эксплуатации станка, к номинальной мощности привода. Станки с универсальным характером выполняемых технологических операций оснащаются (табл. 3) двумя типами систем смазывания привода: индивидуальной – И или централизованной – Ц. Все другие решения, выходящие за рамки технического задания, принимаются студентами самостоятельно, но наиболее принципиальные вопросы необходимо в обязательном порядке согласовать с руководителем курсового проектирования.

Практическая работа № 2 «Расчёт зубчатых передач приводов станков»

Задание:

Студенты выполняют групповые задания по построению проектов в программных комплексах *APM WinMachine* и *ANSYS* для: 1) проектировочного расчета зубчатой цилиндрической прямозубой (косозубой) передачи внешнего зацепления; 2) проектировочного расчета зубчатой конической ортогональной передачи с прямыми (круговыми) зубьями; 3) проектировочного расчета червячной передачи; 4) проектировочного расчета клиноременной передачи; 4) проектировочного расчета цепной передачи.

Практическая работа № 3 «Расчёт валов, подшипников и ременных передач коробок скоростей»

Задание:

Студенты выполняют групповые задания по построению проектов в программных комплексах *APM WinMachine* и *Ansys* для расчета: 1) вала на усталостную прочность; 2) расчета радиального подшипника скольжения, работающего в режиме жидкостного трения; 3) подшипников качения; 4) упругих элементов машин: проектировочный расчет пружины сжатия круглого поперечного сечения; проверочный расчет пружины сжатия круглого поперечного сечения; проектировочный расчет пружины сжатия квадратного поперечного сечения; проектировочный расчет пружины растяжения круглого поперечного сечения; проектировочный расчет пружины кручения круглого поперечного сечения.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра проектирования технологических машин

Паспорт зачета

по дисциплине «Расчет и конструирование станочного оборудования», 2 семестр

1. Методика оценки

Студент допускается к сдаче зачета при условии, что он выполнил и защитил все практические работы, защитил курсовой проект и набрал не менее 40 баллов.

На зачете студенту выдаются 2 вопроса. Распределение дидактических единиц по проверяемым компетенциям указано в таблице «Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины».

Выставление оценок на зачете осуществляется на основе выполнения и защиты двух вопросов. Оценивание ответа на вопросы осуществляется в соответствии с уровнем знаний: "удовлетворительно" – 5-6 балл; "хорошо" – 7-8 баллов; "отлично" – 9-10 баллов. Всего за два вопроса студент может получить максимум 20 баллов.

Форма билета для зачета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет МТФ

Билет № 1

к зачету по дисциплине «Расчет и конструирование станочного оборудования»

1. Основные показатели качества металлообрабатывающего оборудования.
2. Способы смазывания опор ШУ и валов. Критерии применения.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

2. Критерии оценки

Защита считается неудовлетворительной, если студент не освоил теоретический материал и не смог обобщить теоретический и практический материал; оценка составляет менее 10 баллов.

*Защита считается состоявшейся на **пороговом уровне***, если студент освоил теоретический материал, но не смог обобщить теоретический и практический материал; оценка составляет 10-13 баллов.

*Защита считается состоявшейся на **базовом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, допустил несколько ошибок при защите, привёл

не достаточно чёткую аргументацию своей точки зрения при ответе на вопросы, оценка составляет 14-17 баллов.

*Защита считается состоявшейся на **продвинутом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, привёл достаточно чёткую аргументацию своей точки зрения по всем вопросам, оценка составляет 18-20 баллов.

3. Шкала оценки

Если студент в семестре работал не систематически, в результате чего не набрал требуемое количество баллов, то ему выдается дополнительное задание, тематика и объем которого определяются преподавателем.

Если в результате сдачи зачета студент не набирает 10 баллов или с учетом сдачи зачета его суммарный рейтинг (**ОЦЕНКА НА ЗАЧЕТЕ** + оценка за выполнение практических работ + оценка за выполнение и защиту КП) не превышает 49 баллов, ему выставляется оценка "неудовлетворительно" (FX) с возможностью пересдачи.

При пересдаче зачета студент имеет возможность получить оценку не выше E ("удовлетворительно").

Студент имеет возможность получить дополнительно до 20 баллов при выполнении работ, не предусмотренных основной программой освоения курса. Данные виды работ согласуются с преподавателем. Одним из вариантов дополнительной работы может быть выполнение расчётно-графической работы по заданной преподавателем тематике.

В общей оценке по дисциплине баллы за зачет учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Итоговая оценка по дисциплине выставляется согласно таблице.

Таблица

98-100	93-97	90-92	87-89	83-86	80-82	77-79	73-76	70-72	67-69	63-66	60-62	50-59	25-49	0-24
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	D-	E	FX	F
отлично				хорошо				удовлетворительно				неудовлетворительно		
зачтено													не зачтено	

4. Вопросы к зачету по дисциплине «Расчет и конструирование станочного оборудования»

1. Основные показатели качества металлообрабатывающего оборудования.
2. Показатели качества, характеризующие производительность станков. Факторы, влияющие на производительность.
3. Показатели качества, характеризующие надежность станков.
4. Показатели качества, характеризующие безотказность и долговечность станков. Основные пути повышения надежности.
5. Факторы, влияющие на температурные деформации шпиндельных узлов (ШУ). Основные пути повышения теплостойкости ШУ.
6. Энергетический баланс привода главного движения (ПГД) станков.
7. Причины возникновения геометрических погрешностей станков и пути их уменьшения.
8. Причины возникновения кинематических погрешностей и пути их снижения.
9. Жесткость станочных систем и пути ее повышения.
10. Структура КПД привода главного движения станков и пути его повышения.
11. Показатели качества, характеризующие гибкость станочных систем.
12. Факторы, определяющие виброустойчивость ШУ, и пути повышения устойчивости ШУ к внешним воздействиям.
13. Пути повышения технологичности конструкций.

14. Структура погрешностей (ошибок) станочного оборудования и причины их появления.
15. Суть графоаналитического метода расчета передаточных отношений передач привода на примере нормальной множительной структуры.
16. Требования, предъявляемые к шпиндельным узлам (ШУ).
17. Материалы, методы и способы упрочнения ШУ.
18. Способы смазывания опор ШУ и валов. Критерии применения.
19. Выборка зазоров и создание натяга в опорах ШУ. Общие положения.
20. Конструктивные варианты выборки зазоров и создания натяга в опорах ШУ.
21. Область применения и принцип работы гидростатических опор (на примере радиальных опор), достоинства и недостатки.
22. Область применения и принцип работы упорных гидростатических подшипников, достоинства и недостатки.
23. Факторы, определяющие несущую способность и жесткость гидростатических опор.
24. Область применения и принцип работы гидродинамических подшипников, достоинства и недостатки.
25. Факторы, определяющие несущую способность и жесткость гидродинамических опор.
26. Область применения и принцип работы аэроостатических опор. Факторы, определяющие несущую способность и жесткость опор.
27. Достоинства и недостатки активных магнитных опор, область применения.
28. Методики расчёта радиальной и осевой точности вращения ШУ.
29. Методики расчёта радиальной и осевой жесткости ШУ.
30. Специфика расчёта и конструирования зубчатых колес, валов и опор в станкостроении.
31. Структуры привода подач.
32. Геометрическая форма направляющих скольжения, достоинства и недостатки.
33. Материал направляющих смешанного трения.
34. Защитные устройства направляющих смешанного трения.
35. Сущность методики расчёта направляющих смешанного трения на износостойкость.
36. Сущность методики расчёта направляющих смешанного трения на жесткость.
37. Дать сравнительную оценку направляющим скольжения и качения.
38. Классификация направляющих качения по характеру движения тел качения, достоинства и недостатки.
39. Способы создания натяга в направляющих качения.
40. Материал направляющих качения. Устройства защиты и смазывания.
41. Методика расчёта направляющих качения на контактную прочность.
42. Методика расчёта направляющих качения на жесткость.
43. Конструктивные особенности комбинированных направляющих. Область применения.
44. Область применения и принцип действия гидродинамических направляющих. Факторы, определяющие несущую способность направляющих.
45. Область применения и принцип действия гидростатических направляющих. Факторы, определяющие жесткость направляющих.
46. Геометрическая форма направляющих кругового движения. Достоинства и недостатки.
47. Требования, предъявляемые к тяговым устройствам привода подач.
48. Достоинства и недостатки передачи винт-гайка скольжения.
49. Способы регулировки передачи винт-гайка скольжения.
50. Характерные особенности передачи винт-гайка качения.

51. Способы решения проблемы фрикционных автоколебаний в приводе подач.
52. Термодинамический привод.
53. Магнотрикционный привод.
54. Упруго-силовой привод.
55. Способы смазывания зубчатых передач и муфт. Достоинства и недостатки.
56. Методика расчета и подбор аппаратуры системы смазывания привода главного движения.
57. Конструктивные особенности систем с ручным управлением. Достоинства и недостатки.
58. Конструктивные особенности систем управления на базе электромагнитных и гидравлических фрикционных муфт. Достоинства и недостатки.
59. Специфика проектирования корпусов коробок скоростей и подач.
60. Требования, предъявляемые к элементам несущей системы станка, их конструктивные формы и материалы.

Паспорт заданий для выполнения практических работ

по дисциплине «Расчет и конструирование станочного оборудования», 2 семестр

1. Методика оценки

Для защиты практических работ студентам предлагается выполнить следующий типовый набор заданий: Практическая работа № 1 и 2: «Расчёт шпиндельного узла на точность и жесткость» и «Типовые конструкции шпиндельных узлов и приводов главного движения и подач станков»; Практические работы № 3: «Конструирование основных элементов коробки скоростей». Распределение заданий практических занятий по проверяемым компетенциям указано в таблице «Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины».

Выставление оценок на практическом занятии осуществляется на основе выполнения и защиты одного типового задания. Защита практической работы в соответствии с уровнем знаний: "удовлетворительно" – 3,33-5,66 баллов; "хорошо" – 5,67-7,9 балла; "отлично" – 8-10 баллов. Максимальное количество баллов, которые можно заработать за выполнение и защиту трех практических работ составляет 30 баллов.

2. Критерии оценки

Работа считается не выполненной, если студент не освоил практический и теоретический материалы; оценка составляет менее 3,33 баллов.

*Работа считается выполненной на **пороговом уровне***, если студент освоил практический материал, но не смог обобщить теоретический материал; оценка составляет 3,33-5,66 баллов.

*Работа считается выполненной на **базовом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, допустил несколько ошибок при определении параметров математической модели, привёл не достаточно чёткую аргументацию своих действий и выводов, оценка составляет 5,67-7,9 баллов.

*Работа считается выполненной на **продвинутом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, привёл достаточно чёткую аргументацию своих действий при построении математической модели, оценка составляет 8-10 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за практические занятия учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Если в результате сдачи зачета студент не набирает 10 баллов или с учетом сдачи зачета его суммарный рейтинг (оценка на зачете + **ОЦЕНКА ЗА ВЫПОЛНЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ** + оценка за выполнение и защиту кп) не превышает 49 баллов, ему выставляется оценка "неудовлетворительно" (FX) с возможностью пересдачи.

При пересдаче экзамена студент имеет возможность получить оценку не выше E ("удовлетворительно").

Студент имеет возможность получить дополнительно до 20 баллов при выполнении работ, не предусмотренных основной программой освоения курса. Данные виды работ согласуются с преподавателем. Одним из вариантов дополнительной работы может быть выполнение расчётно-графической работы по заданной преподавателем тематике.

Итоговая оценка по дисциплине выставляется согласно таблице

Таблица

98-100	93-97	90-92	87-89	83-86	80-82	77-79	73-76	70-72	67-69	63-66	60-62	50-59	25-49	0-24
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	D-	E	FX	F
отлично				хорошо				удовлетворительно					неудовлетворительно	
зачтено													не зачтено	

4. Перечень практических работ

Практические работы № 1 и 2 «Расчёт шпиндельного узла на точность и жесткость» и «Типовые конструкции шпиндельных узлов и приводов главного движения и подачи станков»

Задание:

На первом практическом занятии выдается комплект исходных данных: 1) Нагрузочные характеристики привода главного движения станка (табл. 1-6); 2) Чертеж шпиндельного узла станка (рис. 1). На каждом занятии студенты (индивидуально и в группе) осуществляют поэтапные вычисления, необходимые для проектирования привода главного движения станка.

В качестве объекта проектирования предлагаются станки с ручным и дистанционным управлением – блок исходных данных приведен в табл. 1 – 3 или станки с числовым программным управлением (ЧПУ) – комплекс данных табл. 4 – 6. В первом случае речь идет о разработке привода с дискретным (ступенчатым) регулированием скорости исполнительного органа (шпинделя), во втором – привода с плавным (бесступенчатым) регулированием.

Вариант задания формируется на основе цифрового трехразрядного кода, устанавливаемого руководителем курсового проектирования. В частности, при шифре 754 необходимо выписать данные седьмой колонки табл. 1 (или 4), а из табл. 2 (или 5) и табл. 3 (или 6) – соответственно пятого и четвертого столбцов.

Кратко прокомментируем принятые в заданиях условные обозначения.

Табл. 1 и 4 содержат информацию о типоразмере и классе точности станка, варианте компоновки привода главного движения, а также о значении одной из эксплуатационных характеристик последнего – эффективной (номинальной) мощности на шпинделе. Заданием предусмотрено проектирование унифицированного привода с главным вращательным движением рабочего органа для двух наиболее распространенных типов металлообрабатывающего оборудования: токарного – Т и фрезерного – Ф. Основным размерным параметром для токарных станков является максимальный диаметр обрабатываемой детали над станиной, а для фрезерных – ширина стола. С учетом функционального назначения и компоновки привода, которая определяет расположение направляющих элементов несущей системы металлорежущего оборудования или положение оси шпинделя в пространстве, универсальные токарные станки подразделяются на патронные – ТП и центровые – ТЦ. Соответственно для многоцелевых токарных станков с ЧПУ, а также фрезерного оборудования предусмотрено наклонное – ТН, вертикальное – ТВ и ВФ и горизонтальное – ГФ исполнение привода. В общем случае проектированию подлежат приводы станков трех классов точности: нормального – Н, повышенного – П и высокого – В.

Т а б л и ц а 1

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип станка	ТП	ВФ	ТЦ	ГФ	ТП	ВФ	ТЦ	ГФ	ТП	ВФ
Основной параметр станка, мм	160	320	200	400	250	160	400	200	320	250
Эффективная мощность на шпинделе, кВт	1,8	6,0	2,4	8,8	3,2	2,4	6,0	3,2	4,6	4,2
Класс точности станка	В	П	П	Н	В	П	П	Н	Н	В

Т а б л и ц а 2

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Максимальная частота вращения, 10^3 мин^{-1}	4,0	2,5	2,5	4,0	2,8	1,4	2,0	1,6	3,2	2,0
Общий диапазон регулирования скорости	16	25	12,5	14	45	11,2	22,4	10	20	31,5
Диапазон регулирования скорости $N=\text{const}$ с	5,6	16	5	10	22,4	4	11,2	6,3	8	12,5
Допустимая потеря скорости резания, %	30	40	20	40	50*	30	30	40	40*	20

Т а б л и ц а 3

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Система управления приводом	Д	Р	Д	Р	Д	Р	Д	Р	Р	Д
Технический ресурс привода, 10^3 ч	20	14	11,2	10	16	17,5	12	18	12,5	15
Режим нагружения привода $\bar{N}/N_{\text{ном}}$	Л	Т	С	Л	Т	С	С	Т	С	Л
Система смазывания привода	Ц	И	Ц	И	Ц	И	Ц	И	И	Ц

Т а б л и ц а 4

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип станка	ТН	ВФ	ТН	ГФ	ТВ	ВФ	ТВ	ГФ	ТН	ВФ
Основной параметр станка, мм	500	320	400	250	500	400	400	200	320	250
Эффективная мощность на шпинделе, кВт	14	8	3	12	6	16	10	4	6,8	5
Класс точности станка	П	В	В	П	В	П	П	В	В	П

Т а б л и ц а 5

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Максимальная частота вращения, 10^3 мин^{-1}	5,0	2,8	4,5	3,2	2,0	5,6	2,5	6,0	4,0	3,6
Общий диапазон регулирования скорости	110	65	80	100	85	90	75	60	120	70
Диапазон регулирования скорости $N=\text{const}$	40	12,5	24	28	20	32	10	8	36	16
Вид электропривода	П	А	А	П	А	П	П	А	А	П

Т а б л и ц а 6

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Система управления приводом	Г	Э	Э	Г	Э	Г	Э	Г	Г	Э
Технический ресурс привода, 10^3 ч	20	14	11,2	10	16	17,5	12	18	12,5	15
Режим нагружения привода $\bar{N}/N_{\text{ном}}$	Л	Т	С	Л	Т	С	С	Т	С	Л

Оставшиеся таблицы включают сведения о скоростных возможностях, режиме работы привода и особенностях конструктивного исполнения его отдельных систем.

Общий диапазон регулирования отражает отношение максимальной частоты вращения шпинделя к минимальной. Диапазон регулирования с постоянной мощностью позволяет найти значение так называемой расчетной частоты вращения привода. Допустимая потеря скорости резания предопределяет величину знаменателя ϕ геометрического ряда частот вращения привода с дискретным регулированием, причем значение потери скорости, отмеченное звездочкой, присуще большему ϕ (структура привода с двумя знаменателями ряда). Для станков с плавным регулированием его величина, как известно, равна нулю. Поэтому для станков с ЧПУ вместо этого параметра в качестве исходного данного введено другое требование: вид электропривода (табл. 5). В этих станках бесступенчатое изменение частоты вращения шпинделя можно обеспечить путем применения электродвигателя либо постоянного тока – П, либо асинхронного с частотным регулированием – А.

Приводам станков общего назначения присущи два типа систем управления: ручной – Р и дистанционный – Д. Последняя, как и в станках с ЧПУ, конструктивно может быть выполнена на базе электрической – Э или гидравлической – Г энергий. Режим нагружения (легкий – Л, средний – С, тяжелый – Т) отражает отношение средней мощности, реализуемой в процессе эксплуатации станка, к номинальной мощности привода. Станки с универсальным характером выполняемых технологических операций оснащаются (табл. 3) двумя типами систем смазывания привода: индивидуальной – И или централизованной – Ц. Все другие решения, выходящие за рамки

технического задания, принимаются студентами самостоятельно, но наиболее принципиальные вопросы необходимо в обязательном порядке согласовать с руководителем курсового проектирования.

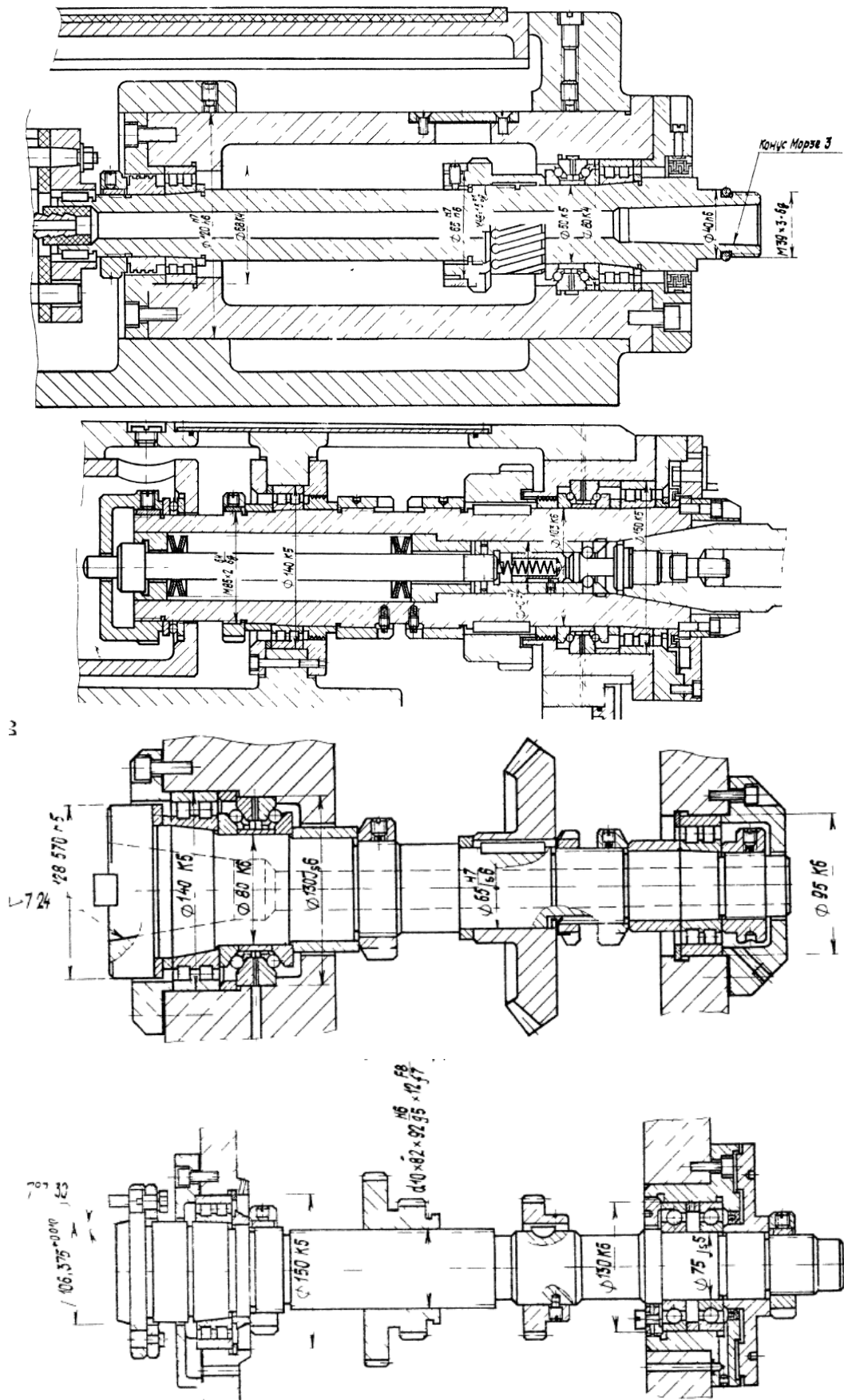


Рисунок 1. Примеры чертежей конструкций шпиндельных узлов

Практическая работа № 3 «Конструирование основных элементов коробки скоростей»

Задание:

Студенты выполняют групповые задания по проектированию (конструированию) блоков зубчатых и ременных передач, валов, элементов системы смазывания, управления и корпусов коробок скоростей.

Пример выполненного комплексного практического задания

Цель работы

Рассчитать прочностные характеристики шпинделя токарного станка при помощи программного продукта *APM Win Machine*.

Задачи:

1. Произвести расчет сил резания;
2. Произвести расчет зубчатой передачи;
3. Произвести расчет жесткости шпинделя;
4. Произвести модальный расчет шпинделя.

Исходные данные

Материал:

- Сталь 40Х,
- $\sigma_{0,2} = 315$ МПа,
- $\rho = 7820$ кг/м³.

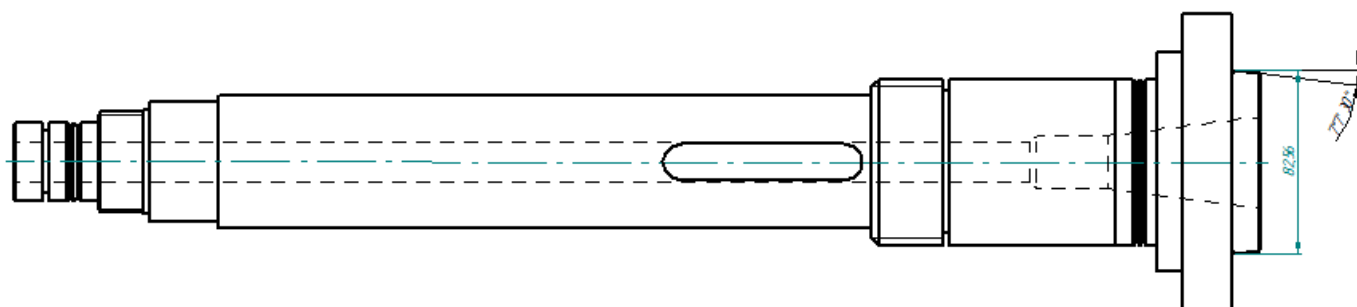


Рисунок 1 – Эскиз шпинделя

Таблица 1

Исходные данные для расчета режимов резания и сил в зацеплении

Диаметр заготовки, D	100 мм
Мощность, N	6 кВт
Межосевое расстояние, a_w	149 мм
Передаточное число, U	1,6

1 Расчет сил резания

Определим скорость резания по формуле:

$$V_p = \frac{C_v}{T^m t^{x_s} s^y} K_v = \frac{340}{60^{0,2} \cdot 1,7^{0,15} \cdot 0,9^{0,45}} \cdot 0,98 = 142,57 \text{ м/мин.}$$

где V_p – расчетная скорость резания, м/мин;

T – период стойкости инструмента, мин [1];

t – глубина резания, мм [1];

s – подача, мм/об [1].

Зная расчетную скорость резания, найдем частоту вращения шпинделя:

$$n = \frac{V_p}{\pi \cdot d} = \frac{142,57}{3,14 \cdot 0,1} = 454 \rightarrow 500 \text{ об/мин.}$$

Тогда фактическая скорость резания будет равна:

$$V_p = n \cdot \pi \cdot d = 500 \cdot 3,14 \cdot 0,1 = 157 \text{ м/мин.}$$

После этого, рассчитаем силы резания:

Для расчета сил резания, необходимо знать коэффициенты, которые берем из справочника машиностроителя; и подставляем их в следующие формулы [1]:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,7^1 \cdot 0,9^{0,75} \cdot V^{-0,15}$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 1,7^{0,9} \cdot 0,9^{0,6} \cdot V^{-0,3}$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 1,7^1 \cdot 0,9^{0,5} \cdot V^{-0,4}$$

Подставляем рассчитанную ранее скорость резания, и определяем силы резания:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,7^1 \cdot 0,9^{0,75} \cdot 157^{-0,15} = 2290 \text{ Н}$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 1,7^{0,9} \cdot 0,9^{0,6} \cdot 157^{-0,3} = 804,67 \text{ Н}$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 1,7^1 \cdot 0,9^{0,5} \cdot 157^{-0,4} = 721,16 \text{ Н}$$

Крутящий момент, момент изгиба и мощность находим по формулам:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2} = \frac{2290 \cdot 0,1}{2} = 114,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{изг} = P_x \cdot \frac{d}{2} = 721,16 \cdot \frac{0,1}{2} = 36,05 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$N = \frac{M_{кр} \cdot n}{9554} = \frac{114,5 \cdot 500}{9554} = 6 \text{ кВт}$$

2 Расчет цилиндрической прямозубой передачи

Расчет цилиндрической зубчатой передачи проведем с помощью программы *APM WinMachine*, используя модуль *APM Trans* [2].

Для начала работы необходимо выбрать тип передачи (см. рисунок 2). После этого, указываем основные данные для расчета зубчатой передачи: значения вышеприведенных расчетов (см. рисунок 3).

Выберите Тип передачи

Передаточные

Цилиндрические передачи

- ☒ Прямозубые внешнего зацепления
- ☐ Прямозубые внутреннего зацепления
- ☐ Косозубые внешнего зацепления
- ☐ Косозубые внутреннего зацепления
- ☐ Шевронные

Конические передачи

- ☐ С прямым зубом
- ☐ С круговым зубом

Ременные

- ☐ Плоскоременные
- ☐ Червячные
- ☐ Клиноременные
- ☐ Цепные

OK Отмена Справка

Рисунок 2 – Выбор типа передачи

Основные данные

Момент на выходе [Нм] 114,5

Обороты на выходе [об/мин] 500

Передаточное число [-] 0.64

Требуемый ресурс [час] 10000.0

Число зацеплений

Шестерня 1 [-] Колесо 1 [-]

Термообработка

Шестерня Цементация Колесо Цементация

Режим работы Постоянный Крепление шестерни на валу Несимметрично

Продолжить Прервать Справка Еще...

Рисунок 3 – Основные данные

Помимо этого, необходимо указать дополнительные данные (Рисунок 4): модуль, твердость поверхности и сердцевины зубьев, а также число зубьев.

Дополнительные данные

Межосевое расстояние [мм] 0.0

Коэффициент ширины колеса [-] 0.0

Модуль [мм] 2,75

Угол наклона зубьев [град] 0.0

Коэффициент смещения

Шестерня 0.0 Колесо 0.0

☐ Задать материал шестерни Выбрать...

☐ Задать материал колеса Выбрать...

Твердость поверхности зубьев HRC

Шестерня 60 Колесо 60

Твердость сердцевины зубьев HRC

Шестерня 10.0 Колесо 20.0

Число зубьев

Шестерня 42 Колесо 66

☒ Возможен реверс

☒ Стандартное межосевое расстояние

Продолжить Прервать Справка

Рисунок 4 – Дополнительные данные

После того, как все данные введены, производим расчет, просматриваем полученные данные (см. рисунки 5, 6, 7).

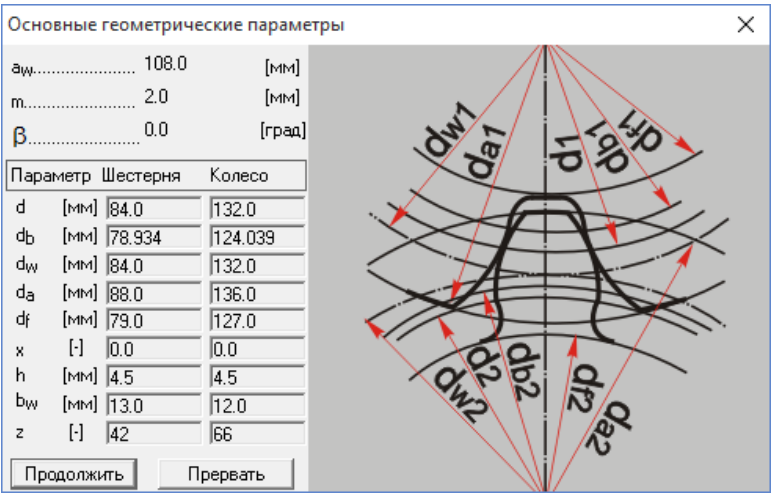


Рисунок 5 – Основные геометрические параметры

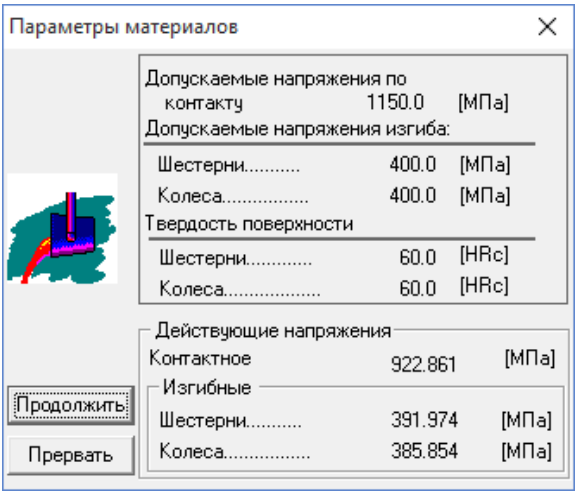


Рисунок 6 – Параметры материалов

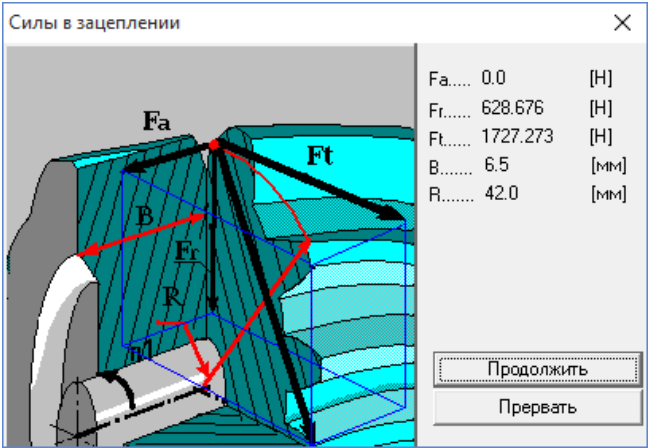


Рисунок 7 – Силы в зацеплении

3 Расчет шпинделя

Так как нам неизвестен момент инерции зубчатых колес, для определения произведем их моделирование. Воспользуемся программным продуктом *Компас 3D* (см. рисунок 8).

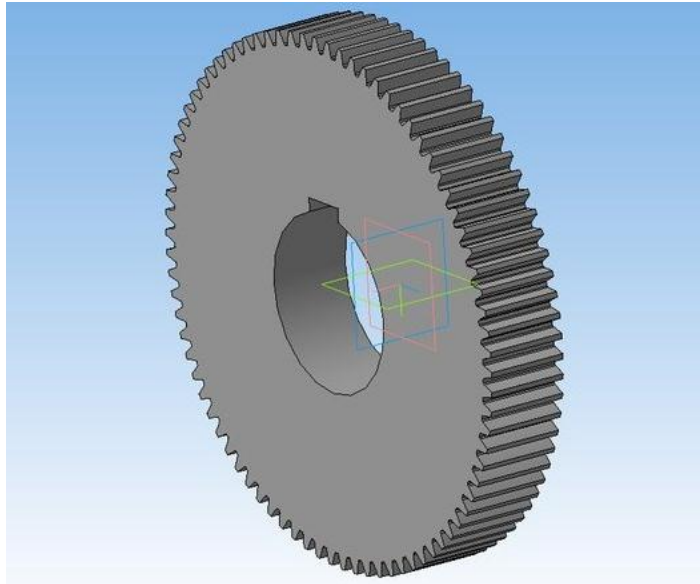


Рисунок 8 – Трехмерная модель зубчатого колеса

Момент инерции, посчитанный программой *Компас 3D*:

$$I = 0,009392 \text{ кг*м}^2.$$

Зная силы и моменты, возникающие в зацеплении, можно рассчитать шпиндель.

Для этого используем модуль *APM Shaft*, который имеет специализированный графический редактор для задания геометрии валов и осей. С помощью редактора задаем следующие параметры [2]:

- конструкцию шпинделя (необходимо начертить его в натуральную величину);
- действующие на шпиндель нагрузки (расположить силы которые действуют в зацеплении, а также силы, возникающие при резании);
- размещение опор, на которых установлен шпиндель (см. рисунок 9).

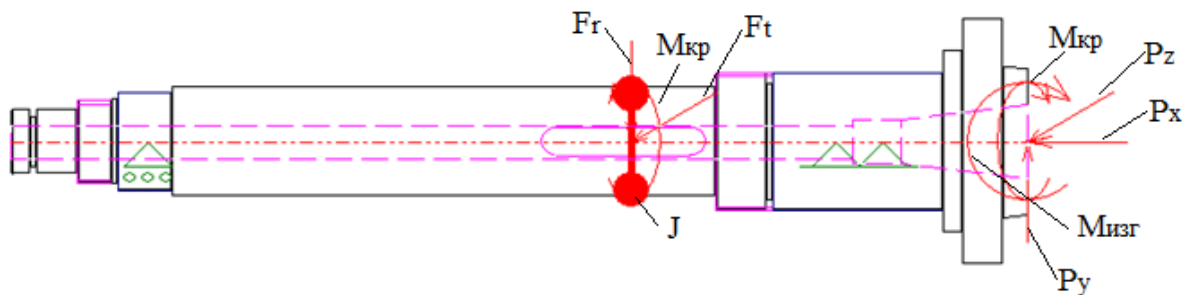


Рисунок 9 – Модель шпинделя токарного станка

Исходные данные для общего расчета вала приведены в таблицах 2–6.

Таблица 2

Радиальные силы

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Модуль, Н	Угол, град
F_{r-t}	338.00	1837.64	-109.98
P_{y-z}	554.00	2427.04	70.65

Таблица 3

Осевые силы

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Значение, Н
P_x	554.00	-721.00

Таблица 4

Моменты изгиба

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Модуль, Нхм	Угол, град
$M_{изг}$	554.00	36.00	0.00

Таблица 5

Моменты кручения

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Значение, Нхм
M_1	338.00	114.00
M_2	554.00	-114.00

Таблица 6

Моменты инерции

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Значение, кг х м ²
M_i	250.000	0.009

Результаты общего расчета вала представлены в таблице 7 и на рисунках 10 – 23.

Таблица 7

Реакции в опорах

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Реакция верт., Н	Реакция гориз., Н	Реакция осевая, Н	Модуль, Н	Угол, град
1	75.00	54.97	146.23	0.00	156.22	20.60
2	450.00	3662.48	14360.75	0.00	14820.42	14.31
3	475.00	-3893.46	-15069.98	721.00	15564.81	-165.51

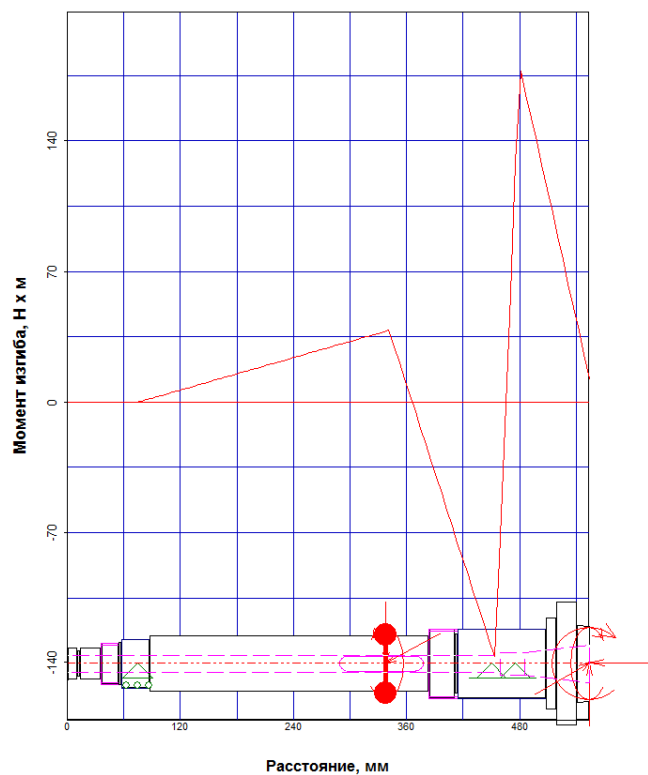


Рисунок 10 – Момент изгиба в вертикальной плоскости

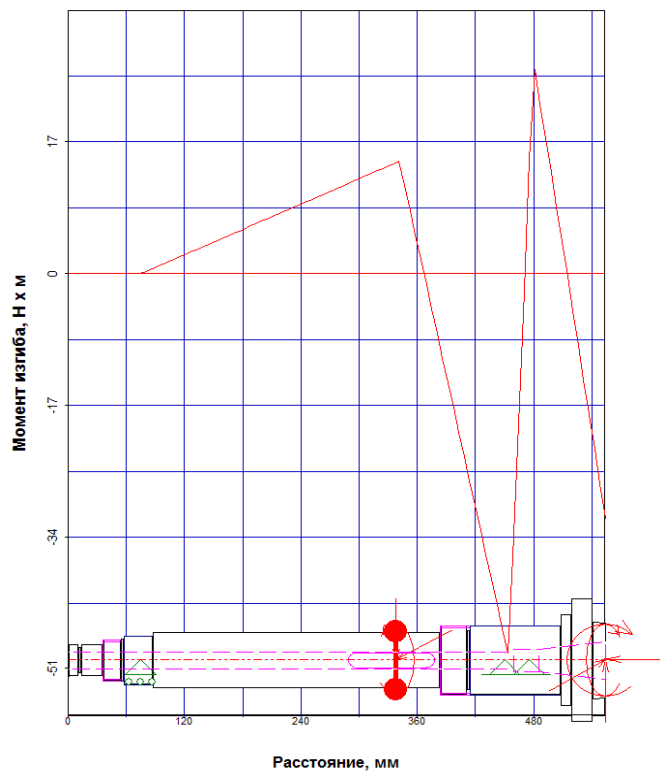


Рисунок 11 – Момент изгиба в горизонтальной плоскости

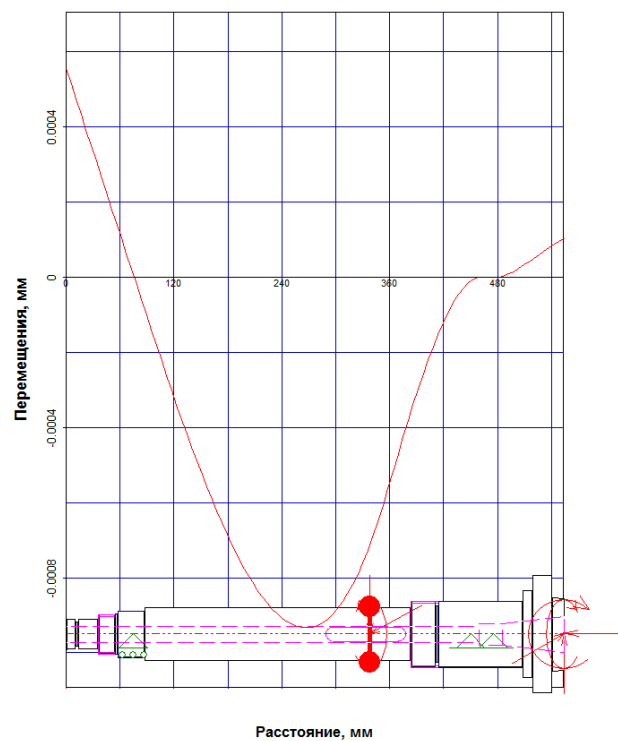


Рисунок 12 – Перемещения в вертикальной плоскости

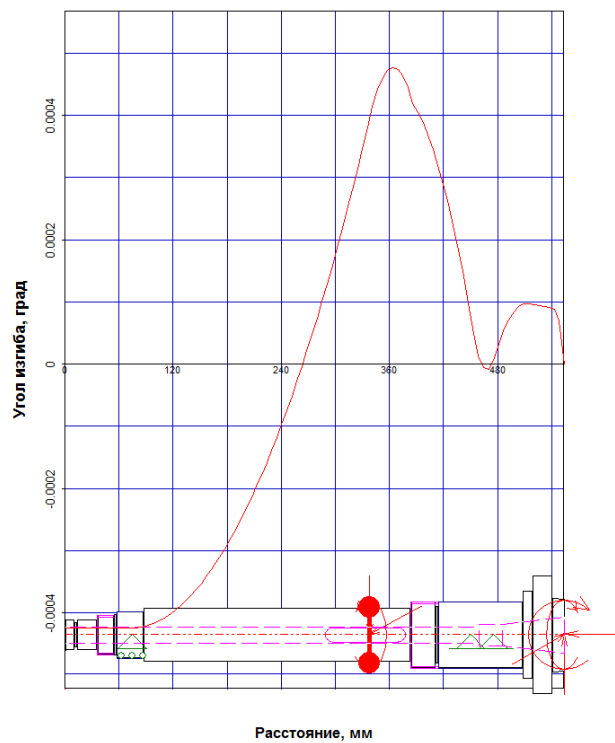


Рисунок 14 – Угол изгиба в вертикальной плоскости

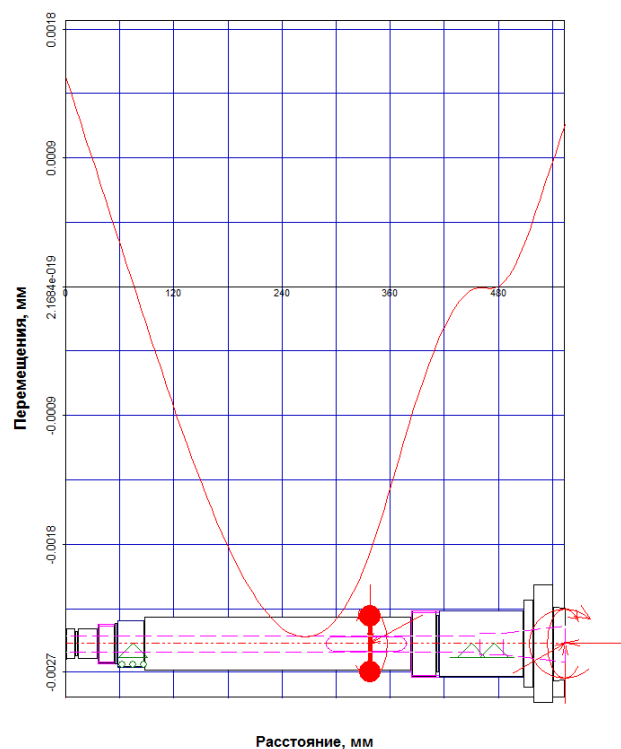


Рисунок 13 – Перемещения в горизонтальной плоскости

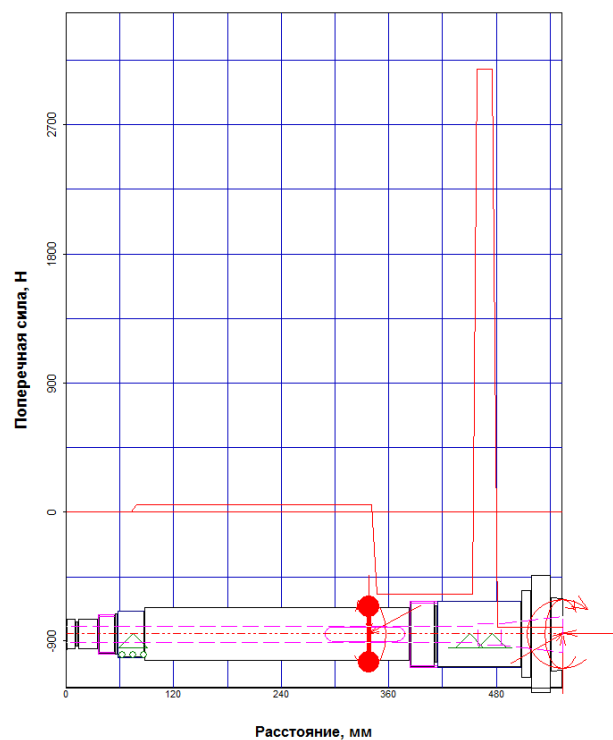


Рисунок 16 – Поперечные силы в вертикальной плоскости

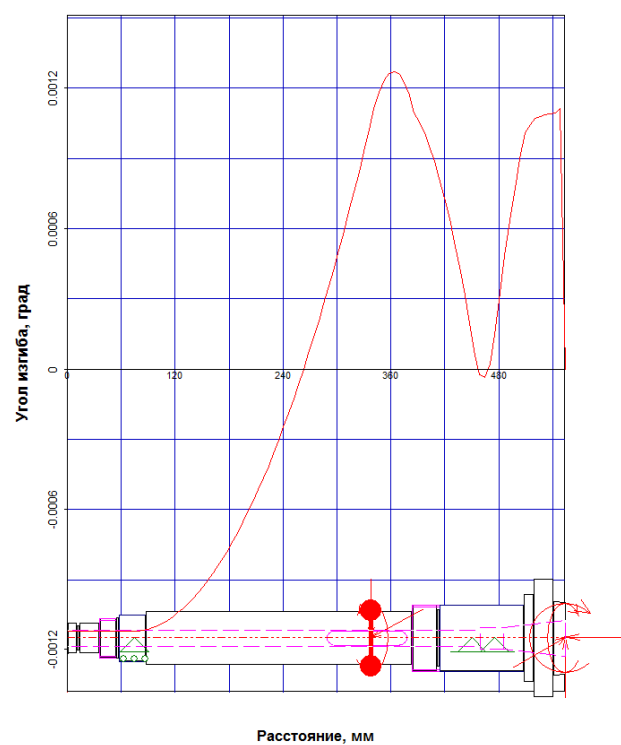


Рисунок 15 – Угол изгиба в горизонтальной плоскости

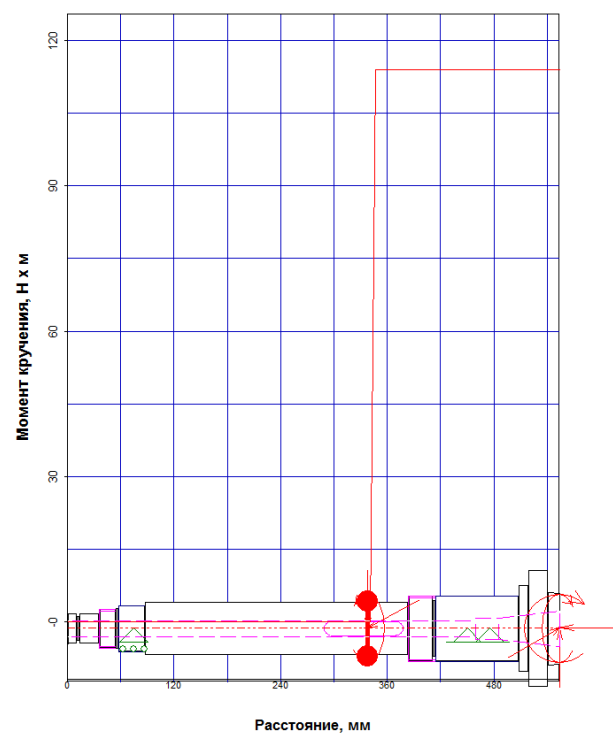


Рисунок 18 – Момент кручения

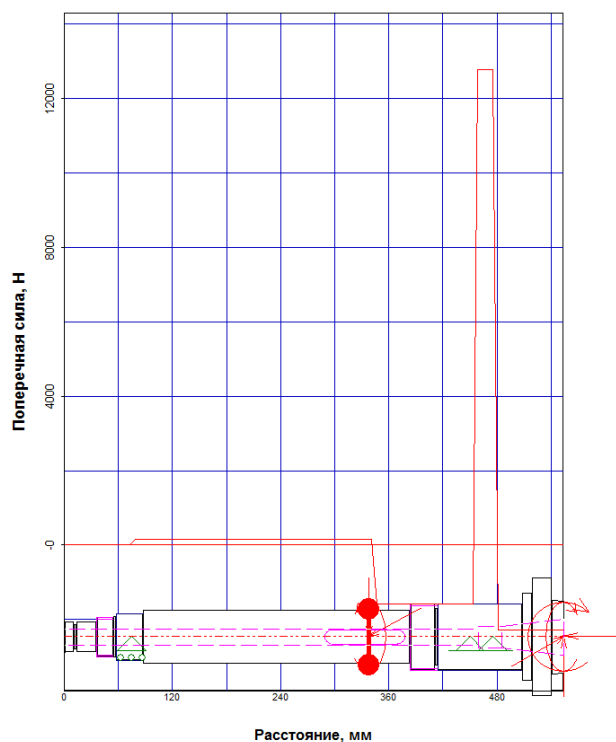


Рисунок 17 – Поперечные силы в горизонтальной плоскости

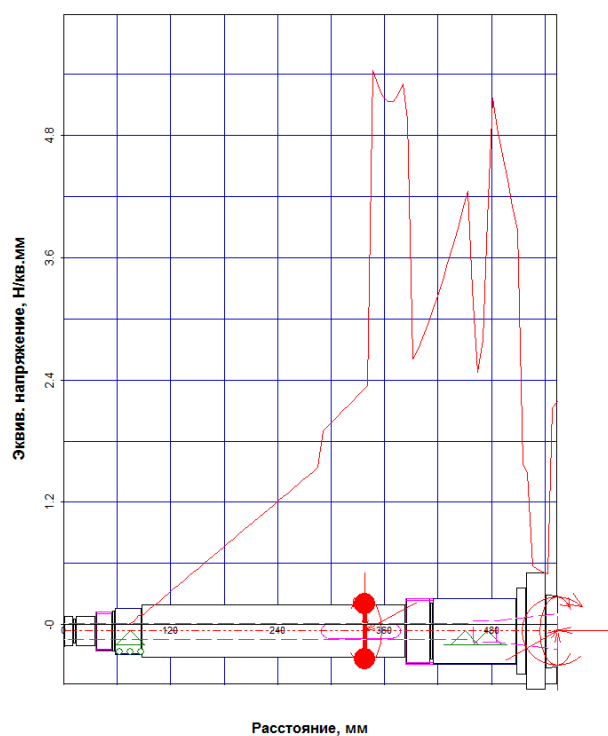


Рисунок 20 – Эквивалентное напряжение

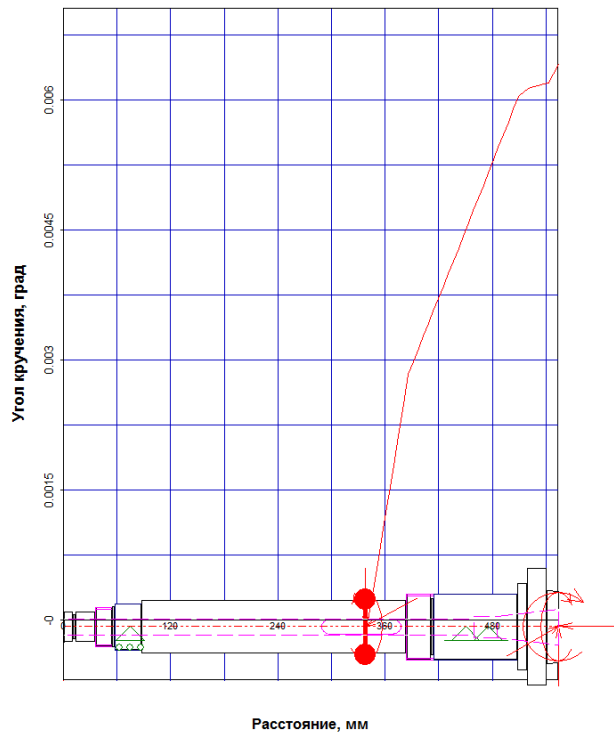


Рисунок 19 – Угол кручения

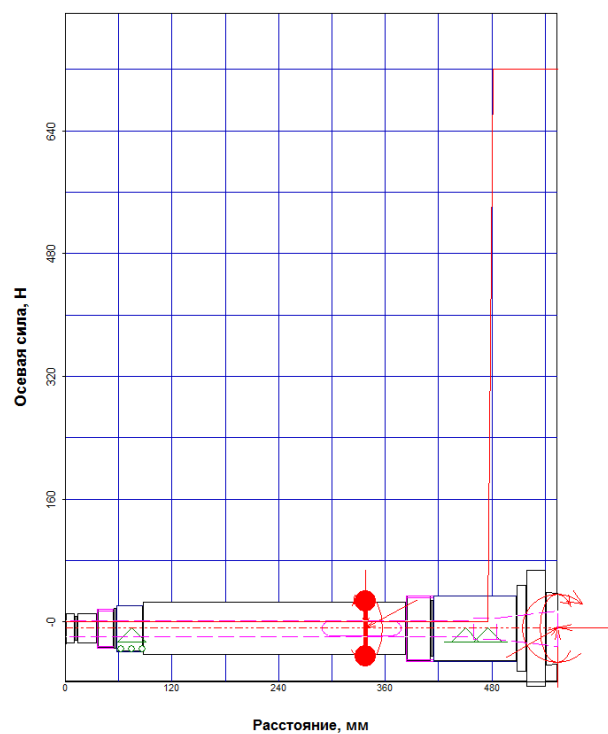


Рисунок 22 – Осевые силы

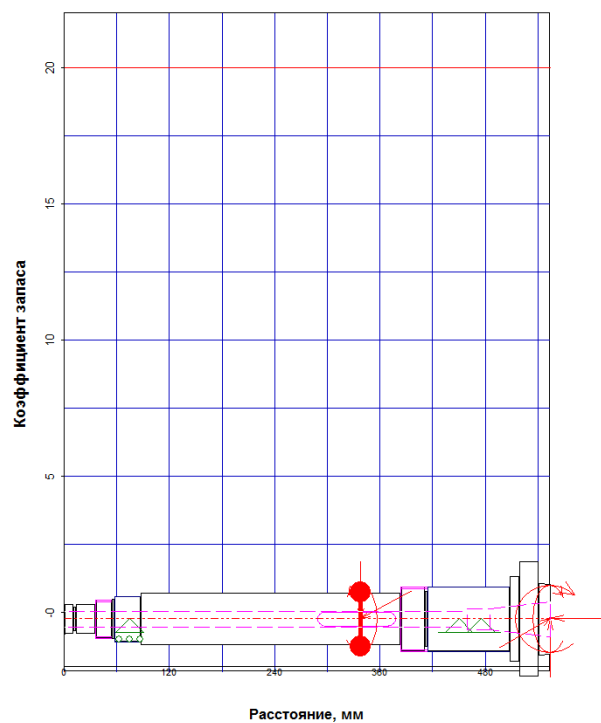


Рисунок 21 – Коэффициент запаса по усталостной прочности

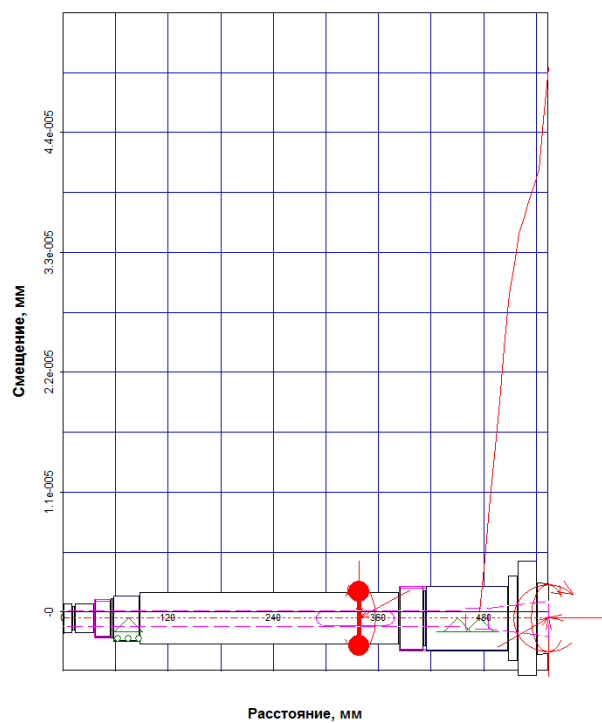


Рисунок 23 – Осевые перемещения

В таблицах 8 и 9 представлены результаты динамического расчета шпинделя.

Таблица 8

Собственные частоты

Изгибные колебания

N	Частота, рад/с	Частота, об/мин
1	9766,8783	93266,8176
2	28347,7508	270701,0799
3	35290,3577	336998,0922
4	46766,8078	446590,1180
5	67539,5747	644955,4301

Таблица 9

Крутильные колебания

N	Частота, рад/с	Частота, об/мин
1	12958,6476	123745,9692
2	19202,2730	183368,1999
3	52967,5744	505803,0774

Динамические характеристики шпинделя представлены на рисунках 24 – 31.

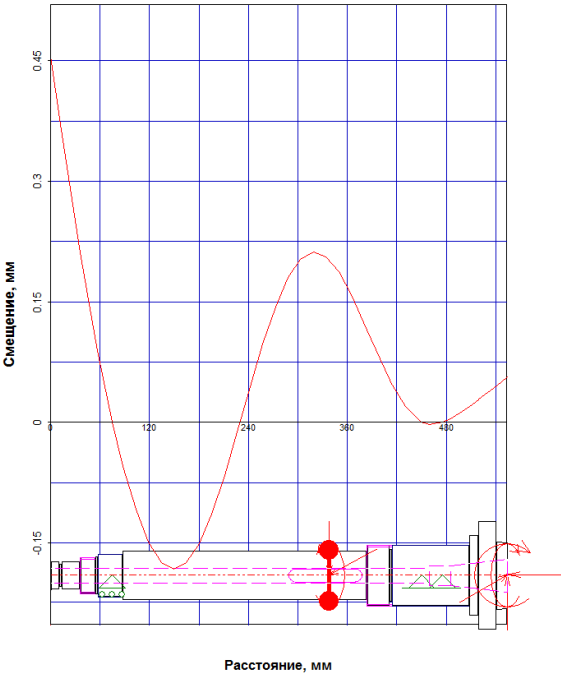
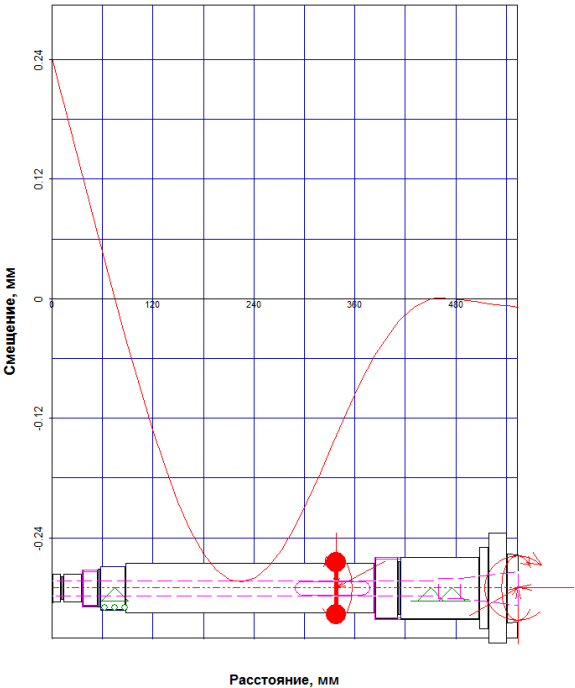


Рисунок 24 – Поперечные колебания (1 форма шпинделя)

Рисунок 25 – Поперечные колебания (2 форма шпинделя)

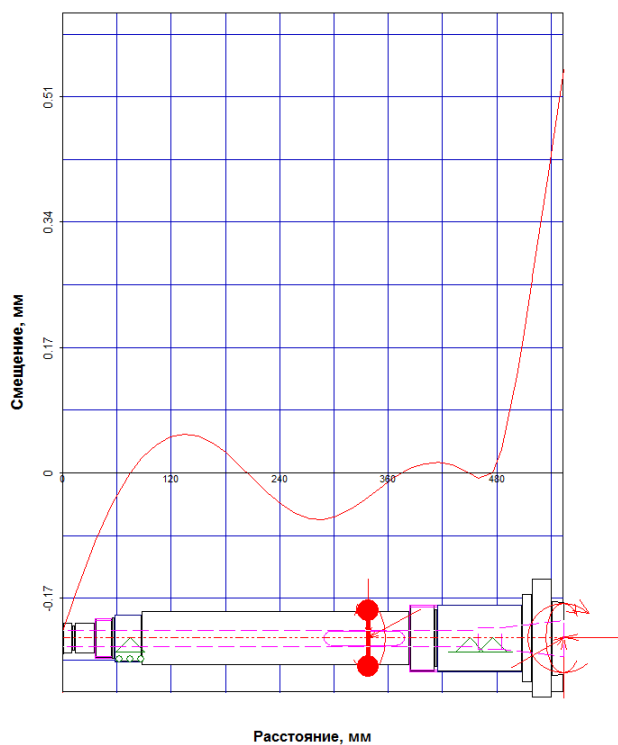


Рисунок 26 – Поперечные колебания (3 форма шпинделя)

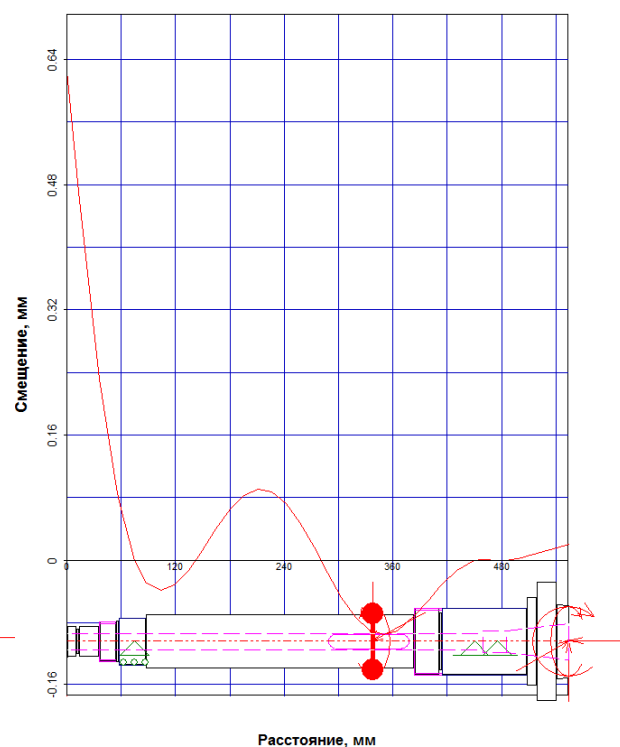


Рисунок 27 – Поперечные колебания (4 форма шпинделя)

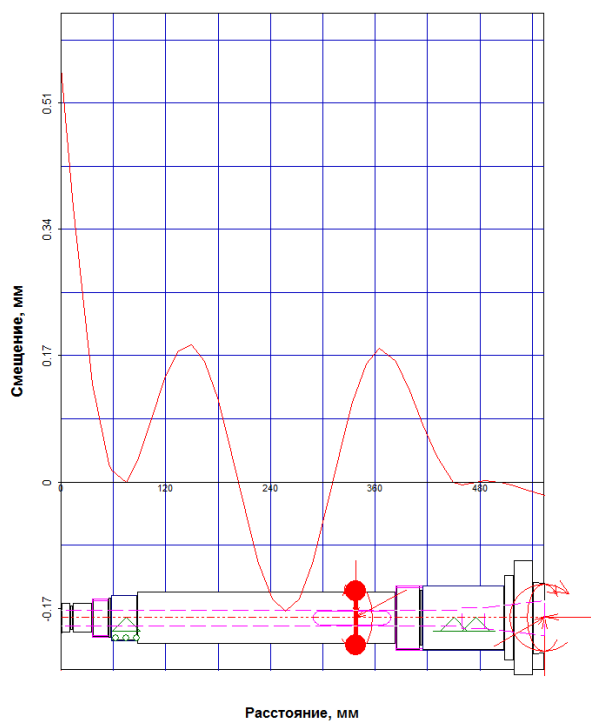


Рисунок 28 – Поперечные колебания (5 форма шпинделя)

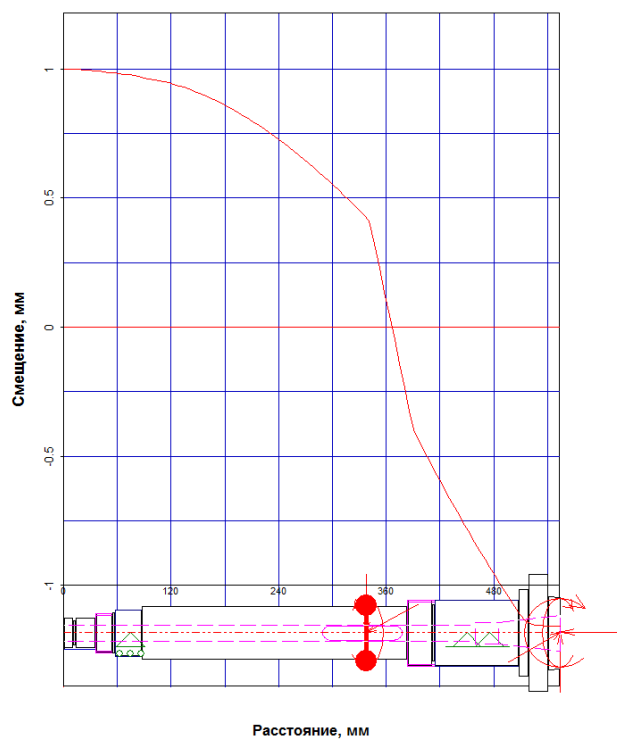


Рисунок 29 – Крутильные колебания (1 форма шпинделя)

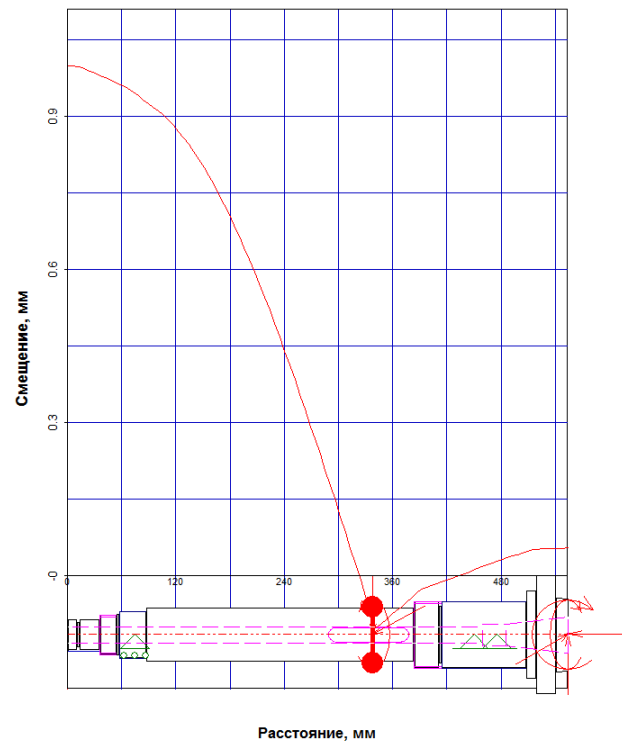


Рисунок 30 – Крутильные колебания (2 форма шпинделя)

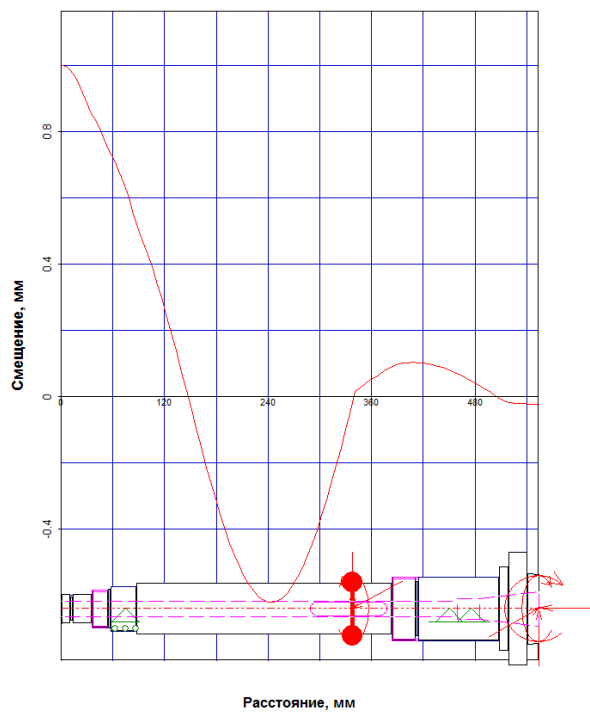


Рисунок 31 – Крутильные колебания (3 форма шпинделя)

Вывод

В данной работе были произведены расчеты составляющих сил резания, расчет зубчатых передач, определены статическая прочность и динамические характеристики шпинделя при помощи программного продукта *APM Win Machine*. Рассчитана величина коэффициента запаса прочности в различных сечениях шпинделя.

Был выполнен расчет шпинделя, в результате которого получены следующие данные: коэффициент запаса прочности – 20 ед., биение конца шпинделя - в горизонтальной плоскости 0,00135 мм; в вертикальной плоскости – 0,0004 мм, угол кручения - 0,006°.

Также был выполнен динамический расчет шпинделя и посчитаны частоты, на которых возникают резонансные колебания шпинделя.

Цель работы

Определить величину деформаций и коэффициент запаса прочности шпинделя токарного станка, используя программный продукт Ansys.

Задачи:

1. Построить 3D модель шпинделя в графическом редакторе;
2. Построить расчетную модель;
3. Определить запас прочности;
4. Определить полную деформацию.

3D модель шпинделя создаем в среде *SolidEdge*.

После запуска *Ansys Workbench*, добавляем в рабочую область проекта модуль *Static Structural*, который определяет набор параметров, необходимых для проведения статического анализа (см. рисунок 3).

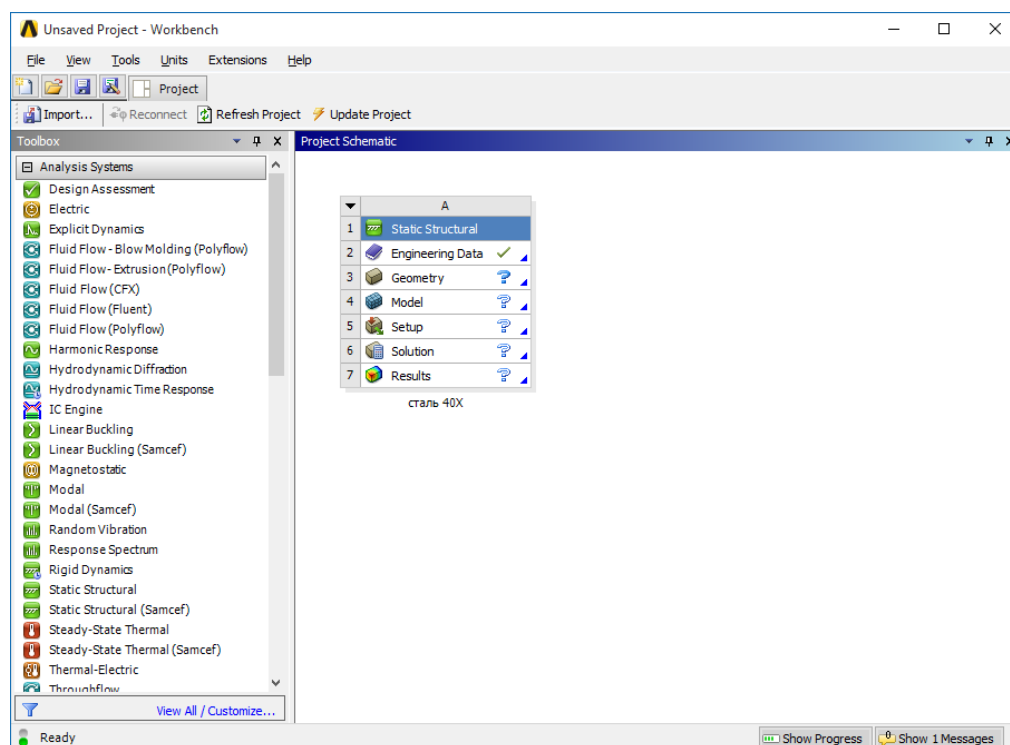


Рисунок 3 – Модуль Static Structural

Начинаем с подраздела «*Engineering Data*»

Указываем материал шпинделя, а также необходимые характеристики (см. рисунок 4).

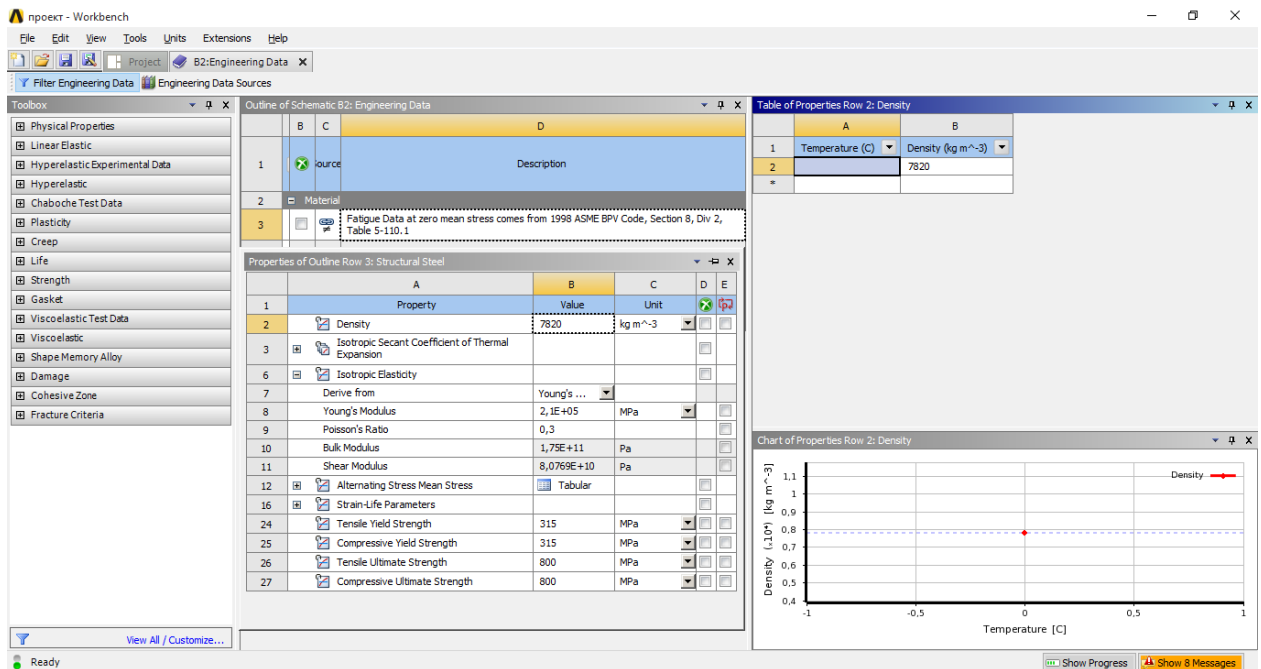


Рисунок 4 – Характеристики материала

Далее импортируем модель шпинделя в комплекс *Ansys* (см. рисунок 5).

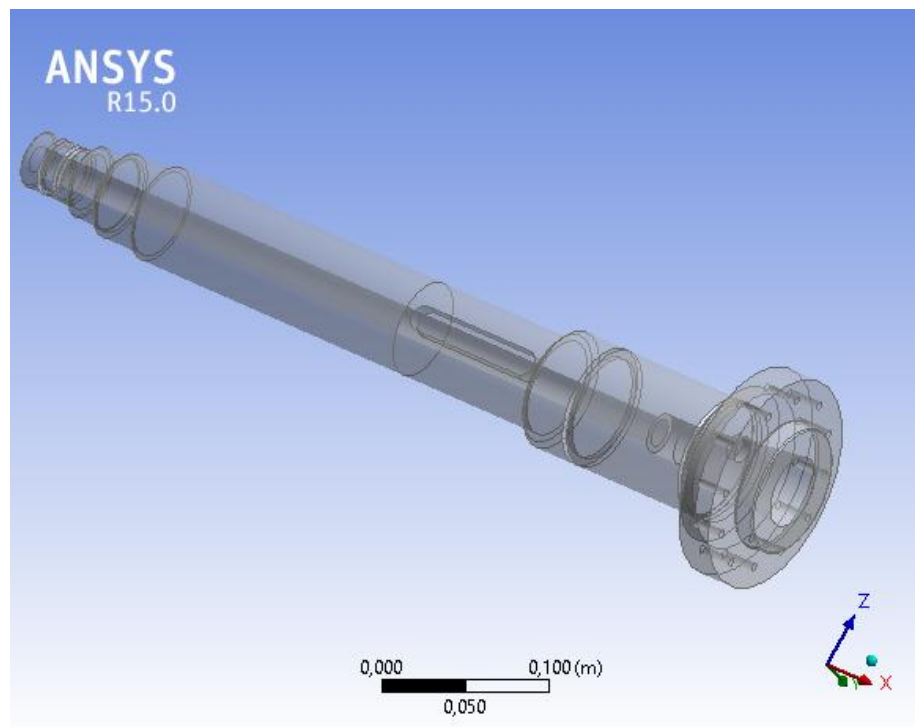


Рисунок 5 – 3D модель шпинделя

Далее, работаем с подразделом «*Model*»

Генерация конечно-элементной сетки

В разделе дерева математической модели «*Model*» осуществляем построение конечной элементарной сетки. Обозначаем предпочтительный метод разбиения сетки - HexDominantMethod (см. рисунок 6).

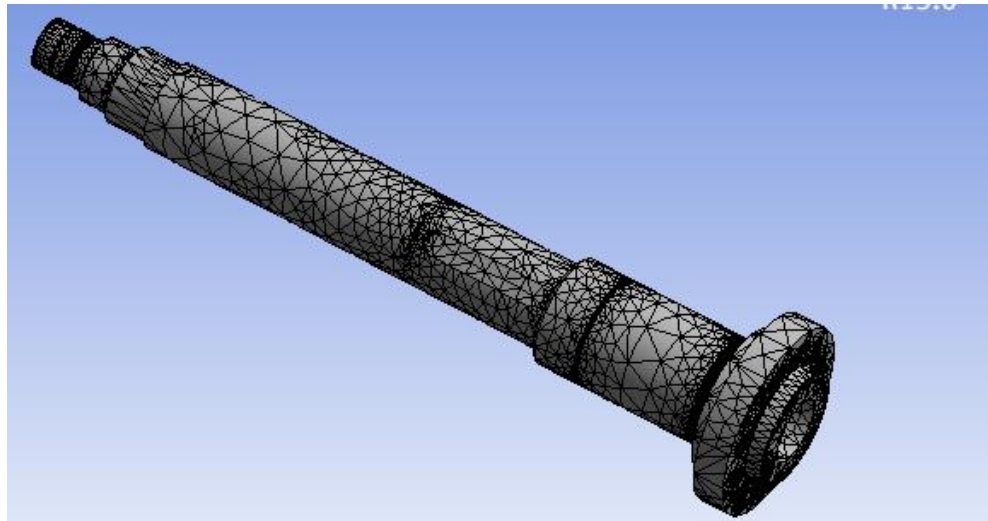


Рисунок 6 – Конечно-элементная сетка

Далее переходим в подраздел «*Static Structural*».

С помощью меню *Inertial* назначаем инерционные нагрузки: скорость вращения шпинделя.

Используя раздел *Supports* расставляем граничные условия, определяющие закрепление детали (подшипники, подвижные и неподвижные).

В разделе *Loads* задаем конструкционные нагрузки: силы и моменты.

С помощью команды *Moment* нагружаем деталь заданными моментами.

Командой *Force* нагружаем деталь действующими на нее силами.

Полностью нагрузив и закрепив шпиндель, мы имеем конечную модель, готовую для проведения расчетов (см. рисунок 7).

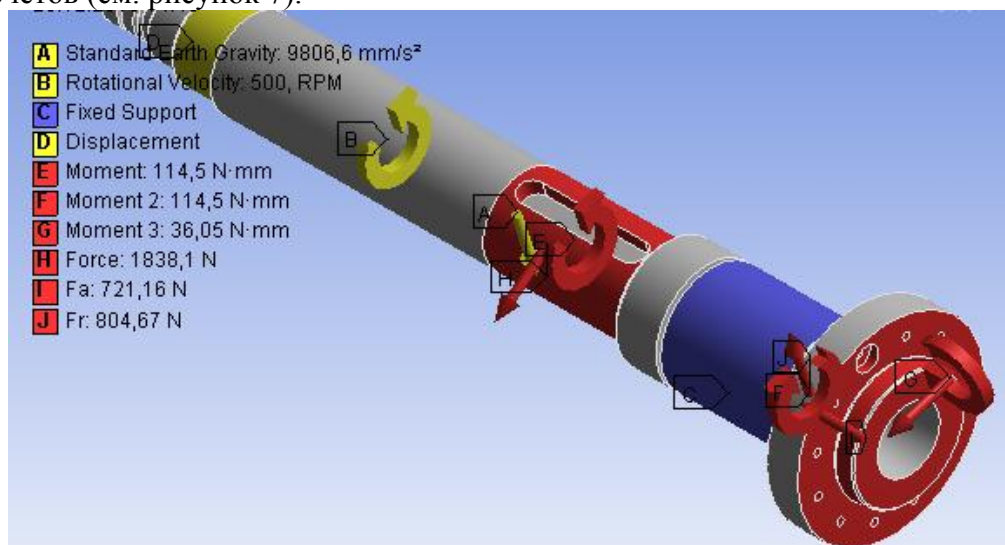


Рисунок 7 – Простановка сил и моментов, действующих на шпиндель

После того, как мы указали необходимые данные, можно произвести расчет. Определяем результат наших вычислений (*Total Deformation*, *Equivalent Stress*) в разделе «*Solution*», а также *Safety Factor* в разделе «*Stress Tool*» (см. рисунки 8-10).

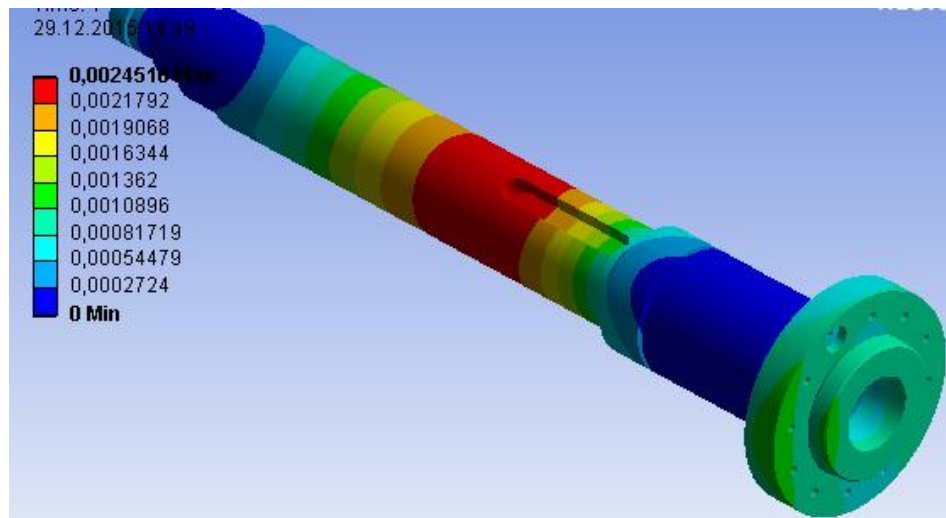


Рисунок 8 – Общие деформации шпинделя

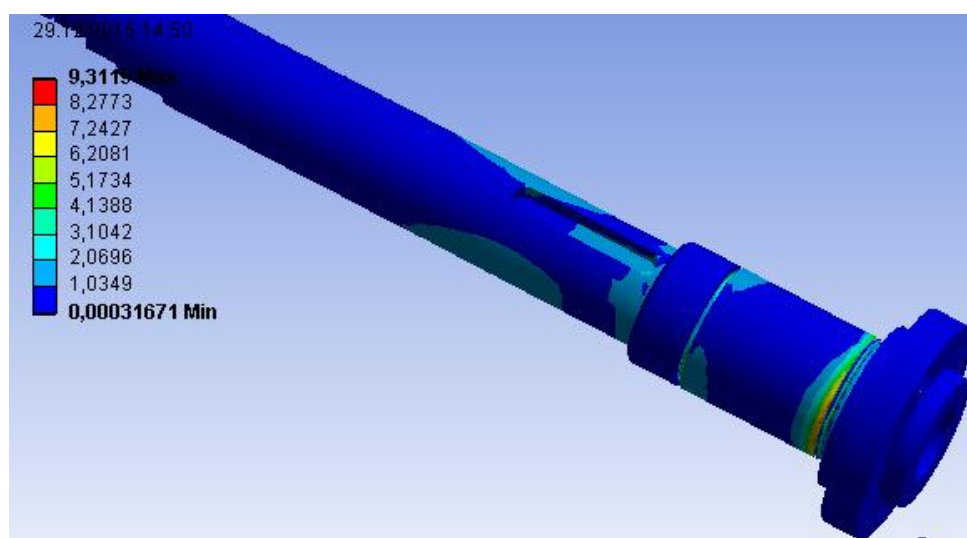


Рисунок 9 – Эквивалентные деформации шпинделя

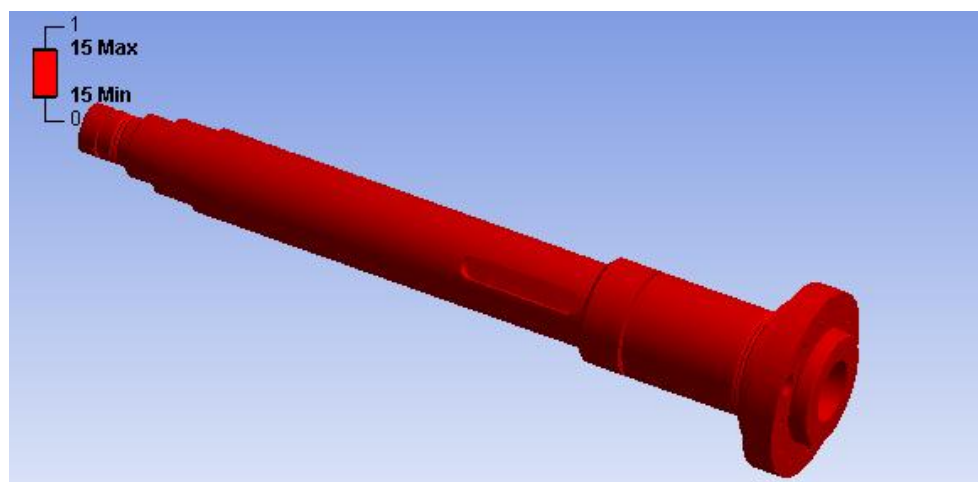


Рисунок 10 – Запас прочности шпинделя

После проведения расчетов необходимо определить отклонение зеркала шпинделя. Для этого производим замер наибольшего значения на зеркале шпинделя (см. рисунок 11).

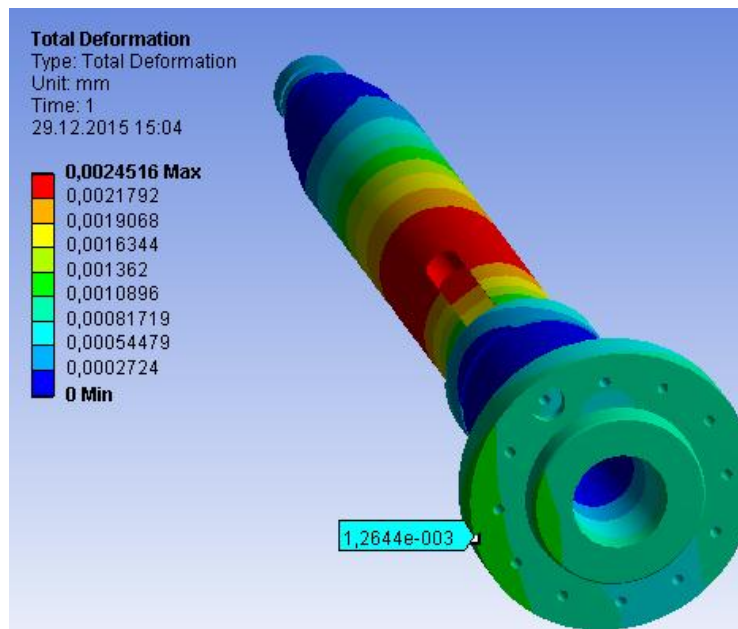


Рисунок 11 – Измерение максимального отклонения

Вывод

В данной работе был проведен расчет на определение общей деформации и коэффициента запаса прочности, с помощью программного продукта *Ansys*.

Исходя из расчетов делаем вывод, что данный шпиндель выдерживает нагрузки, возникающие в процессе резания и зубчатого зацепления, так как коэффициент запаса прочности равен 15.

Отклонение зеркала шпинделя составляет 0,0012644 мм.

Паспорт курсового проекта

по дисциплине «Расчет и конструирование станочного оборудования», 2 семестр

1. Методика оценки.

Тематика курсового проекта – разработка общей концепции станка для обработки типовой детали.

Выполнение КП является одним из важнейших этапов конструкторской подготовки инженера. На нем систематизируются и углубляются знания, полученные ранее при изучении многих естественнонаучных, общетехнических и специальных дисциплин.

Основные цели этой работы, имеющей творческий характер, состоят в том, что она позволяет студенту в полной мере овладеть методикой проектирования нового и совершенствования действующего технологического оборудования с обеспечением требуемых показателей качества; развить умение производить сложные инженерные расчеты и закрепить навыки конструирования с эффективным привлечением средств ВТ, приобретенные при выполнении предшествующих КП, и повысить эрудицию в конкретной области машиностроения.

Выставление оценок за КП осуществляется на основе выполнения и защиты одного типового задания. Защита КП в соответствии с уровнем знаний: "удовлетворительно" – 30...36 баллов; "хорошо" – 37...43 баллов; "отлично" – 44...50 баллов.

2. Критерии оценки.

Курсовой проект считается не выполненным, если студент не освоил теоретический материал и не смог обобщить теоретический и практический материал; оценка составляет менее 30 баллов.

*Курсовой проект считается состоявшимся на **пороговом уровне***, если студент освоил теоретический материал, но не смог обобщить теоретический и практический материал. Оценка составляет 30...36 баллов (удовлетворительно).

*Курсовой проект считается состоявшимся на **базовом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, допустил несколько ошибок в процессе ответа на вопросы и привёл не достаточно чёткую аргументацию своей точки зрения. Оценка составляет 37...43 балла (хорошо).

*Курсовой проект считается состоявшимся на **продвинутом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, привёл достаточно чёткую аргументацию своей точки зрения по всем разделам. Оценка составляет 44...50 баллов (отлично).

Учитывая, что курсовое проектирование также оценивается в дифференцированной форме, то для выставления итоговой оценки за проект в ведомость и в зачетную книжку студента в "буквенной" форме в соответствии с 15-уровневой шкалой ESTS, вводится переводной коэффициент, **равный 2**. Таким образом, итоговая оценка формируется путем умножения баллов, полученных по результатам выполнения и защиты проекта, на этот коэффициент.

3. Шкала оценки.

Если студент в семестре работал не систематически, в результате чего не набрал требуемое количество баллов, то ему выдается дополнительное задание, тематика и объем которого определяются преподавателем.

Если в результате сдачи зачета студент не набирает 10 баллов или с учетом сдачи зачета его суммарный рейтинг (оценка на зачете + оценка за выполнение практических работ + **ОЦЕНКА ЗА ВЫПОЛНЕНИЕ И ЗАЩИТУ КП**) не превышает 49 баллов, ему выставляется оценка "неудовлетворительно" (FX) с возможностью пересдачи.

При пересдаче зачета студент имеет возможность получить оценку не выше Е ("удовлетворительно").

Итоговая оценка по дисциплине выставляется согласно таблице.

Таблица

98-100	93-97	90-92	87-89	83-86	80-82	77-79	73-76	70-72	67-69	63-66	60-62	50-59	25-49	0-24
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	D-	E	FX	F
отлично				хорошо				удовлетворительно				неудовлетворительно		
зачтено													не зачтено	

В общей оценке по дисциплине баллы за проект учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Учитывая, что курсовое проектирование также оценивается в дифференцированной форме, то для выставления итоговой оценки за проект в ведомость и в зачетную книжку студента в "буквенной" форме в соответствии с 15-уровневой шкалой ESTS, вводится переводной коэффициент, **равный 2**. Таким образом, итоговая оценка формируется путем умножения баллов, полученных по результатам выполнения и защиты проекта, на этот коэффициент.

При систематической работе студента над проектом согласно вышеуказанному графику начисляется дополнительно 10 баллов.

Итоговая оценка за выполнение и защиту КП.

Таблица

98–100	93-97	90-92	87-89	83-86	80-82	77-79	73-76	70-72	67-69	63-66	60-62	50-59	25-49	0-24
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	D-	E	FX	F
отлично				хорошо				удовлетворительно				неудовлетворительно		
зачтено													не зачтено	

4. Примерный перечень тем курсового проекта (работы).

Тематика курсового проекта – разработка общей концепции станка для обработки типовой детали.

Выполнение КП является одним из важнейших этапов конструкторской подготовки инженера. На нем систематизируются и углубляются знания, полученные ранее при изучении многих естественнонаучных, общетехнических и специальных дисциплин.

Основные цели этой работы, имеющей творческий характер, состоят в том, что она позволит студенту в полной мере овладеть методикой проектирования нового и совершенствования существующего технологического оборудования с обеспечением требуемых показателей качества; развить умение производить сложные инженерные расчеты; закрепить навыки конструирования с эффективным привлечением средств ВТ, приобретенные при выполнении предшествующих КП, и повысить эрудицию в конкретной области машиностроения.

Опыт, полученный при работе над проектом, даст студенту возможность реально оценить свою способность к самостоятельному решению сложных практических задач и станет необходимым фундаментом для дальнейшего совершенствования по профилю избранной инженерной специальности. Объективным критерием уровня знаний является качество выполнения КП, умение аргументировано обосновывать и отстаивать принятые технические решения, сравнивать их с альтернативными вариантами.

Тематика курсового проекта предполагает проектирование специализированного металлорежущего станка, предназначенного для обработки детали-представителя. Чертежи этих деталей приведены в приложении 1. Вся остальная исходная информация выбирается по данным табл. 1...3. Вариант задания формируется на основе шифра, устанавливаемого руководителем. Он состоит из цифр в трехразрядном коде. Например, при шифре 459 из табл. 1 принимают данные четвертой колонки, а в табл. 2 и 3 выбирают значения пятого и девятого столбцов.

В задании использованы следующие условные обозначения:

1) материал детали: серый чугун – СЧ, сталь конструкционная – СК, сталь легированная – СЛ, медные сплавы – МС, алюминиевые сплавы – АС;

2) тип производства: единичное – Е, мелкосерийное – М, серийное – С, крупносерийное – К.

Специфика предложенной детали состоит в том, что она имеет габариты, варьируемые в некотором диапазоне: три поверхности, отличающиеся формой, размерами и параметром шероховатости, а ее полуфабрикат изготавливают из разных материалов. При проектировании оборудования непосредственно под такое изделие следует стремиться к организации наиболее эффективного технологического цикла, обеспечивающего требуемый уровень качества.

При анализе и последующем использовании исходных данных необходимо учитывать, что:

- несмотря на многообразие марок сплавов, присущих любому **материалу**, во внимание принимают только те из них, которые чаще всего употребляют для деталей данного класса, основываясь при этом на рекомендациях учебной и справочной литературы;

- **тип производства** косвенно характеризует целесообразную степень автоматизации оборудования;

- **технический ресурс** является одним из показателей надежности машин и механизмов;

- **основной размерный параметр X** регламентирует максимальные габариты детали, а следовательно, и соответствующие размеры каждой поверхности. Для получения нижних предельных размеров следует воспользоваться масштабным коэффициентом – **диапазоном их изменения**;

Таблица 1

Исходные данные		Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Номер детали		3	7	5	9	4	8	1	0	2	6
Материал детали	1	СЧ	СК	СЛ	СЧ	МС	СЛ	СК	АС	СЧ	СК
	2	АС	СЧ	МС	СЛ	АС	МС	СЛ	МС	СК	АС
Тип производства		М	Е	С	К	К	М	С	К	М	С
Технический ресурс станка, 10 ³ ч.		16	10	12	20	14	18	10	16	14	12

Таблица 2

Исходные данные		Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Основной размерный параметр - X, мм		24	32	20	35	38	26	22	30	40	28
Вероятность обработки материалов	1	0,8	0,5	0,9	0,4	0,7	0,2	0,3	0,6	0,1	0,5
	2	0,2	0,5	0,1	0,6	0,3	0,8	0,7	0,4	0,9	0,5
Тип обрабатываемой поверхности	1	Б	А	Е	И	Д	В	Г	К	Ж	З
	2	И	Ж	Б	Е	А	К	В	З	Д	Г
	3	Г	К	З	В	Е	Д	Ж	И	Б	А
Номенклатура режущего инструмента		8	12	16	24	12	8	16	36	6	24

Таблица 3

Исходные данные		Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Диапазон изменения размеров детали		2,4	1,8	2,0	1,6	2,0	2,2	1,8	2,4	2,2	1,6
Вероятность обработки поверхностей	1	0,5	0,4	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3
	2	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,5
	3	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,2
Коэффициент корреляции случайных параметров	K ₁	0,4	0,6	0,7	0,7	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,6
	K ₂	0,6	0,7	0,5	0,3	0,4	0,5	0,4	0,6	0,7	0,3

- **номенклатура режущего инструмента**, определяя тип накопителя, отражает в неявном виде гибкость станочного комплекса;

- **вероятности обработки материалов и поверхностей** характеризуют частоту повторения (воспроизводимость) конкретных технологических операций в процессе функционирования оборудования;

- **коэффициент корреляции** K_1 учитывает связь скорости и силы резания с диаметральными размерами обрабатываемых поверхностей заготовки или режущего инструмента, а **коэффициент** K_2 – между самими силовыми и скоростными факторами.

Таким образом, анализ технического задания на проектирование показывает, что в нем заложен ряд требований к станочной системе и, в первом приближении, конкретизированы условия ее эксплуатации. Все другие решения, выходящие за рамки задания, студенты принимают самостоятельно, однако принципиальные вопросы в обязательном порядке должны быть согласованы с руководителем.

Поскольку проектирование сложных технических систем объективно имеет большую трудоемкость, единая по существу задача разделена на две взаимосвязанные части, каждая из которых в то же время представляет собой вполне законченный комплекс работ, выполняемых в виде самостоятельных КП.

КП предполагает формирование общей концепции специализированного металлорежущего оборудования (технического предложения) и включает вопросы выбора наиболее оптимального варианта построения технологического процесса обработки детали, синтеза структурно-кинематической схемы и компоновки станка, обоснование технических характеристик.

Несмотря на своеобразие характера работ, выполняемых на разных этапах проектирования, требования к объему технической документации для обоих КП одинаковы: графическая часть – не более трех листов формата A1, расчетно-пояснительная записка (РПЗ) – порядка 40...50 страниц.

Графическая часть при определении общей концепции станка должна состоять из чертежа детали – представителя с цветовым выделением поверхностей, подлежащих обработке; операционных эскизов для принятых методов размерной обработки; структурно-кинематической и компоновочной схем; картины эксплуатационных характеристик.

После тщательного ознакомления с особенностями конструктивного исполнения предложенной детали, технических условий на ее изготовление (материал заготовки, высота микронеровностей отдельных поверхностей) и требований, предъявляемых к станочной системе, курсовое проектирование начинают с решения именно этого вопроса.

Проблема выбора наиболее рациональных методов размерной обработки для каждой поверхности и детали в целом носит аналитический характер. По существу здесь приходится задействовать целый комплекс знаний в области процессов формообразования и инструмента, технологии и оборудования. Эта стадия разработки общей концепции станка является очень важной и ответственной, поскольку на ней напрямую или косвенно закладывается фундамент многих дифференциальных и интегральных показателей качества создаваемого изделия: экономичность, производительность, технологичность и другие. В частности, принимая ту или иную комбинацию методов обработки заданных поверхностей, проектировщик осознанно предопределяет тем самым и конструируемую сложность оборудования, и трудоемкость настройки оператором параметров исполнительных движений рабочих органов в процессе эксплуатации станка со всеми вытекающими отсюда последствиями.

При рассмотрении возможных схем формирования поверхностей самыми различными методами и способами (вариантами реализации любого метода) размерной обработки целесообразно принимать во внимание не только механические, но и другие процессы: электрофизические, физико-механические и другие. Причем общеизвестные, традиционные технические решения желательно подкреплять и прогрессивными, имеющими перспективу развития. Для получения информации о достижениях в области новейших процессов и технологий обработки можно использовать научные статьи, каталоги международных выставок, проспекты фирм, а также журналы по профилю специальности: “Вестник машиностроения”, “СТИН”, “Машиностроитель”, “Известия вузов. Машиностроение” и другие.

При выполнении данного раздела во избежание принятия ошибочных решений, которые на более поздних этапах проектирования практически не поддаются исправлению, необходимо руководствоваться следующим.

Заготовкой детали – представителя является полуфабрикат, уже обладающий, как правило, требуемой конфигурацией поверхностей. Причем, невзирая на общую величину припуска, которая подлежит снятию с целью получения поверхности заданных размеров, здесь и далее учитывают лишь минимальную глубину резания на окончательную технологическую операцию, компенсирующую погрешности, возникающие при выполнении предшествующих операций. Термин “операция” трактуется в данном случае как обработка одной поверхности каким-либо методом при неизменном режиме. Поэтому при выборе методов обработки анализируются технологические возможности только тех из них, которые при прочих равных условиях способны обеспечить требуемую величину параметра шероховатости поверхности. Значение последнего, в свою очередь, как известно, непосредственно связано с рационально достижимым с экономической точки зрения качеством точности, присущим каждому из методов. Кроме того, следует иметь в виду, что с точки зрения организации на проектируемом оборудовании эффективного цикла обработки детали и получения в дальнейшем достаточно оптимальных значений его технических характеристик принятые в конечном итоге методы формообразования должны быть совместимы по физике процесса снятия стружки, а их производительность должна быть, по крайней мере, сопоставима и соответствовать заданному типу производства.

Анализ возможных вариантов обработки поверхностей в обязательном порядке сопровождают вычерчиванием эскизов с изображением взаимного положения детали и инструмента. С целью грамотного определения структуры элементарных движений здесь рекомендуется учитывать одновременно и специфику методов получения производящих линий: копирования, псевдокопирования (обката, огибания), следа или псевдоследа (касания). Дело в том, что с позиции теории процесс формирования реальных поверхностей деталей на металлорежущих станках рассматриваются аналогично процессу образования идеальных геометрических поверхностей. Такой подход позволяет не только выявить все нюансы, присущие любому методу размерной обработки, но и правильно перераспределить требования, предъявляемые к двум основным компонентам: оборудованию и инструменту.

Конечным результатом всесторонней сравнительной оценки достоинств и недостатков различных схем формирования отдельных поверхностей является установление наиболее рациональной совокупности методов размерной обработки для детали в целом.

Затем необходимо сделать обзор технической литературы, цель которого – поиск существующего технологического оборудования, близкого и аналогичного по назначению проектируемому (или даже прототипа), для изучения принципа их действия и устройства. Дополнительно к рекомендуемым по данному вопросу источникам здесь можно использовать также указанную выше периодическую литературу и рекламные буклеты фирм. При анализе отобранного материала рассмотрению подлежат довольно широкий круг сведений: применяемые методы обработки, вид оснастки, типаж инструмента, компоновка, гибкость и степень автоматизации оборудования. Что касается последнего, то необходимо акцентировать внимание не только на общих, схемах решения, но и на более конкретных, определяющих специфику конструктивного исполнения изделия и его основных узлов. На основе комплексного анализа вариантов альтернативных технических решений и их оценки выбирают наиболее приемлемые, т.е. те, которые могут быть использованы студентом в дальнейшем в качестве исходной информации при разработке собственной конструкции оборудования.

Далее переходят к синтезу структурно-кинематической схемы (СКС) и построению компоновки станка. Обращаем внимание на то обстоятельство, что указанное расчленение на два самостоятельных вида работ весьма условно, так как в действительности они очень

тесно переплетены и на практике выполняются параллельно.

Синтез структурно-кинематической схемы



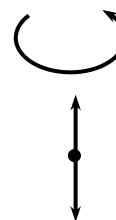
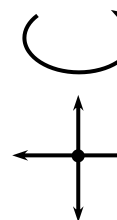
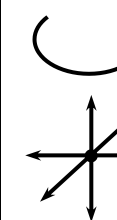
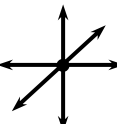
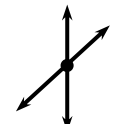
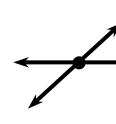
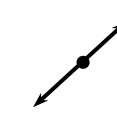
Разработку кинематической структуры оборудования рекомендуется осуществлять в такой последовательности:

- 1) определение характера и количества исполнительных движений (ИД) рабочих узлов (блоков);
- 2) принятие принципиального решения по пространственной ориентации, виду движения и относительному положению основных узлов;
- 3) построение внутренних и внешних связей ИД;
- 4) размещение органов настройки параметров ИД;
- 5) анализ полученных структурно-кинематических схем для каждой обрабатываемой поверхности детали и их корректировки;
- 6) синтез обобщенной кинематической структуры оборудования и ее оптимизация.

Как известно, ИД узлов образуется на основе элементарных движений (ЭД): вращательных – В и поступательных – П. Структура последних для принятых схем обработки заданных поверхностей детали уже была выявлена на предыдущем этапе проектирования. Количество и состав ИД определяются их функциональным назначением: формообразующие, установочные, делительные, вспомогательные или управления, а также потребностью в согласовании некоторых ЭД с целью обеспечения какого-либо сложного ИД. Помимо этого здесь же устанавливают и размерность всех движений: мин^{-1} , мм/мин , мм/об и другие.

Поиск на концептуальном уровне оптимального решения по относительному положению, характеру движения и пространственной ориентации основных блоков оборудования означает, что по существу речь идет уже о предварительной, начальной стадии разработки компоновочной схемы станка. Прежде всего принимают мотивированное решение по ориентации оси шпинделя в декартовой системе координат, устанавливая таким образом ее абсолютное положение в пространстве: горизонтальное, вертикальное или наклонное. Очевидно, что при значительной длине детали более предпочтительна горизонтальная компоновка, к достоинствам же вертикальной можно отнести сокращение занимаемой станком производственной площади, а также удобство обслуживания рабочей зоны оператором и улучшение условий для автоматизации процессов загрузки заготовок и смены инструмента. Далее анализируются различные варианты по взаимному положению и виду движения основных узлов. Иначе говоря, теперь необходимо придать каждому из узлов оптимальную степень подвижности, рационально распределив ее между блоками инструмента и заготовки. Информацию о всех возможных вариантах желательно систематизировать и с целью наглядности представить ее, например, по типу табл. 10.

Т а б л и ц а 10

Вариант	1	2	3	4	5
Инструмент					
Заготовка					

При этом руководствуются рекомендациями [1, 7], среди которых можно выделить такие:

- узлами со значительной массой сообщают перемещение не более чем по одной координате;
- вертикальное или наклонное расположение направляющих облегчает удаление стружки, но ухудшает условия смазывания;
- не следует чрезмерно усложнять конструкцию блоков, отдавая явный приоритет в степени подвижности одному из них;
- перемещение в вертикальной плоскости реализуется более легким блоком и другие.

В результате рассмотрения различных вариантов и их оценки по ряду критериев, в том числе с привлечением материалов обзора литературных источников, принимают наиболее рациональный. Это окончательное решение фиксируют в виде структурной формулы компоновки с записью в коде ISO [1, 7]. Одновременно осуществляется выбор типов устройств для загрузки заготовок и смены инструмента [27], а также устанавливается весь комплекс вспомогательных движений, необходимых для их функционирования.

Любое ИД обеспечивается в общем случае отдельной кинематической группой, включающей обычно источник и преобразователь энергии, рабочий орган, внутренние и внешние связи с органами настройки параметров ИД, преобразователи вида движений и другие устройства. При графическом изображении этих элементов СКС следует придерживаться условных обозначений, приведенных в приложении 3. Соединения между элементами выполняют тонкими сплошными линиями, характеризующими внутренние и внешние связи.

Построение СКС для единичной поверхности детали начинают с определения вида энергии (электрическая, пневмогидравлическая, физиологическая) и ее преобразователей (электродвигатель, гидроцилиндр и другие), необходимых для реализации каждого ИД, исходя из того, что:

- в станках с ЧПУ все приводы автономны;
- в универсальном оборудовании токарной и сверлильной групп, как правило, применяют общий электродвигатель для приводов главного движения и подач, а у фрезерных, шлифовальных и станков других типов эти приводы независимы и другое.

При нанесении внутренних и внешних кинематических связей нужно помнить, что назначение первых состоит в обеспечении траектории ИД, а вторых – в передаче мощности от преобразователя энергии к рабочим органам. В простых ИД траектория создается кинематическими парами в виде подшипников или направляющих, а в сложных

при достижении указанной цели образуется уже кинематическая цепь. Положение начала внешних связей определяется размерностью параметра скорости ИД и направлением основного потока мощности:

- если скорость обусловлена временем (мин^{-1} , м/с, мм/мин), то внешняя связь берет начало от индивидуального или общего преобразователя энергии для данной кинематической группы; в противном случае, когда она зависит от движения узлов (мм/об заг., мм/об инстр., мм/ход), связь ответвляется от соответствующего блока;

- точка подключения внешней связи к внутренней должна находиться как можно ближе к тому рабочему органу, движение которого осуществляется с большей скоростью и требует повышенного расхода мощности.

В выявленных кинематических связях размещают органы настройки регулируемых параметров, преобразователи вида движений, коммутаторы, сумматоры, логические блоки и другое. Для удобства выполнения работы рекомендуется предварительно составить специальную таблицу, в которую для каждой обрабатываемой поверхности заносят требуемые элементарные и исполнительные движения, а также настраиваемые параметры последних. С целью исключения ошибочных решений на данном этапе необходимо принимать во внимание следующие соображения:

- протяженность внутренней связи должна быть минимальной, так как в ней, как правило, размещают только один орган – настройки траектории F сложного ИД;

- основной поток мощности не должен проходить через орган настройки траектории, иначе будет снижена точность образования формы поверхности и усложнена конструкция блока;

- органы настройки остальных параметров ИД (скорости V , направления N , пути L и конечной точки K) желательно устанавливать во внешних связях;

- каждый параметр ИД целесообразно настраивать только одним органом так, чтобы перестройка любого параметра не вызывала подналадки других;

- если кинематические группы имеют общее исполнительное звено (преобразователь движения, направляющие), то они присоединяются при помощи сумматора (при условии параллельной работы групп) или через коммутатор (при последовательной работе).

После синтеза СКС для принятых методов обработки заданных поверхностей детали следует провести анализ полученных решений с целью внесения соответствующих уточнений и корректировок. Теперь уже необходимо четко определиться с конкретным типом устройств, которые скрываются за условными обозначениями элементов СКС, поскольку известно, что любой из них в зависимости от функциональной принадлежности на практике может быть реализован, как правило, гаммой механизмов с присущими им достоинствами и недостатками. Рассмотрение СКС с этой позиции позволит совместить ряд органов ИД, разнесенных по времени, сократить число источников энергии и кинематических цепей, а также принять другие рациональные решения. Отметим, что выбранные таким образом устройства и механизмы подлежат в дальнейшем полной конструктивной проработке.

На завершающем этапе на базе частных СКС синтезируют уже обобщенную кинематическую структуру проектируемого станочного комплекса в целом. Здесь по вполне объективным причинам может возникнуть потребность в окончательной доработке полученной СКС с получением оптимального варианта. Пример оформления СКС показан на рис. 1.

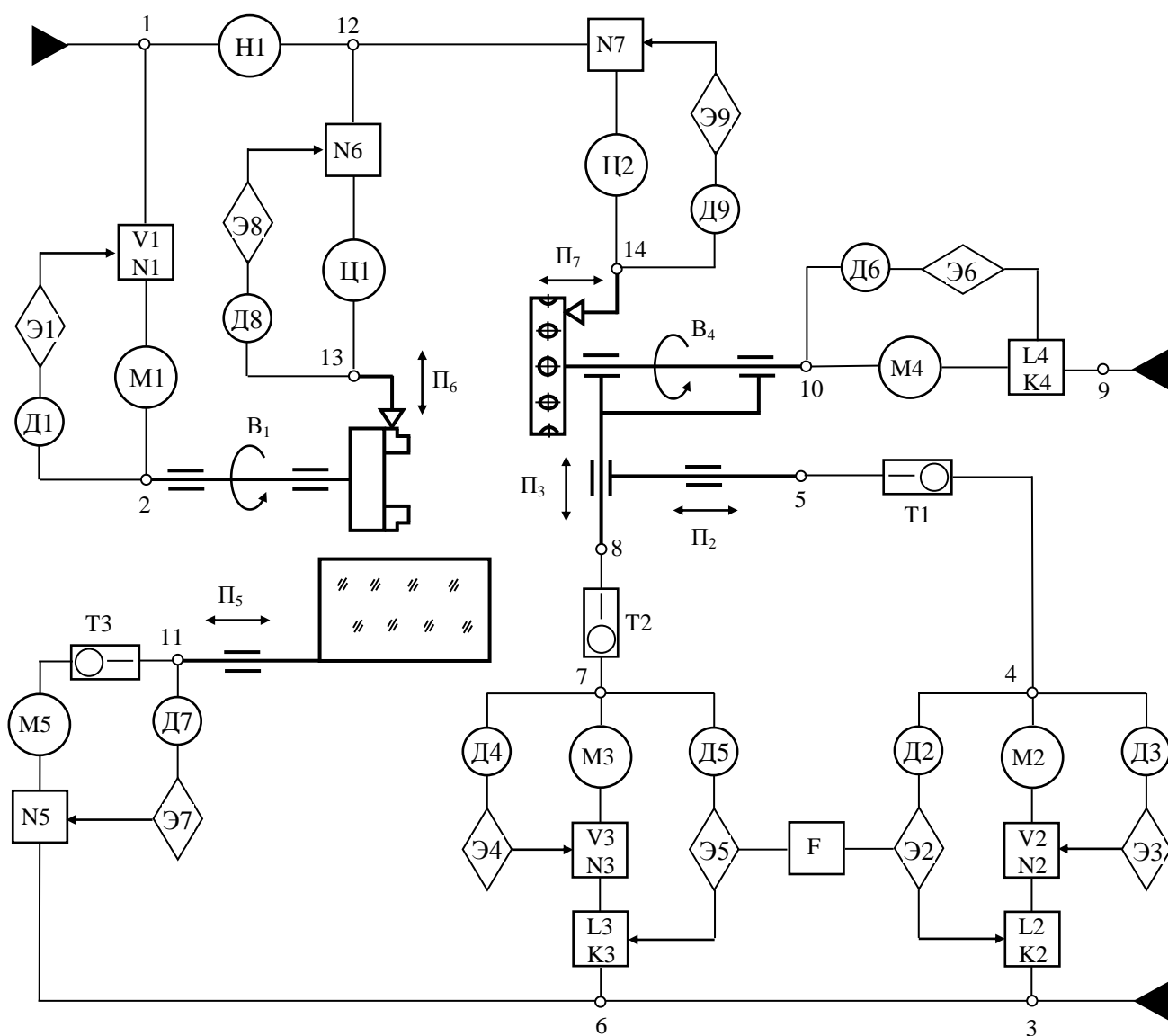
Компоновка

Не вызывает сомнений тот факт, что компоновка оказывает заметное влияние на многие показатели качества проектируемого оборудования: возможность автоматизации технологического цикла обработки деталей; удобства наладки, обслуживания, хранения, транспортирования и монтажа; массу; занимаемую производственную площадь; соответствие архитектуры и внешнего вида требованиям технической эстетики и другие.

Часть концептуальных вопросов по компоновке станочного комплекса должна быть решена на предыдущем этапе параллельно с синтезом его СКС. Следующим шагом в этом направлении является более детальная проработка проблемы – поиск приемлемых вариантов компоновки на уровне основных исполнительных узлов и оборудования в целом.

Анализ возможных вариантов и их оценку рекомендуется сопровождать *упрощенными схемами*. При решении указанной задачи придерживаются определенной последовательности с учетом функционального назначения узла. Раскрытие содержания некоторых вопросов, возникающих по ходу реализации одной из таких методик, иллюстрируется на примере компоновки привода главного движения вертикально-фрезерного станка.

Сначала выбирают способ соединения корпуса привода с элементами несущей системы станка с учетом определенной ранее степени подвижности блоков (рис. 2). Возможные варианты построения привода с неподвижным стыком (контактом) сопрягаемых поверхностей показаны на рис. 2, а. Затем рассматривают различные



способы установки электродвигателя (рис. 2, б).

Рис.1. Структурно-кинематическая схема токарного станка с ЧПУ

Потом решают вопросы размещения вспомогательных систем станка и постов

(пультов, панелей) управления. Последние располагают в соответствии с требованиями эргономики и безопасности обслуживания оборудования.

На заключительной стадии разработки компоновки выявляют ориентировочные габаритные размеры узлов, элементов несущей системы и станочного комплекса в целом. Отправной точкой при установлении приближенных размеров всех компонентов оборудования обычно служат максимальные габариты детали и антропометрические требования к техническим объектам. Так, например, ширина заготовки, обрабатываемой на фрезерном станке, закономерно предопределяет соответствующий размерный параметр стола, который, в свою очередь, накладывает ограничения на положение оси шпинделя (рис. 3) относительно привалочной (базовой) поверхности корпуса коробки скоростей (размер B). Размер A , оказывающий существенное влияние на устойчивость шпиндельной бабки в горизонтальной плоскости, принимают обычно не менее чем $(1,2 \dots 1,5)B$. Размерные параметры H и L назначают в соответствии с правилом “золотого сечения” на основе значения A . Габариты элементов несущей системы устанавливают с учетом параметров рабочего поля станка и необходимой собственной жесткости.

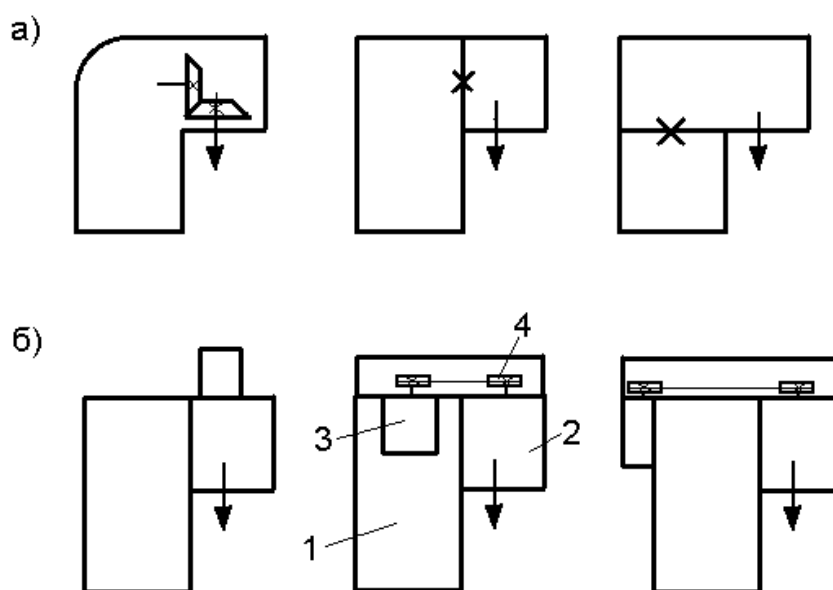
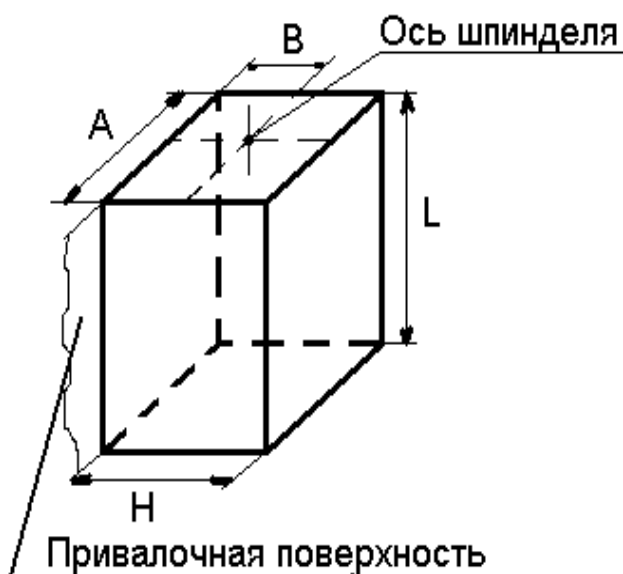


Рис. 2. Варианты компоновки привода главного движения: 1-стойка, 2-коробка скоростей, 3-электродвигатель, 4-ременная передача



РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ПРИВОДА

Обоснование технических характеристик

Проблема обоснования *технических характеристик* (ТХ) относится к числу наиболее важных и сложных, качество решения которой во многом предопределяет технико-экономические показатели проектируемого оборудования.

Несмотря на довольно широкий перечень параметров, свойственных любому оборудованию машиностроительного производства, его эффективность в эксплуатации зависит прежде всего от мощности приводов, допустимых значений

крутящих моментов и тяговых усилий на исполнительных органах, а также пределов изменения скорости перемещения последних. В то же время тематикой КП предусмотрена разработка конструкции только одного из приводов – главного движения, поэтому указанный круг ТХ сужается до трех доминирующих, в том числе и по отношению к оборудованию в целом: мощности электродвигателя N_d , номинального крутящего момента M_H и предельных значений частоты вращения шпинделя – n_{\min} и n_{\max} .

В настоящее время при обосновании этих основных ТХ оперирует различными методами, на выбор которых влияет степень универсальности оборудования, объем исходной информации и требуемая точность расчета. Для станков общего назначения и специализированных из-за большого разнообразия условий обработки, вследствие чего они функционируют в широком диапазоне скоростей и нагрузок, наиболее целесообразный путь определения ТХ – математическое моделирование.

При выполнении КП решение проблемы обоснования ТХ осуществляется на базе методологии, теоретические основы и практические положения которой приведены в работе. В соответствии с заложенными в ней принципами моделированию подлежат распределения *эксплуатационных характеристик* (эффективная мощность резания N , частота вращения n и крутящий момент M на шпинделе) для реализуемых на станке технологических операций с поэтапной корректировкой положения их границ до момента установления значений собственно ТХ. Следует подчеркнуть, что в отличие от технических по существу одноименные с ними эксплуатационные характеристики (ЭХ) являются переменными по величине и зависят от условий обработки, но в процессе функционирования оборудования не должны выходить за рамки его ТХ.

При осуществлении расчетов на ЭВМ требуется подготовить исходные данные для отдельных технологических операций, под которыми, как отмечалось выше, подразумевается обработка какой-либо поверхности детали при неизменном режиме. Таким образом, для каждого из шести условий обработки (количество поверхностей, помноженное на число видов материала заготовки) необходимо сформировать следующую исходную информацию:

1. *Предельные значения размеров заданных поверхностей*, определяющие диаметральные параметры детали d_d или инструмента d_i , устанавливают на базе диапазона варьирования габаритов заготовки и специфики принятого метода обработки (точение, сверление, фрезерование, шлифование и других).

2. *Предельные значения скорости V и силы P резания (или момента M)* определяют аналитическими методами либо по эмпирическим формулам, либо по общемашиностроительным нормативам. При выборе величины поправочных коэффициентов уравнений особое внимание обращают на их соответствие заданным условиям обработки. В частности, материал заготовки принимают только с учетом функционального назначения детали на основе известных рекомендаций. То же правило действует и в отношении режущего инструмента: в зависимости от физико-механических свойств материала заготовки устанавливают наиболее предпочтительный материал одной группы, например титано-кобальтовый твердый сплав. Кроме того, следует иметь в виду, что при оценке силовых возможностей большинства технологических процессов оперируют силой резания (обычно понимая под ней главную составляющую), но для некоторых методов обработки (сверление, зенкерование, развертывание) целесообразно использование крутящего момента.

3. *Вероятность реализации технологической операции* на проектируемом станке есть не что иное, как произведение частных вероятностей обработки соответственно какой-либо поверхности и одного из материалов детали. Суммарная вероятность всех условий должна равняться единице, в противном случае программой предусмотрено уточнение полученных значений.

4. *Значения коэффициентов корреляции K_1 и K_2* . Напоминаем еще раз, что первый из них учитывает связь скорости V и силы P резания с диаметральными параметрами

поверхности (т.е. для двух факторов он одинаков), а второй – между моментом M и частотой n детали или инструмента (всегда имеет отрицательное значение).

Процесс вычислений на ЭВМ носит циклический характер. На первом этапе моделируются дифференциальные функции распределений отдельных ЭХ: n , M и N с наложенными на них ограничениями. Полученные предельные значения ЭХ подлежат корректировке исходя из того, что частота вращения шпинделя должна быть согласована со стандартным рядом (см. приложение 4), а момент и эффективная мощность резания округлены до ближайших чисел. Однако при смещении границ ЭХ необходимо осознанно представлять себе последствия, которые кроются за теми или иными решениями, ведь по существу они напрямую отражаются на технологических возможностях и конструктивной сложностью привода, да и станочной системы в целом. На базе уточненных элементарных распределений строится затем общая картина распределения ЭХ, типовой вид которой показан на рис. 4.

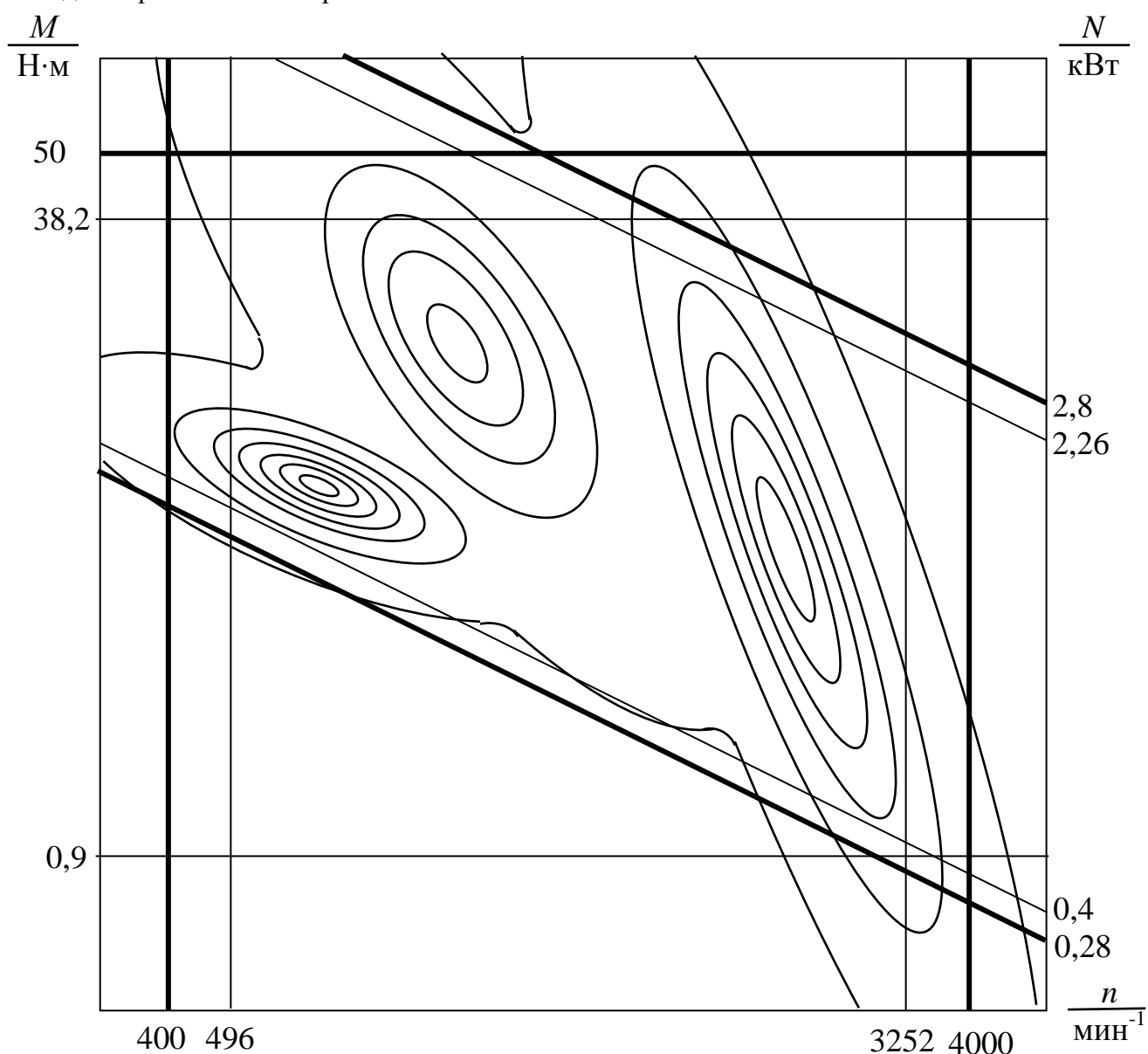


Рис.4. Картина распределения эксплуатационных характеристик ($Q=86.4\%$)

Не исключено, что полученная картина также подвергнется трансформации. Так, например, проектировщика может не удовлетворять объем работ Q , выполняемых на станке с максимальной производительностью (в процентах ко всему объему), который заключен в рамках границ ЭХ. Осуществляя корректировку на основе указанных

соображений, принимают взвешенное решение по поиску оптимальной области условий эксплуатации станка. Положения границ отдельных ЭХ на окончательном варианте картины фиксируют значения уже собственно *технических характеристик* станка.

Анализ конструкций приводов станков-аналогов

Напоминаем, что после ознакомления с комплексом требований технического задания именно с этого вопроса начинается работа над курсовым проектом **по типовой тематике**, т.е. с изучения и анализа принципа действия и конструкции привода главного движения известных на настоящий момент станков аналогичного по функциональному назначению (или прототипа). Кроме рекомендуемой литературы, желательно использовать обзоры международных станкостроительных выставок, проспекты фирм, каталоги и другие материалы.

При анализе акцентируют внимание не только на общих, схемных решениях, но и на более конкретных, определяющих специфику конструктивного исполнения изделия. В частности, следует непременно рассмотреть вопросы компоновки как оборудования, так и самого привода, а также его структуру и кинематику. Иначе говоря, анализу подвергают положение узла в станке и его координатных осей в пространстве; способ соединения корпуса коробки скоростей с элементами несущей системы; состав привода; размещение электродвигателя относительно входного вала; системы смазывания зубчатых передач, муфт, опор валов и шпинделя, а также способы настройки частоты вращения, реверса и останова последнего. Изучая конструкции элементов и механизмов приводов, выявляют применяемые в них оригинальные и типовые технические решения.

В результате комплексного анализа исходных данных к проекту и различных вариантов альтернативных решений, их сравнительной оценки с учетом конструктивных особенностей разрабатываемого и существующих узлов формируется общая концепция привода с наиболее рациональным вариантом структуры. Принятые решения в обязательном порядке следует подкреплять необходимыми схемами и рисунками.

Кинематический расчет

Цель расчета – разработка структуры привода главного движения (ПГД), распределение передаточных отношений между кинематическими группами и их оптимизация с последующим подбором числа зубьев колес и шестерен всех передач и диаметральных размеров шкивов. Завершается расчет построением наиболее рационального варианта картины частот вращения и кинематической схемы привода.

Для студентов при решении этого вопроса в качестве исходной служит информация, полученная ранее на этапах синтеза СКС станка (способ регулирования скорости главного движения) и предварительной компоновки привода, а также при обосновании ТХ (предельные значения частоты вращения шпинделя и максимальное значение эффективной мощности резания). *Для студентов, разрабатывающих привод по типовой тематике*, комплекс исходных данных, приведенных в техническом задании, несколько иной. Поэтому на начальном этапе выполнения кинематического расчета возникают некоторые нюансы.

Однако в любом случае прежде всего необходимо определить следующие недостающие исходные данные:

- 1) вычисляют *мощность привода* N_{Π} по формуле

$$N_{\Pi} = \frac{N}{\eta}, \quad (1)$$

где N – эффективная (номинальная) мощность резания, кВт; η – коэффициент полезного действия (КПД) механической части, который на стадии разработки технического предложения в зависимости от предполагаемой конструктивной сложности привода принимают равным 0,75 ... 0,85.

- 2) *диапазон регулирования привода* D_{Π} связан с максимальной – n_{\max} и минимальной

– n_{\min} частотами вращения шпинделя выражением

$$D_{\Pi} = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}. \quad (2)$$

В зависимости от наличия в исходных данных значений тех или иных характеристик привода по этой формуле и находят искомую характеристику.

Далее кинематический расчет обладает спецификой, свойственной принятому способу регулирования скорости исполнительного органа.

При **ступенчатом (дискретном) регулировании** целесообразно придерживаться такой последовательности:

1. Определяют *число ступеней скорости Z привода*

$$Z = \frac{\lg D_{\Pi}}{\lg \phi} + 1, \quad (3)$$

где *знаменатель геометрического ряда частот вращения.*

В соответствии с положениями ГОСТ 8032-84 и рекомендациями нормали станкостроения Н11-1 наиболее предпочтительными значениями знаменателя для ПГД являются 1,26; 1,41 или 1,58 [18]. В проектах по типовой тематике для станков с ручным и дистанционным управлением требуемое значение знаменателя ряда выражено в неявном виде – через допустимую потерю скорости резания δV (табл. 11).

Т а б л и ц а 11

$\delta V, \%$	10	20	30	40	50
\square	1,12	1,26	1,41	1,58	2,0

2. После анализа возможных вариантов принимают наиболее приемлемый *тип кинематической структуры* (нормальная множительная, с совпадением части ступеней скорости, с многоскоростным электродвигателем, сложенная, с двумя значениями \square или их комбинация), записывая ее в виде соответствующей *структурной формулы*. Причем последняя должна быть полной, развернутой, т.е. содержать все зубчатые и ременные передачи, включая одиночные. Данный этап расчета является весьма ответственным, ибо здесь приходится одновременно учитывать целый комплекс разнообразных факторов: $Z, \square, \square \square D_{\Pi}$, характер распределения n по графику ее результирующей функции, потребность в реверсировании исполнительного органа (зависит от особенностей технологических операций, выполняемых на станке), класс точности оборудования (отражается, например, на необходимости гашения вибраций при передаче вращения на шпиндель), компоновка привода и т.д.

При поиске оптимального решения целесообразно руководствоваться следующими рекомендациями:

- уменьшение габаритов и массы привода достигается за счет смещения групп с большим числом передач к входному валу, увеличения редукции в группах по мере их приближения к шпинделю, совпадения конструктивного и кинематического вариантов;
- применение многоскоростных электродвигателей существенно упрощает механическую часть привода;
- осевые размеры коробки скоростей можно уменьшить применением связанных колес, установкой одиночных передач между отдельными кинематическими группами, разделением тройных и четвертных блоков на части;
- энергетические потери заметно снижаются при использовании сложенных структур;
- улучшение качественных характеристик шпиндельного узла (жесткость, виброустойчивость, теплостойкость) обеспечивается при минимальном количестве зубчатых передач в конструктивно последней группе, а повышение плавности его работы – при использовании в этой роли ременной передачи;

- реверс и торможение электродвигателем ухудшают динамические характеристики привода и другое.

3. С учетом выявленных \square и Z из \square ряда предпочтительных чисел (приложение 4) выписываются *стандартные значения частот вращения шпинделя* от n_{\max} до n_{\min} . При этом возможна корректировка ранее вычисленного D_{Π} .

4. На базе принятой структурной формулы привода определяют их *характеристики*. Каждая из них, как известно, численно равна количеству ступеней скорости, полученных за счет переключения предшествующих групп.

5. Приступают к построению *картины частот вращения привода*, типовой фрагмент который показан на рис. 5. Она позволяет наглядно представлять последствия принимаемых решений и очень удобна для определения передаточных отношений i (отношение частот вращения ведомого элемента к ведущему) всех передач, поскольку при графоаналитическом методе их величина подчиняется зависимости

$$i_j = \varphi^{\pm m_j}, \quad (4)$$

где m_j – количество интервалов сетки картины, перекрываемых лучом j -й передачи, причем знак "+" отражает повышающую (мультипликация), а "-" – понижающую (редукция).

Задавая угол наклона лучей и искусственно перераспределяя количество интервалов сетки между одиночными и групповыми передачами, конструктор тем самым фиксирует не только передаточные отношения отдельных передач, но и характер их изменения для привода в целом. Очевидно, что эта процедура является многовариантной.

В то же время при построении картины учитываются известные ограничения, накладываемые на передаточные отношения зубчатых и ременных передач. Так, для прямозубых колес $0,25 \leq i_j \leq 2,0$. Тогда количество интервалов, занимаемых лучами понижающих и повышающих передач, не должно превышать предельных значений, указанных в табл. 12.

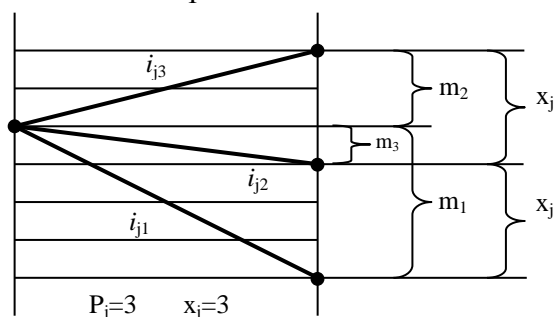


Рис. 5. Графическое изображение передач на картине частот вращения

Количество интервалов передачи	Знаменатель геометрического ряда \square				
	1,12	1,26	1,41	1,58	2,0
Понижающей	12	6	4	3	2
Повышающей	6	3	2	1,5	1

Ограничения для ременных передач различного типа и рекомендуемые параметры стандартных шкивов приведены в литературе [2, 4], но нужно помнить, что их максимальный диаметр, по крайней мере, не должен выходить за пределы габаритов привода.

Получение реальной картины без наличия конкретного источника движения, конечно же, невозможно. Однако сейчас осуществить его выбор довольно затруднительно, да и нежелательно. И вот почему. По данным каталогов на электрооборудование или другой справочной литературы, например [15], можно предварительно установить *тип одно- или многоскоростного асинхронного электродвигателя* последних модификаций пока только по такой технической характеристике, как мощность $N_{\text{д}}$. Причем по условию, которое не вызывает сомнений: $N_{\text{д}}$

$\geq N_{II}$. Что же касается выбора значения другой важной характеристики двигателя: частоты вращения ротора (вала), то этот вопрос требует дополнительной проработки.

Дело в том, что технико-экономические показатели привода в значительной мере

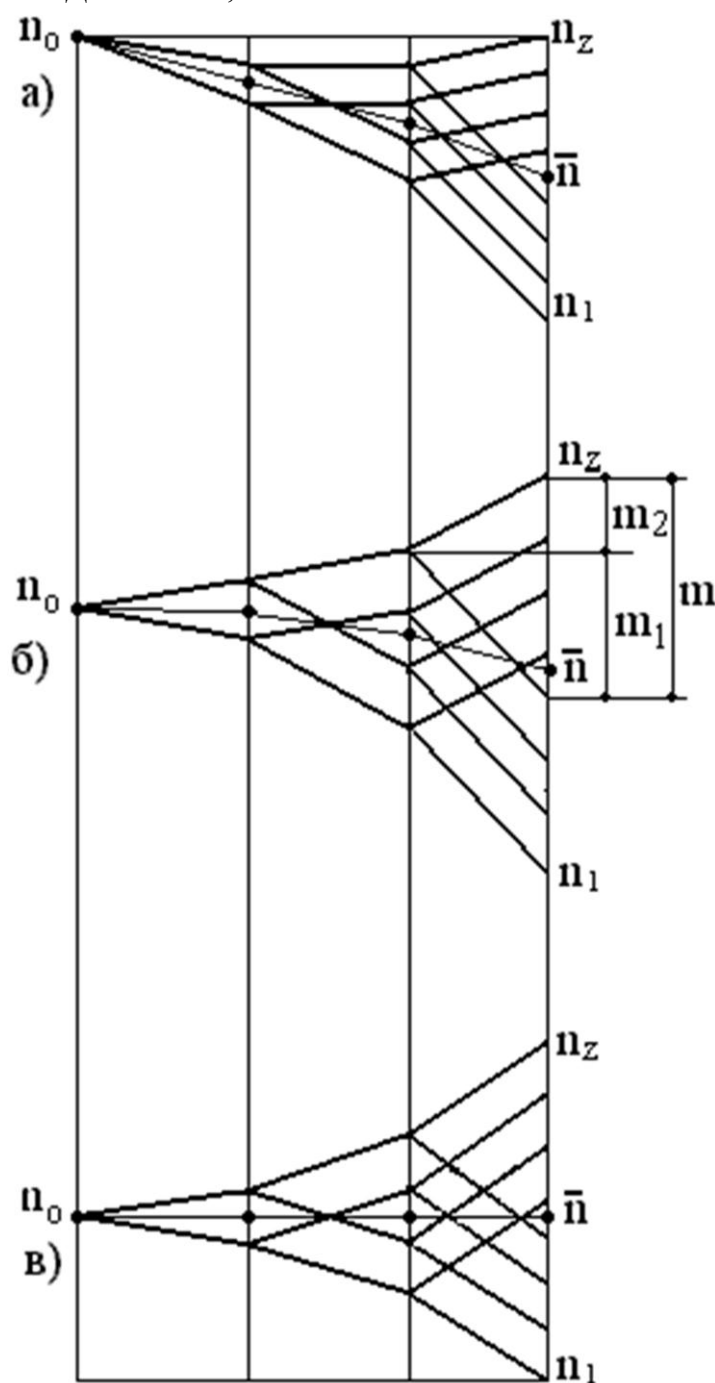


Рис. 6. Вариации картины частот вращения

зависят от соотношения частот вращения входного вала и шпинделя (рис. 6). В целом повышение частоты вращения электродвигателя приводит к увеличению его КПД и $\cos \varphi$ уменьшению габаритов и массы. Вместе с тем рост частоты вращения промежуточных валов механической части вследствие интенсификации процессов трения негативно отражается на энергетических потерях и долговечности (в том числе и за счет роста количества циклов нагружения) привода, а также уровне шума (эксперименты показывают: увеличение окружной скорости вращения зубчатых колес в два раза при прочих равных условиях сопровождается ростом уровня шума примерно на 7 децибел, что ощущается как почти двукратное его усиление). Кроме того, в этом случае минимальные передаточные отношения приближаются к своим предельно допустимым значениям, что приводит к возникновению известных проблем при конструктивном оформлении привода.

Обеспечение требуемого комплекса показателей качества механической части привода на стадии кинематического расчета достигается путем оптимизации передаточных отношений групп передач. В общем случае последние выбирают таким

образом, чтобы линия $n_0 n$, соединяющая середины интервалов частот вращения на выходе групп, была близка к прямой.

Наиболее применяемый на практике вариант картины при условии сопоставимости частоты вращения электродвигателя и максимальной частоты вращения шпинделя показан на рис. 6, а.

Оптимальным соотношением редукции к мультипликации обладает структура, изображенная на рис. 6, б. Она получается тогда, когда понижающие передачи перекрывают две трети диапазона каждой кинематической группы ($m_1 = 2/3m$), а

повышающие соответственно оставшуюся треть – $m_2 = 1/3m$. Такой вариант улучшает условия зацепления зубьев шестерен, обеспечивая довольно низкий уровень шума и вибраций. Для него также характерно, пусть и монотонное, но все же нарастание максимальной частоты вращения валов.

Картина с симметричным расположением передач в группе (рис. 6, в) свойственна приводу с максимальной степенью унификации зубчатых колес. При одинаковом модуле в трех рассматриваемых вариантах данный обладает наименьшими радиальными габаритами. В то же время очевидно, что здесь все передачи "загоняются" в область низких частот и соответственно больших крутящих моментов со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Таким образом, в результате сравнительного анализа и оценки альтернативных вариантов картин частот вращения привода на основе изложенных соображений, отдавая приоритет тому или другому технико-экономическому показателю, либо пытаясь совместить требования по ряду критериев, и устанавливают наиболее рациональное значение второй характеристики электродвигателя: *асинхронной* частоты вращения n_d .

Методика кинематического расчета при **плавном (бесступенчатом) регулировании** скорости выглядит несколько иначе:

1. В первую очередь на основе имеющейся на данный момент исходной информации осуществляют мотивированный выбор *способа регулирования скорости* рабочего органа привода и *типа устройства для его реализации*. Этот вопрос является чрезвычайно важным и принципиальным для студентов с конструкторской специализацией, поскольку качество его решения во многом предопределяет не только конструктивное исполнение привода, но и технологические возможности оборудования в целом.

Как известно, в ПГД металлорежущих станков используются два способа: *механический* и *электрический*. Первый осуществляется при помощи *фрикционных вариаторов* в паре с нерегулируемым асинхронным электродвигателем, а второй – *двигателями постоянного тока* или *асинхронными с частотным регулированием*. Каждый из них имеет достоинства и недостатки, а, следовательно, и сферу применения.

Среди основных технических характеристик вариаторов и двигателей наибольший интерес представляют две: мощность N_d и диапазон бесступенчатого регулирования скорости при условии обеспечения ее постоянства D_{BN} .

Фрикционные вариаторы поддерживают стабильность мощности, хотя и на довольно низком уровне, во всем рабочем диапазоне, но обладают вследствие скольжения при перегрузках нежесткой механической характеристикой, а также узким диапазоном регулирования $D_B = D_{BN}$, величина которого обычно не выходит за пределы значений 4...6. В настоящее время эти устройства достаточно редко используют в ПГД станков малого и среднего типоразмера.

В электродвигателях постоянного тока и асинхронных обычно применяется так называемое двухзонное регулирование скорости: от нуля до номинальной частоты $n_{дном}$ вращение вала осуществляется с передачей постоянного крутящего момента (диапазон D_{DM}), а далее – до максимальной частоты $n_{дmax}$ – с обеспечением постоянства мощности (диапазон $D_{DN} = D_{BN}$). Двигатели способны развивать большую мощность, однако характер ее изменения, предельные значения D_{DN} и D_{DM} существенным образом зависят как от их типа, так и режима работы. Они нашли наибольшее распространение в приводах станков с ЧПУ.

Типовой вид зависимости мощности от частоты вращения (так называемая нагрузочная или механическая характеристика) на разных режимах работы асинхронного двигателя приведен на рис. 7. Здесь необходимо обратить внимание на следующие обстоятельства. У этого типа двигателей на практике чаще всего используются два основных режима функционирования: непрерывный, т.е. без пауз (кривая 1), и повторно-кратковременный – с периодическим отключением разной длительности (кривая 2).

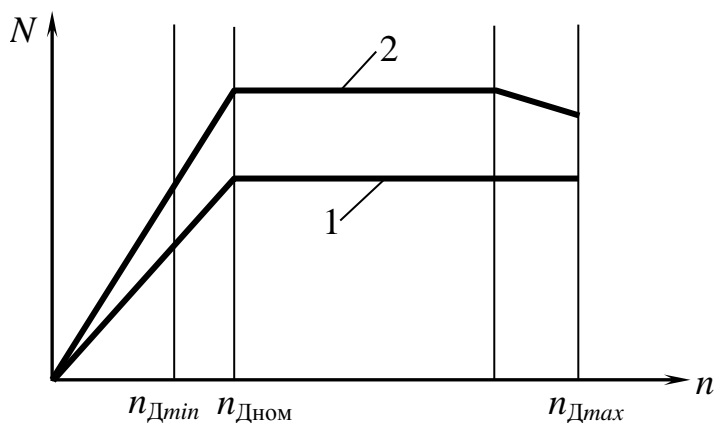


Рис. 7 Нагрузочная характеристика двигателя

Как видно из рисунка, режим работы двигателя очень сильно влияет не только на максимально развиваемый им уровень мощности $N_{\text{д}}$, но и на диапазон поддержания ее стабильных значений – $D_{\text{дN}}$. В частности, при больших нагрузках в режиме чередования пуска-останова у некоторых моделей после достижения значения максимальной частоты вращения с $N_{\text{д}} = \text{const}$ на характеристике наблюдается спад мощности разной крутизны.

Следует отметить, что при выборе электродвигателя с выполнением неременного условия $N_{\text{д}} \geq N_{\text{п}}$ использование при курсовом проектировании всей величины диапазона $D_{\text{дN}}$ характеристики вовсе не обязательно.

Шпиндельные узлы современных многоцелевых токарных станков с ЧПУ, как правило, помимо главного вращательного обеспечивают также движение подачи и установочное перемещение. Поэтому приводы главного движения таких станков целесообразно оснащать электродвигателями постоянного тока, обладающими перед асинхронными одним несомненным преимуществом: значительно большим $D_{\text{дM}}$. По виду их механическая характеристика аналогична характеристике асинхронного двигателя при непрерывном режиме функционирования (зависимость 1).

Выбор типовой конструкции фрикционных вариаторов по данным специальной литературы при наличии технических требований затруднений обычно не вызывает. Что же касается электрического способа регулирования, то в соответствии с тенденцией развития станкостроения рекомендуется применение различных моделей асинхронных электродвигателей передовых отечественных и зарубежных фирм, например “SIMENS” или “FANUK”, оснащенных стандартным комплектом преобразовательной и управляющей аппаратуры. То же относится и к двигателям постоянного тока, выбор которых следует производить либо по специализированным каталогам, либо по данным учебной литературы, например.

В процессе принятия решения по выбору той или иной модели двигателя необходимо тщательно проанализировать по каталогу их технические характеристики и в первую очередь нагрузочную.

2. Определяют число ступеней скорости механической части привода по выражению

$$Z = \frac{\lg D_{\text{ПН}}}{\lg D_{\text{дN}}}, \quad (5)$$

где $D_{\text{ПН}}$ - диапазон регулирования привода при постоянной мощности.

На основе полученного значения Z неизбежно приходится рассматривать такую альтернативу. При округлении его до ближайшего целого числа в большую сторону осознанно закладывается перекрытие части диапазона регулирования привода: некоторые частоты вращения валов и шпинделя будут дублироваться по разным кинематическим цепям. В противном случае (при округлении в меньшую сторону) заранее программируется разрыв. Однако это совсем не означает, что в некотором интервале частот вращение шпинделя не обеспечивается: оно осуществляется, но с передачей постоянного момента. Хотя подобный прием довольно часто используется в ПГД станков с ЧПУ (упрощается конструкция механической части), следует помнить, что наличие

разрыва свидетельствует о потере производительности обработки в соответствующем интервале частот диапазона регулирования.

Принятие того или иного решения обусловлено спецификой выполняемых на станке технологических операций, *отражением которой для студентов является характер результирующей функции распределения частоты вращения, полученной при обосновании ТХ*. Фактическую величину перекрытия или разрыва можно вычислить после определения передаточных отношений передач привода, в то же время нужно иметь в виду, что относительное снижение мощности в месте разрыва не должно превышать 20%.

3. Составляют развернутую структурную формулу привода. Учитывая, что число ступеней скорости механической части привода невелико (обычно не более четырех), в качестве структуры чаще всего используют нормальную множительную или сложенную.

4. Находят передаточные отношения передач. В кинематических структурах с плавным регулированием скорости для этой цели применяют, как правило, аналитический метод, тогда картина частот вращения играет чисто иллюстративную роль. Однако ради упрощения задачи более предпочтительным, на наш взгляд, является использование комбинации аналитического и графоаналитического методов. Привлечение эффекта наглядности позволяет быстро и адекватно оценить результаты принимаемых решений.

При оформлении картины сетку желательно наносить с малым шагом, например $\square \square = 1,12$ или $1,26$. Применение стандартного ряда дает возможность зафиксировать установленные предельные значения частот вращения двигателя и шпинделя, а в дальнейшем и промежуточных валов.

Сначала вычисляют минимальное передаточное отношение I_{\min} привода

$$I_{\min} = \frac{n_{\min}}{n_{\text{Дном}}} = \prod_{j=1}^k i_j, \quad (6)$$

где k – количество передач кинематической цепи с наибольшей редукцией.

Затем полученное численное значение I_{\min} искусственно разбивают на сомножители, величина каждого из которых и отражает конкретное значение передаточного отношения соответствующих понижающих одиночных и групповых передач кинематической цепи (количество этих передач, естественно, равно k). Причем на первом этапе целесообразно задавать предельные минимальные значения зубчатых и ременных передач. Если их произведение будет больше I_{\min} , то структурную формулу корректируют, вводя

дополнительно необходимое количество одиночных передач. Для облегчения процедуры можно воспользоваться стандартными значениями передаточных отношений для зубчатых передач (см. приложение 5). Далее придерживаются тех же основных правил, которые действуют применительно к структурам с дискретным регулированием скорости, остается в силе и рекомендация о характере линии $\bar{n}_0 \bar{n}$ (рис. 8). При построении картины перераспределяют передаточные отношения между передачами, получая таким образом окончательный вариант.

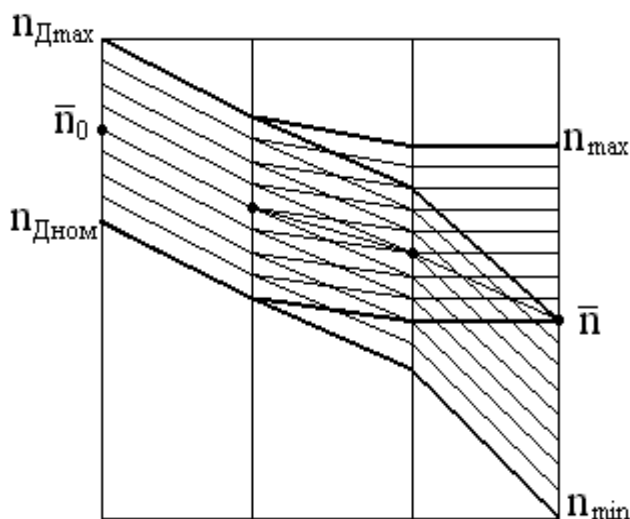


Рис. 8. Картина частот вращения с плавным регулированием скорости.

Обращаем особое внимание на такие важные моменты. В кинематических структурах с плавным

регулированием обычно используют электродвигатели, максимальная частота вращения которых заметно превышает соответствующую характеристику привода. А это может

привести к очень большой редукции привода, из-за чего передаточные отношения понижающих и повышающих передач достигают предельных значений. В этом случае одним из наиболее рациональных выходов из создавшейся ситуации является применение (помимо получения большей редукции за счет введения одиночных передач) такой разновидности сложенной структуры, когда каждая передача группы разбивается на две, но, естественно, с меньшим передаточным отношением. Именно такой вариант и показан на рисунке. Известные сложности возникают и при использовании в качестве элементов системы управления приводом электромагнитных и гидравлических многодисковых фрикционных муфт, габариты которых должны соотноситься с диаметрными размерами зубчатых колес. Вот это крайне важное обстоятельство необходимо обязательно учитывать при выборе соответствующих передаточных отношений передач.

После определения передаточных отношений находят *числа зубьев колес и шестерен*, а также *диаметральные размеры шкивов ременной передачи*. Первые параметры обычно подбирают по специальным таблицам (см. приложение 5) или рассчитывают аналитическим методом. При *неизменном модуле* всех передач любой группы процедура подбора осуществляется по критерию обеспечения *постоянства суммы зубьев*. Сумму зубьев рекомендуется принимать в пределах 72...108 с увеличением ее значения по мере приближения к шпинделю. Причем минимальное число зубьев отдельных шестерен желательно ограничить значением $z_{\min} \geq 20$.

По окончании данной операции производят *коррекцию передаточного отношения постоянной передачи*. С этой целью составляют *ряд уравнений кинематического баланса привода* для тех частот вращения шпинделя, которые обеспечиваются передачами с приближенными значениями передаточного отношения, например $30/42 \approx 1/1,41$. По ним и находят среднюю величину передаточного отношения постоянной передачи. Затем любым из приближенных методов (табличным, непрерывных дробей и другими) устанавливают числа зубьев или диаметры шкивов этой передачи. При выборе диаметров шкивов следует руководствоваться стандартами [2, 4]. При наличии двух и более постоянных передач полученное среднее значение передаточного отношения разбивают на части, используя метод разложения на простые сомножители.

В приводах с дискретным регулированием скорости после определения *фактических частот вращения шпинделя* $n_{\text{ДФ}}$ вычисляют их *относительные погрешности* δn_j , выраженные в процентах, которые затем сравнивают с допустимыми на основе зависимости

$$\delta n_j = \frac{(n_j - n_{\text{ДФ}})}{n_j} \leq \pm 10(\varphi - 1). \quad (7)$$

Данный вид расчета целесообразно выполнять в табличной форме. В случае нарушения ограничения (7) необходимо уточнить параметры передач. Как правило, это осуществляется путем изменения сумм зубьев в группах или за счет углового корригирования отдельных передач. Последний прием позволяет не выдерживать условие $\sum z_j = const$.

Завершается кинематический расчет построением окончательного варианта картины частот вращения и разработкой кинематической схемы привода, пример оформления, которых приведен на рис. 9.

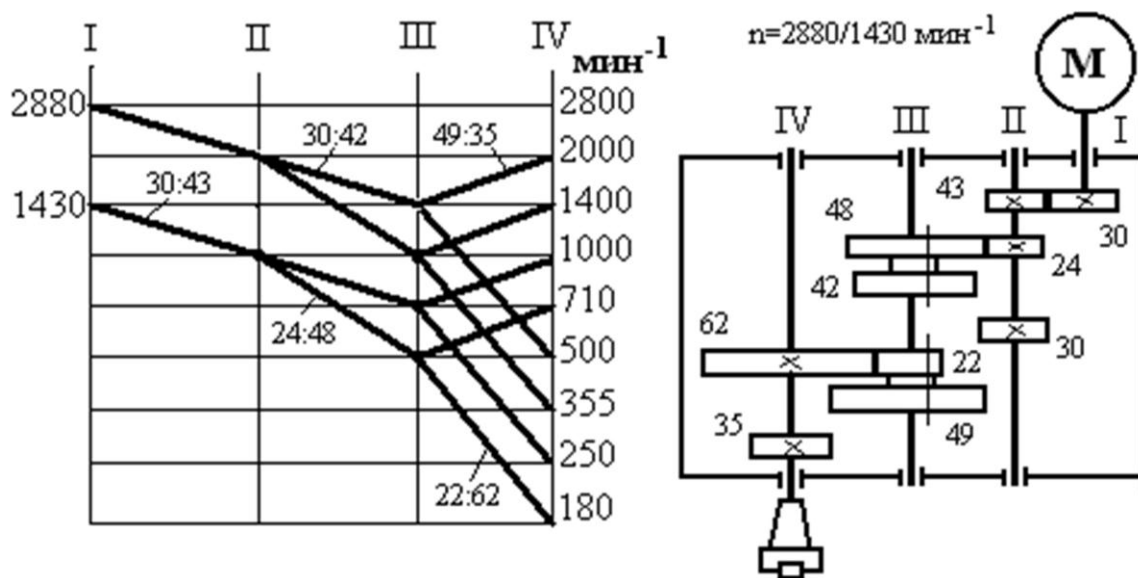


Рис. 9. Картина частот вращения и кинематическая схема привода

Расчетно-пояснительная записка

Оформление записки в целом должно соответствовать требованиям ЕСКД (ГОСТ 2.105), но с учетом специфики учебного проекта.

Текст излагается на одной стороне белой писчей бумаги формата А4 (210x297). Он может быть написан от руки четким и разборчивым почерком черными, синими или фиолетовыми чернилами (порядка 28...30 строк на странице) или выполняться печатным способом через полтора интервала шрифтом Times New Roman с высотой букв, цифр и других знаков не менее 1,8 мм (кегель не менее 12). От кромки листа до границ текста оставляют поля: слева - 30 мм, справа - 10 мм, сверху и снизу - 20 мм.

Страницы пояснительной записки нумеруют только после того, как работа полностью скомпонована и в нее внесены необходимые исправления. Применяют сквозная нумерация страниц, включая список использованных источников и приложения. Номер проставляют арабскими цифрами в центре нижней части листа без точки. Титульный лист и задание на проектирование являются соответственно первой и второй страницами. На них номера не проставляют. Если в записке содержатся рисунки и таблицы, вынесенные на отдельные страницы (даже когда они располагаются на листе формата А3 – 297x420 мм), то их включают в общую нумерацию как одну страницу.

На основе структуры основной части ее содержание разбивают на разделы, подразделы и пункты, которые должны иметь порядковые номера. Разделы нумеруются в пределах всей записки арабскими цифрами без точки. Введение, список использованных источников и приложения не нумеруются. Подразделы (а также их более мелкие части – пункты) нумеруются арабскими цифрами в пределах каждого раздела (или подраздела)

двумя (или тремя) цифрами, разделенными точкой. В конце номера подраздела (пункта) точка не ставится, например 1.1, 1.2 (соответственно 1.1.1, 1.1.2).

Наименования (заголовки) разделов, подразделов и пунктов рекомендуется формулировать как можно более краткими. Заголовок раздела печатают или пишут с абзацным отступом прописными буквами, а подразделов и пунктов - строчными (кроме заглавной) без точки в конце, не подчеркивая. Если заголовок состоит из двух предложений, то их разделяют точкой. Переносы слов не допускаются. Расстояние между заголовком и последующим текстом должно быть не менее 15 мм, а между заголовками раздела, подраздела и пункта – 10 мм. Не допускается помещать заголовки отдельно от текста: на странице, где он приводится, размещается не менее двух строк. Расстояние между заголовком и предыдущим текстом – 15...20 мм. При этом каждый раздел целесообразно начинать с новой страницы.

Все принципиальные решения обязательно подкрепляют иллюстрациями, которым относятся схемы, эскизы, диаграммы, графики, фотографии и прочее. Любой вид иллюстраций именуют рисунками, которые могут располагаться как по тексту работы, так и в конце ее, в приложении. Иллюстрации подлежат нумерации, а в случае необходимости им присваивают и наименование. Иногда их также снабжают поясняющей надписью (подрисуночным текстом). В этой надписи, в частности, производится расшифровка составных частей изделия, которые обозначены на схемах арабскими цифрами в виде позиций. Номер рисунка состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Пример обозначения: "Рисунок 2.1 – Расчетная схема шпинделя". Иллюстрациям каждого приложения записки присваивают отдельную нумерацию арабскими цифрами с добавлением перед ними обозначения приложения, например – "Рисунок А.3". Слово "рисунок" и его наименование располагают после подрисуночной надписи иллюстрации по середине строки. При малом количестве рисунков можно вводить их сквозную нумерацию. Иллюстрации изображают в записке непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, либо на следующей странице и размещают так, чтобы их было удобно рассматривать без поворота работы или с разворотом по часовой стрелке. Рисунки выполняют черной пастой или посредством компьютерной печати, в том числе цветной, в произвольном масштабе. Основные требования – наглядность, выразительность, ясность. При оформлении графических зависимостей надписи, обозначающие отложенные по осям координат параметры, располагают строкой параллельно оси. Масштабные цифры, нанесенные на оси, ставят вне контура. В надписи указывают название отложенной величины, а на уровне концов осей проставляют обозначение величины и ее размерность. Наименования, приводимые в тексте и на иллюстрациях, должны быть идентичны. При ссылках на иллюстрации следует писать так – "...в соответствии с рисунком 3.4". В том случае, когда описывается конструкция и принцип действия сложного механизма, в тексте записки допускается делать ссылку на графическую часть проекта с указанием номера листа и позиций деталей.

Цифровой материал в тексте записки представляют в виде таблиц. Нумерация таблиц – арабскими цифрами в пределах раздела. Номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой, например "Таблица 1.2". Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения, например "Таблица В.1". Слово "Таблица" пишут с прописной буквы без сокращений в левом верхнем углу над таблицей без знака "№" и без абзацного отступа. Ее название следует помещать в одной строке со словом "Таблица" через тире. Заголовок таблицы пишут с прописной буквы в единственном числе, не подчеркивая. Заголовки строк и граф пишут с прописной буквы, а подзаголовки – со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком. Подзаголовки, имеющие самостоятельное значение, пишут с прописной буквы. В конце заголовков и подзаголовков знаки препинания не ставят. Если строки или графы выходят

за формат листа, таблицы делят на части, которые обычно переносят на другие страницы или помещают на одном листе рядом, или одну над другой. При переносе таблицы с большим количеством строк и граф над ней помещают слова "Продолжение таблицы" с указанием ее номера. Таблицы, как и иллюстрации, располагают так, чтобы их можно было читать без поворота или с поворотом по часовой стрелке. Графу "№" не включают. Таблицу размещают после первого упоминания о ней в тексте или на следующей странице. В ней должны быть указаны единицы измерения всех параметров. Если в таблице повторяющийся текст состоит из одного слова, его допускается заменять кавычками, если из двух и более слов, то при первом повторении его заменяют словами "То же", а далее кавычками. При ссылке в тексте следует писать слово "таблица" с указанием ее номера. Размер шрифта допускается применять меньший, чем в тексте.

Формулы нумеруют аналогично иллюстрациям. Номер помещают на правой стороне листа в круглых скобках, например: (5.7). Выше и ниже каждой формулы оставляют не менее одной свободной строки. После формулы записывают перечень всех символов и числовых коэффициентов с расшифровкой их значения и указанием размерности. Начинают расшифровку с запятой после формулы и слова "где" с новой строки. Затем записывают символ, ставят знак "тире", приводят текст расшифровки символа и его размерность с запятой между ними. Значение каждого символа дают с новой строки в той последовательности, в которой они приведены в формуле. При малом количестве уравнений можно вводить их сквозную нумерацию. Ссылки на формулу делают по типу: "В уравнении (3. 5)..."

При выполнении расчетов на ЭВМ в записку после необходимых схем в обязательном порядке помещают распечатку с исходными данными и результатами вычислений.

В тексте записки не допускается сокращать слова, кроме общепринятых, и обозначений единиц измерения, когда их употребляют без цифр; использовать математические знаки "больше", "меньше" и т.п., а также знаки номера и процента.

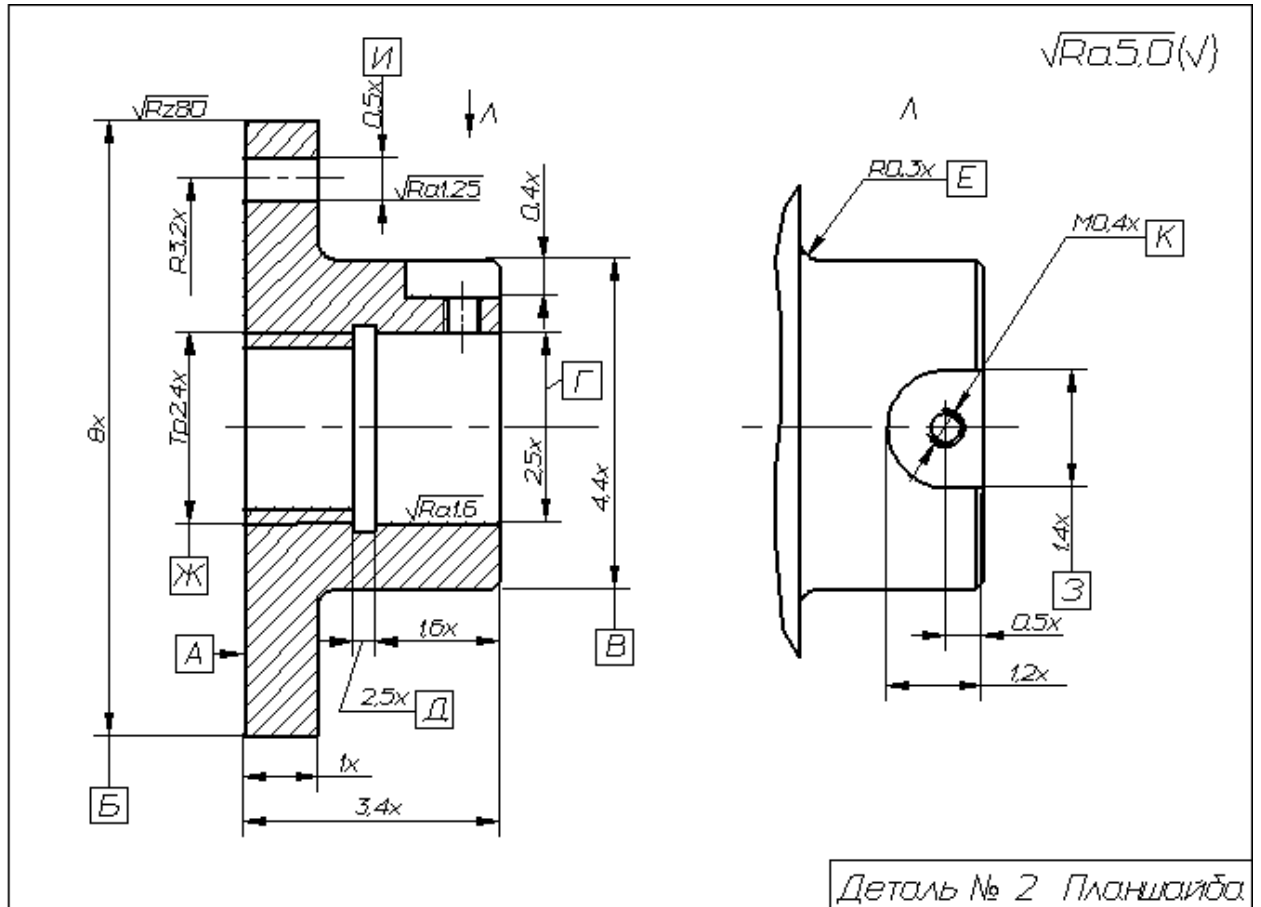
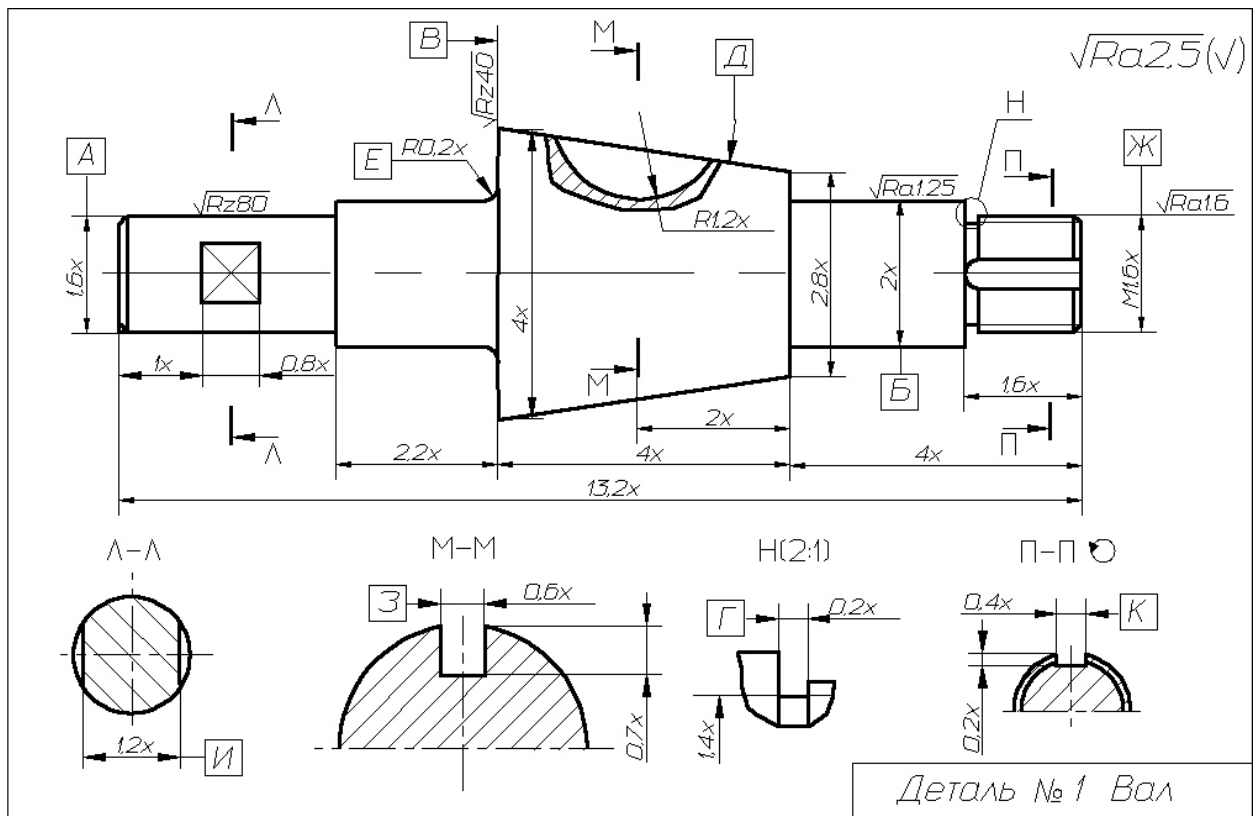
Список использованных источников приводится автором в конце пояснительной записки перед приложением. Заголовок списка размещают симметрично тексту прописными буквами. Сведения об источниках оформляют в соответствии с правилами библиографического описания на основе требований ГОСТ 7.1. Их нумеруют арабскими цифрами без точки, пишут (печатают) с абзацного отступа и располагают в списке в следующей последовательности: сначала нормативно-техническая документация, а далее все остальные источники в порядке появления ссылок в тексте записки. Последние следует приводить в квадратных скобках.

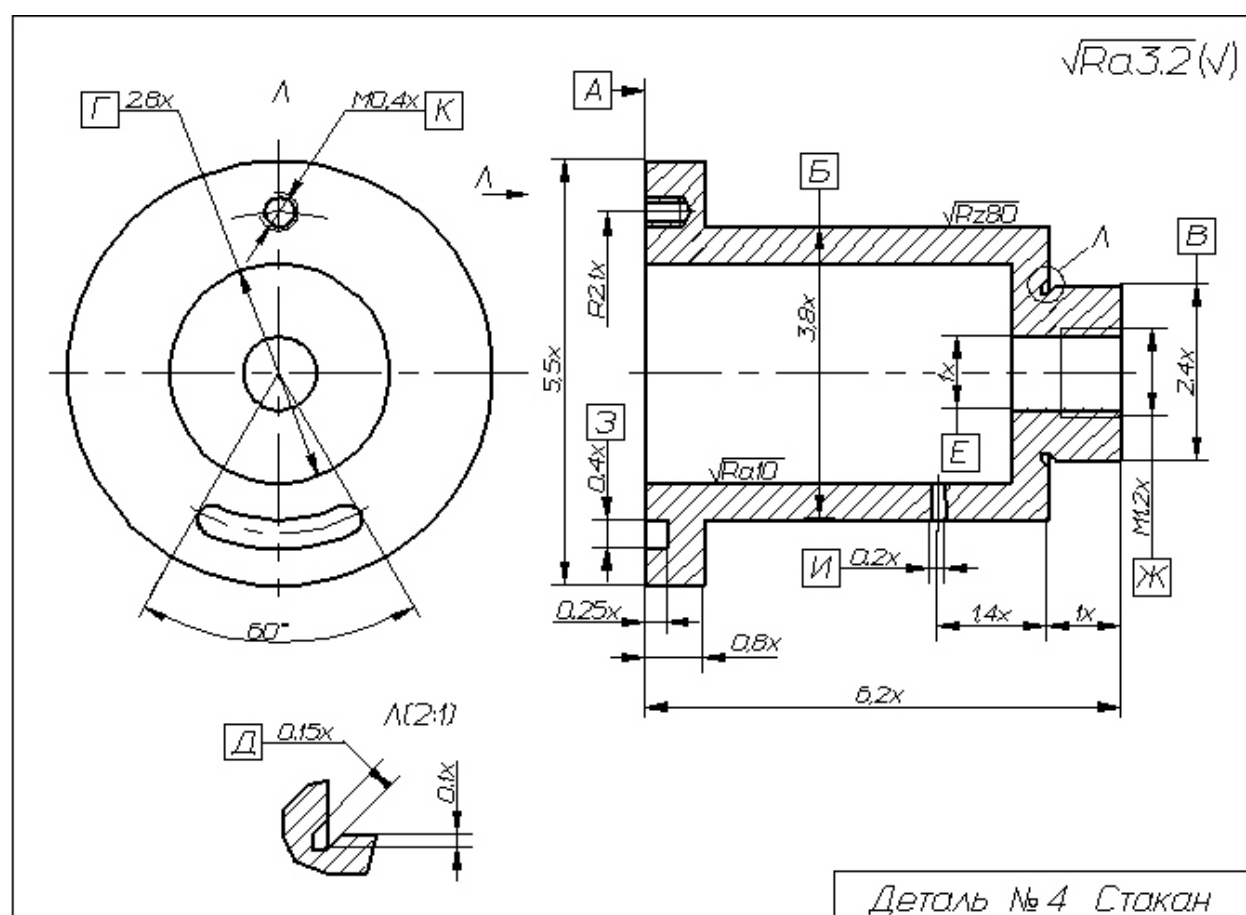
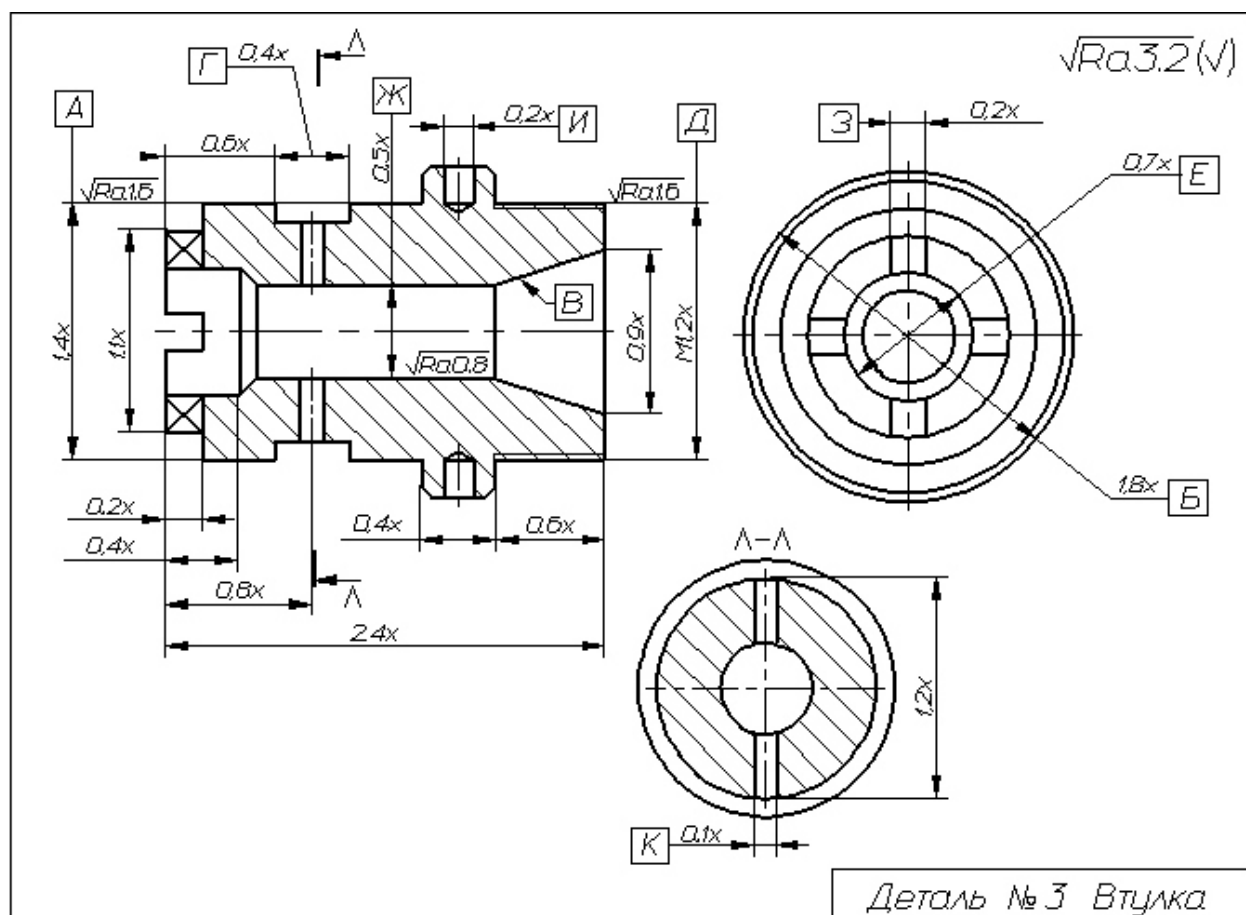
Приложения служат для выделения вспомогательного материала, который загромождает основной текст. Их располагают в порядке появления ссылок в тексте основных разделов. Каждое приложение начинают с новой страницы с записью посередине страницы сверху слова "Приложение" и его обозначения. Для обозначения используют заглавные буквы русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Е, З, И, О, Ч, Ь, Ы и Ъ. Если в работе только одно приложение, оно записывается так – "Приложение А". Каждое приложение должно иметь тематический заголовок, располагаемый симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

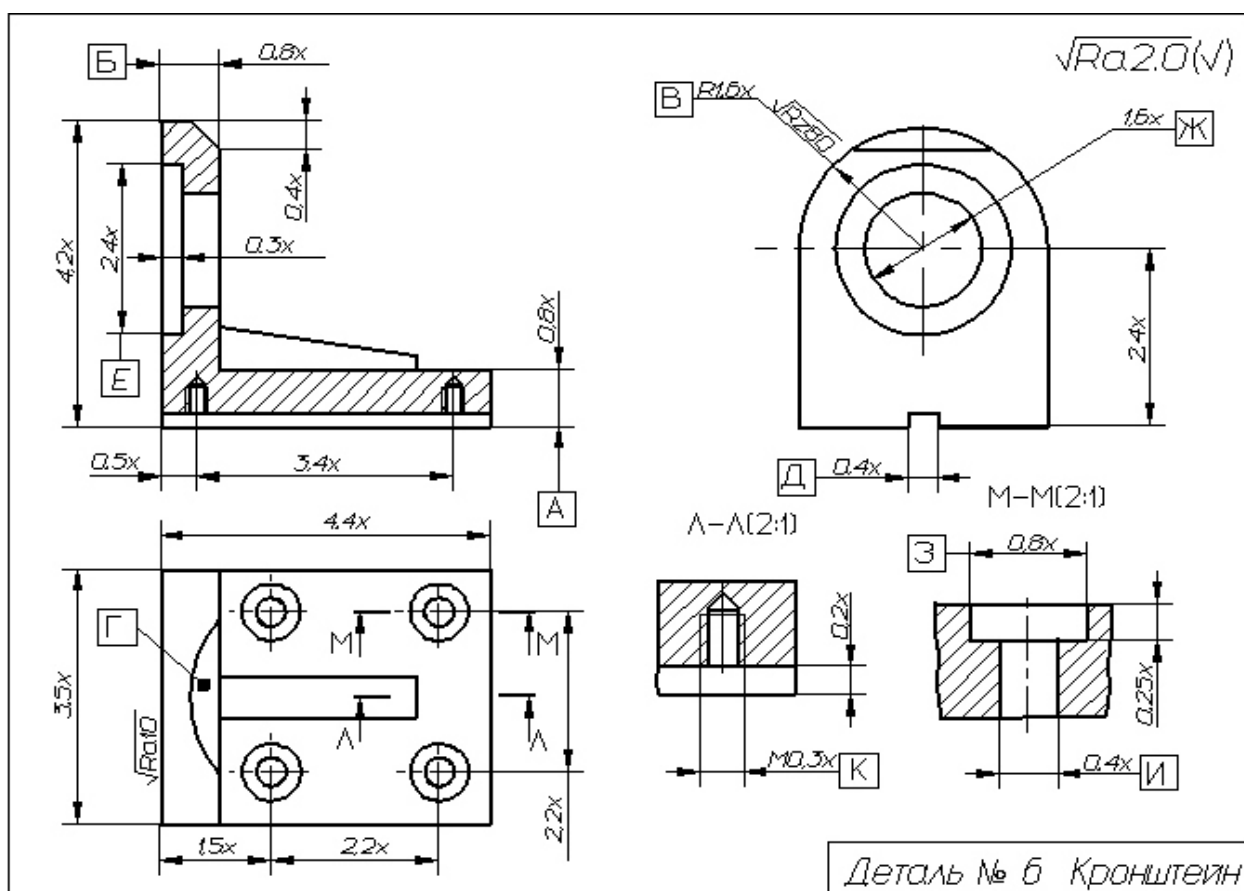
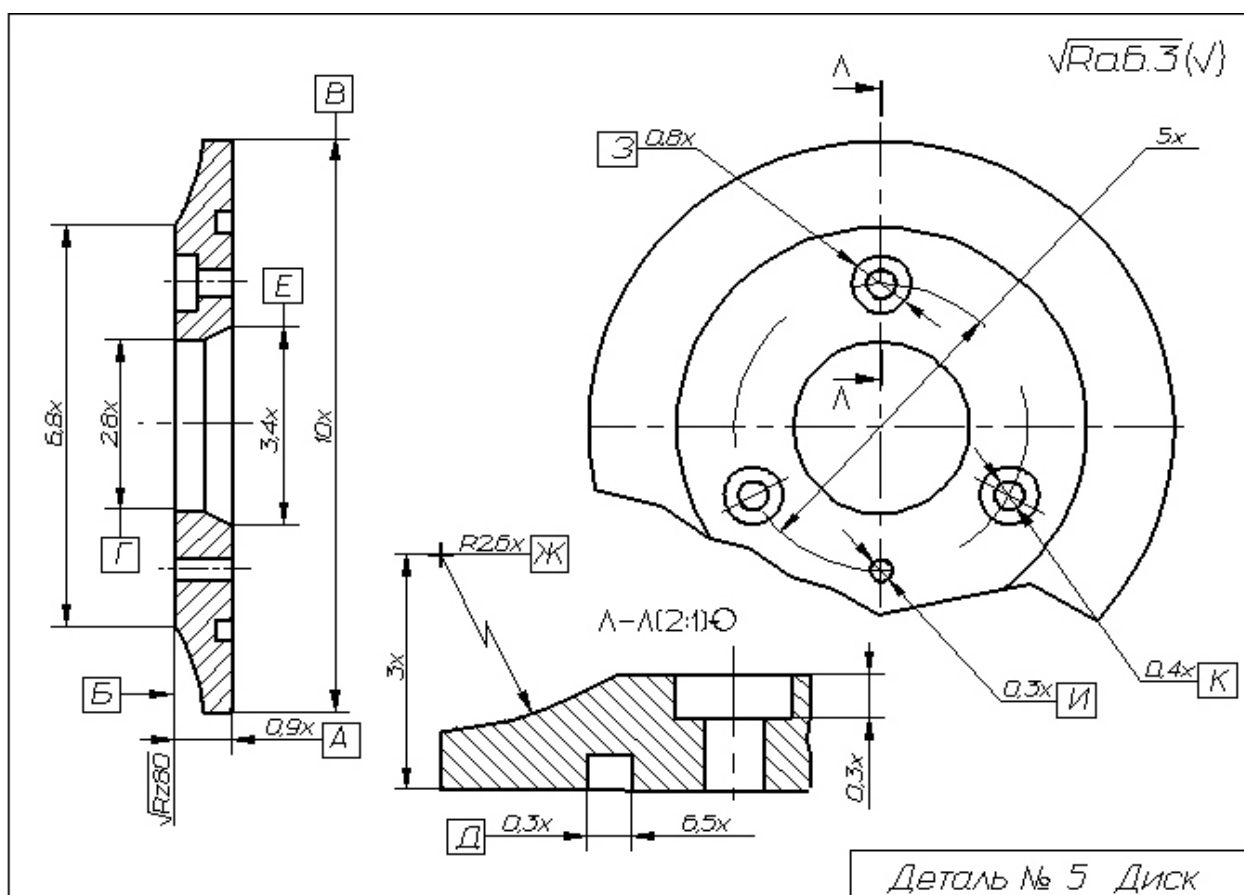
Графическая часть

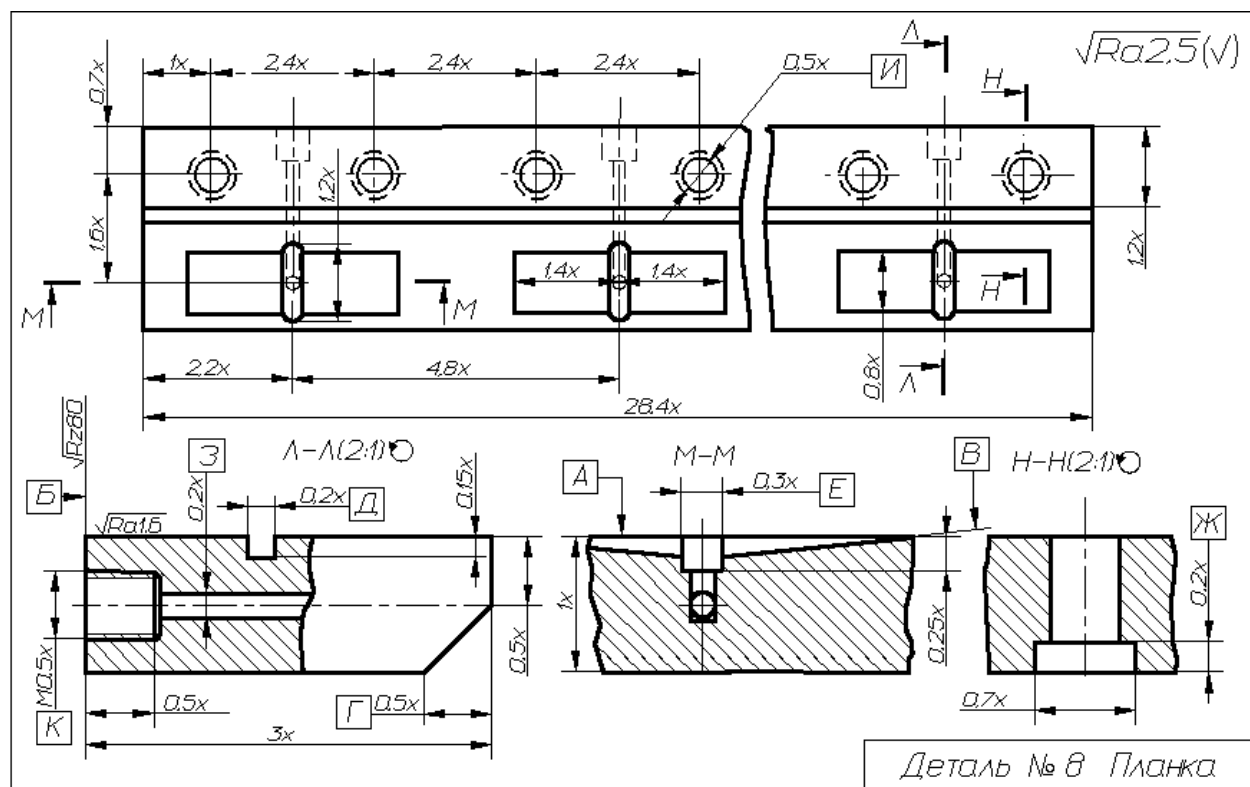
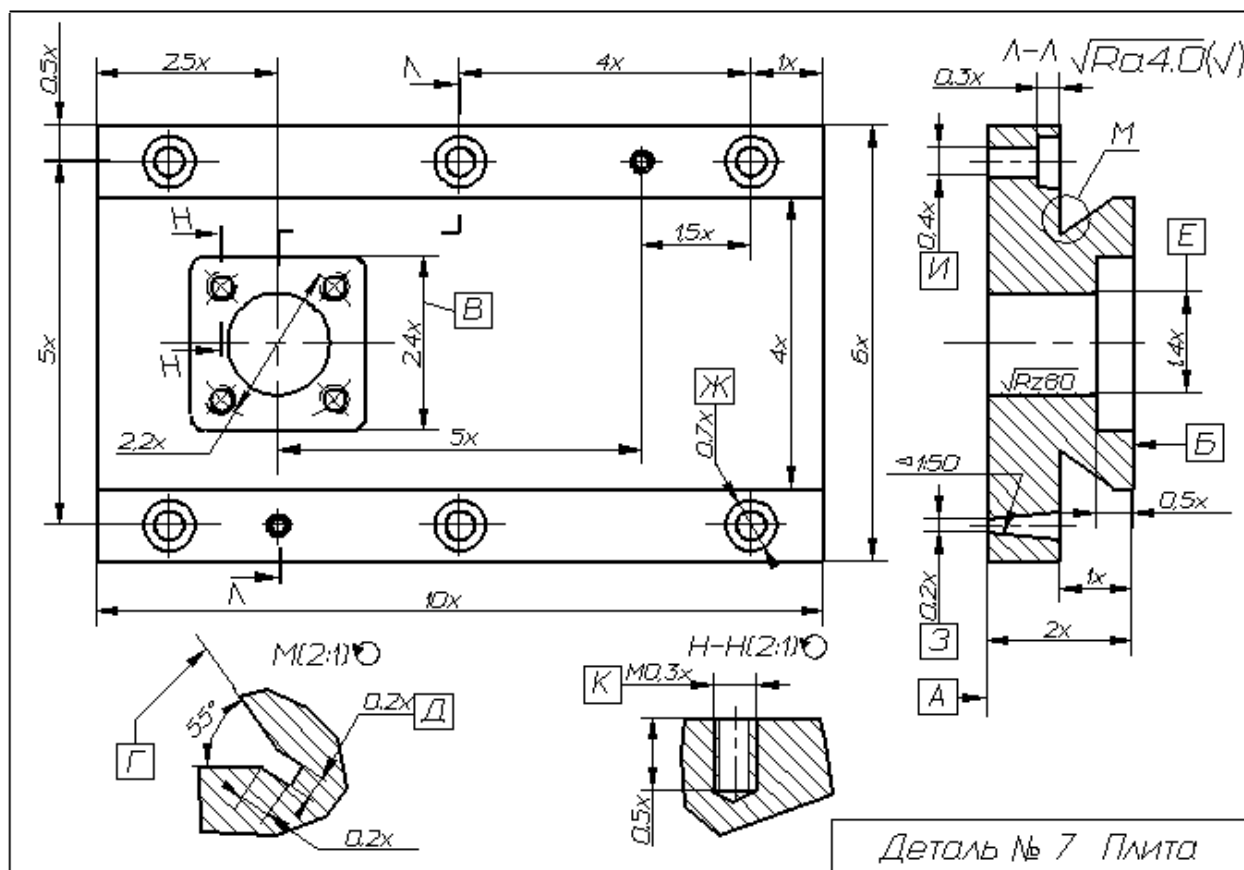
Разработку общей концепции оборудования осуществляют в виде технического предложения. Графическая часть здесь представляется на уровне схемных решений и другого иллюстративного материала, оформленных в соответствии с правилами ГОСТ 2.118.

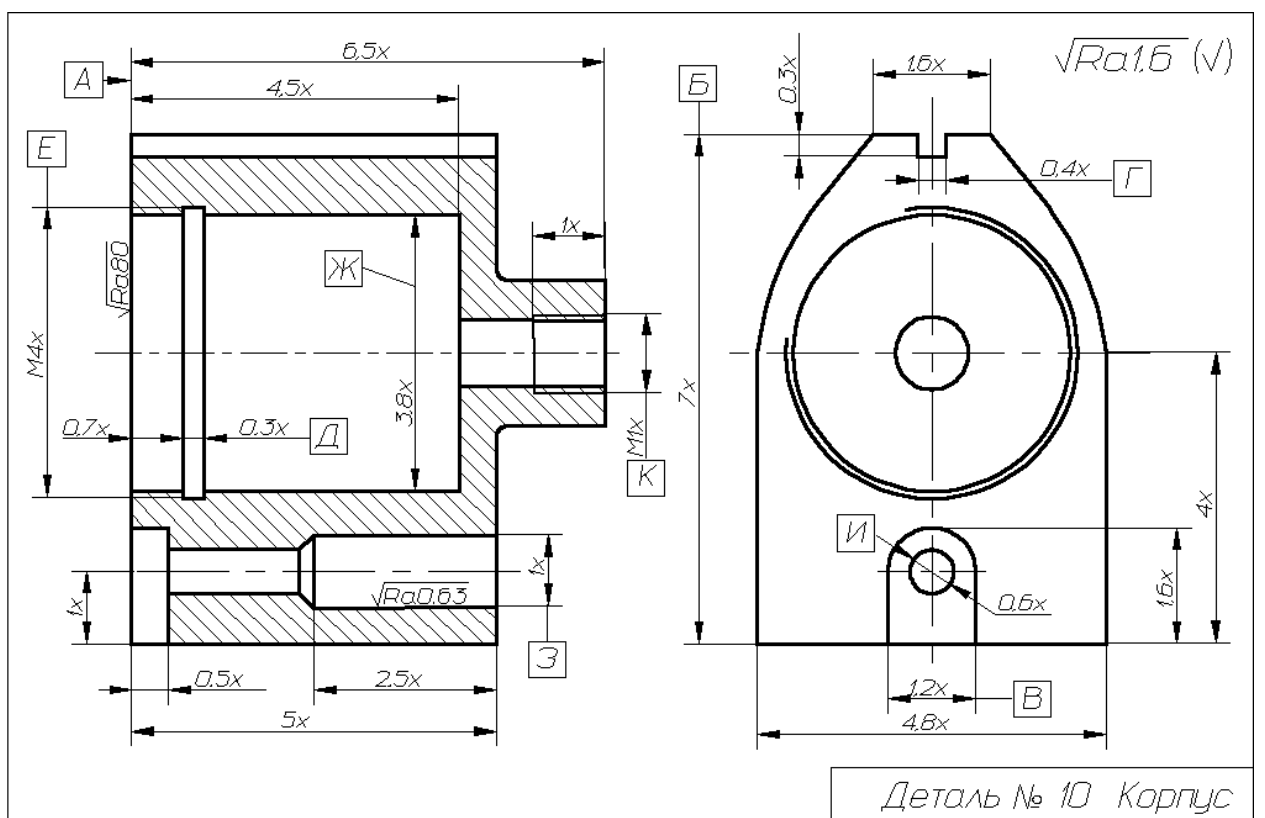
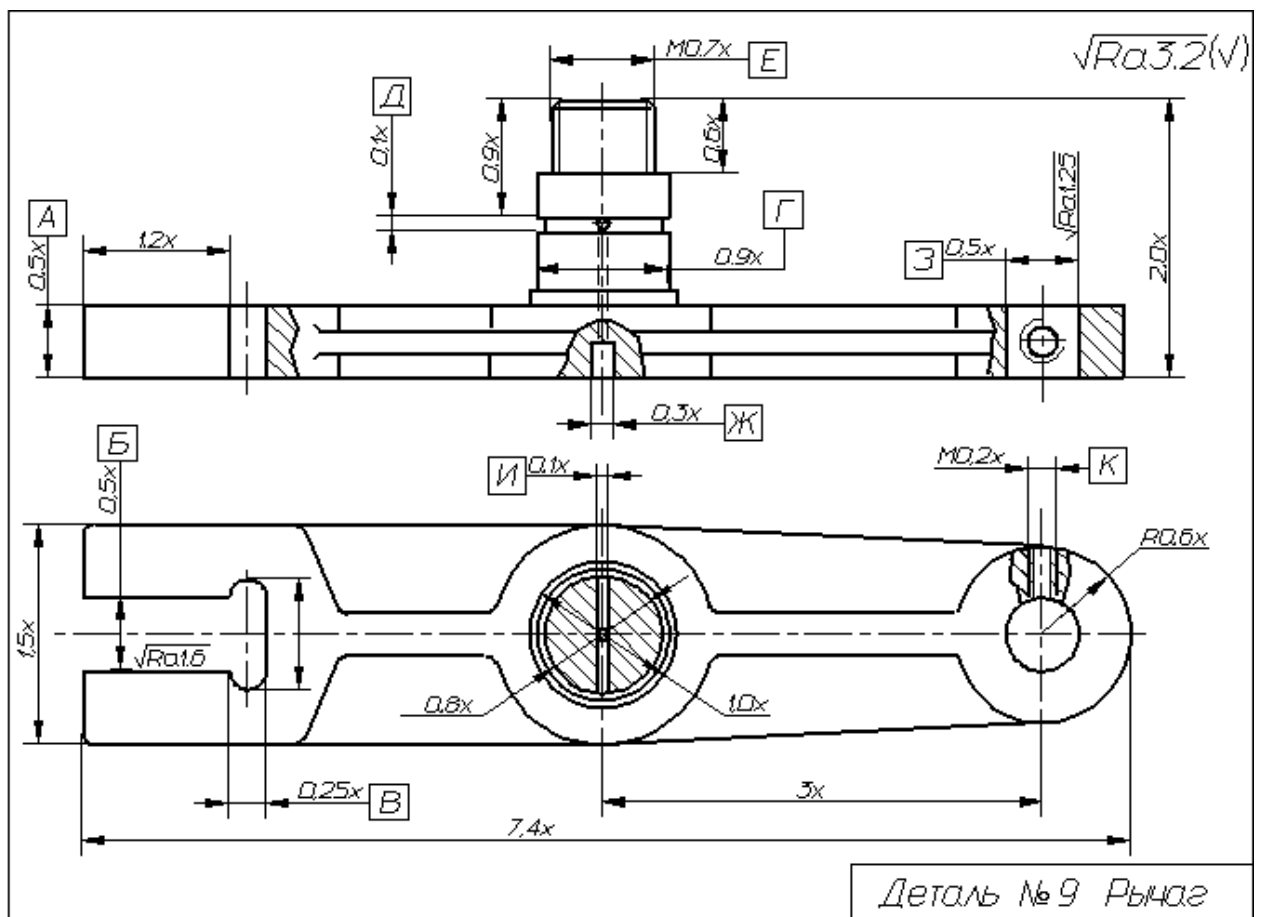
Детали-представители











5. Перечень вопросов к защите курсового проекта (работы).

1. Основные показатели качества металлообрабатывающего оборудования.
2. Показатели качества, характеризующие производительность станков. Факторы, влияющие на производительность.
3. Показатели качества, характеризующие надежность станков.
4. Показатели качества, характеризующие безотказность и долговечность станков. Основные пути повышения надежности.
5. Факторы, влияющие на температурные деформации шпиндельных узлов (ШУ). Основные пути повышения теплостойкости ШУ.
6. Энергетический баланс привода главного движения (ПГД) станков.
7. Причины возникновения геометрических погрешностей станков и пути их уменьшения.
8. Причины возникновения кинематических погрешностей и пути их снижения.
9. Жесткость станочных систем и пути ее повышения.
10. Структура КПД привода главного движения станков и пути его повышения.
11. Показатели качества, характеризующие гибкость станочных систем.
12. Факторы, определяющие виброустойчивость ШУ, и пути повышения устойчивости ШУ к внешним воздействиям.
13. Пути повышения технологичности конструкций.
14. Структура погрешностей (ошибок) станочного оборудования и причины их появления.
15. Суть графоаналитического метода расчета передаточных отношений передач привода на примере нормальной множительной структуры.
16. Требования, предъявляемые к шпиндельным узлам (ШУ).
17. Материалы, методы и способы упрочнения ШУ.
18. Способы смазывания опор ШУ и валов. Критерии применения.
19. Выборка зазоров и создание натяга в опорах ШУ. Общие положения.
20. Конструктивные варианты выборки зазоров и создания натяга в опорах ШУ.
21. Область применения и принцип работы гидростатических опор (на примере радиальных опор), достоинства и недостатки.
22. Область применения и принцип работы упорных гидростатических подшипников, достоинства и недостатки.
23. Факторы, определяющие несущую способность и жесткость гидростатических опор.
24. Область применения и принцип работы гидродинамических подшипников, достоинства и недостатки.
25. Факторы, определяющие несущую способность и жесткость гидродинамических опор.
26. Область применения и принцип работы аэростатических опор. Факторы, определяющие несущую способность и жесткость опор.
27. Достоинства и недостатки активных магнитных опор, область применения.
28. Методики расчёта радиальной и осевой точности вращения ШУ.
29. Методики расчёта радиальной и осевой жесткости ШУ.
30. Специфика расчёта и конструирования зубчатых колес, валов и опор в станкостроении.
31. Структуры привода подач.
32. Геометрическая форма направляющих скольжения, достоинства и недостатки.
33. Материал направляющих смешанного трения.
34. Защитные устройства направляющих смешанного трения.
35. Сущность методики расчёта направляющих смешанного трения на износостойкость.

36. Сущность методики расчёта направляющих смешанного трения на жесткость.
37. Дать сравнительную оценку направляющим скольжения и качения.
38. Классификация направляющих качения по характеру движения тел качения, достоинства и недостатки.
39. Способы создания натяга в направляющих качения.
40. Материал направляющих качения. Устройства защиты и смазывания.
41. Методика расчёта направляющих качения на контактную прочность.
42. Методика расчёта направляющих качения на жесткость.
43. Конструктивные особенности комбинированных направляющих. Область применения.
44. Область применения и принцип действия гидродинамических направляющих. Факторы, определяющие несущую способность направляющих.
45. Область применения и принцип действия гидростатических направляющих. Факторы, определяющие жесткость направляющих.
46. Геометрическая форма направляющих кругового движения. Достоинства и недостатки.
47. Требования, предъявляемые к тяговым устройствам привода подач.
48. Достоинства и недостатки передачи винт-гайка скольжения.
49. Способы регулировки передачи винт-гайка скольжения.
50. Характерные особенности передачи винт-гайка качения.
51. Способы решения проблемы фрикционных автоколебаний в приводе подач.
52. Термодинамический привод.
53. Магнитострикционный привод.
54. Упруго-силовой привод.
55. Способы смазывания зубчатых передач и муфт. Достоинства и недостатки.
56. Методика расчета и подбор аппаратуры системы смазывания привода главного движения.
57. Конструктивные особенности систем с ручным управлением. Достоинства и недостатки.
58. Конструктивные особенности систем управления на базе электромагнитных и гидравлических фрикционных муфт. Достоинства и недостатки.
59. Специфика проектирования корпусов коробок скоростей и подач.
60. Требования, предъявляемые к элементам несущей системы станка, их конструктивные формы и материалы.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра проектирования технологических машин

Паспорт экзамена

по дисциплине «Расчет и конструирование станочного оборудования», 1 семестр

1. Методика оценки

Студент допускается к сдаче экзамена при условии, что он выполнил и защитил все практические работы и набрал не менее 24 баллов.

На экзамене студенту выдается билет, включающий 2 вопроса (рис. 1), включающий 2 теоретических вопроса и 2 практических задания. Распределение дидактических единиц по проверяемым компетенциям указано в таблице «Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины».

Выставление оценок на экзамене осуществляется на основе выполнения и защиты двух теоретических вопросов и двух практических заданий. Экзамен считается сданным, если ответы даны на все 4 вопроса при этом рейтинг студента по итоговой аттестации составляет не менее 26 баллов.

Оценивание ответов на вопросы осуществляется в соответствии с уровнем знаний: "удовлетворительно" – 6,5-7,5 баллов; "хорошо" – 8-9 баллов; "отлично" – 9,5-10 баллов. Всего за четыре вопроса студент может получить максимум 40 баллов.

Форма билета для экзамена

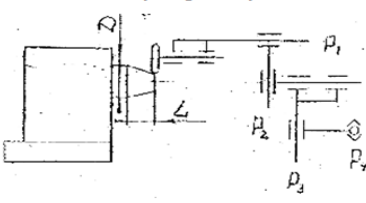
Министерство образования и науки Российской Федерации	Экзаменационный билет № 1 экзамен «РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ» <i>МТФ магистратура 1 семестр</i>
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ	

Теория

1. Основные показатели качества металлообрабатывающего оборудования.
2. Пути повышения технологичности конструкций.

Практика

1. Построить структурную схему по выданному варианту компоновочной схемы станка



2. Построить Типовой вариант картины частот вращения привода с $\varphi_1 = 1,26$ и $\varphi_2 = 1,58$ на базе структурной формулы $Z = 1 * 2_1 2_2 2_3$ при условии, что $Z_2 = 4$.

Составил: доц. Скиба В.Ю.
Утверждаю: Зав. кафедрой ПТМ

Дата: _____. 2015 г.

Рисунок 1. Экзаменационный билет

2. Критерии оценки

Защита считается неудовлетворительной, если студент не освоил теоретический материал и не смог обобщить теоретический и практический материал; оценка составляет менее 26 баллов.

*Защита считается состоявшейся на **пороговом уровне***, если студент освоил теоретический материал, но не смог обобщить теоретический и практический материал; оценка составляет 26-30 баллов.

*Защита считается состоявшейся на **базовом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, допустил несколько ошибок при защите, привёл не достаточно чёткую аргументацию своей точки зрения при ответе на вопросы, оценка составляет 31-36 баллов.

*Защита считается состоявшейся на **продвинутом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, привёл достаточно чёткую аргументацию своей точки зрения по всем вопросам, оценка составляет 37-40 баллов.

3. Шкала оценки

Если студент в семестре работал не систематически, в результате чего не набрал требуемое количество баллов, то ему выдается дополнительное задание, тематика и объем которого определяются преподавателем.

Если в результате сдачи экзамена студент не набирает 26 баллов или с учетом сдачи экзамена его суммарный рейтинг (**ОЦЕНКА НА ЭКЗАМЕНЕ** + оценка за выполнение практических работ) не превышает 49 баллов, ему выставляется оценка "неудовлетворительно" (FX) с возможностью пересдачи.

При пересдаче экзамена студент имеет возможность получить оценку не выше E ("удовлетворительно").

Студент имеет возможность получить дополнительно до 20 баллов при выполнении работ, не предусмотренных основной программой освоения курса. Данные виды работ согласуются с преподавателем. Одним из вариантов дополнительной работы может быть выполнение расчётно-графической работы по заданной преподавателем тематике.

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Итоговая оценка по дисциплине выставляется согласно таблице.

Таблица

98–100	93-97	90-92	87-89	83-86	80-82	77-79	73-76	70-72	67-69	63-66	60-62	50-59	25-49	0-24
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	D-	E	FX	F
отлично				хорошо				удовлетворительно				неудовлетворительно		
зачтено													не зачтено	

4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Расчет и конструирование станочного оборудования»

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

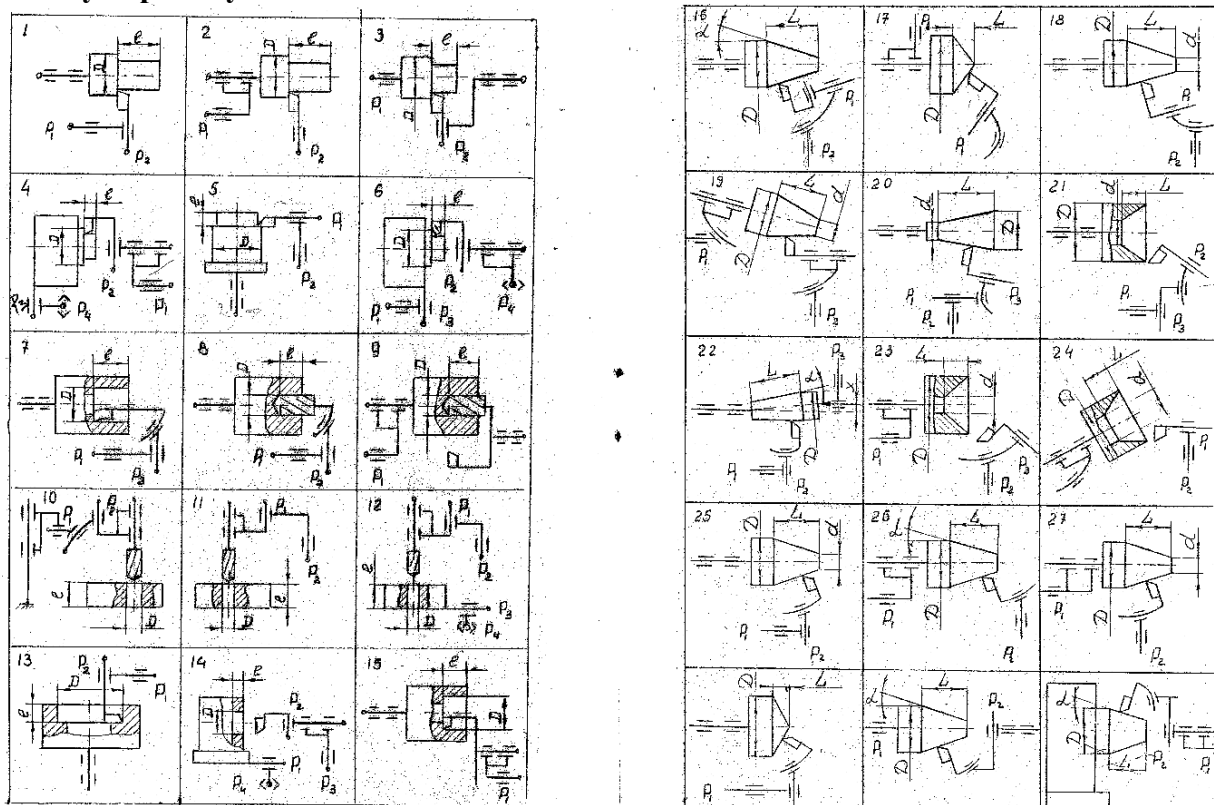
1. Основные показатели качества металлообрабатывающего оборудования.
2. Показатели качества, характеризующие производительность станков. Факторы, влияющие на производительность.
3. Показатели качества, характеризующие надежность станков.
4. Показатели качества, характеризующие безотказность и долговечность станков. Основные пути повышения надежности.

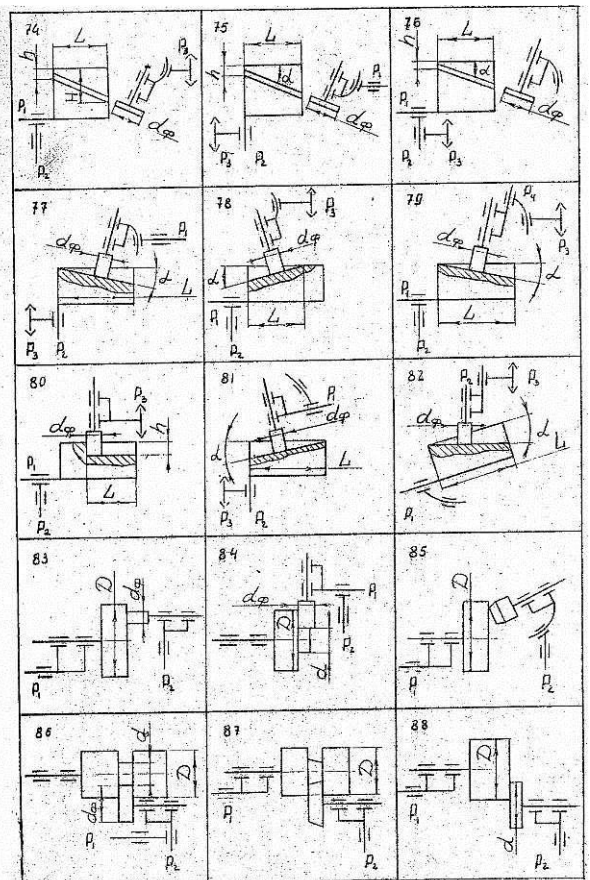
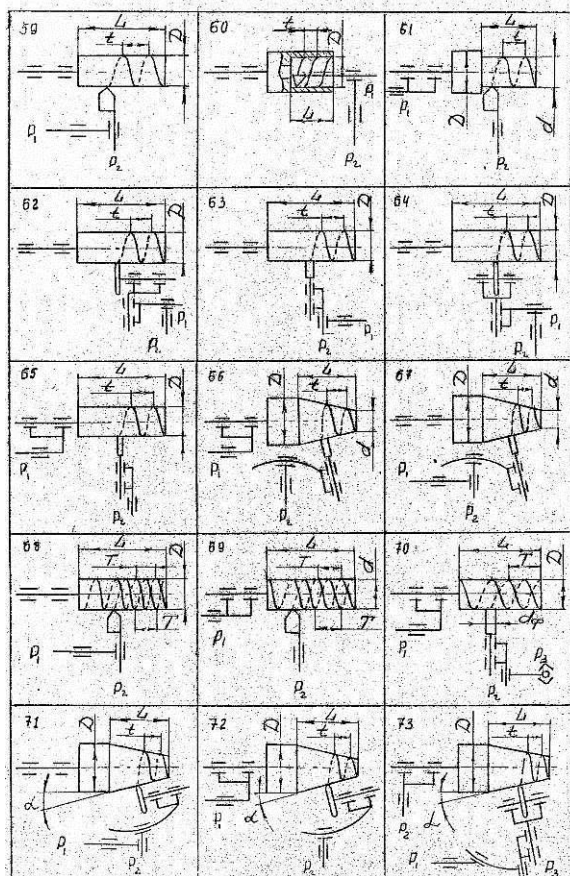
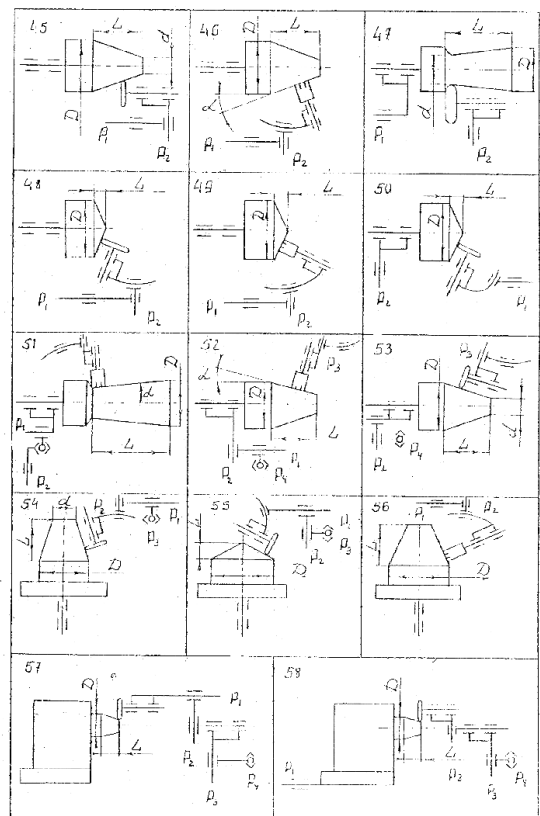
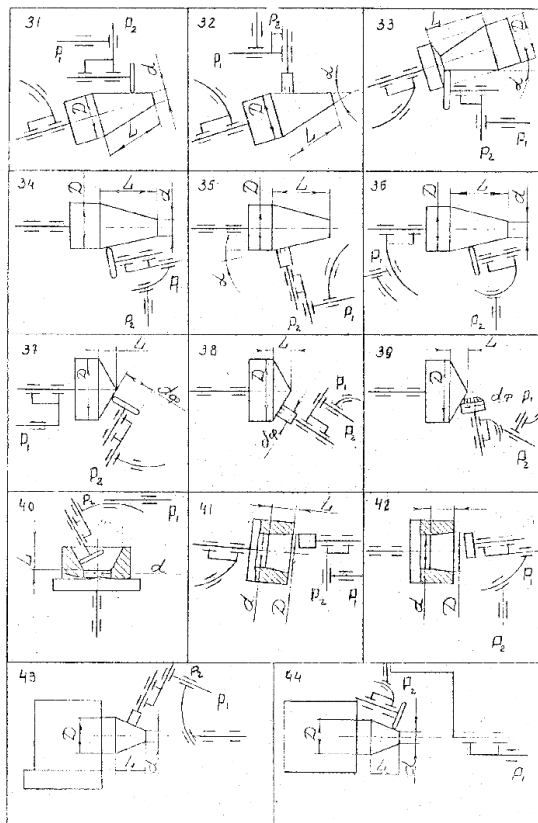
5. Факторы, влияющие на температурные деформации шпиндельных узлов (ШУ). Основные пути повышения теплостойкости ШУ.
6. Энергетический баланс привода главного движения (ПГД) станков.
7. Причины возникновения геометрических погрешностей станков и пути их уменьшения.
8. Причины возникновения кинематических погрешностей и пути их снижения.
9. Жесткость станочных систем и пути ее повышения.
10. Структура КПД привода главного движения станков и пути его повышения.
11. Показатели качества, характеризующие гибкость станочных систем.
12. Факторы, определяющие виброустойчивость ШУ, и пути повышения устойчивости ШУ к внешним воздействиям.
13. Пути повышения технологичности конструкций.
14. Структура погрешностей (ошибок) станочного оборудования и причины их появления.
15. Суть графоаналитического метода расчета передаточных отношений передач привода на примере нормальной множительной структуры.
16. Требования, предъявляемые к шпиндельным узлам (ШУ).
17. Материалы, методы и способы упрочнения ШУ.
18. Способы смазывания опор ШУ и валов. Критерии применения.
19. Выборка зазоров и создание натяга в опорах ШУ. Общие положения.
20. Конструктивные варианты выборки зазоров и создания натяга в опорах ШУ.
21. Область применения и принцип работы гидростатических опор (на примере радиальных опор), достоинства и недостатки.
22. Область применения и принцип работы упорных гидростатических подшипников, достоинства и недостатки.
23. Факторы, определяющие несущую способность и жесткость гидростатических опор.
24. Область применения и принцип работы гидродинамических подшипников, достоинства и недостатки.
25. Факторы, определяющие несущую способность и жесткость гидродинамических опор.
26. Область применения и принцип работы аэростатических опор. Факторы, определяющие несущую способность и жесткость опор.
27. Достоинства и недостатки активных магнитных опор, область применения.
28. Методики расчёта радиальной и осевой точности вращения ШУ.
29. Методики расчёта радиальной и осевой жесткости ШУ.
30. Специфика расчёта и конструирования зубчатых колес, валов и опор в станкостроении.
31. Структуры привода подач.
32. Геометрическая форма направляющих скольжения, достоинства и недостатки.
33. Материал направляющих смешанного трения.
34. Защитные устройства направляющих смешанного трения.
35. Сущность методики расчёта направляющих смешанного трения на износостойкость.
36. Сущность методики расчёта направляющих смешанного трения на жесткость.
37. Дать сравнительную оценку направляющим скольжения и качения.
38. Классификация направляющих качения по характеру движения тел качения, достоинства и недостатки.
39. Способы создания натяга в направляющих качения.
40. Материал направляющих качения. Устройства защиты и смазывания.
41. Методика расчёта направляющих качения на контактную прочность.
42. Методика расчёта направляющих качения на жесткость.
43. Конструктивные особенности комбинированных направляющих. Область применения.
44. Область применения и принцип действия гидродинамических направляющих. Факторы, определяющие несущую способность направляющих.
45. Область применения и принцип действия гидростатических направляющих. Факторы, определяющие жесткость направляющих.
46. Геометрическая форма направляющих кругового движения. Достоинства и недостатки.

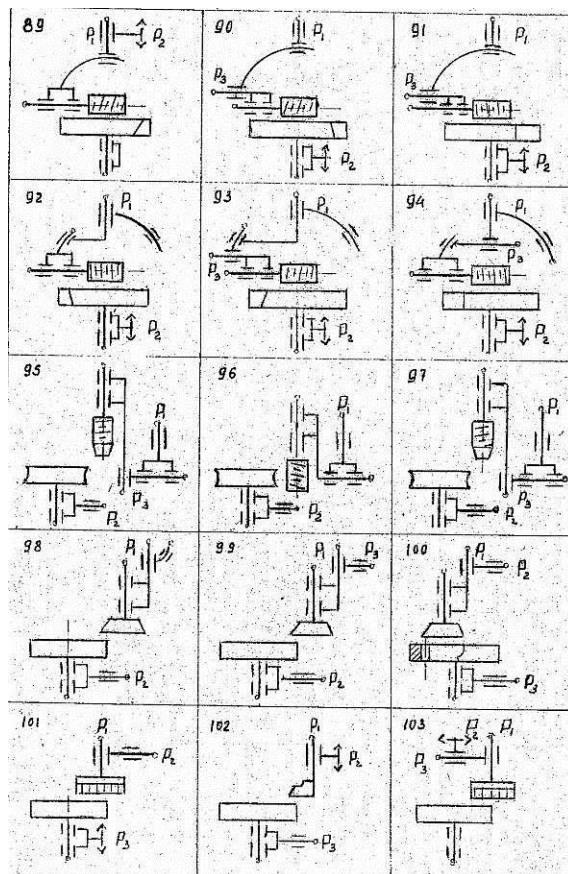
47. Требования, предъявляемые к тяговым устройствам привода подач.
48. Достоинства и недостатки передачи винт-гайка скольжения.
49. Способы регулировки передачи винт-гайка скольжения.
50. Характерные особенности передачи винт-гайка качения.
51. Способы решения проблемы фрикционных автоколебаний в приводе подач.
52. Термодинамический привод.
53. Магнитострикционный привод.
54. Упруго-силовой привод.
55. Способы смазывания зубчатых передач и муфт. Достоинства и недостатки.
56. Методика расчета и подбор аппаратуры системы смазывания привода главного движения.
57. Конструктивные особенности систем с ручным управлением. Достоинства и недостатки.
58. Конструктивные особенности систем управления на базе электромагнитных и гидравлических фрикционных муфт. Достоинства и недостатки.
59. Специфика проектирования корпусов коробок скоростей и подач.
60. Требования, предъявляемые к элементам несущей системы станка, их конструктивные формы и материалы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Вопросы первого практического задания заключается в построении структурной схемы по выданному варианту компоновочной схемы станка:







2. Вопросы второго практического задания:

2.1 Типовой вариант картины частот вращения привода с $\varphi_1 = 1,26$ и $\varphi_2 = 1,58$ на базе структурной формулы $Z = 1 \cdot 2_1 2_2 2_3$ при условии, что $Z_2 = 4$.

2.2 Построить картину частот вращения привода с $Z = 3_3 2_1 2_2$ и $\varphi = 1,26$, полагая, что максимальная частота вращения привода сопоставима с частотой вращения электродвигателя.

2.3 Построить картину частот вращения привода со структурной формулой $Z = 1 \cdot 4_2 2_1$ и $\varphi = 1,41$ при условии, что максимальная частота вращения привода равна частоте вращения электродвигателя.

2.4 Построить картину частот вращения привода с $Z = 2_2 2_1 2_3$ и $\varphi = 1,41$, полагая, что максимальная частота вращения привода сопоставима с частотой вращения электродвигателя.

2.5 Построить картину частот вращения привода с числом ступеней скорости $Z = 11$ и $\varphi = 1,41$ при условии, что максимальная частота вращения привода равна частоте вращения электродвигателя.

2.6 Построить картину частот вращения привода с числом ступеней скорости $Z = 12$ и $\varphi = 1,26$ при условии, что максимальная частота вращения привода равна частоте вращения электродвигателя.

2.7 Построить картину частот вращения привода с числом ступеней скорости $Z = 7$ и $\varphi = 1,41$ при условии, что максимальная частота вращения привода равна частоте вращения электродвигателя.

2.8 Построить вариант картины частот вращения привода для структурной формулы $Z = 2_1 \cdot 2_2 (1 + 1 \cdot 1)$, считая, что частота вращения двигателя несколько выше максимальной частоте вращения привода.

2.9 Построить вариант картины частот вращения привода для структурной формулы $Z = 2_1 (1 + 2_2 \cdot 1 \cdot 1)$, считая, что частота вращения двигателя несколько выше максимальной частоте вращения привода.

2.10 Построить картину частот вращения привода с числом ступеней скорости $Z = 10$ и $\varphi = 1,41$ при условии, что максимальная частота вращения привода равна частоте вращения электродвигателя.

2.11 Построить вариант картины частот вращения привода с двухскоростным электродвигателем на базе структурной формулы, обеспечивающей $Z = 8$ при $\varphi = 1,41$, считая, что максимальная частота вращения привода сопоставима с частотой вращения электродвигателя.

2.12 Построить вариант картины частот вращения привода для структурной формулы $Z = 2_1 (1 + 1 \cdot 1 \cdot 2_2)$, считая, что частота вращения двигателя несколько выше максимальной частоте вращения привода.

2.13 Построить картину частот вращения привода с $Z = 2_3 2_1 2_2$ и $\varphi = 1,26$, полагая, что максимальная частота вращения привода сопоставима с частотой вращения электродвигателя.

2.14 Построить вариант картины частот вращения привода с плавным регулированием скорости на базе электродвигателя для структурной формулы $Z = 2(1 \cdot 1 + 1 \cdot 1)$ и $n_{\text{дmax}} = n_{\text{max}}$.

2.15 Построить вариант картины частот вращения привода с плавным регулированием скорости на базе вариатора при $Z = 4$ и $n_{\text{д}} < n_{\text{max}}$.

2.16 Построить вариант картины частот вращения привода с плавным регулированием скорости на базе электродвигателя для структурной формулы $Z = (1 + 1 \cdot 1)$, считая, что частота вращения двигателя несколько выше максимальной частоте вращения привода.

2.17 Построить вариант картины частот вращения привода с плавным регулированием скорости на базе электродвигателя для структурной формулы $Z = (1 + 1 \cdot 2)$, считая, что частота вращения двигателя равна максимальной частоте вращения привода.

2.18 Построить вариант картины частот вращения привода с плавным регулированием скорости на базе электродвигателя для структурной формулы $Z = 1(1 + 1 \cdot 1)$, считая, что частота вращения двигателя несколько выше максимальной частоте вращения привода.

Паспорт заданий для выполнения практических работ
по дисциплине «Расчет и конструирование станочного оборудования», 1 семестр

1. Методика оценки

Для защиты практических работ студентам предлагается выполнить следующий типовый набор заданий: Практическая работа № 1: «Расчётные нагрузки станков»; Практическая работа № 2: «Расчёт зубчатых передач приводов станков»; Практические работы № 3: «Расчёт валов, подшипников и ременных передач коробок скоростей». Распределение заданий практических занятий по проверяемым компетенциям указано в таблице «Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины».

Выставление оценок на практическом занятии осуществляется на основе выполнения и защиты одного типового задания (см. выше). Защита практической работы в соответствии с уровнем знаний: "удовлетворительно" – 8-11 баллов; "хорошо" – 12-16 балла; "отлично" – 17-20 баллов. Максимальное количество баллов, которые можно заработать за выполнение и защиту трех практических работ составляет 60 баллов.

2. Критерии оценки

*Работа считается **не выполненной***, если студент не освоил практический и теоретический материалы; оценка составляет менее 8 баллов.

*Работа считается выполненной на **пороговом уровне***, если студент освоил практический материал, но не смог обобщить теоретический материал; оценка составляет 8-11 баллов.

*Работа считается выполненной на **базовом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, допустил несколько ошибок при определении параметров математической модели, привёл не достаточно чёткую аргументацию своих действий и выводов, оценка составляет 12-16 баллов.

*Работа считается выполненной на **продвинутом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, привёл достаточно чёткую аргументацию своих действий при построении математической модели, оценка составляет 17-20 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за практические занятия учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Если в результате сдачи экзамена студент не набирает 26 баллов или с учетом сдачи экзамена его суммарный рейтинг (оценка на экзамене + **ОЦЕНКА ЗА ВЫПОЛНЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**) не превышает 49 баллов, ему выставляется оценка "неудовлетворительно" (FX) с возможностью пересдачи.

При пересдаче экзамена студент имеет возможность получить оценку не выше Е ("удовлетворительно").

Студент имеет возможность получить дополнительно до 20 баллов при выполнении работ, не предусмотренных основной программой освоения курса. Данные виды работ согласуются с преподавателем. Одним из вариантов дополнительной работы может быть выполнение расчётно-графической работы по заданной преподавателем тематике.

98-100	93-97	90-92	87-89	83-86	80-82	77-79	73-76	70-72	67-69	63-66	60-62	50-59	25-49	0-24
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	D-	E	FX	F
отлично				хорошо				удовлетворительно					неудовлетворительно	
зачтено													не зачтено	

4. Перечень практических работ

Практическая работа № 1 «Расчётные нагрузки станков».

Задание:

Студенты выполняют групповые задания по построению проектов в программных комплексах *APM WinMachine* и *Ansys*, а также разработанной на кафедре программе *RNAG*. На первом практическом занятии выдается комплект исходных данных: 1) Нагрузочные характеристики привода главного движения станка (табл. 1-6).

Вариант задания формируется на основе цифрового трехразрядного кода, устанавливаемого руководителем курсового проектирования. В частности, при шифре 754 необходимо выписать данные седьмой колонки табл. 1 (или 4), а из табл. 2 (или 5) и табл. 3 (или 6) – соответственно пятого и четвертого столбцов.

Кратко прокомментируем принятые в заданиях условные обозначения.

Табл. 1 и 4 содержат информацию о типоразмере и классе точности станка, варианте компоновки привода главного движения, а также о значении одной из эксплуатационных характеристик последнего – эффективной (номинальной) мощности на шпинделе. Заданием предусмотрено проектирование унифицированного привода с главным вращательным движением рабочего органа для двух наиболее распространенных типов металлообрабатывающего оборудования: токарного – Т и фрезерного – Ф. Основным размерным параметром для токарных станков является максимальный диаметр обрабатываемой детали над станиной, а для фрезерных – ширина стола. С учетом функционального назначения и компоновки привода, которая определяет расположение направляющих элементов несущей системы металлорежущего оборудования или положение оси шпинделя в пространстве, универсальные токарные станки подразделяются на патронные – ТП и центровые – ТЦ. Соответственно для многоцелевых токарных станков с ЧПУ, а также фрезерного оборудования предусмотрено наклонное – ТН, вертикальное – ТВ и ВФ и горизонтальное – ГФ исполнение привода. В общем случае проектированию подлежат приводы станков трех классов точности: нормального – Н, повышенного – П и высокого – В.

Т а б л и ц а 1

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип станка	ТП	ВФ	ТЦ	ГФ	ТП	ВФ	ТЦ	ГФ	ТП	ВФ
Основной параметр станка, мм	160	320	200	400	250	160	400	200	320	250
Эффективная мощность на шпинделе, кВт	1,8	6,0	2,4	8,8	3,2	2,4	6,0	3,2	4,6	4,2
Класс точности станка	В	П	П	Н	В	П	П	Н	Н	В

Т а б л и ц а 2

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Максимальная частота вращения, 10^3 мин^{-1}	4,0	2,5	2,5	4,0	2,8	1,4	2,0	1,6	3,2	2,0
Общий диапазон регулирования скорости	16	25	12,5	14	45	11,2	22,4	10	20	31,5
Диапазон регулирования скорости с $N=\text{const}$	5,6	16	5	10	22,4	4	11,2	6,3	8	12,5
Допустимая потеря скорости резания, %	30	40	20	40	50*	30	30	40	40*	20

Т а б л и ц а 3

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Система управления приводом	Д	Р	Д	Р	Д	Р	Д	Р	Р	Д
Технический ресурс привода, 10^3 ч	20	14	11,2	10	16	17,5	12	18	12,5	15
Режим нагружения привода $\bar{N}/N_{\text{ном}}$	Л	Т	С	Л	Т	С	С	Т	С	Л
Система смазывания привода	Ц	И	Ц	И	Ц	И	Ц	И	И	Ц

Т а б л и ц а 4

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип станка	ТН	ВФ	ТН	ГФ	ТВ	ВФ	ТВ	ГФ	ТН	ВФ
Основной параметр станка, мм	500	320	400	250	500	400	400	200	320	250
Эффективная мощность на шпинделе, кВт	14	8	3	12	6	16	10	4	6,8	5
Класс точности станка	П	В	В	П	В	П	П	В	В	П

Т а б л и ц а 5

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Максимальная частота вращения, 10^3 мин^{-1}	5,0	2,8	4,5	3,2	2,0	5,6	2,5	6,0	4,0	3,6
Общий диапазон регулирования скорости	110	65	80	100	85	90	75	60	120	70
Диапазон регулирования скорости с $N=\text{const}$	40	12,5	24	28	20	32	10	8	36	16
Вид электропривода	П	А	А	П	А	П	П	А	А	П

Т а б л и ц а 6

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Система управления приводом	Г	Э	Э	Г	Э	Г	Э	Г	Г	Э
Технический ресурс привода, 10^3 ч	20	14	11,2	10	16	17,5	12	18	12,5	15
Режим нагружения привода $\bar{N}/N_{\text{ном}}$	Л	Т	С	Л	Т	С	С	Т	С	Л

Оставшиеся таблицы включают сведения о скоростных возможностях, режиме работы привода и особенностях конструктивного исполнения его отдельных систем.

Общий диапазон регулирования отражает отношение максимальной частоты вращения шпинделя к минимальной. Диапазон регулирования с постоянной мощностью позволяет найти значение так называемой расчетной частоты вращения привода. Допустимая потеря скорости резания предопределяет величину знаменателя ϕ геометрического ряда частот вращения привода с дискретным регулированием, причем значение потери скорости, отмеченное звездочкой, присуще большему ϕ (структура привода с двумя знаменателями ряда). Для станков с плавным регулированием его величина, как известно, равна нулю. Поэтому для станков с ЧПУ вместо этого параметра в качестве исходного данного введено другое требование: вид электропривода (табл. 5). В этих станках бесступенчатое изменение частоты вращения шпинделя можно обеспечить путем применения электродвигателя либо постоянного тока – П, либо асинхронного с частотным регулированием – А.

Приводам станков общего назначения присущи два типа систем управления: ручной – Р и дистанционный – Д. Последняя, как и в станках с ЧПУ, конструктивно может быть выполнена на базе электрической – Э или гидравлической – Г энергий. Режим нагружения (легкий – Л, средний – С, тяжелый – Т) отражает отношение средней мощности, реализуемой в процессе эксплуатации станка, к номинальной мощности привода. Станки с универсальным характером выполняемых технологических операций оснащаются (табл. 3) двумя типами систем смазывания привода: индивидуальной – И или централизованной – Ц. Все другие решения, выходящие за рамки технического задания, принимаются студентами самостоятельно, но наиболее принципиальные вопросы необходимо в обязательном порядке согласовать с руководителем курсового проектирования.

Практическая работа № 2 «Расчёт зубчатых передач приводов станков»

Задание:

Студенты выполняют групповые задания по построению проектов в программных комплексах *APM WinMachine* и *ANSYS* для: 1) проектировочного расчета зубчатой цилиндрической прямозубой (косозубой) передачи внешнего зацепления; 2) проектировочного расчета зубчатой конической ортогональной передачи с прямыми (круговыми) зубьями; 3) проектировочного расчета червячной передачи; 4) проектировочного расчета клиноременной передачи; 4) проектировочного расчета цепной передачи.

Практическая работа № 3 «Расчёт валов, подшипников и ременных передач коробок скоростей»

Задание:

Студенты выполняют групповые задания по построению проектов в программных комплексах *APM WinMachine* и *Ansys* для расчета: 1) вала на усталостную прочность; 2) расчета радиального подшипника скольжения, работающего в режиме жидкостного трения; 3) подшипников качения; 4) упругих элементов машин: проектировочный расчет пружины сжатия круглого поперечного сечения; проверочный расчет пружины сжатия круглого поперечного сечения; проектировочный расчет пружины сжатия квадратного поперечного сечения; проектировочный расчет пружины растяжения круглого поперечного сечения; проектировочный расчет пружины кручения круглого поперечного сечения.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра проектирования технологических машин

Паспорт зачета

по дисциплине «Расчет и конструирование станочного оборудования», 2 семестр

1. Методика оценки

Студент допускается к сдаче зачета при условии, что он выполнил и защитил все практические работы, защитил курсовой проект и набрал не менее 40 баллов.

На зачете студенту выдаются 2 вопроса. Распределение дидактических единиц по проверяемым компетенциям указано в таблице «Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины».

Выставление оценок на зачете осуществляется на основе выполнения и защиты двух вопросов. Оценивание ответа на вопросы осуществляется в соответствии с уровнем знаний: "удовлетворительно" – 5-6 балл; "хорошо" – 7-8 баллов; "отлично" – 9-10 баллов. Всего за два вопроса студент может получить максимум 20 баллов.

Форма билета для зачета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет МТФ

Билет № 1

к зачету по дисциплине «Расчет и конструирование станочного оборудования»

1. Основные показатели качества металлообрабатывающего оборудования.
2. Способы смазывания опор ШУ и валов. Критерии применения.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

2. Критерии оценки

Защита считается неудовлетворительной, если студент не освоил теоретический материал и не смог обобщить теоретический и практический материал; оценка составляет менее 10 баллов.

*Защита считается состоявшейся на **пороговом уровне***, если студент освоил теоретический материал, но не смог обобщить теоретический и практический материал; оценка составляет 10-13 баллов.

*Защита считается состоявшейся на **базовом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, допустил несколько ошибок при защите, привёл

не достаточно чёткую аргументацию своей точки зрения при ответе на вопросы, оценка составляет 14-17 баллов.

*Защита считается состоявшейся на **продвинутом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, привёл достаточно чёткую аргументацию своей точки зрения по всем вопросам, оценка составляет 18-20 баллов.

3. Шкала оценки

Если студент в семестре работал не систематически, в результате чего не набрал требуемое количество баллов, то ему выдается дополнительное задание, тематика и объем которого определяются преподавателем.

Если в результате сдачи зачета студент не набирает 10 баллов или с учетом сдачи зачета его суммарный рейтинг (**ОЦЕНКА НА ЗАЧЕТЕ** + оценка за выполнение практических работ + оценка за выполнение и защиту КП) не превышает 49 баллов, ему выставляется оценка "неудовлетворительно" (FX) с возможностью пересдачи.

При пересдаче зачета студент имеет возможность получить оценку не выше E ("удовлетворительно").

Студент имеет возможность получить дополнительно до 20 баллов при выполнении работ, не предусмотренных основной программой освоения курса. Данные виды работ согласуются с преподавателем. Одним из вариантов дополнительной работы может быть выполнение расчётно-графической работы по заданной преподавателем тематике.

В общей оценке по дисциплине баллы за зачет учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Итоговая оценка по дисциплине выставляется согласно таблице.

Таблица

98-100	93-97	90-92	87-89	83-86	80-82	77-79	73-76	70-72	67-69	63-66	60-62	50-59	25-49	0-24
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	D-	E	FX	F
отлично				хорошо				удовлетворительно				неудовлетворительно		
зачтено													не зачтено	

4. Вопросы к зачету по дисциплине «Расчет и конструирование станочного оборудования»

1. Основные показатели качества металлообрабатывающего оборудования.
2. Показатели качества, характеризующие производительность станков. Факторы, влияющие на производительность.
3. Показатели качества, характеризующие надежность станков.
4. Показатели качества, характеризующие безотказность и долговечность станков. Основные пути повышения надежности.
5. Факторы, влияющие на температурные деформации шпиндельных узлов (ШУ). Основные пути повышения теплостойкости ШУ.
6. Энергетический баланс привода главного движения (ПГД) станков.
7. Причины возникновения геометрических погрешностей станков и пути их уменьшения.
8. Причины возникновения кинематических погрешностей и пути их снижения.
9. Жесткость станочных систем и пути ее повышения.
10. Структура КПД привода главного движения станков и пути его повышения.
11. Показатели качества, характеризующие гибкость станочных систем.
12. Факторы, определяющие виброустойчивость ШУ, и пути повышения устойчивости ШУ к внешним воздействиям.
13. Пути повышения технологичности конструкций.

14. Структура погрешностей (ошибок) станочного оборудования и причины их появления.
15. Суть графоаналитического метода расчета передаточных отношений передач привода на примере нормальной множительной структуры.
16. Требования, предъявляемые к шпиндельным узлам (ШУ).
17. Материалы, методы и способы упрочнения ШУ.
18. Способы смазывания опор ШУ и валов. Критерии применения.
19. Выборка зазоров и создание натяга в опорах ШУ. Общие положения.
20. Конструктивные варианты выборки зазоров и создания натяга в опорах ШУ.
21. Область применения и принцип работы гидростатических опор (на примере радиальных опор), достоинства и недостатки.
22. Область применения и принцип работы упорных гидростатических подшипников, достоинства и недостатки.
23. Факторы, определяющие несущую способность и жесткость гидростатических опор.
24. Область применения и принцип работы гидродинамических подшипников, достоинства и недостатки.
25. Факторы, определяющие несущую способность и жесткость гидродинамических опор.
26. Область применения и принцип работы аэроstaticеских опор. Факторы, определяющие несущую способность и жесткость опор.
27. Достоинства и недостатки активных магнитных опор, область применения.
28. Методики расчёта радиальной и осевой точности вращения ШУ.
29. Методики расчёта радиальной и осевой жесткости ШУ.
30. Специфика расчёта и конструирования зубчатых колес, валов и опор в станкостроении.
31. Структуры привода подач.
32. Геометрическая форма направляющих скольжения, достоинства и недостатки.
33. Материал направляющих смешанного трения.
34. Защитные устройства направляющих смешанного трения.
35. Сущность методики расчёта направляющих смешанного трения на износостойкость.
36. Сущность методики расчёта направляющих смешанного трения на жесткость.
37. Дать сравнительную оценку направляющим скольжения и качения.
38. Классификация направляющих качения по характеру движения тел качения, достоинства и недостатки.
39. Способы создания натяга в направляющих качения.
40. Материал направляющих качения. Устройства защиты и смазывания.
41. Методика расчёта направляющих качения на контактную прочность.
42. Методика расчёта направляющих качения на жесткость.
43. Конструктивные особенности комбинированных направляющих. Область применения.
44. Область применения и принцип действия гидродинамических направляющих. Факторы, определяющие несущую способность направляющих.
45. Область применения и принцип действия гидростатических направляющих. Факторы, определяющие жесткость направляющих.
46. Геометрическая форма направляющих кругового движения. Достоинства и недостатки.
47. Требования, предъявляемые к тяговым устройствам привода подач.
48. Достоинства и недостатки передачи винт-гайка скольжения.
49. Способы регулировки передачи винт-гайка скольжения.
50. Характерные особенности передачи винт-гайка качения.

51. Способы решения проблемы фрикционных автоколебаний в приводе подач.
52. Термодинамический привод.
53. Магнотрикционный привод.
54. Упруго-силовой привод.
55. Способы смазывания зубчатых передач и муфт. Достоинства и недостатки.
56. Методика расчета и подбор аппаратуры системы смазывания привода главного движения.
57. Конструктивные особенности систем с ручным управлением. Достоинства и недостатки.
58. Конструктивные особенности систем управления на базе электромагнитных и гидравлических фрикционных муфт. Достоинства и недостатки.
59. Специфика проектирования корпусов коробок скоростей и подач.
60. Требования, предъявляемые к элементам несущей системы станка, их конструктивные формы и материалы.

Паспорт курсового проекта

по дисциплине «Расчет и конструирование станочного оборудования», 2 семестр

1. Методика оценки.

Тематика курсового проекта – разработка общей концепции станка для обработки типовой детали.

Выполнение КП является одним из важнейших этапов конструкторской подготовки инженера. На нем систематизируются и углубляются знания, полученные ранее при изучении многих естественнонаучных, общетехнических и специальных дисциплин.

Основные цели этой работы, имеющей творческий характер, состоят в том, что она позволяет студенту в полной мере овладеть методикой проектирования нового и совершенствования действующего технологического оборудования с обеспечением требуемых показателей качества; развить умение производить сложные инженерные расчеты и закрепить навыки конструирования с эффективным привлечением средств ВТ, приобретенные при выполнении предшествующих КП, и повысить эрудицию в конкретной области машиностроения.

Выставление оценок за КП осуществляется на основе выполнения и защиты одного типового задания. Защита КП в соответствии с уровнем знаний: "удовлетворительно" – 30...36 баллов; "хорошо" – 37...43 баллов; "отлично" – 44...50 баллов.

2. Критерии оценки.

Курсовой проект считается не выполненным, если студент не освоил теоретический материал и не смог обобщить теоретический и практический материал; оценка составляет менее 30 баллов.

*Курсовой проект считается состоявшимся на **пороговом уровне***, если студент освоил теоретический материал, но не смог обобщить теоретический и практический материал. Оценка составляет 30...36 баллов (удовлетворительно).

*Курсовой проект считается состоявшимся на **базовом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, допустил несколько ошибок в процессе ответа на вопросы и привёл не достаточно чёткую аргументацию своей точки зрения. Оценка составляет 37...43 балла (хорошо).

*Курсовой проект считается состоявшимся на **продвинутом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, привёл достаточно чёткую аргументацию своей точки зрения по всем разделам. Оценка составляет 44...50 баллов (отлично).

Учитывая, что курсовое проектирование также оценивается в дифференцированной форме, то для выставления итоговой оценки за проект в ведомость и в зачетную книжку студента в "буквенной" форме в соответствии с 15-уровневой шкалой ESTS, вводится переводной коэффициент, **равный 2**. Таким образом, итоговая оценка формируется путем умножения баллов, полученных по результатам выполнения и защиты проекта, на этот коэффициент.

3. Шкала оценки.

Если студент в семестре работал не систематически, в результате чего не набрал требуемое количество баллов, то ему выдается дополнительное задание, тематика и объем которого определяются преподавателем.

Если в результате сдачи зачета студент не набирает 10 баллов или с учетом сдачи зачета его суммарный рейтинг (оценка на зачете + оценка за выполнение практических работ + **ОЦЕНКА ЗА ВЫПОЛНЕНИЕ И ЗАЩИТУ КП**) не превышает 49 баллов, ему выставляется оценка "неудовлетворительно" (FX) с возможностью пересдачи.

При пересдаче зачета студент имеет возможность получить оценку не выше Е ("удовлетворительно").

Итоговая оценка по дисциплине выставляется согласно таблице.

Таблица

98-100	93-97	90-92	87-89	83-86	80-82	77-79	73-76	70-72	67-69	63-66	60-62	50-59	25-49	0-24
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	D-	E	FX	F
отлично				хорошо				удовлетворительно				неудовлетворительно		
зачтено												не зачтено		

В общей оценке по дисциплине баллы за проект учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Учитывая, что курсовое проектирование также оценивается в дифференцированной форме, то для выставления итоговой оценки за проект в ведомость и в зачетную книжку студента в "буквенной" форме в соответствии с 15-уровневой шкалой ESTS, вводится переводной коэффициент, **равный 2**. Таким образом, итоговая оценка формируется путем умножения баллов, полученных по результатам выполнения и защиты проекта, на этот коэффициент.

При систематической работе студента над проектом согласно вышеуказанному графику начисляется дополнительно 10 баллов.

Итоговая оценка за выполнение и защиту КП.

Таблица

98-100	93-97	90-92	87-89	83-86	80-82	77-79	73-76	70-72	67-69	63-66	60-62	50-59	25-49	0-24
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	D-	E	FX	F
отлично				хорошо				удовлетворительно					неудовлетворительно	
зачтено													не зачтено	

4. Примерный перечень тем курсового проекта (работы).

Тематика курсового проекта – разработка общей концепции станка для обработки типовой детали.

Выполнение КП является одним из важнейших этапов конструкторской подготовки инженера. На нем систематизируются и углубляются знания, полученные ранее при изучении многих естественнонаучных, общетехнических и специальных дисциплин.

Основные цели этой работы, имеющей творческий характер, состоят в том, что она позволит студенту в полной мере овладеть методикой проектирования нового и совершенствования существующего технологического оборудования с обеспечением требуемых показателей качества; развить умение производить сложные инженерные расчеты; закрепить навыки конструирования с эффективным привлечением средств ВТ, приобретенные при выполнении предшествующих КП, и повысить эрудицию в конкретной области машиностроения.

Опыт, полученный при работе над проектом, даст студенту возможность реально оценить свою способность к самостоятельному решению сложных практических задач и станет необходимым фундаментом для дальнейшего совершенствования по профилю избранной инженерной специальности. Объективным критерием уровня знаний является качество выполнения КП, умение аргументировано обосновывать и отстаивать принятые технические решения, сравнивать их с альтернативными вариантами.

Тематика курсового проекта предполагает проектирование специализированного металлорежущего станка, предназначенного для обработки детали-представителя. Чертежи этих деталей приведены в приложении 1. Вся остальная исходная информация выбирается по данным табл. 1...3. Вариант задания формируется на основе шифра, устанавливаемого руководителем. Он состоит из цифр в трехразрядном коде. Например, при шифре 459 из табл. 1 принимают данные четвертой колонки, а в табл. 2 и 3 выбирают значения пятого и девятого столбцов.

В задании использованы следующие условные обозначения:

1) материал детали: серый чугун – СЧ, сталь конструкционная – СК, сталь легированная – СЛ, медные сплавы – МС, алюминиевые сплавы – АС;

2) тип производства: единичное – Е, мелкосерийное – М, серийное – С, крупносерийное – К.

Специфика предложенной детали состоит в том, что она имеет габариты, варьируемые в некотором диапазоне: три поверхности, отличающиеся формой, размерами и параметром шероховатости, а ее полуфабрикат изготавливают из разных материалов. При проектировании оборудования непосредственно под такое изделие следует стремиться к организации наиболее эффективного технологического цикла, обеспечивающего требуемый уровень качества.

При анализе и последующем использовании исходных данных необходимо учитывать, что:

- несмотря на многообразие марок сплавов, присущих любому **материалу**, во внимание принимают только те из них, которые чаще всего употребляют для деталей данного класса, основываясь при этом на рекомендациях учебной и справочной литературы;

- **тип производства** косвенно характеризует целесообразную степень автоматизации оборудования;

- **технический ресурс** является одним из показателей надежности машин и механизмов;

- **основной размерный параметр X** регламентирует максимальные габариты детали, а следовательно, и соответствующие размеры каждой поверхности. Для получения нижних предельных размеров следует воспользоваться масштабным коэффициентом – **диапазоном их изменения**;

Таблица 1

Исходные данные		Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Номер детали		3	7	5	9	4	8	1	0	2	6
Материал детали	1	СЧ	СК	СЛ	СЧ	МС	СЛ	СК	АС	СЧ	СК
	2	АС	СЧ	МС	СЛ	АС	МС	СЛ	МС	СК	АС
Тип производства		М	Е	С	К	К	М	С	К	М	С
Технический ресурс станка, 10^3 ч.		16	10	12	20	14	18	10	16	14	12

Таблица 2

Исходные данные		Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Основной размерный параметр - X, мм		24	32	20	35	38	26	22	30	40	28
Вероятность обработки материалов	1	0,8	0,5	0,9	0,4	0,7	0,2	0,3	0,6	0,1	0,5
	2	0,2	0,5	0,1	0,6	0,3	0,8	0,7	0,4	0,9	0,5
Тип обрабатываемой поверхности	1	Б	А	Е	И	Д	В	Г	К	Ж	З
	2	И	Ж	Б	Е	А	К	В	З	Д	Г
	3	Г	К	З	В	Е	Д	Ж	И	Б	А
Номенклатура режущего инструмента		8	12	16	24	12	8	16	36	6	24

Таблица 3

Исходные данные		Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Диапазон изменения размеров детали		2,4	1,8	2,0	1,6	2,0	2,2	1,8	2,4	2,2	1,6
Вероятность обработки поверхностей	1	0,5	0,4	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3
	2	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,5
	3	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,2
Коэффициент корреляции случайных параметров	K_1	0,4	0,6	0,7	0,7	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,6
	K_2	0,6	0,7	0,5	0,3	0,4	0,5	0,4	0,6	0,7	0,3

- **номенклатура режущего инструмента**, определяя тип накопителя, отражает в неявном виде гибкость станочного комплекса;

- **вероятности обработки материалов и поверхностей** характеризуют частоту повторения (воспроизводимость) конкретных технологических операций в процессе функционирования оборудования;

- **коэффициент корреляции** K_1 учитывает связь скорости и силы резания с диаметральными размерами обрабатываемых поверхностей заготовки или режущего инструмента, а **коэффициент** K_2 – между самими силовыми и скоростными факторами.

Таким образом, анализ технического задания на проектирование показывает, что в нем заложен ряд требований к станочной системе и, в первом приближении, конкретизированы условия ее эксплуатации. Все другие решения, выходящие за рамки задания, студенты принимают самостоятельно, однако принципиальные вопросы в обязательном порядке должны быть согласованы с руководителем.

Поскольку проектирование сложных технических систем объективно имеет большую трудоемкость, единая по существу задача разделена на две взаимосвязанные части, каждая из которых в то же время представляет собой вполне законченный комплекс работ, выполняемых в виде самостоятельных КП.

КП предполагает формирование общей концепции специализированного металлорежущего оборудования (технического предложения) и включает вопросы выбора наиболее оптимального варианта построения технологического процесса обработки детали, синтеза структурно-кинематической схемы и компоновки станка, обоснование технических характеристик.

Несмотря на своеобразие характера работ, выполняемых на разных этапах проектирования, требования к объему технической документации для обоих КП одинаковы: графическая часть – не более трех листов формата A1, расчетно-пояснительная записка (РПЗ) – порядка 40...50 страниц.

Графическая часть при определении общей концепции станка должна состоять из чертежа детали – представителя с цветовым выделением поверхностей, подлежащих обработке; операционных эскизов для принятых методов размерной обработки; структурно-кинематической и компоновочной схем; картины эксплуатационных характеристик.

После тщательного ознакомления с особенностями конструктивного исполнения предложенной детали, технических условий на ее изготовление (материал заготовки, высота микронеровностей отдельных поверхностей) и требований, предъявляемых к станочной системе, курсовое проектирование начинают с решения именно этого вопроса.

Проблема выбора наиболее рациональных методов размерной обработки для каждой поверхности и детали в целом носит аналитический характер. По существу здесь приходится задействовать целый комплекс знаний в области процессов формообразования и инструмента, технологии и оборудования. Эта стадия разработки общей концепции станка является очень важной и ответственной, поскольку на ней напрямую или косвенно закладывается фундамент многих дифференциальных и интегральных показателей качества создаваемого изделия: экономичность, производительность, технологичность и другие. В частности, принимая ту или иную комбинацию методов обработки заданных поверхностей, проектировщик осознанно предопределяет тем самым и конструированную сложность оборудования, и трудоемкость настройки оператором параметров исполнительных движений рабочих органов в процессе эксплуатации станка со всеми вытекающими отсюда последствиями.

При рассмотрении возможных схем формирования поверхностей самыми различными методами и способами (вариантами реализации любого метода) размерной обработки целесообразно принимать во внимание не только механические, но и другие процессы: электрофизические, физико-механические и другие. Причем общеизвестные, традиционные технические решения желательно подкреплять и прогрессивными, имеющими перспективу развития. Для получения информации о достижениях в области новейших процессов и технологий обработки можно использовать научные статьи, каталоги международных выставок, проспекты фирм, а также журналы по профилю специальности: “Вестник машиностроения”, “СТИН”, “Машиностроитель”, “Известия вузов. Машиностроение” и другие.

При выполнении данного раздела во избежание принятия ошибочных решений, которые на более поздних этапах проектирования практически не поддаются исправлению, необходимо руководствоваться следующим.

Заготовкой детали – представителя является полуфабрикат, уже обладающий, как правило, требуемой конфигурацией поверхностей. Причем, невзирая на общую величину припуска, которая подлежит снятию с целью получения поверхности заданных размеров, здесь и далее учитывают лишь минимальную глубину резания на окончательную технологическую операцию, компенсирующую погрешности, возникающие при выполнении предшествующих операций. Термин “операция” трактуется в данном случае как обработка одной поверхности каким-либо методом при неизменном режиме. Поэтому при выборе методов обработки анализируются технологические возможности только тех из них, которые при прочих равных условиях способны обеспечить требуемую величину параметра шероховатости поверхности. Значение последнего, в свою очередь, как известно, непосредственно связано с рационально достижимым с экономической точки зрения качеством точности, присущим каждому из методов. Кроме того, следует иметь в виду, что с точки зрения организации на проектируемом оборудовании эффективного цикла обработки детали и получения в дальнейшем достаточно оптимальных значений его технических характеристик принятые в конечном итоге методы формообразования должны быть совместимы по физике процесса снятия стружки, а их производительность должна быть, по крайней мере, сопоставима и соответствовать заданному типу производства.

Анализ возможных вариантов обработки поверхностей в обязательном порядке сопровождают вычерчиванием эскизов с изображением взаимного положения детали и инструмента. С целью грамотного определения структуры элементарных движений здесь рекомендуется учитывать одновременно и специфику методов получения производящих линий: копирования, псевдокопирования (обката, огибания), следа или псевдоследа (касания). Дело в том, что с позиции теории процесс формирования реальных поверхностей деталей на металлорежущих станках рассматриваются аналогично процессу образования идеальных геометрических поверхностей. Такой подход позволяет не только выявить все нюансы, присущие любому методу размерной обработки, но и правильно перераспределить требования, предъявляемые к двум основным компонентам: оборудованию и инструменту.

Конечным результатом всесторонней сравнительной оценки достоинств и недостатков различных схем формирования отдельных поверхностей является установление наиболее рациональной совокупности методов размерной обработки для детали в целом.

Затем необходимо сделать обзор технической литературы, цель которого – поиск существующего технологического оборудования, близкого и аналогичного по назначению проектируемому (или даже прототипа), для изучения принципа их действия и устройства. Дополнительно к рекомендуемым по данному вопросу источникам здесь можно использовать также указанную выше периодическую литературу и рекламные буклеты фирм. При анализе отобранного материала рассмотрению подлежат довольно широкий круг сведений: применяемые методы обработки, вид оснастки, типаж инструмента, компоновка, гибкость и степень автоматизации оборудования. Что касается последнего, то необходимо акцентировать внимание не только на общих, схемах решения, но и на более конкретных, определяющих специфику конструктивного исполнения изделия и его основных узлов. На основе комплексного анализа вариантов альтернативных технических решений и их оценки выбирают наиболее приемлемые, т.е. те, которые могут быть использованы студентом в дальнейшем в качестве исходной информации при разработке собственной конструкции оборудования.

Далее переходят к синтезу структурно-кинематической схемы (СКС) и построению компоновки станка. Обращаем внимание на то обстоятельство, что указанное расчленение на два самостоятельных вида работ весьма условно, так как в действительности они очень

тесно переплетены и на практике выполняются параллельно.

Синтез структурно-кинематической схемы


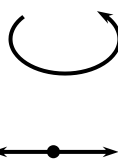
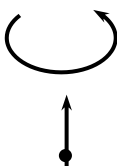
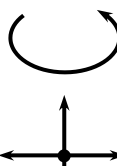
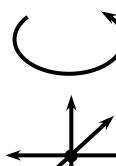
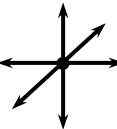
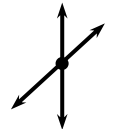
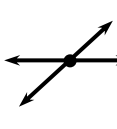
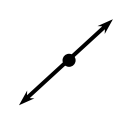
Разработку кинематической структуры оборудования рекомендуется осуществлять в такой последовательности:

- 1) определение характера и количества исполнительных движений (ИД) рабочих узлов (блоков);
- 2) принятие принципиального решения по пространственной ориентации, виду движения и относительному положению основных узлов;
- 3) построение внутренних и внешних связей ИД;
- 4) размещение органов настройки параметров ИД;
- 5) анализ полученных структурно-кинематических схем для каждой обрабатываемой поверхности детали и их корректировки;
- 6) синтез обобщенной кинематической структуры оборудования и ее оптимизация.

Как известно, ИД узлов образуется на основе элементарных движений (ЭД): вращательных – В и поступательных – П. Структура последних для принятых схем обработки заданных поверхностей детали уже была выявлена на предыдущем этапе проектирования. Количество и состав ИД определяются их функциональным назначением: формообразующие, установочные, делительные, вспомогательные или управления, а также потребностью в согласовании некоторых ЭД с целью обеспечения какого-либо сложного ИД. Помимо этого здесь же устанавливают и размерность всех движений: мин^{-1} , мм/мин, мм/об и другие.

Поиск на концептуальном уровне оптимального решения по относительному положению, характеру движения и пространственной ориентации основных блоков оборудования означает, что по существу речь идет уже о предварительной, начальной стадии разработки компоновочной схемы станка. Прежде всего принимают мотивированное решение по ориентации оси шпинделя в декартовой системе координат, устанавливая таким образом ее абсолютное положение в пространстве: горизонтальное, вертикальное или наклонное. Очевидно, что при значительной длине детали более предпочтительна горизонтальная компоновка, к достоинствам же вертикальной можно отнести сокращение занимаемой станком производственной площади, а также удобство обслуживания рабочей зоны оператором и улучшение условий для автоматизации процессов загрузки заготовок и смены инструмента. Далее анализируются различные варианты по взаимному положению и виду движения основных узлов. Иначе говоря, теперь необходимо придать каждому из узлов оптимальную степень подвижности, рационально распределив ее между блоками инструмента и заготовки. Информацию о всех возможных вариантах желательно систематизировать и с целью наглядности представить ее, например, по типу табл. 10.

Т а б л и ц а 10

Вариант	1	2	3	4	5
Инструмент					
Заготовка					

При этом руководствуются рекомендациями [1, 7], среди которых можно выделить такие:

- узлами со значительной массой сообщают перемещение не более чем по одной координате;
- вертикальное или наклонное расположение направляющих облегчает удаление стружки, но ухудшает условия смазывания;
- не следует чрезмерно усложнять конструкцию блоков, отдавая явный приоритет в степени подвижности одному из них;
- перемещение в вертикальной плоскости реализуется более легким блоком и другие.

В результате рассмотрения различных вариантов и их оценки по ряду критериев, в том числе с привлечением материалов обзора литературных источников, принимают наиболее рациональный. Это окончательное решение фиксируют в виде структурной формулы компоновки с записью в коде ISO [1, 7]. Одновременно осуществляется выбор типов устройств для загрузки заготовок и смены инструмента [27], а также устанавливается весь комплекс вспомогательных движений, необходимых для их функционирования.

Любое ИД обеспечивается в общем случае отдельной кинематической группой, включающей обычно источник и преобразователь энергии, рабочий орган, внутренние и внешние связи с органами настройки параметров ИД, преобразователи вида движений и другие устройства. При графическом изображении этих элементов СКС следует придерживаться условных обозначений, приведенных в приложении 3. Соединения между элементами выполняют тонкими сплошными линиями, характеризующими внутренние и внешние связи.

Построение СКС для единичной поверхности детали начинают с определения вида энергии (электрическая, пневмогидравлическая, физиологическая) и ее преобразователей (электродвигатель, гидроцилиндр и другие), необходимых для реализации каждого ИД, исходя из того, что:

- в станках с ЧПУ все приводы автономны;
- в универсальном оборудовании токарной и сверлильной групп, как правило, применяют общий электродвигатель для приводов главного движения и подач, а у фрезерных, шлифовальных и станков других типов эти приводы независимы и другое.

При нанесении внутренних и внешних кинематических связей нужно помнить, что назначение первых состоит в обеспечении траектории ИД, а вторых – в передаче мощности от преобразователя энергии к рабочим органам. В простых ИД траектория создается кинематическими парами в виде подшипников или направляющих, а в сложных

при достижении указанной цели образуется уже кинематическая цепь. Положение начала внешних связей определяется размерностью параметра скорости ИД и направлением основного потока мощности:

- если скорость обусловлена временем (мин^{-1} , м/с, мм/мин), то внешняя связь берет начало от индивидуального или общего преобразователя энергии для данной кинематической группы; в противном случае, когда она зависит от движения узлов (мм/об заг., мм/об инстр., мм/ход), связь ответвляется от соответствующего блока;

- точка подключения внешней связи к внутренней должна находиться как можно ближе к тому рабочему органу, движение которого осуществляется с большей скоростью и требует повышенного расхода мощности.

В выявленных кинематических связях размещают органы настройки регулируемых параметров, преобразователи вида движений, коммутаторы, сумматоры, логические блоки и другое. Для удобства выполнения работы рекомендуется предварительно составить специальную таблицу, в которую для каждой обрабатываемой поверхности заносят требуемые элементарные и исполнительные движения, а также настраиваемые параметры последних. С целью исключения ошибочных решений на данном этапе необходимо принимать во внимание следующие соображения:

- протяженность внутренней связи должна быть минимальной, так как в ней, как правило, размещают только один орган – настройки траектории F сложного ИД;

- основной поток мощности не должен проходить через орган настройки траектории, иначе будет снижена точность образования формы поверхности и усложнена конструкция блока;

- органы настройки остальных параметров ИД (скорости V , направления N , пути L и конечной точки K) желательно устанавливать во внешних связях;

- каждый параметр ИД целесообразно настраивать только одним органом так, чтобы перестройка любого параметра не вызывала подналадки других;

- если кинематические группы имеют общее исполнительное звено (преобразователь движения, направляющие), то они присоединяются при помощи сумматора (при условии параллельной работы групп) или через коммутатор (при последовательной работе).

После синтеза СКС для принятых методов обработки заданных поверхностей детали следует провести анализ полученных решений с целью внесения соответствующих уточнений и корректировок. Теперь уже необходимо четко определиться с конкретным типом устройств, которые скрываются за условными обозначениями элементов СКС, поскольку известно, что любой из них в зависимости от функциональной принадлежности на практике может быть реализован, как правило, гаммой механизмов с присущими им достоинствами и недостатками. Рассмотрение СКС с этой позиции позволит совместить ряд органов ИД, разнесенных по времени, сократить число источников энергии и кинематических цепей, а также принять другие рациональные решения. Отметим, что выбранные таким образом устройства и механизмы подлежат в дальнейшем полной конструктивной проработке.

На завершающем этапе на базе частных СКС синтезируют уже обобщенную кинематическую структуру проектируемого станочного комплекса в целом. Здесь по вполне объективным причинам может возникнуть потребность в окончательной доработке полученной СКС с получением оптимального варианта. Пример оформления СКС показан на рис. 1.

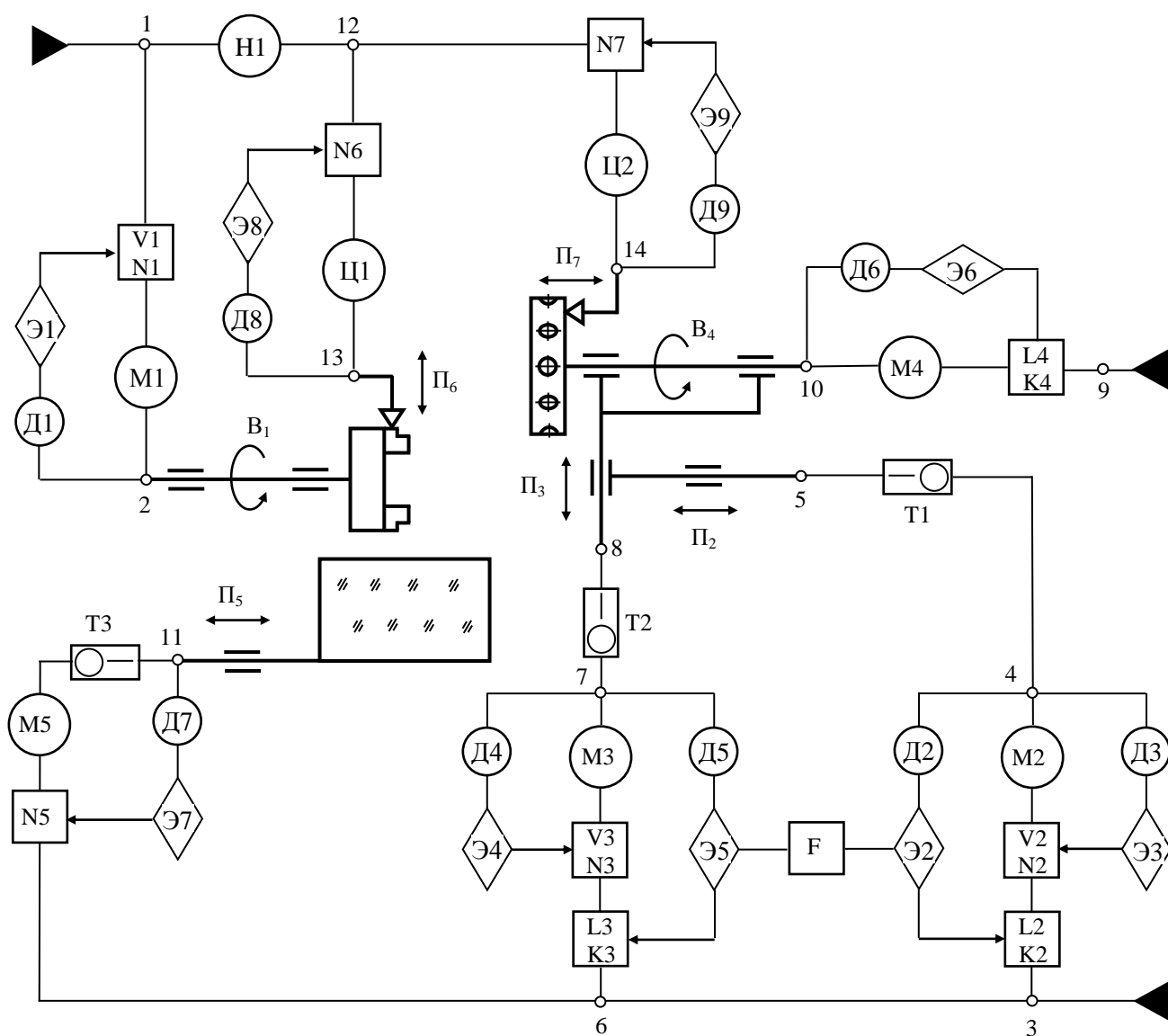
Компоновка

Не вызывает сомнений тот факт, что компоновка оказывает заметное влияние на многие показатели качества проектируемого оборудования: возможность автоматизации технологического цикла обработки деталей; удобства наладки, обслуживания, хранения, транспортирования и монтажа; массу; занимаемую производственную площадь; соответствие архитектуры и внешнего вида требованиям технической эстетики и другие.

Часть концептуальных вопросов по компоновке станочного комплекса должна быть решена на предыдущем этапе параллельно с синтезом его СКС. Следующим шагом в этом направлении является более детальная проработка проблемы – поиск приемлемых вариантов компоновки на уровне основных исполнительных узлов и оборудования в целом.

Анализ возможных вариантов и их оценку рекомендуется сопровождать *упрощенными схемами*. При решении указанной задачи придерживаются определенной последовательности с учетом функционального назначения узла. Раскрытие содержания некоторых вопросов, возникающих по ходу реализации одной из таких методик, иллюстрируется на примере компоновки привода главного движения вертикально-фрезерного станка.

Сначала выбирают способ соединения корпуса привода с элементами несущей системы станка с учетом определенной ранее степени подвижности блоков (рис. 2). Возможные варианты построения привода с неподвижным стыком (контактом) сопрягаемых поверхностей показаны на рис. 2, а. Затем рассматривают различные



способы установки электродвигателя (рис. 2, б).

Рис.1. Структурно-кинематическая схема токарного станка с ЧПУ

Потом решают вопросы размещения вспомогательных систем станка и постов

(пультов, панелей) управления. Последние располагают в соответствии с требованиями эргономики и безопасности обслуживания оборудования.

На заключительной стадии разработки компоновки выявляют ориентировочные габаритные размеры узлов, элементов несущей системы и станочного комплекса в целом. Отправной точкой при установлении приближенных размеров всех компонентов оборудования обычно служат максимальные габариты детали и антропометрические требования к техническим объектам. Так, например, ширина заготовки, обрабатываемой на фрезерном станке, закономерно предопределяет соответствующий размерный параметр стола, который, в свою очередь, накладывает ограничения на положение оси шпинделя (рис. 3) относительно привалочной (базовой) поверхности корпуса коробки скоростей (размер B). Размер A , оказывающий существенное влияние на устойчивость шпиндельной бабки в горизонтальной плоскости, принимают обычно не менее чем $(1,2 \dots 1,5)B$. Размерные параметры H и L назначают в соответствии с правилом “золотого сечения” на основе значения A . Габариты элементов несущей системы устанавливают с учетом параметров рабочего поля станка и необходимой собственной жесткости.

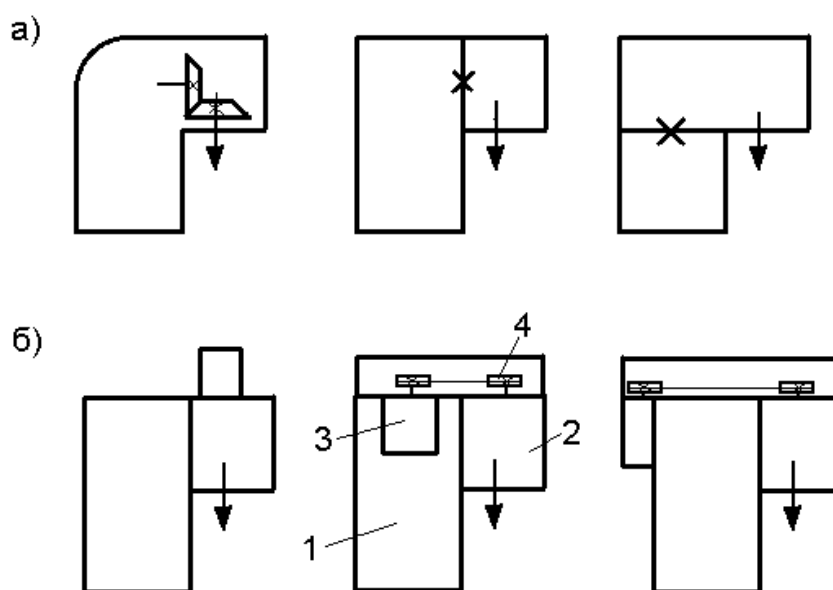
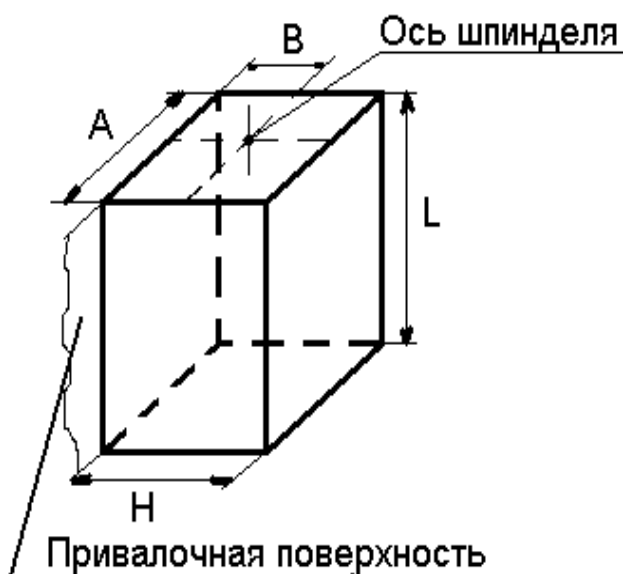


Рис. 2. Варианты компоновки привода главного движения: 1-стойка, 2-коробка скоростей, 3-электродвигатель, 4-ременная передача



РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ПРИВОДА

Обоснование технических характеристик

Проблема обоснования *технических характеристик* (ТХ) относится к числу наиболее важных и сложных, качество решения которой во многом предопределяет технико-экономические показатели проектируемого оборудования.

Несмотря на довольно широкий перечень параметров, свойственных любому оборудованию машиностроительного производства, его эффективность в эксплуатации зависит прежде всего от мощности приводов, допустимых значений

крутящих моментов и тяговых усилий на исполнительных органах, а также пределов изменения скорости перемещения последних. В то же время тематикой КП предусмотрена разработка конструкции только одного из приводов – главного движения, поэтому указанный круг ТХ сужается до трех доминирующих, в том числе и по отношению к оборудованию в целом: мощности электродвигателя N_d , номинального крутящего момента M_H и предельных значений частоты вращения шпинделя – n_{\min} и n_{\max} .

В настоящее время при обосновании этих основных ТХ оперирует различными методами, на выбор которых влияет степень универсальности оборудования, объем исходной информации и требуемая точность расчета. Для станков общего назначения и специализированных из-за большого разнообразия условий обработки, вследствие чего они функционируют в широком диапазоне скоростей и нагрузок, наиболее целесообразный путь определения ТХ – математическое моделирование.

При выполнении КП решение проблемы обоснования ТХ осуществляется на базе методологии, теоретические основы и практические положения которой приведены в работе. В соответствии с заложенными в ней принципами моделированию подлежат распределения *эксплуатационных характеристик* (эффективная мощность резания N , частота вращения n и крутящий момент M на шпинделе) для реализуемых на станке технологических операций с поэтапной корректировкой положения их границ до момента установления значений собственно ТХ. Следует подчеркнуть, что в отличие от технических по существу одноименные с ними эксплуатационные характеристики (ЭХ) являются переменными по величине и зависят от условий обработки, но в процессе функционирования оборудования не должны выходить за рамки его ТХ.

При осуществлении расчетов на ЭВМ требуется подготовить исходные данные для отдельных технологических операций, под которыми, как отмечалось выше, подразумевается обработка какой-либо поверхности детали при неизменном режиме. Таким образом, для каждого из шести условий обработки (количество поверхностей, помноженное на число видов материала заготовки) необходимо сформировать следующую исходную информацию:

1. *Предельные значения размеров заданных поверхностей*, определяющие диаметральные параметры детали d_d или инструмента d_i , устанавливают на базе диапазона варьирования габаритов заготовки и специфики принятого метода обработки (точение, сверление, фрезерование, шлифование и других).

2. *Предельные значения скорости V и силы P резания (или момента M)* определяют аналитическими методами либо по эмпирическим формулам, либо по общемашиностроительным нормативам. При выборе величины поправочных коэффициентов уравнений особое внимание обращают на их соответствие заданным условиям обработки. В частности, материал заготовки принимают только с учетом функционального назначения детали на основе известных рекомендаций. То же правило действует и в отношении режущего инструмента: в зависимости от физико-механических свойств материала заготовки устанавливают наиболее предпочтительный материал одной группы, например титано-кобальтовый твердый сплав. Кроме того, следует иметь в виду, что при оценке силовых возможностей большинства технологических процессов оперируют силой резания (обычно понимая под ней главную составляющую), но для некоторых методов обработки (сверление, зенкерование, развертывание) целесообразно использование крутящего момента.

3. *Вероятность реализации технологической операции* на проектируемом станке есть не что иное, как произведение частных вероятностей обработки соответственно какой-либо поверхности и одного из материалов детали. Суммарная вероятность всех условий должна равняться единице, в противном случае программой предусмотрено уточнение полученных значений.

4. *Значения коэффициентов корреляции K_1 и K_2* . Напоминаем еще раз, что первый из них учитывает связь скорости V и силы P резания с диаметральными параметрами

поверхности (т.е. для двух факторов он одинаков), а второй – между моментом M и частотой n детали или инструмента (всегда имеет отрицательное значение).

Процесс вычислений на ЭВМ носит циклический характер. На первом этапе моделируются дифференциальные функции распределений отдельных ЭХ: n , M и N с наложенными на них ограничениями. Полученные предельные значения ЭХ подлежат корректировке исходя из того, что частота вращения шпинделя должна быть согласована со стандартным рядом (см. приложение 4), а момент и эффективная мощность резания округлены до ближайших чисел. Однако при смещении границ ЭХ необходимо осознанно представлять себе последствия, которые кроются за теми или иными решениями, ведь по существу они напрямую отражаются на технологических возможностях и конструктивной сложностью привода, да и станочной системы в целом. На базе уточненных элементарных распределений строится затем общая картина распределения ЭХ, типовой вид которой показан на рис. 4.

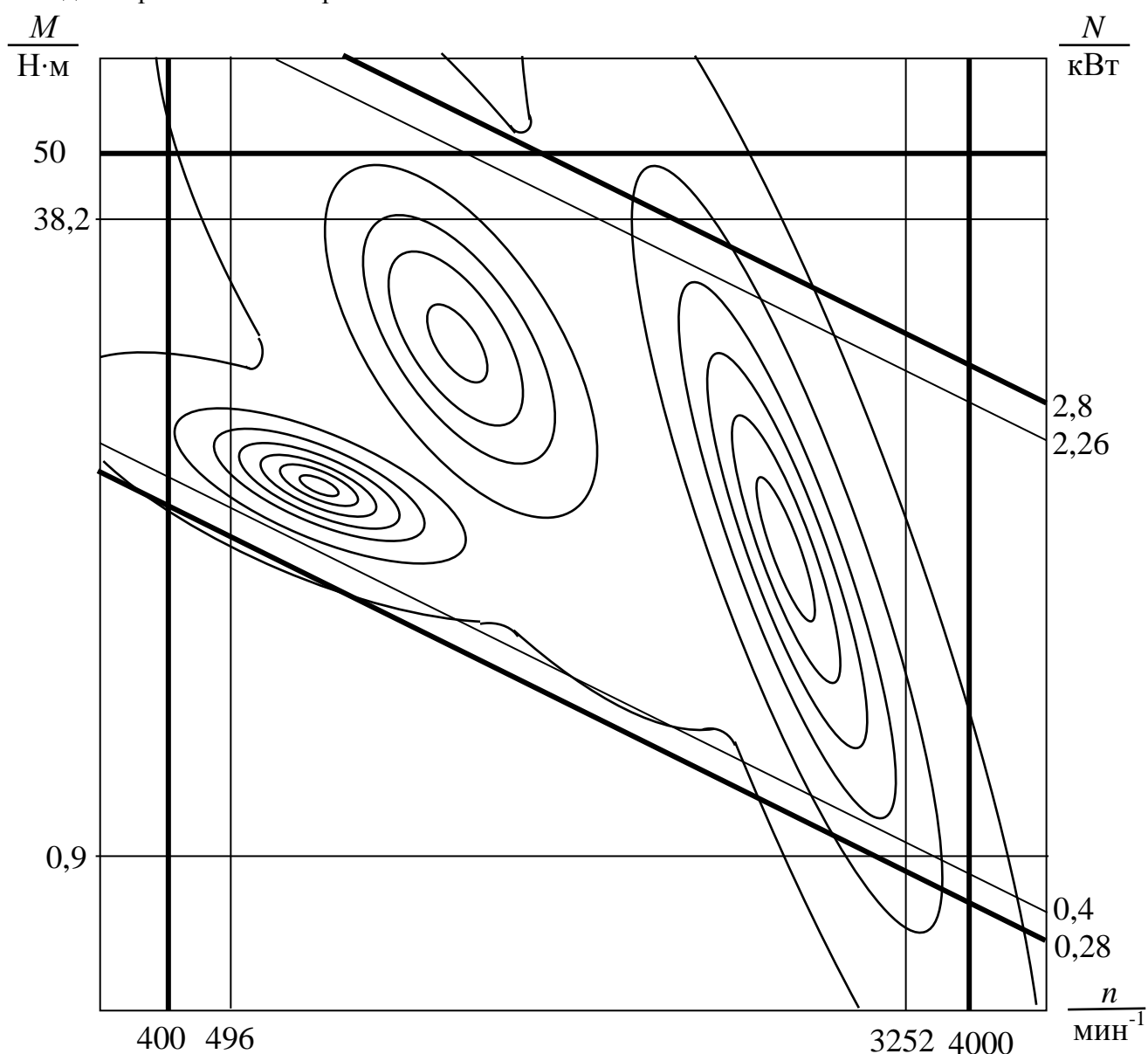


Рис.4. Картина распределения эксплуатационных характеристик ($Q=86.4\%$)

Не исключено, что полученная картина также подвергнется трансформации. Так, например, проектировщика может не удовлетворять объем работ Q , выполняемых на станке с максимальной производительностью (в процентах ко всему объему), который заключен в рамках границ ЭХ. Осуществляя корректировку на основе указанных

соображений, принимают взвешенное решение по поиску оптимальной области условий эксплуатации станка. Положения границ отдельных ЭХ на окончательном варианте картины фиксируют значения уже собственно *технических характеристик* станка.

Анализ конструкций приводов станков-аналогов

Напоминаем, что после ознакомления с комплексом требований технического задания именно с этого вопроса начинается работа над курсовым проектом **по типовой тематике**, т.е. с изучения и анализа принципа действия и конструкции привода главного движения известных на настоящий момент станков аналогичного по функциональному назначению (или прототипа). Кроме рекомендуемой литературы, желательно использовать обзоры международных станкостроительных выставок, проспекты фирм, каталоги и другие материалы.

При анализе акцентируют внимание не только на общих, схемных решениях, но и на более конкретных, определяющих специфику конструктивного исполнения изделия. В частности, следует непременно рассмотреть вопросы компоновки как оборудования, так и самого привода, а также его структуру и кинематику. Иначе говоря, анализу подвергают положение узла в станке и его координатных осей в пространстве; способ соединения корпуса коробки скоростей с элементами несущей системы; состав привода; размещение электродвигателя относительно входного вала; системы смазывания зубчатых передач, муфт, опор валов и шпинделя, а также способы настройки частоты вращения, реверса и останова последнего. Изучая конструкции элементов и механизмов приводов, выявляют применяемые в них оригинальные и типовые технические решения.

В результате комплексного анализа исходных данных к проекту и различных вариантов альтернативных решений, их сравнительной оценки с учетом конструктивных особенностей разрабатываемого и существующих узлов формируется общая концепция привода с наиболее рациональным вариантом структуры. Принятые решения в обязательном порядке следует подкреплять необходимыми схемами и рисунками.

Кинематический расчет

Цель расчета – разработка структуры привода главного движения (ПГД), распределение передаточных отношений между кинематическими группами и их оптимизация с последующим подбором числа зубьев колес и шестерен всех передач и диаметральных размеров шкивов. Завершается расчет построением наиболее рационального варианта картины частот вращения и кинематической схемы привода.

Для студентов при решении этого вопроса в качестве исходной служит информация, полученная ранее на этапах синтеза СКС станка (способ регулирования скорости главного движения) и предварительной компоновки привода, а также при обосновании ТХ (предельные значения частоты вращения шпинделя и максимальное значение эффективной мощности резания). *Для студентов, разрабатывающих привод по типовой тематике*, комплекс исходных данных, приведенных в техническом задании, несколько иной. Поэтому на начальном этапе выполнения кинематического расчета возникают некоторые нюансы.

Однако в любом случае прежде всего необходимо определить следующие недостающие исходные данные:

- 1) вычисляют *мощность привода* N_{Π} по формуле

$$N_{\Pi} = \frac{N}{\eta}, \quad (1)$$

где N – эффективная (номинальная) мощность резания, кВт; η – коэффициент полезного действия (КПД) механической части, который на стадии разработки технического предложения в зависимости от предполагаемой конструктивной сложности привода принимают равным 0,75 ... 0,85.

- 2) *диапазон регулирования привода* D_{Π} связан с максимальной – n_{\max} и минимальной

– n_{\min} частотами вращения шпинделя выражением

$$D_{\Pi} = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}. \quad (2)$$

В зависимости от наличия в исходных данных значений тех или иных характеристик привода по этой формуле и находят искомую характеристику.

Далее кинематический расчет обладает спецификой, свойственной принятому способу регулирования скорости исполнительного органа.

При **ступенчатом (дискретном) регулировании** целесообразно придерживаться такой последовательности:

1. Определяют *число ступеней скорости Z привода*

$$Z = \frac{\lg D_{\Pi}}{\lg \phi} + 1, \quad (3)$$

где *знаменатель геометрического ряда частот вращения.*

В соответствии с положениями ГОСТ 8032-84 и рекомендациями нормали станкостроения Н11-1 наиболее предпочтительными значениями знаменателя для ПГД являются 1,26; 1,41 или 1,58 [18]. В проектах по типовой тематике для станков с ручным и дистанционным управлением требуемое значение знаменателя ряда выражено в неявном виде – через допустимую потерю скорости резания δV (табл. 11).

Т а б л и ц а 11

$\delta V, \%$	10	20	30	40	50
\square	1,12	1,26	1,41	1,58	2,0

2. После анализа возможных вариантов принимают наиболее приемлемый *тип кинематической структуры* (нормальная множительная, с совпадением части ступеней скорости, с многоскоростным электродвигателем, сложенная, с двумя значениями \square или их комбинация), записывая ее в виде соответствующей *структурной формулы*. Причем последняя должна быть полной, развернутой, т.е. содержать все зубчатые и ременные передачи, включая одиночные. Данный этап расчета является весьма ответственным, ибо здесь приходится одновременно учитывать целый комплекс разнообразных факторов: $Z, \square, \square \square D_{\Pi}$, характер распределения n по графику ее результирующей функции, потребность в реверсировании исполнительного органа (зависит от особенностей технологических операций, выполняемых на станке), класс точности оборудования (отражается, например, на необходимости гашения вибраций при передаче вращения на шпиндель), компоновка привода и т.д.

При поиске оптимального решения целесообразно руководствоваться следующими рекомендациями:

- уменьшение габаритов и массы привода достигается за счет смещения групп с большим числом передач к входному валу, увеличения редукции в группах по мере их приближения к шпинделю, совпадения конструктивного и кинематического вариантов;
- применение многоскоростных электродвигателей существенно упрощает механическую часть привода;
- осевые размеры коробки скоростей можно уменьшить применением связанных колес, установкой одиночных передач между отдельными кинематическими группами, разделением тройных и четвертных блоков на части;
- энергетические потери заметно снижаются при использовании сложенных структур;
- улучшение качественных характеристик шпиндельного узла (жесткость, виброустойчивость, теплостойкость) обеспечивается при минимальном количестве зубчатых передач в конструктивно последней группе, а повышение плавности его работы – при использовании в этой роли ременной передачи;

- реверс и торможение электродвигателем ухудшают динамические характеристики привода и другое.

3. С учетом выявленных \square и Z из \square ряда предпочтительных чисел (приложение 4) выписываются *стандартные значения частот вращения шпинделя* от n_{\max} до n_{\min} . При этом возможна корректировка ранее вычисленного D_{Π} .

4. На базе принятой структурной формулы привода определяют их *характеристики*. Каждая из них, как известно, численно равна количеству ступеней скорости, полученных за счет переключения предшествующих групп.

5. Приступают к построению *картины частот вращения привода*, типовой фрагмент который показан на рис. 5. Она позволяет наглядно представлять последствия принимаемых решений и очень удобна для определения передаточных отношений i (отношение частот вращения ведомого элемента к ведущему) всех передач, поскольку при графоаналитическом методе их величина подчиняется зависимости

$$i_j = \varphi^{\pm m_j}, \quad (4)$$

где m_j – количество интервалов сетки картины, перекрываемых лучом j -й передачи, причем знак "+" отражает повышающую (мультипликация), а "-" – понижающую (редукция).

Задавая угол наклона лучей и искусственно перераспределяя количество интервалов сетки между одиночными и групповыми передачами, конструктор тем самым фиксирует не только передаточные отношения отдельных передач, но и характер их изменения для привода в целом. Очевидно, что эта процедура является многовариантной.

В то же время при построении картины учитываются известные ограничения, накладываемые на передаточные отношения зубчатых и ременных передач. Так, для прямозубых колес $0,25 \leq i_j \leq 2,0$. Тогда количество интервалов, занимаемых лучами понижающих и повышающих передач, не должно превышать предельных значений, указанных в табл. 12.

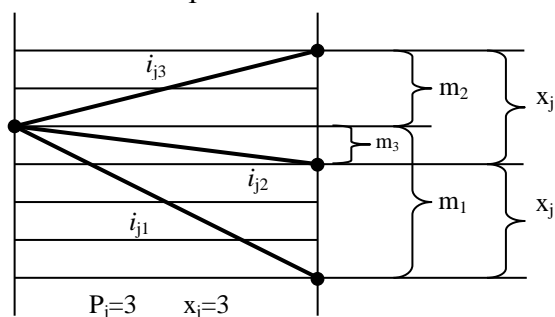


Рис. 5. Графическое изображение передач на картине частот вращения

Количество интервалов передачи	Знаменатель геометрического ряда \square				
	1,12	1,26	1,41	1,58	2,0
Понижающей	12	6	4	3	2
Повышающей	6	3	2	1,5	1

Ограничения для ременных передач различного типа и рекомендуемые параметры стандартных шкивов приведены в литературе [2, 4], но нужно помнить, что их максимальный диаметр, по крайней мере, не должен выходить за пределы габаритов привода.

Получение реальной картины без наличия конкретного источника движения, конечно же, невозможно. Однако сейчас осуществить его выбор довольно затруднительно, да и нежелательно. И вот почему. По данным каталогов на электрооборудование или другой справочной литературы, например [15], можно предварительно установить *тип одно- или многоскоростного асинхронного электродвигателя* последних модификаций пока только по такой технической характеристике, как мощность $N_{\text{д}}$. Причем по условию, которое не вызывает сомнений: $N_{\text{д}}$

$\geq N_{II}$. Что же касается выбора значения другой важной характеристики двигателя: частоты вращения ротора (вала), то этот вопрос требует дополнительной проработки.

Дело в том, что технико-экономические показатели привода в значительной мере

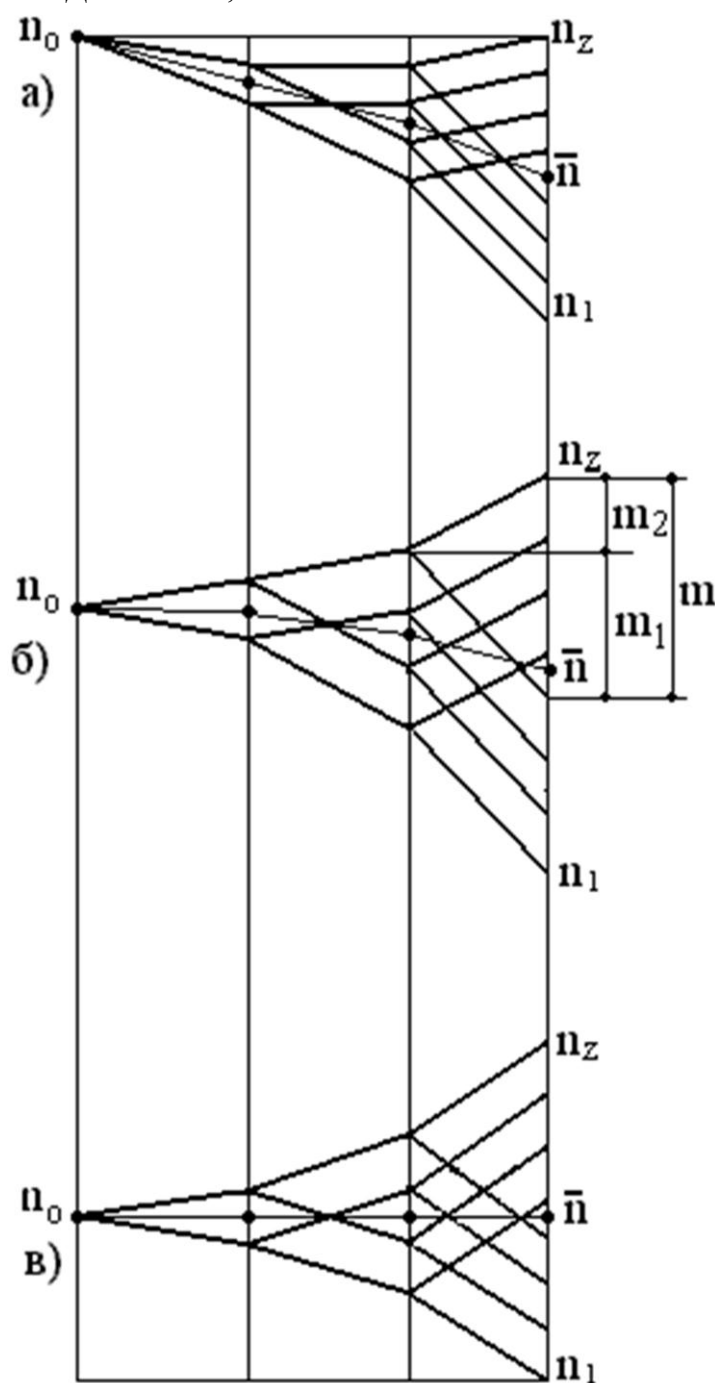


Рис. 6. Вариации картины частот вращения

зависят от соотношения частот вращения входного вала и шпинделя (рис. 6). В целом повышение частоты вращения электродвигателя приводит к увеличению его КПД и $\cos \varphi$ уменьшению габаритов и массы. Вместе с тем рост частоты вращения промежуточных валов механической части вследствие интенсификации процессов трения негативно отражается на энергетических потерях и долговечности (в том числе и за счет роста количества циклов нагружения) привода, а также уровне шума (эксперименты показывают: увеличение окружной скорости вращения зубчатых колес в два раза при прочих равных условиях сопровождается ростом уровня шума примерно на 7 децибел, что ощущается как почти двукратное его усиление). Кроме того, в этом случае минимальные передаточные отношения приближаются к своим предельно допустимым значениям, что приводит к возникновению известных проблем при конструктивном оформлении привода.

Обеспечение требуемого комплекса показателей качества механической части привода на стадии кинематического расчета достигается путем оптимизации передаточных отношений групп передач. В общем случае последние выбирают таким

образом, чтобы линия $n_0 n$, соединяющая середины интервалов частот вращения на выходе групп, была близка к прямой.

Наиболее применяемый на практике вариант картины при условии сопоставимости частоты вращения электродвигателя и максимальной частоты вращения шпинделя показан на рис. 6, а.

Оптимальным соотношением редукции к мультипликации обладает структура, изображенная на рис. 6, б. Она получается тогда, когда понижающие передачи перекрывают две трети диапазона каждой кинематической группы ($m_1 = 2/3m$), а

повышающие соответственно оставшуюся треть – $m_2 = 1/3m$. Такой вариант улучшает условия зацепления зубьев шестерен, обеспечивая довольно низкий уровень шума и вибраций. Для него также характерно, пусть и монотонное, но все же нарастание максимальной частоты вращения валов.

Картина с симметричным расположением передач в группе (рис. 6, в) свойственна приводу с максимальной степенью унификации зубчатых колес. При одинаковом модуле в трех рассматриваемых вариантах данный обладает наименьшими радиальными габаритами. В то же время очевидно, что здесь все передачи "загоняются" в область низких частот и соответственно больших крутящих моментов со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Таким образом, в результате сравнительного анализа и оценки альтернативных вариантов картин частот вращения привода на основе изложенных соображений, отдавая приоритет тому или другому технико-экономическому показателю, либо пытаясь совместить требования по ряду критериев, и устанавливают наиболее рациональное значение второй характеристики электродвигателя: *асинхронной* частоты вращения n_d .

Методика кинематического расчета при **плавном (бесступенчатом) регулировании** скорости выглядит несколько иначе:

1. В первую очередь на основе имеющейся на данный момент исходной информации осуществляют мотивированный выбор *способа регулирования скорости* рабочего органа привода и *типа устройства для его реализации*. Этот вопрос является чрезвычайно важным и принципиальным для студентов с конструкторской специализацией, поскольку качество его решения во многом предопределяет не только конструктивное исполнение привода, но и технологические возможности оборудования в целом.

Как известно, в ПГД металлорежущих станков используются два способа: *механический* и *электрический*. Первый осуществляется при помощи *фрикционных вариаторов* в паре с нерегулируемым асинхронным электродвигателем, а второй – *двигателями постоянного тока* или *асинхронными с частотным регулированием*. Каждый из них имеет достоинства и недостатки, а, следовательно, и сферу применения.

Среди основных технических характеристик вариаторов и двигателей наибольший интерес представляют две: мощность N_d и диапазон бесступенчатого регулирования скорости при условии обеспечения ее постоянства D_{BN} .

Фрикционные вариаторы поддерживают стабильность мощности, хотя и на довольно низком уровне, во всем рабочем диапазоне, но обладают вследствие скольжения при перегрузках нежесткой механической характеристикой, а также узким диапазоном регулирования $D_B = D_{BN}$, величина которого обычно не выходит за пределы значений 4...6. В настоящее время эти устройства достаточно редко используют в ПГД станков малого и среднего типоразмера.

В электродвигателях постоянного тока и асинхронных обычно применяется так называемое двухзонное регулирование скорости: от нуля до номинальной частоты $n_{дном}$ вращение вала осуществляется с передачей постоянного крутящего момента (диапазон D_{DM}), а далее – до максимальной частоты $n_{дmax}$ – с обеспечением постоянства мощности (диапазон $D_{DN} = D_{BN}$). Двигатели способны развивать большую мощность, однако характер ее изменения, предельные значения D_{DN} и D_{DM} существенным образом зависят как от их типа, так и режима работы. Они нашли наибольшее распространение в приводах станков с ЧПУ.

Типовой вид зависимости мощности от частоты вращения (так называемая нагрузочная или механическая характеристика) на разных режимах работы асинхронного двигателя приведен на рис. 7. Здесь необходимо обратить внимание на следующие обстоятельства. У этого типа двигателей на практике чаще всего используются два основных режима функционирования: непрерывный, т.е. без пауз (кривая 1), и повторно-кратковременный – с периодическим отключением разной длительности (кривая 2).

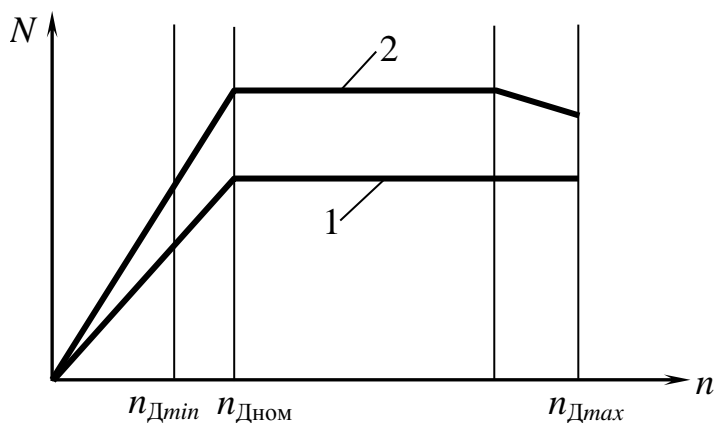


Рис. 7 Нагрузочная характеристика двигателя

Как видно из рисунка, режим работы двигателя очень сильно влияет не только на максимально развиваемый им уровень мощности $N_{\text{д}}$, но и на диапазон поддержания ее стабильных значений – $D_{\text{дN}}$. В частности, при больших нагрузках в режиме чередования пуска-останова у некоторых моделей после достижения значения максимальной частоты вращения с $N_{\text{д}} = \text{const}$ на характеристике наблюдается спад мощности разной крутизны.

Следует отметить, что при выборе электродвигателя с выполнением неременного условия $N_{\text{д}} \geq N_{\text{п}}$ использование при курсовом проектировании всей величины диапазона $D_{\text{дN}}$ характеристики вовсе не обязательно.

Шпиндельные узлы современных многоцелевых токарных станков с ЧПУ, как правило, помимо главного вращательного обеспечивают также движение подачи и установочное перемещение. Поэтому приводы главного движения таких станков целесообразно оснащать электродвигателями постоянного тока, обладающими перед асинхронными одним несомненным преимуществом: значительно большим $D_{\text{дM}}$. По виду их механическая характеристика аналогична характеристике асинхронного двигателя при непрерывном режиме функционирования (зависимость 1).

Выбор типовой конструкции фрикционных вариаторов по данным специальной литературы при наличии технических требований затруднений обычно не вызывает. Что же касается электрического способа регулирования, то в соответствии с тенденцией развития станкостроения рекомендуется применение различных моделей асинхронных электродвигателей передовых отечественных и зарубежных фирм, например “SIMENS” или “FANUK”, оснащенных стандартным комплектом преобразовательной и управляющей аппаратуры. То же относится и к двигателям постоянного тока, выбор которых следует производить либо по специализированным каталогам, либо по данным учебной литературы, например.

В процессе принятия решения по выбору той или иной модели двигателя необходимо тщательно проанализировать по каталогу их технические характеристики и в первую очередь нагрузочную.

2. Определяют число ступеней скорости механической части привода по выражению

$$Z = \frac{\lg D_{\text{ПН}}}{\lg D_{\text{дN}}}, \quad (5)$$

где $D_{\text{ПН}}$ - диапазон регулирования привода при постоянной мощности.

На основе полученного значения Z неизбежно приходится рассматривать такую альтернативу. При округлении его до ближайшего целого числа в большую сторону осознанно закладывается перекрытие части диапазона регулирования привода: некоторые частоты вращения валов и шпинделя будут дублироваться по разным кинематическим цепям. В противном случае (при округлении в меньшую сторону) заранее программируется разрыв. Однако это совсем не означает, что в некотором интервале частот вращение шпинделя не обеспечивается: оно осуществляется, но с передачей постоянного момента. Хотя подобный прием довольно часто используется в ПГД станков с ЧПУ (упрощается конструкция механической части), следует помнить, что наличие

разрыва свидетельствует о потере производительности обработки в соответствующем интервале частот диапазона регулирования.

Принятие того или иного решения обусловлено спецификой выполняемых на станке технологических операций, *отражением которой для студентов является характер результирующей функции распределения частоты вращения, полученной при обосновании ТХ*. Фактическую величину перекрытия или разрыва можно вычислить после определения передаточных отношений передач привода, в то же время нужно иметь в виду, что относительное снижение мощности в месте разрыва не должно превышать 20%.

3. Составляют развернутую структурную формулу привода. Учитывая, что число ступеней скорости механической части привода невелико (обычно не более четырех), в качестве структуры чаще всего используют нормальную множительную или сложенную.

4. Находят передаточные отношения передач. В кинематических структурах с плавным регулированием скорости для этой цели применяют, как правило, аналитический метод, тогда картина частот вращения играет чисто иллюстративную роль. Однако ради упрощения задачи более предпочтительным, на наш взгляд, является использование комбинации аналитического и графоаналитического методов. Привлечение эффекта наглядности позволяет быстро и адекватно оценить результаты принимаемых решений.

При оформлении картины сетку желательно наносить с малым шагом, например $\square \square = 1,12$ или $1,26$. Применение стандартного ряда дает возможность зафиксировать установленные предельные значения частот вращения двигателя и шпинделя, а в дальнейшем и промежуточных валов.

Сначала вычисляют минимальное передаточное отношение I_{\min} привода

$$I_{\min} = \frac{n_{\min}}{n_{\text{Дном}}} = \prod_{j=1}^k i_j, \quad (6)$$

где k – количество передач кинематической цепи с наибольшей редукцией.

Затем полученное численное значение I_{\min} искусственно разбивают на сомножители, величина каждого из которых и отражает конкретное значение передаточного отношения соответствующих понижающих одиночных и групповых передач кинематической цепи (количество этих передач, естественно, равно k). Причем на первом этапе целесообразно задавать предельные минимальные значения зубчатых и ременных передач. Если их произведение будет больше I_{\min} , то структурную формулу корректируют, вводя

дополнительно необходимое количество одиночных передач. Для облегчения процедуры можно воспользоваться стандартными значениями передаточных отношений для зубчатых передач (см. приложение 5). Далее придерживаются тех же основных правил, которые действуют применительно к структурам с дискретным регулированием скорости, остается в силе и рекомендация о характере линии $\bar{n}_0 \bar{n}$ (рис. 8). При построении картины перераспределяют передаточные отношения между передачами, получая таким образом окончательный вариант.

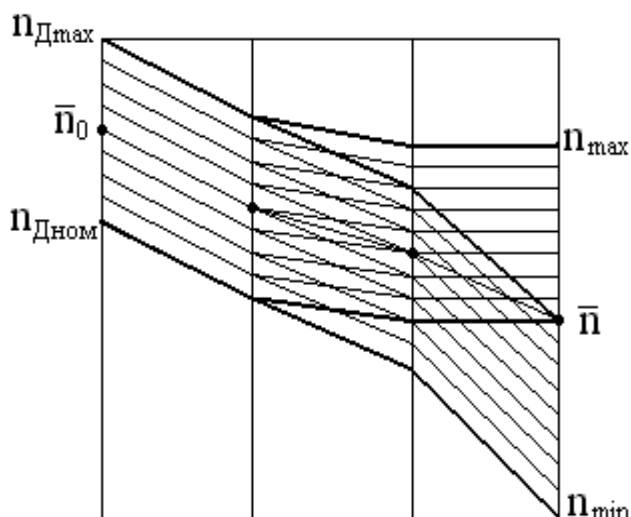


Рис. 8. Картина частот вращения с плавным регулированием скорости.

Обращаем особое внимание на такие важные моменты. В кинематических структурах с плавным

регулированием обычно используют электродвигатели, максимальная частота вращения которых заметно превышает соответствующую характеристику привода. А это может

привести к очень большой редукции привода, из-за чего передаточные отношения понижающих и повышающих передач достигают предельных значений. В этом случае одним из наиболее рациональных выходов из создавшейся ситуации является применение (помимо получения большей редукции за счет введения одиночных передач) такой разновидности сложенной структуры, когда каждая передача группы разбивается на две, но, естественно, с меньшим передаточным отношением. Именно такой вариант и показан на рисунке. Известные сложности возникают и при использовании в качестве элементов системы управления приводом электромагнитных и гидравлических многодисковых фрикционных муфт, габариты которых должны соотноситься с диаметральными размерами зубчатых колес. Вот это крайне важное обстоятельство необходимо обязательно учитывать при выборе соответствующих передаточных отношений передач.

После определения передаточных отношений находят *числа зубьев колес и шестерен*, а также *диаметральные размеры шкивов ременной передачи*. Первые параметры обычно подбирают по специальным таблицам (см. приложение 5) или рассчитывают аналитическим методом. При *неизменном модуле* всех передач любой группы процедура подбора осуществляется по критерию обеспечения *постоянства суммы зубьев*. Сумму зубьев рекомендуется принимать в пределах 72...108 с увеличением ее значения по мере приближения к шпинделю. Причем минимальное число зубьев отдельных шестерен желательно ограничить значением $z_{\min} \geq 20$.

По окончании данной операции производят *коррекцию передаточного отношения постоянной передачи*. С этой целью составляют *ряд уравнений кинематического баланса привода* для тех частот вращения шпинделя, которые обеспечиваются передачами с приближенными значениями передаточного отношения, например $30/42 \approx 1/1,41$. По ним и находят среднюю величину передаточного отношения постоянной передачи. Затем любым из приближенных методов (табличным, непрерывных дробей и другими) устанавливают числа зубьев или диаметры шкивов этой передачи. При выборе диаметров шкивов следует руководствоваться стандартами [2, 4]. При наличии двух и более постоянных передач полученное среднее значение передаточного отношения разбивают на части, используя метод разложения на простые сомножители.

В приводах с дискретным регулированием скорости после определения *фактических частот вращения шпинделя* $n_{\text{ДФ}}$ вычисляют их *относительные погрешности* δn_j , выраженные в процентах, которые затем сравнивают с допустимыми на основе зависимости

$$\delta n_j = \frac{(n_j - n_{\text{ДФ}})}{n_j} \leq \pm 10(\varphi - 1). \quad (7)$$

Данный вид расчета целесообразно выполнять в табличной форме. В случае нарушения ограничения (7) необходимо уточнить параметры передач. Как правило, это осуществляется путем изменения сумм зубьев в группах или за счет углового корригирования отдельных передач. Последний прием позволяет не выдерживать условие $\sum z_j = const$.

Завершается кинематический расчет построением окончательного варианта картины частот вращения и разработкой кинематической схемы привода, пример оформления, которых приведен на рис. 9.

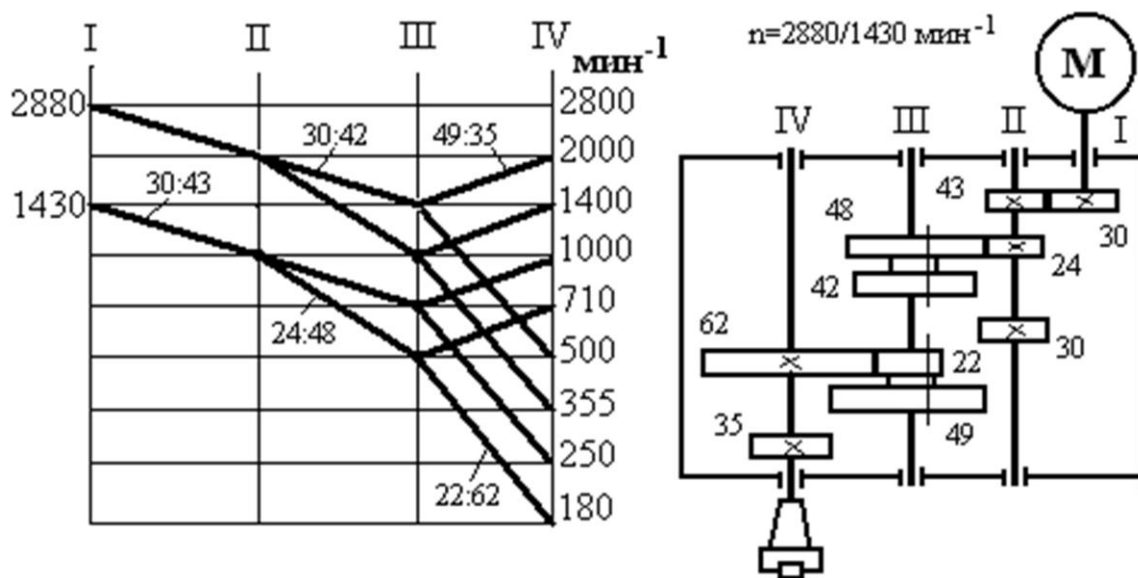


Рис. 9. Картина частот вращения и кинематическая схема привода

Расчетно-пояснительная записка

Оформление записки в целом должно соответствовать требованиям ЕСКД (ГОСТ 2.105), но с учетом специфики учебного проекта.

Текст излагается на одной стороне белой писчей бумаги формата А4 (210x297). Он может быть написан от руки четким и разборчивым почерком черными, синими или фиолетовыми чернилами (порядка 28...30 строк на странице) или выполняться печатным способом через полтора интервала шрифтом Times New Roman с высотой букв, цифр и других знаков не менее 1,8 мм (кегель не менее 12). От кромки листа до границ текста оставляют поля: слева - 30 мм, справа - 10 мм, сверху и снизу - 20 мм.

Страницы пояснительной записки нумеруют только после того, как работа полностью скомпонована и в нее внесены необходимые исправления. Применяют сквозная нумерация страниц, включая список использованных источников и приложения. Номер проставляют арабскими цифрами в центре нижней части листа без точки. Титульный лист и задание на проектирование являются соответственно первой и второй страницами. На них номера не проставляют. Если в записке содержатся рисунки и таблицы, вынесенные на отдельные страницы (даже когда они располагаются на листе формата А3 – 297x420 мм), то их включают в общую нумерацию как одну страницу.

На основе структуры основной части ее содержание разбивают на разделы, подразделы и пункты, которые должны иметь порядковые номера. Разделы нумеруются в пределах всей записки арабскими цифрами без точки. Введение, список использованных источников и приложения не нумеруются. Подразделы (а также их более мелкие части – пункты) нумеруются арабскими цифрами в пределах каждого раздела (или подраздела)

двумя (или тремя) цифрами, разделенными точкой. В конце номера подраздела (пункта) точка не ставится, например 1.1, 1.2 (соответственно 1.1.1, 1.1.2).

Наименования (заголовки) разделов, подразделов и пунктов рекомендуется формулировать как можно более краткими. Заголовок раздела печатают или пишут с абзацным отступом прописными буквами, а подразделов и пунктов - строчными (кроме заглавной) без точки в конце, не подчеркивая. Если заголовок состоит из двух предложений, то их разделяют точкой. Переносы слов не допускаются. Расстояние между заголовком и последующим текстом должно быть не менее 15 мм, а между заголовками раздела, подраздела и пункта – 10 мм. Не допускается помещать заголовки отдельно от текста: на странице, где он приводится, размещается не менее двух строк. Расстояние между заголовком и предыдущим текстом – 15...20 мм. При этом каждый раздел целесообразно начинать с новой страницы.

Все принципиальные решения обязательно подкрепляют иллюстрациями, которым относятся схемы, эскизы, диаграммы, графики, фотографии и прочее. Любой вид иллюстраций именуют рисунками, которые могут располагаться как по тексту работы, так и в конце ее, в приложении. Иллюстрации подлежат нумерации, а в случае необходимости им присваивают и наименование. Иногда их также снабжают поясняющей надписью (подрисуночным текстом). В этой надписи, в частности, производится расшифровка составных частей изделия, которые обозначены на схемах арабскими цифрами в виде позиций. Номер рисунка состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Пример обозначения: "Рисунок 2.1 – Расчетная схема шпинделя". Иллюстрациям каждого приложения записки присваивают отдельную нумерацию арабскими цифрами с добавлением перед ними обозначения приложения, например – "Рисунок А.3". Слово "рисунок" и его наименование располагают после подрисуночной надписи иллюстрации по середине строки. При малом количестве рисунков можно вводить их сквозную нумерацию. Иллюстрации изображают в записке непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, либо на следующей странице и размещают так, чтобы их было удобно рассматривать без поворота работы или с разворотом по часовой стрелке. Рисунки выполняют черной пастой или посредством компьютерной печати, в том числе цветной, в произвольном масштабе. Основные требования – наглядность, выразительность, ясность. При оформлении графических зависимостей надписи, обозначающие отложенные по осям координат параметры, располагают строкой параллельно оси. Масштабные цифры, нанесенные на оси, ставят вне контура. В надписи указывают название отложенной величины, а на уровне концов осей проставляют обозначение величины и ее размерность. Наименования, приводимые в тексте и на иллюстрациях, должны быть идентичны. При ссылках на иллюстрации следует писать так – "...в соответствии с рисунком 3.4". В том случае, когда описывается конструкция и принцип действия сложного механизма, в тексте записки допускается делать ссылку на графическую часть проекта с указанием номера листа и позиций деталей.

Цифровой материал в тексте записки представляют в виде таблиц. Нумерация таблиц – арабскими цифрами в пределах раздела. Номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой, например "Таблица 1.2". Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения, например "Таблица В.1". Слово "Таблица" пишут с прописной буквы без сокращений в левом верхнем углу над таблицей без знака "№" и без абзацного отступа. Ее название следует помещать в одной строке со словом "Таблица" через тире. Заголовок таблицы пишут с прописной буквы в единственном числе, не подчеркивая. Заголовки строк и граф пишут с прописной буквы, а подзаголовки – со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком. Подзаголовки, имеющие самостоятельное значение, пишут с прописной буквы. В конце заголовков и подзаголовков знаки препинания не ставят. Если строки или графы выходят

за формат листа, таблицы делят на части, которые обычно переносят на другие страницы или помещают на одном листе рядом, или одну над другой. При переносе таблицы с большим количеством строк и граф над ней помещают слова "Продолжение таблицы" с указанием ее номера. Таблицы, как и иллюстрации, располагают так, чтобы их можно было читать без поворота или с поворотом по часовой стрелке. Графу "№" не включают. Таблицу размещают после первого упоминания о ней в тексте или на следующей странице. В ней должны быть указаны единицы измерения всех параметров. Если в таблице повторяющийся текст состоит из одного слова, его допускается заменять кавычками, если из двух и более слов, то при первом повторении его заменяют словами "То же", а далее кавычками. При ссылке в тексте следует писать слово "таблица" с указанием ее номера. Размер шрифта допускается применять меньший, чем в тексте.

Формулы нумеруют аналогично иллюстрациям. Номер помещают на правой стороне листа в круглых скобках, например: (5.7). Выше и ниже каждой формулы оставляют не менее одной свободной строки. После формулы записывают перечень всех символов и числовых коэффициентов с расшифровкой их значения и указанием размерности. Начинают расшифровку с запятой после формулы и слова "где" с новой строки. Затем записывают символ, ставят знак "тире", приводят текст расшифровки символа и его размерность с запятой между ними. Значение каждого символа дают с новой строки в той последовательности, в которой они приведены в формуле. При малом количестве уравнений можно вводить их сквозную нумерацию. Ссылки на формулу делают по типу: "В уравнении (3. 5)..."

При выполнении расчетов на ЭВМ в записку после необходимых схем в обязательном порядке помещают распечатку с исходными данными и результатами вычислений.

В тексте записки не допускается сокращать слова, кроме общепринятых, и обозначений единиц измерения, когда их употребляют без цифр; использовать математические знаки "больше", "меньше" и т.п., а также знаки номера и процента.

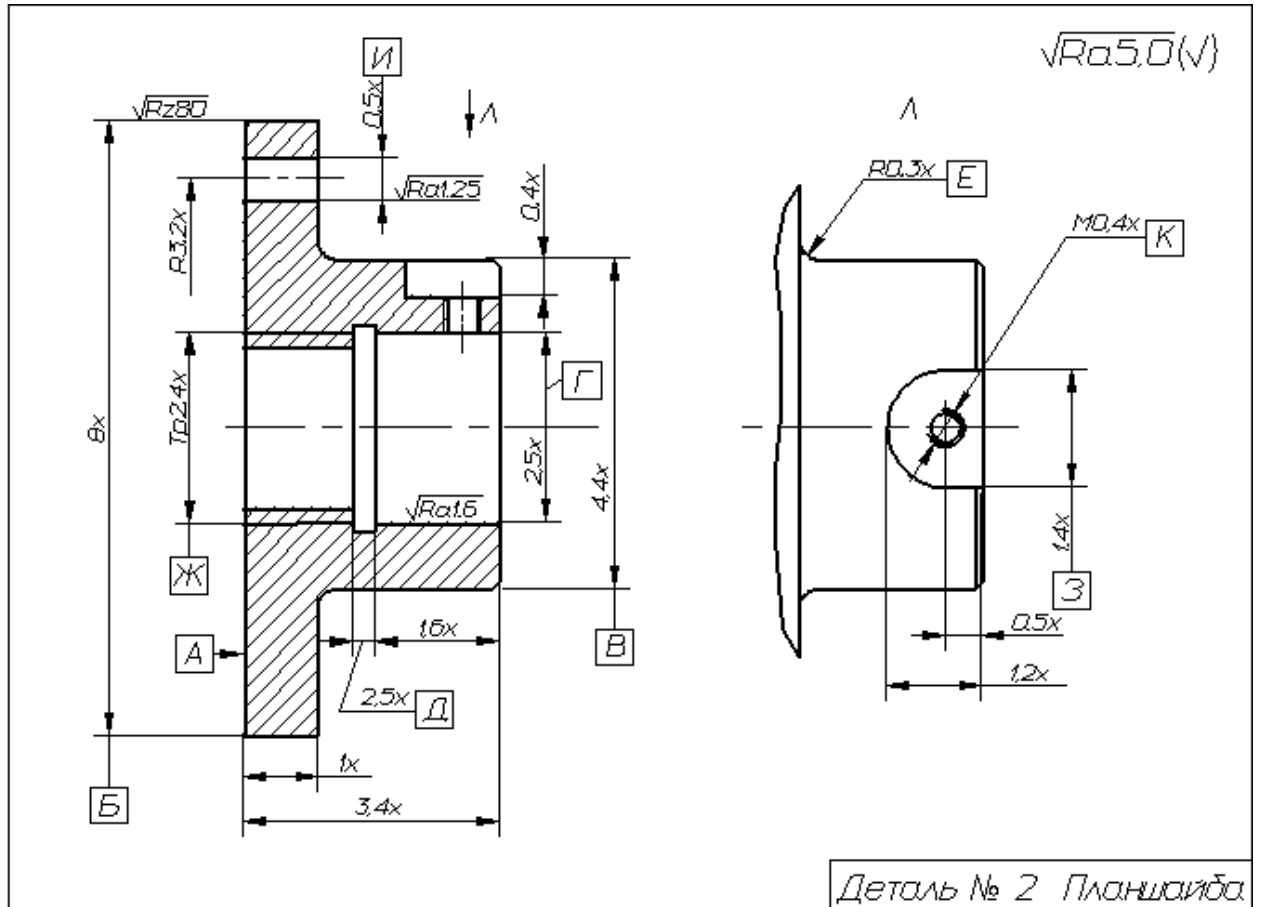
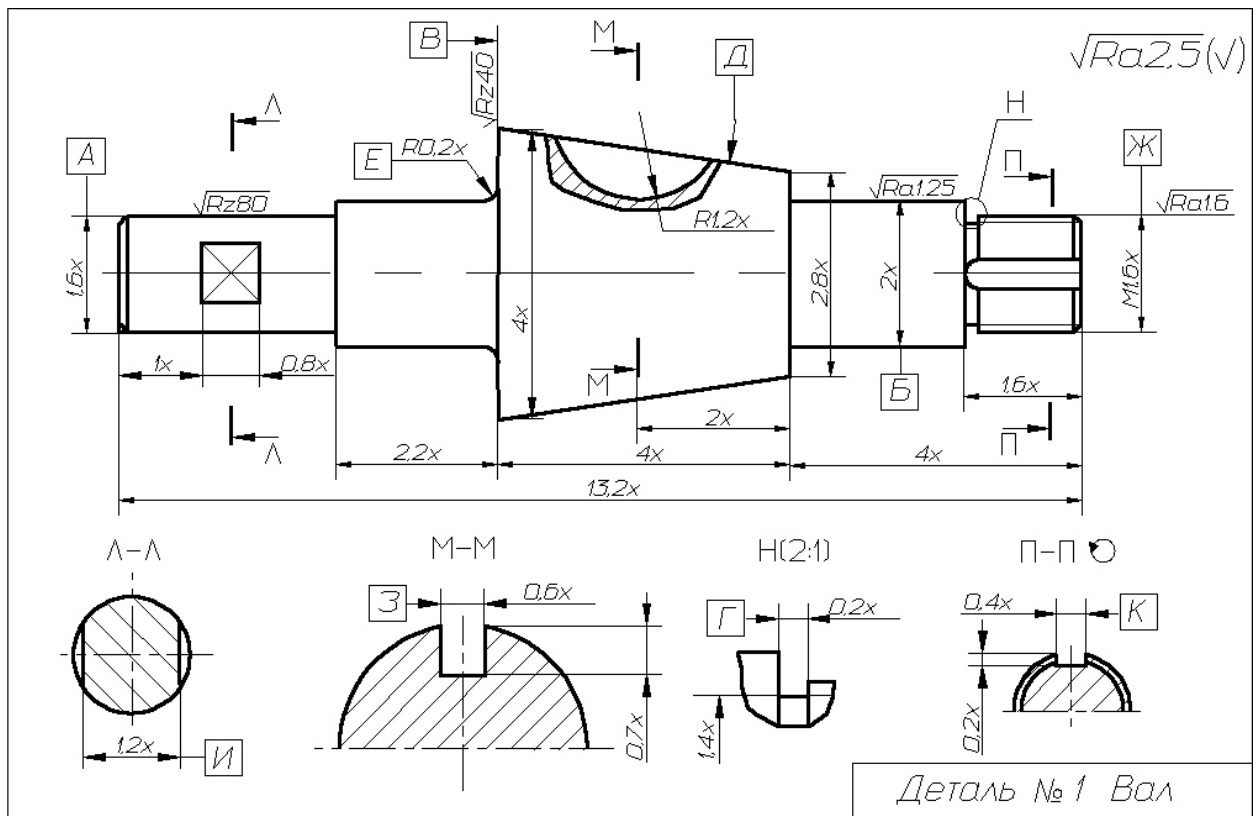
Список использованных источников приводится автором в конце пояснительной записки перед приложением. Заголовок списка размещают симметрично тексту прописными буквами. Сведения об источниках оформляют в соответствии с правилами библиографического описания на основе требований ГОСТ 7.1. Их нумеруют арабскими цифрами без точки, пишут (печатают) с абзацного отступа и располагают в списке в следующей последовательности: сначала нормативно-техническая документация, а далее все остальные источники в порядке появления ссылок в тексте записки. Последние следует приводить в квадратных скобках.

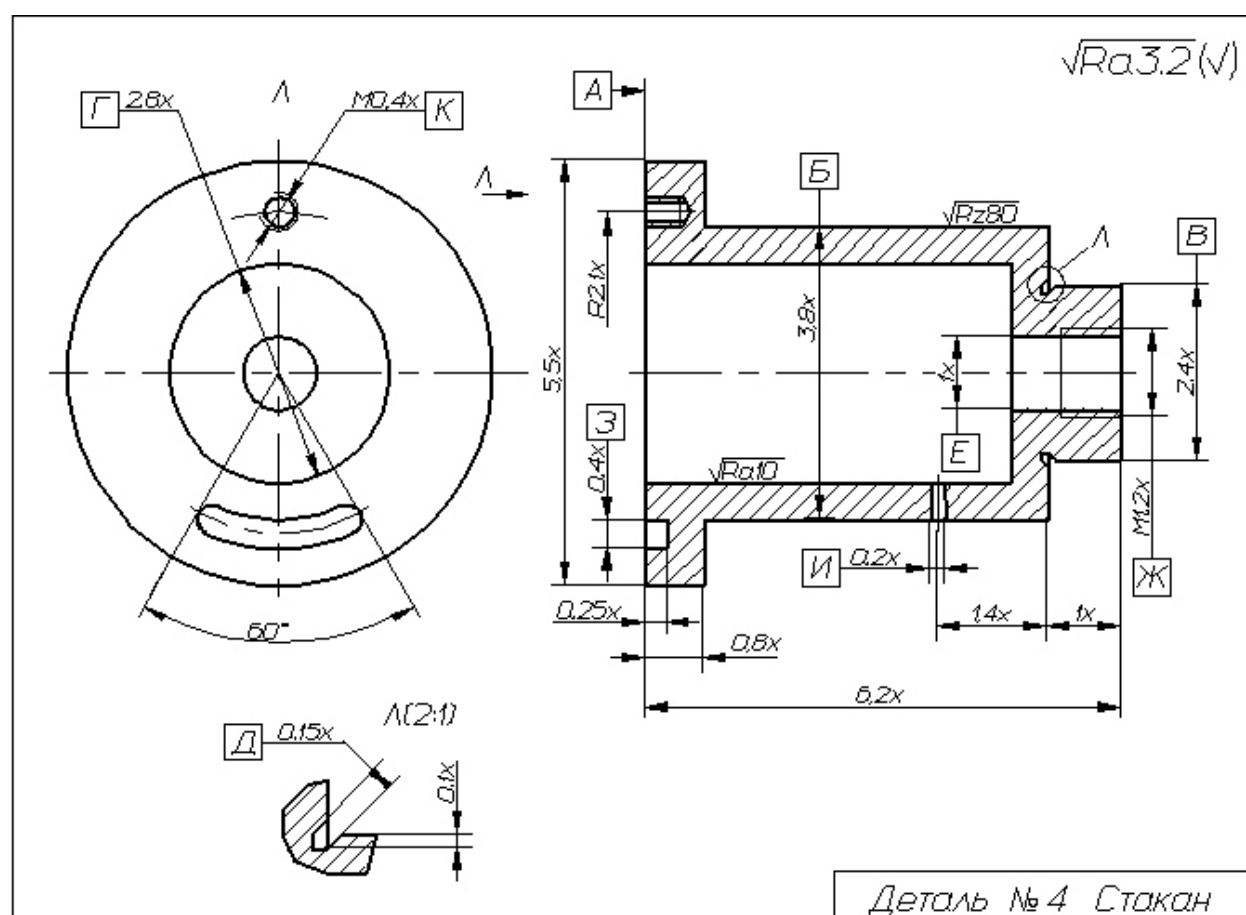
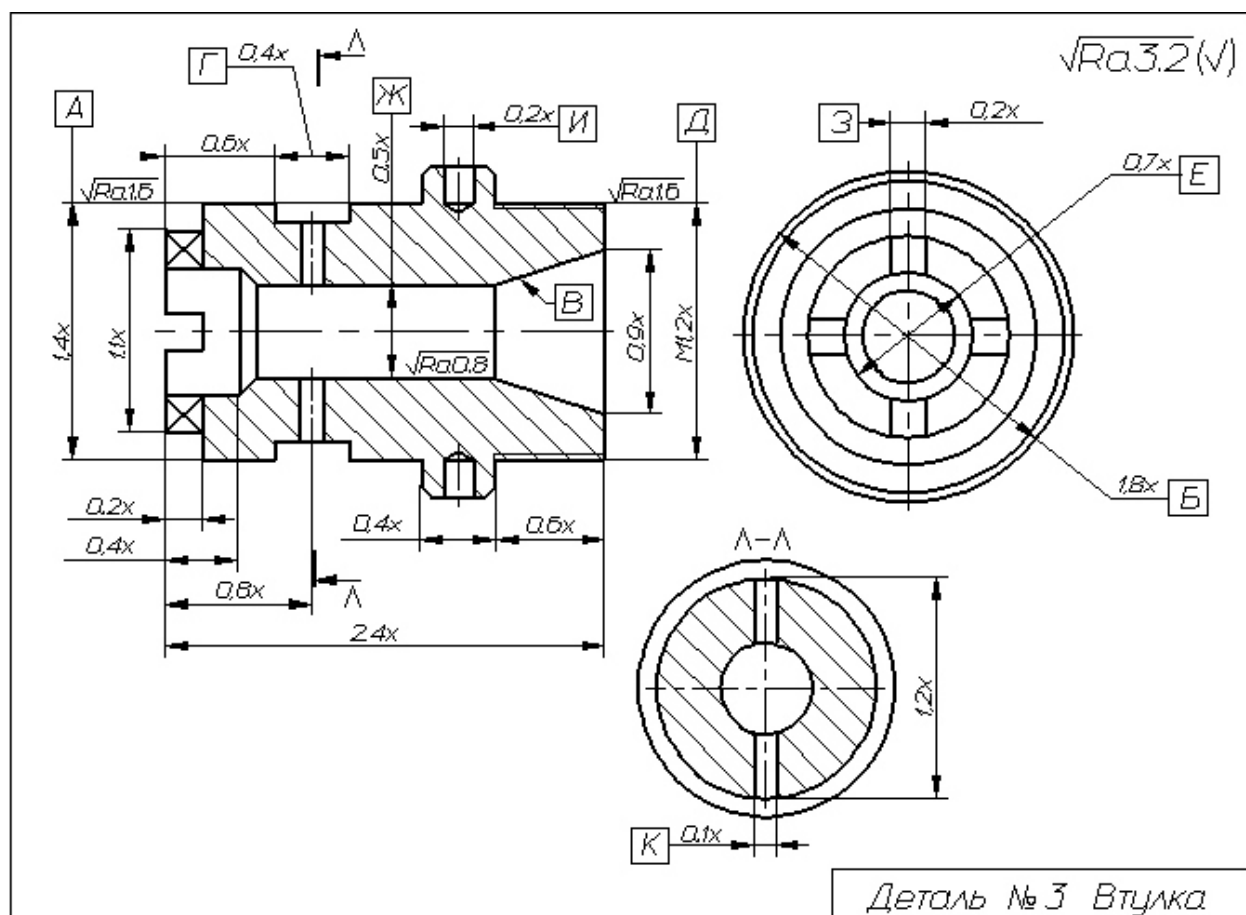
Приложения служат для выделения вспомогательного материала, который загромождает основной текст. Их располагают в порядке появления ссылок в тексте основных разделов. Каждое приложение начинают с новой страницы с записью посередине страницы сверху слова "Приложение" и его обозначения. Для обозначения используют заглавные буквы русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Е, З, И, О, Ч, Ь, Ы и Ъ. Если в работе только одно приложение, оно записывается так – "Приложение А". Каждое приложение должно иметь тематический заголовок, располагаемый симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

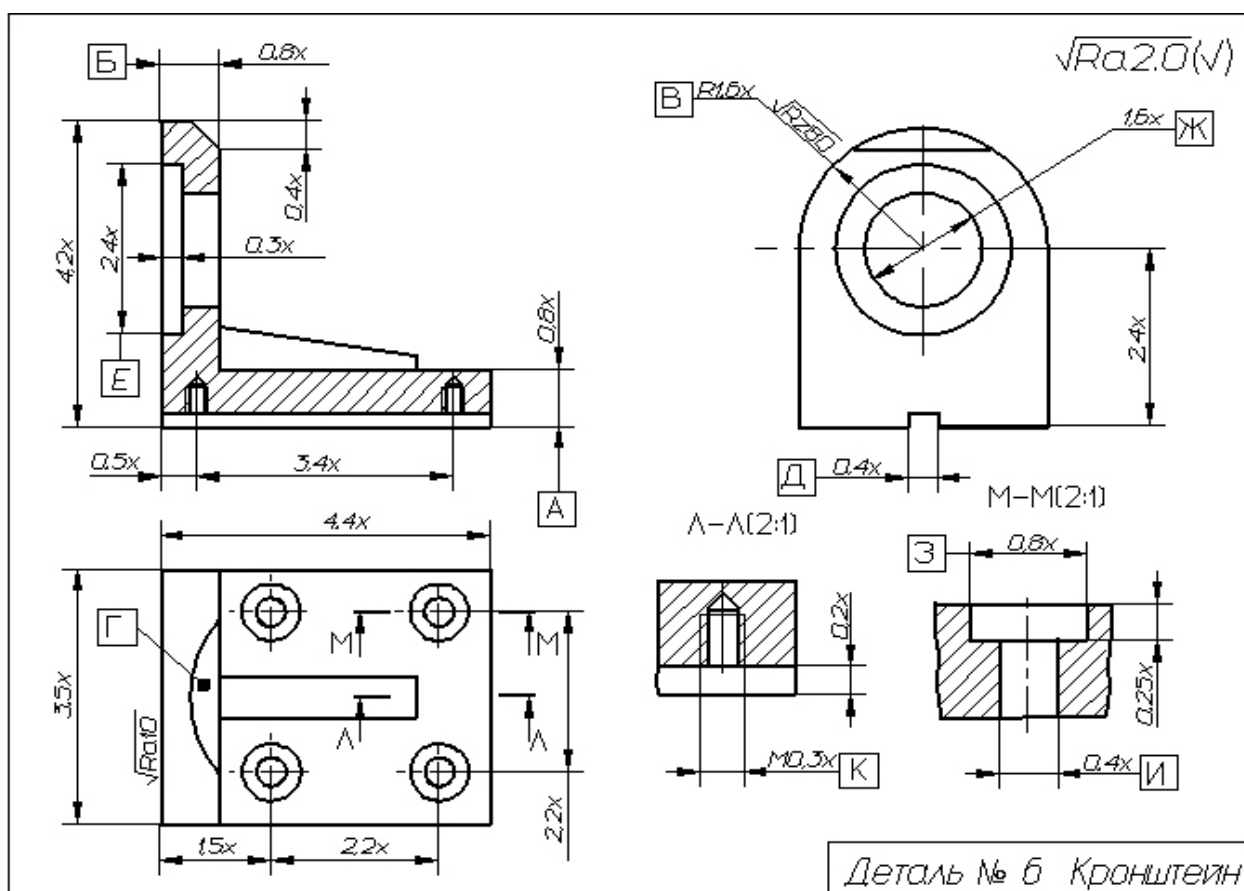
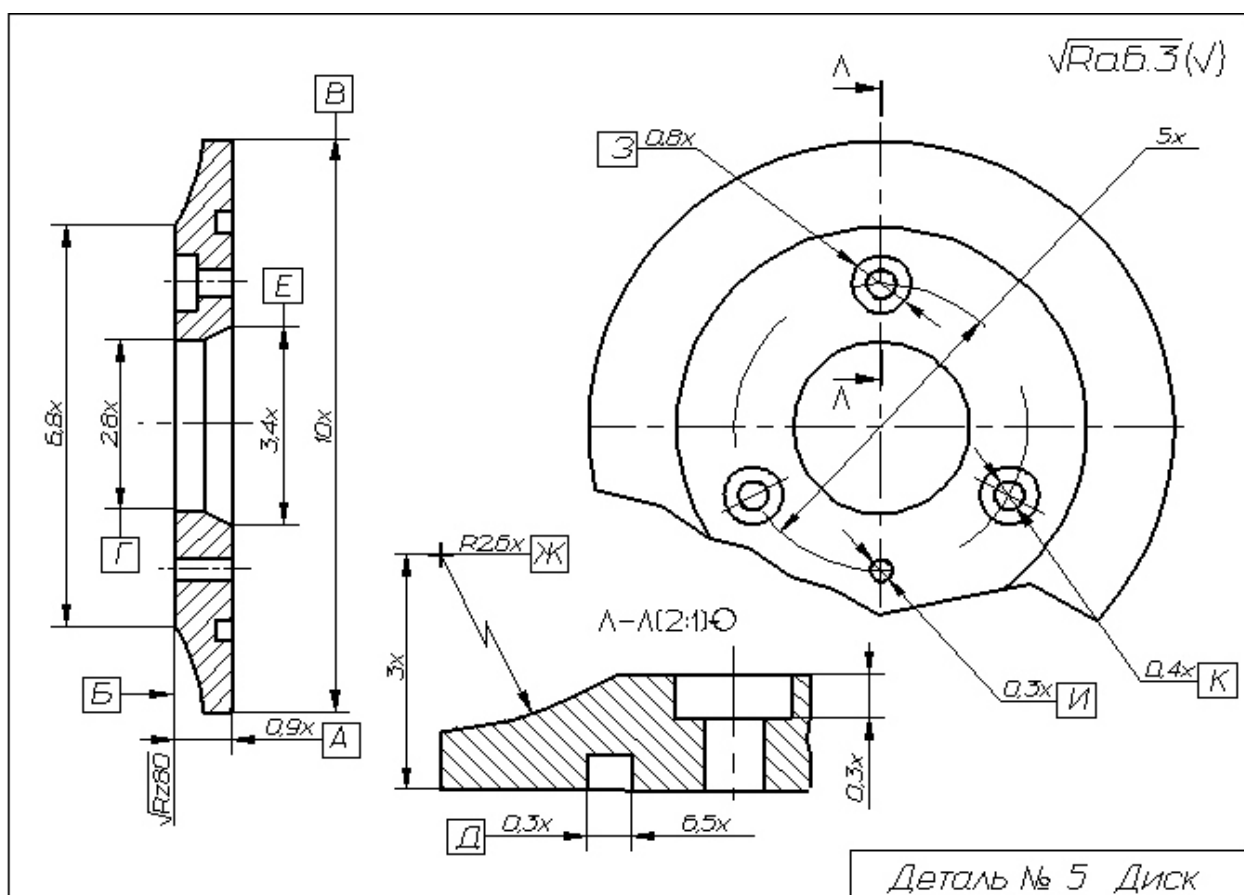
Графическая часть

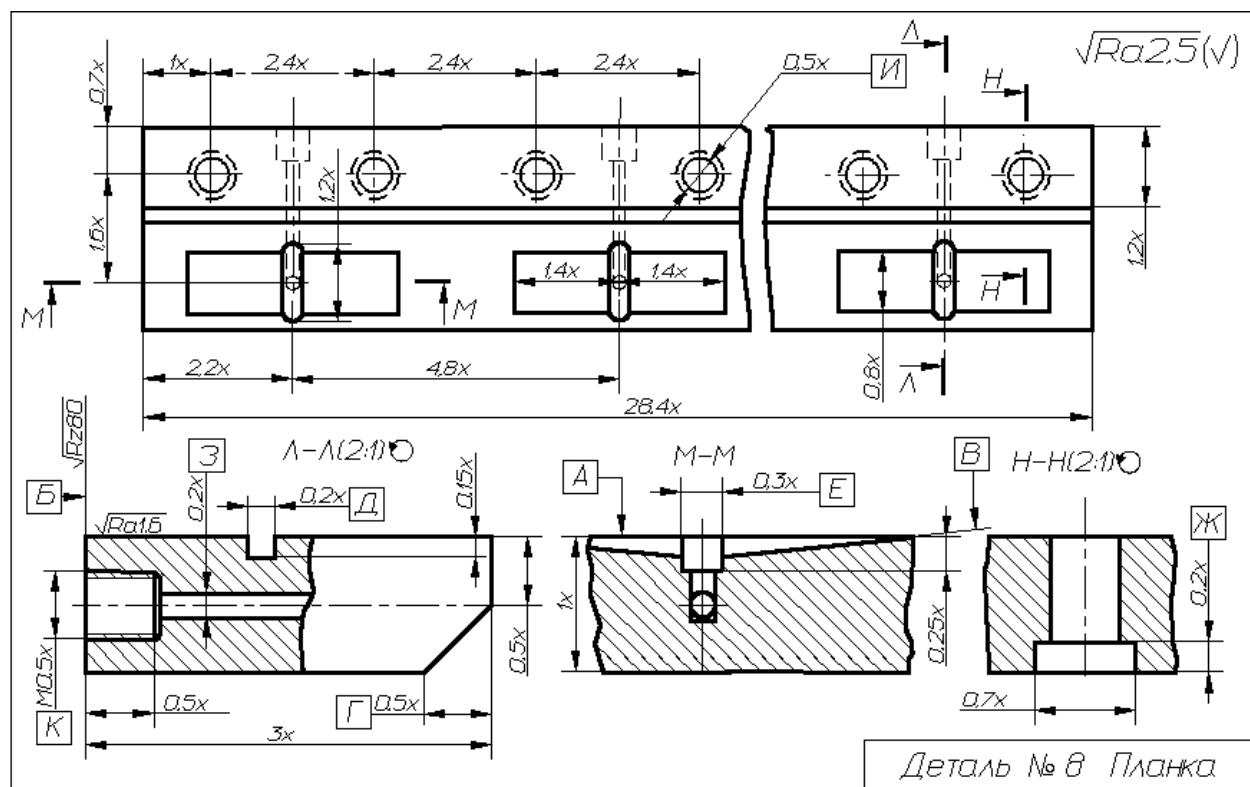
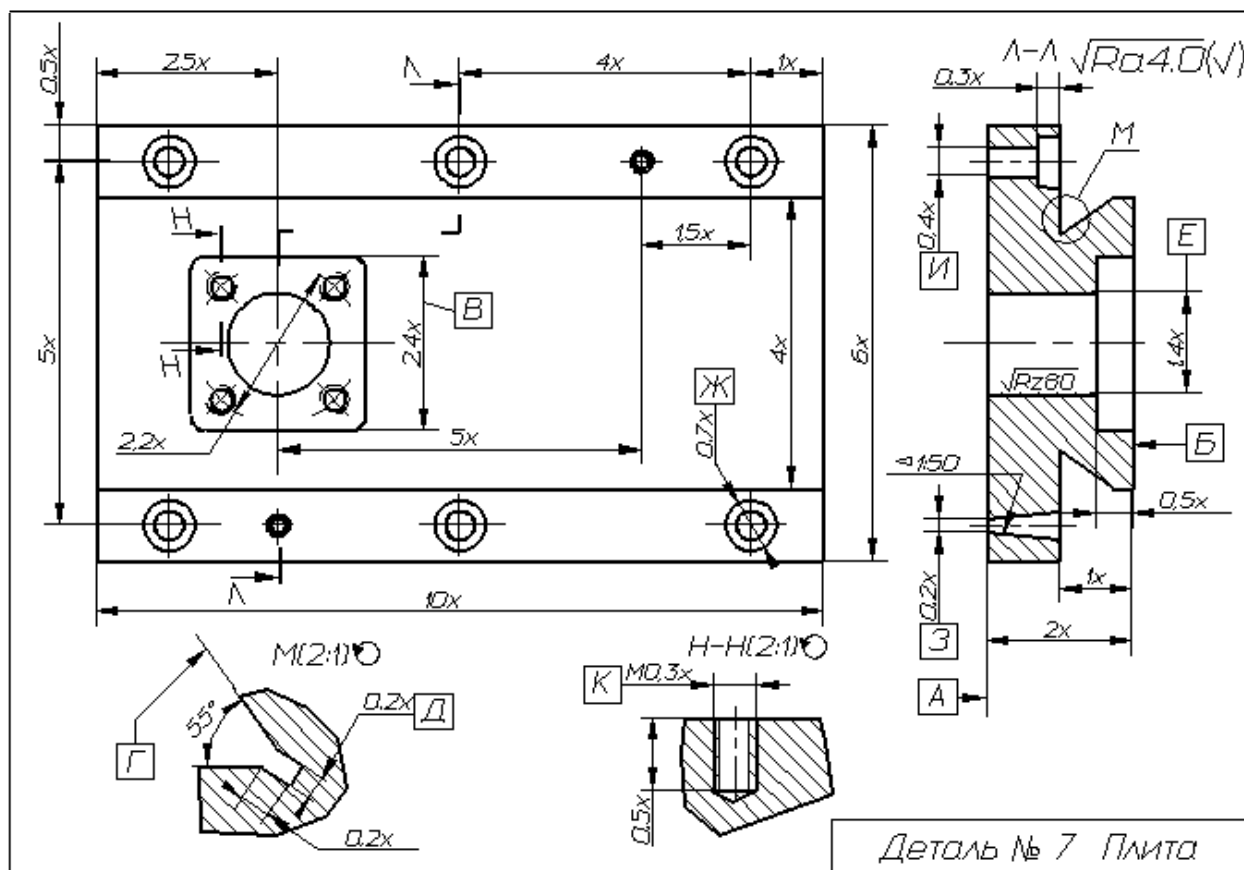
Разработку общей концепции оборудования осуществляют в виде технического предложения. Графическая часть здесь представляется на уровне схемных решений и другого иллюстративного материала, оформленных в соответствии с правилами ГОСТ 2.118.

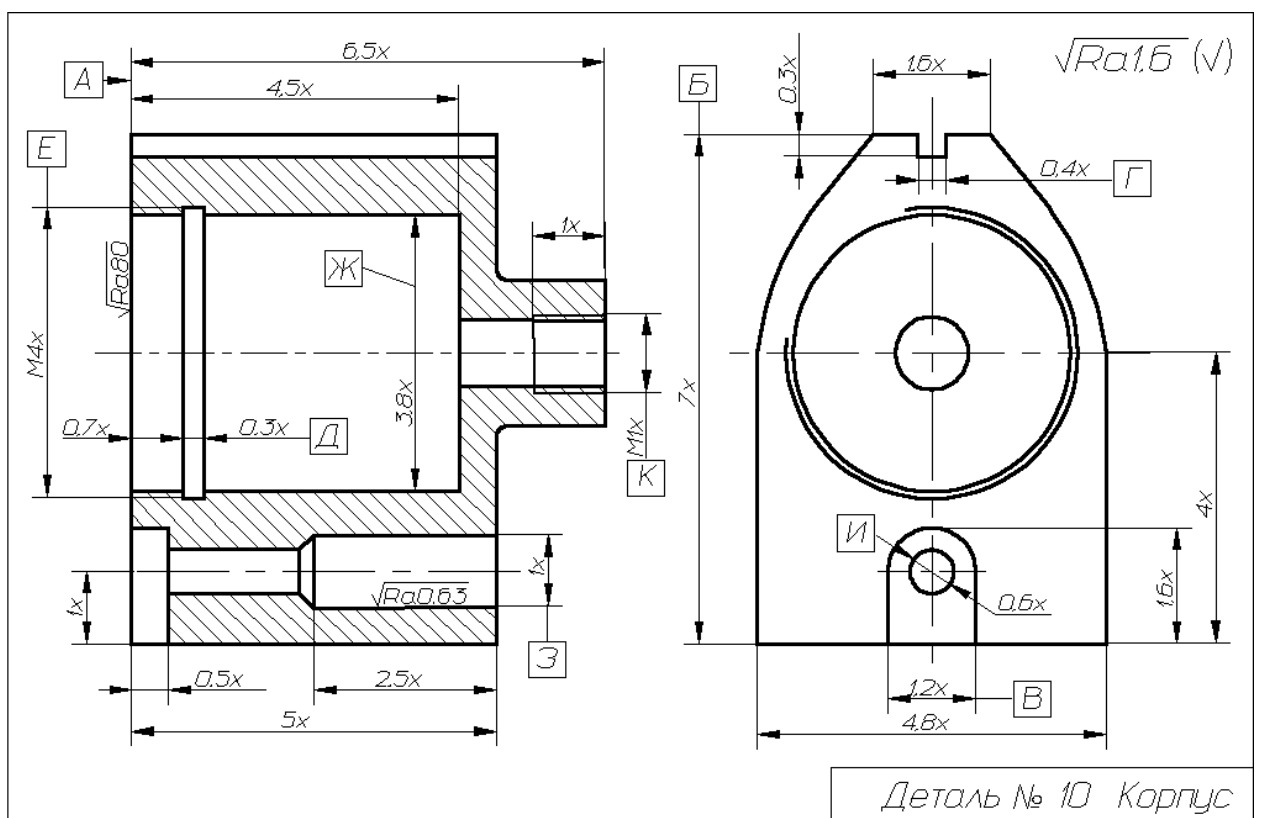
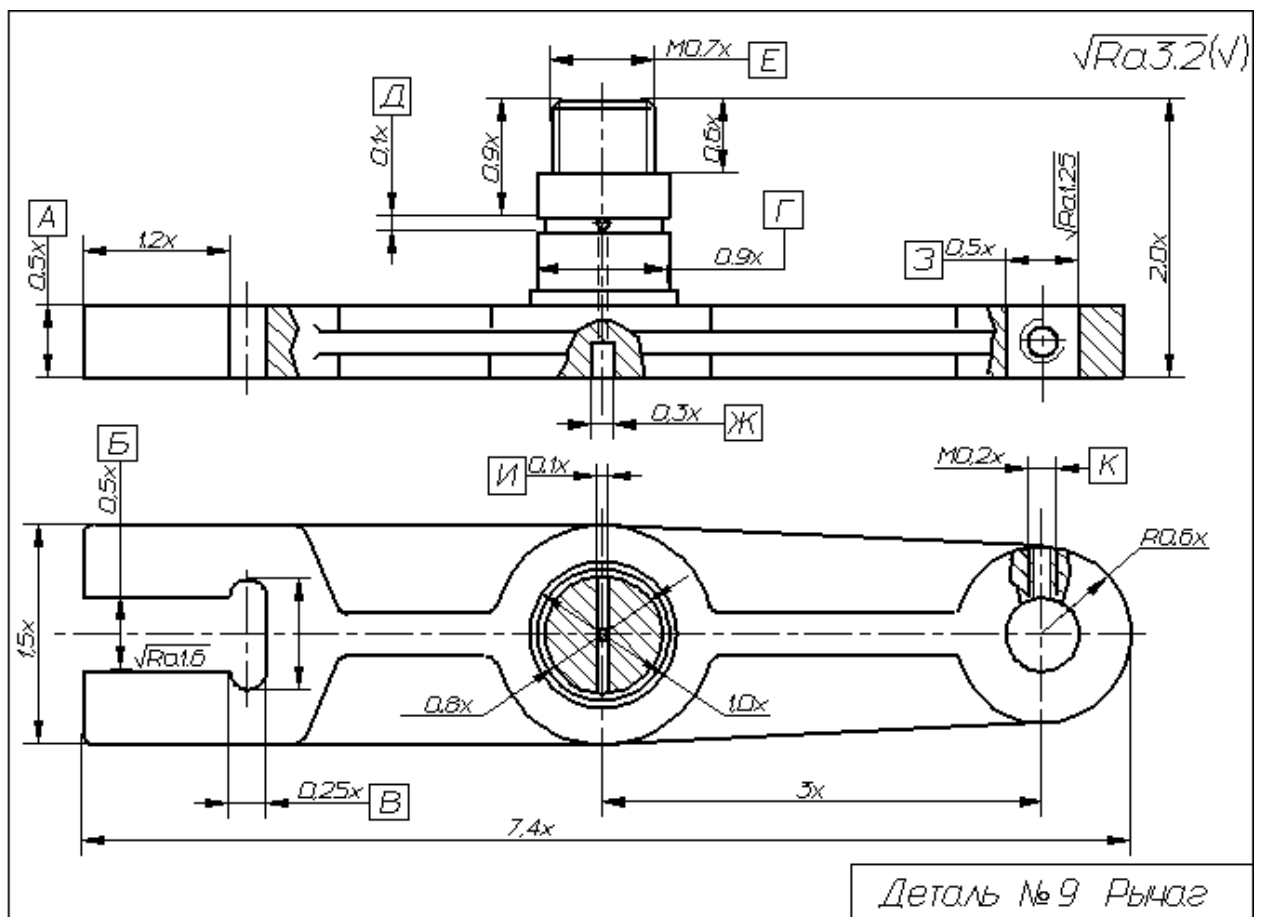
Детали-представители











5. Перечень вопросов к защите курсового проекта (работы).

1. Основные показатели качества металлообрабатывающего оборудования.
2. Показатели качества, характеризующие производительность станков. Факторы, влияющие на производительность.
3. Показатели качества, характеризующие надежность станков.
4. Показатели качества, характеризующие безотказность и долговечность станков. Основные пути повышения надежности.
5. Факторы, влияющие на температурные деформации шпиндельных узлов (ШУ). Основные пути повышения теплостойкости ШУ.
6. Энергетический баланс привода главного движения (ПГД) станков.
7. Причины возникновения геометрических погрешностей станков и пути их уменьшения.
8. Причины возникновения кинематических погрешностей и пути их снижения.
9. Жесткость станочных систем и пути ее повышения.
10. Структура КПД привода главного движения станков и пути его повышения.
11. Показатели качества, характеризующие гибкость станочных систем.
12. Факторы, определяющие виброустойчивость ШУ, и пути повышения устойчивости ШУ к внешним воздействиям.
13. Пути повышения технологичности конструкций.
14. Структура погрешностей (ошибок) станочного оборудования и причины их появления.
15. Суть графоаналитического метода расчета передаточных отношений передач привода на примере нормальной множительной структуры.
16. Требования, предъявляемые к шпиндельным узлам (ШУ).
17. Материалы, методы и способы упрочнения ШУ.
18. Способы смазывания опор ШУ и валов. Критерии применения.
19. Выборка зазоров и создание натяга в опорах ШУ. Общие положения.
20. Конструктивные варианты выборки зазоров и создания натяга в опорах ШУ.
21. Область применения и принцип работы гидростатических опор (на примере радиальных опор), достоинства и недостатки.
22. Область применения и принцип работы упорных гидростатических подшипников, достоинства и недостатки.
23. Факторы, определяющие несущую способность и жесткость гидростатических опор.
24. Область применения и принцип работы гидродинамических подшипников, достоинства и недостатки.
25. Факторы, определяющие несущую способность и жесткость гидродинамических опор.
26. Область применения и принцип работы аэроостатических опор. Факторы, определяющие несущую способность и жесткость опор.
27. Достоинства и недостатки активных магнитных опор, область применения.
28. Методики расчёта радиальной и осевой точности вращения ШУ.
29. Методики расчёта радиальной и осевой жесткости ШУ.
30. Специфика расчёта и конструирования зубчатых колес, валов и опор в станкостроении.
31. Структуры привода подач.
32. Геометрическая форма направляющих скольжения, достоинства и недостатки.
33. Материал направляющих смешанного трения.
34. Защитные устройства направляющих смешанного трения.
35. Сущность методики расчёта направляющих смешанного трения на износостойкость.

36. Сущность методики расчёта направляющих смешанного трения на жесткость.
37. Дать сравнительную оценку направляющим скольжения и качения.
38. Классификация направляющих качения по характеру движения тел качения, достоинства и недостатки.
39. Способы создания натяга в направляющих качения.
40. Материал направляющих качения. Устройства защиты и смазывания.
41. Методика расчёта направляющих качения на контактную прочность.
42. Методика расчёта направляющих качения на жесткость.
43. Конструктивные особенности комбинированных направляющих. Область применения.
44. Область применения и принцип действия гидродинамических направляющих. Факторы, определяющие несущую способность направляющих.
45. Область применения и принцип действия гидростатических направляющих. Факторы, определяющие жесткость направляющих.
46. Геометрическая форма направляющих кругового движения. Достоинства и недостатки.
47. Требования, предъявляемые к тяговым устройствам привода подач.
48. Достоинства и недостатки передачи винт-гайка скольжения.
49. Способы регулировки передачи винт-гайка скольжения.
50. Характерные особенности передачи винт-гайка качения.
51. Способы решения проблемы фрикционных автоколебаний в приводе подач.
52. Термодинамический привод.
53. Магнитострикционный привод.
54. Упруго-силовой привод.
55. Способы смазывания зубчатых передач и муфт. Достоинства и недостатки.
56. Методика расчета и подбор аппаратуры системы смазывания привода главного движения.
57. Конструктивные особенности систем с ручным управлением. Достоинства и недостатки.
58. Конструктивные особенности систем управления на базе электромагнитных и гидравлических фрикционных муфт. Достоинства и недостатки.
59. Специфика проектирования корпусов коробок скоростей и подач.
60. Требования, предъявляемые к элементам несущей системы станка, их конструктивные формы и материалы.

Паспорт заданий для выполнения практических работ

по дисциплине «Расчет и конструирование станочного оборудования», 2 семестр

1. Методика оценки

Для защиты практических работ студентам предлагается выполнить следующий типовый набор заданий: Практическая работа № 1 и 2: «Расчёт шпиндельного узла на точность и жесткость» и «Типовые конструкции шпиндельных узлов и приводов главного движения и подач станков»; Практические работы № 3: «Конструирование основных элементов коробки скоростей». Распределение заданий практических занятий по проверяемым компетенциям указано в таблице «Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины».

Выставление оценок на практическом занятии осуществляется на основе выполнения и защиты одного типового задания. Защита практической работы в соответствии с уровнем знаний: "удовлетворительно" – 3,33-5,66 баллов; "хорошо" – 5,67-7,9 балла; "отлично" – 8-10 баллов. Максимальное количество баллов, которые можно заработать за выполнение и защиту трех практических работ составляет 30 баллов.

2. Критерии оценки

Работа считается не выполненной, если студент не освоил практический и теоретический материалы; оценка составляет менее 3,33 баллов.

*Работа считается выполненной на **пороговом уровне***, если студент освоил практический материал, но не смог обобщить теоретический материал; оценка составляет 3,33-5,66 баллов.

*Работа считается выполненной на **базовом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, допустил несколько ошибок при определении параметров математической модели, привёл не достаточно чёткую аргументацию своих действий и выводов, оценка составляет 5,67-7,9 баллов.

*Работа считается выполненной на **продвинутом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, привёл достаточно чёткую аргументацию своих действий при построении математической модели, оценка составляет 8-10 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за практические занятия учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Если в результате сдачи зачета студент не набирает 10 баллов или с учетом сдачи зачета его суммарный рейтинг (оценка на зачете + **ОЦЕНКА ЗА ВЫПОЛНЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ** + оценка за выполнение и защиту кп) не превышает 49 баллов, ему выставляется оценка "неудовлетворительно" (FX) с возможностью пересдачи.

При пересдаче экзамена студент имеет возможность получить оценку не выше E ("удовлетворительно").

Студент имеет возможность получить дополнительно до 20 баллов при выполнении работ, не предусмотренных основной программой освоения курса. Данные виды работ согласуются с преподавателем. Одним из вариантов дополнительной работы может быть выполнение расчётно-графической работы по заданной преподавателем тематике.

Итоговая оценка по дисциплине выставляется согласно таблице

Таблица

98-100	93-97	90-92	87-89	83-86	80-82	77-79	73-76	70-72	67-69	63-66	60-62	50-59	25-49	0-24
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	D-	E	FX	F
отлично				хорошо				удовлетворительно					неудовлетворительно	
зачтено													не зачтено	

4. Перечень практических работ

Практические работы № 1 и 2 «Расчёт шпиндельного узла на точность и жесткость» и «Типовые конструкции шпиндельных узлов и приводов главного движения и подачи станков»

Задание:

На первом практическом занятии выдается комплект исходных данных: 1) Нагрузочные характеристики привода главного движения станка (табл. 1-6); 2) Чертеж шпиндельного узла станка (рис. 1). На каждом занятии студенты (индивидуально и в группе) осуществляют поэтапные вычисления, необходимые для проектирования привода главного движения станка.

В качестве объекта проектирования предлагаются станки с ручным и дистанционным управлением – блок исходных данных приведен в табл. 1 – 3 или станки с числовым программным управлением (ЧПУ) – комплекс данных табл. 4 – 6. В первом случае речь идет о разработке привода с дискретным (ступенчатым) регулированием скорости исполнительного органа (шпинделя), во втором – привода с плавным (бесступенчатым) регулированием.

Вариант задания формируется на основе цифрового трехразрядного кода, устанавливаемого руководителем курсового проектирования. В частности, при шифре 754 необходимо выписать данные седьмой колонки табл. 1 (или 4), а из табл. 2 (или 5) и табл. 3 (или 6) – соответственно пятого и четвертого столбцов.

Кратко прокомментируем принятые в заданиях условные обозначения.

Табл. 1 и 4 содержат информацию о типоразмере и классе точности станка, варианте компоновки привода главного движения, а также о значении одной из эксплуатационных характеристик последнего – эффективной (номинальной) мощности на шпинделе. Заданием предусмотрено проектирование унифицированного привода с главным вращательным движением рабочего органа для двух наиболее распространенных типов металлообрабатывающего оборудования: токарного – Т и фрезерного – Ф. Основным размерным параметром для токарных станков является максимальный диаметр обрабатываемой детали над станиной, а для фрезерных – ширина стола. С учетом функционального назначения и компоновки привода, которая определяет расположение направляющих элементов несущей системы металлорежущего оборудования или положение оси шпинделя в пространстве, универсальные токарные станки подразделяются на патронные – ТП и центровые – ТЦ. Соответственно для многоцелевых токарных станков с ЧПУ, а также фрезерного оборудования предусмотрено наклонное – ТН, вертикальное – ТВ и ВФ и горизонтальное – ГФ исполнение привода. В общем случае проектированию подлежат приводы станков трех классов точности: нормального – Н, повышенного – П и высокого – В.

Т а б л и ц а 1

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип станка	ТП	ВФ	ТЦ	ГФ	ТП	ВФ	ТЦ	ГФ	ТП	ВФ
Основной параметр станка, мм	160	320	200	400	250	160	400	200	320	250
Эффективная мощность на шпинделе, кВт	1,8	6,0	2,4	8,8	3,2	2,4	6,0	3,2	4,6	4,2
Класс точности станка	В	П	П	Н	В	П	П	Н	Н	В

Т а б л и ц а 2

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Максимальная частота вращения, 10^3 мин^{-1}	4,0	2,5	2,5	4,0	2,8	1,4	2,0	1,6	3,2	2,0
Общий диапазон регулирования скорости	16	25	12,5	14	45	11,2	22,4	10	20	31,5
Диапазон регулирования скорости $N=\text{const}$ с	5,6	16	5	10	22,4	4	11,2	6,3	8	12,5
Допустимая потеря скорости резания, %	30	40	20	40	50*	30	30	40	40*	20

Т а б л и ц а 3

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Система управления приводом	Д	Р	Д	Р	Д	Р	Д	Р	Р	Д
Технический ресурс привода, 10^3 ч	20	14	11,2	10	16	17,5	12	18	12,5	15
Режим нагружения привода $\bar{N}/N_{\text{ном}}$	Л	Т	С	Л	Т	С	С	Т	С	Л
Система смазывания привода	Ц	И	Ц	И	Ц	И	Ц	И	И	Ц

Т а б л и ц а 4

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип станка	ТН	ВФ	ТН	ГФ	ТВ	ВФ	ТВ	ГФ	ТН	ВФ
Основной параметр станка, мм	500	320	400	250	500	400	400	200	320	250
Эффективная мощность на шпинделе, кВт	14	8	3	12	6	16	10	4	6,8	5
Класс точности станка	П	В	В	П	В	П	П	В	В	П

Т а б л и ц а 5

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Максимальная частота вращения, 10^3 мин^{-1}	5,0	2,8	4,5	3,2	2,0	5,6	2,5	6,0	4,0	3,6
Общий диапазон регулирования скорости	110	65	80	100	85	90	75	60	120	70
Диапазон регулирования скорости $N=\text{const}$	40	12,5	24	28	20	32	10	8	36	16
Вид электропривода	П	А	А	П	А	П	П	А	А	П

Т а б л и ц а 6

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Система управления приводом	Г	Э	Э	Г	Э	Г	Э	Г	Г	Э
Технический ресурс привода, 10^3 ч	20	14	11,2	10	16	17,5	12	18	12,5	15
Режим нагружения привода $\bar{N}/N_{\text{ном}}$	Л	Т	С	Л	Т	С	С	Т	С	Л

Оставшиеся таблицы включают сведения о скоростных возможностях, режиме работы привода и особенностях конструктивного исполнения его отдельных систем.

Общий диапазон регулирования отражает отношение максимальной частоты вращения шпинделя к минимальной. Диапазон регулирования с постоянной мощностью позволяет найти значение так называемой расчетной частоты вращения привода. Допустимая потеря скорости резания предопределяет величину знаменателя ϕ геометрического ряда частот вращения привода с дискретным регулированием, причем значение потери скорости, отмеченное звездочкой, присуще большему ϕ (структура привода с двумя знаменателями ряда). Для станков с плавным регулированием его величина, как известно, равна нулю. Поэтому для станков с ЧПУ вместо этого параметра в качестве исходного данного введено другое требование: вид электропривода (табл. 5). В этих станках бесступенчатое изменение частоты вращения шпинделя можно обеспечить путем применения электродвигателя либо постоянного тока – П, либо асинхронного с частотным регулированием – А.

Приводам станков общего назначения присущи два типа систем управления: ручной – Р и дистанционный – Д. Последняя, как и в станках с ЧПУ, конструктивно может быть выполнена на базе электрической – Э или гидравлической – Г энергий. Режим нагружения (легкий – Л, средний – С, тяжелый – Т) отражает отношение средней мощности, реализуемой в процессе эксплуатации станка, к номинальной мощности привода. Станки с универсальным характером выполняемых технологических операций оснащаются (табл. 3) двумя типами систем смазывания привода: индивидуальной – И или централизованной – Ц. Все другие решения, выходящие за рамки

технического задания, принимаются студентами самостоятельно, но наиболее принципиальные вопросы необходимо в обязательном порядке согласовать с руководителем курсового проектирования.

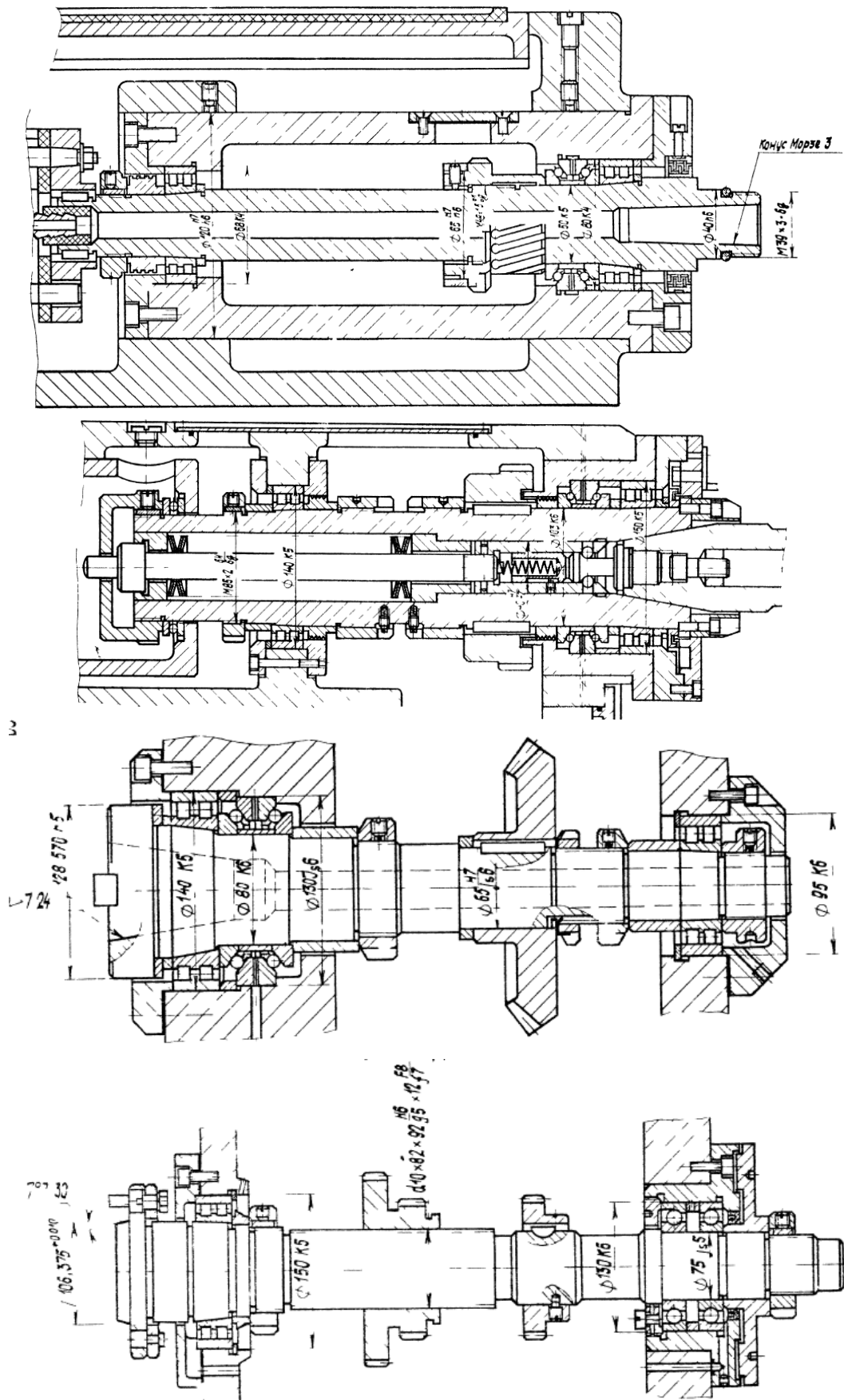


Рисунок 1. Примеры чертежей конструкций шпиндельных узлов

Практическая работа № 3 «Конструирование основных элементов коробки скоростей»

Задание:

Студенты выполняют групповые задания по проектированию (конструированию) блоков зубчатых и ременных передач, валов, элементов системы смазывания, управления и корпусов коробок скоростей.

Пример выполненного комплексного практического задания

Цель работы

Рассчитать прочностные характеристики шпинделя токарного станка при помощи программного продукта *APM Win Machine*.

Задачи:

1. Произвести расчет сил резания;
2. Произвести расчет зубчатой передачи;
3. Произвести расчет жесткости шпинделя;
4. Произвести модальный расчет шпинделя.

Исходные данные

Материал:

- Сталь 40Х,
- $\sigma_{0,2} = 315$ МПа,
- $\rho = 7820$ кг/м³.

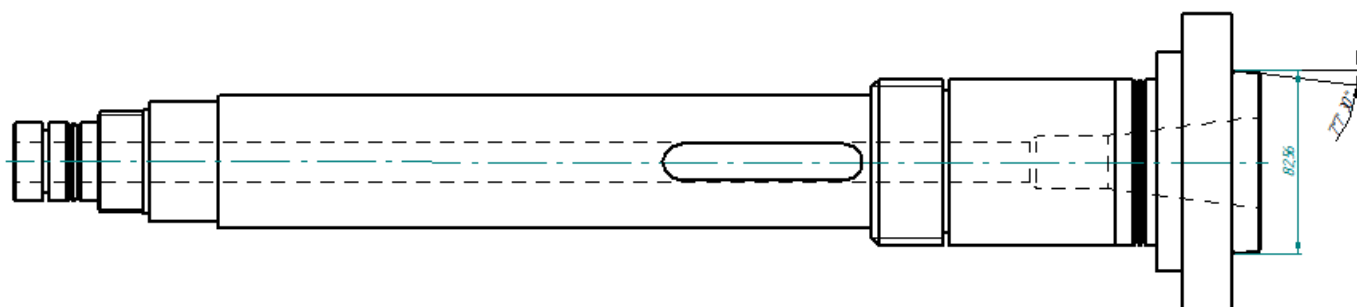


Рисунок 1 – Эскиз шпинделя

Таблица 1

Исходные данные для расчета режимов резания и сил в зацеплении

Диаметр заготовки, D	100 мм
Мощность, N	6 кВт
Межосевое расстояние, a_w	149 мм
Передаточное число, U	1,6

1 Расчет сил резания

Определим скорость резания по формуле:

$$V_p = \frac{C_v}{T^m t^{x_s} s^y} K_v = \frac{340}{60^{0,2} \cdot 1,7^{0,15} \cdot 0,9^{0,45}} \cdot 0,98 = 142,57 \text{ м/мин.}$$

где V_p – расчетная скорость резания, м/мин;

T – период стойкости инструмента, мин [1];

t – глубина резания, мм [1];

s – подача, мм/об [1].

Зная расчетную скорость резания, найдем частоту вращения шпинделя:

$$n = \frac{V_p}{\pi \cdot d} = \frac{142,57}{3,14 \cdot 0,1} = 454 \rightarrow 500 \text{ об/мин.}$$

Тогда фактическая скорость резания будет равна:

$$V_p = n \cdot \pi \cdot d = 500 \cdot 3,14 \cdot 0,1 = 157 \text{ м/мин.}$$

После этого, рассчитаем силы резания:

Для расчета сил резания, необходимо знать коэффициенты, которые берем из справочника машиностроителя; и подставляем их в следующие формулы [1]:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,7^1 \cdot 0,9^{0,75} \cdot V^{-0,15}$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 1,7^{0,9} \cdot 0,9^{0,6} \cdot V^{-0,3}$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 1,7^1 \cdot 0,9^{0,5} \cdot V^{-0,4}$$

Подставляем рассчитанную ранее скорость резания, и определяем силы резания:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,7^1 \cdot 0,9^{0,75} \cdot 157^{-0,15} = 2290 \text{ Н}$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 1,7^{0,9} \cdot 0,9^{0,6} \cdot 157^{-0,3} = 804,67 \text{ Н}$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 1,7^1 \cdot 0,9^{0,5} \cdot 157^{-0,4} = 721,16 \text{ Н}$$

Крутящий момент, момент изгиба и мощность находим по формулам:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2} = \frac{2290 \cdot 0,1}{2} = 114,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{изг} = P_x \cdot \frac{d}{2} = 721,16 \cdot \frac{0,1}{2} = 36,05 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$N = \frac{M_{кр} \cdot n}{9554} = \frac{114,5 \cdot 500}{9554} = 6 \text{ кВт}$$

2 Расчет цилиндрической прямозубой передачи

Расчет цилиндрической зубчатой передачи проведем с помощью программы *APM WinMachine*, используя модуль *APM Trans* [2].

Для начала работы необходимо выбрать тип передачи (см. рисунок 2). После этого, указываем основные данные для расчета зубчатой передачи: значения вышеприведенных расчетов (см. рисунок 3).

Выберите Тип передачи

Передаточные

Цилиндрические передачи

- ☒ Прямозубые внешнего зацепления
- ☐ Прямозубые внутреннего зацепления
- ☐ Косозубые внешнего зацепления
- ☐ Косозубые внутреннего зацепления
- ☐ Шевронные

Конические передачи

- ☐ С прямым зубом
- ☐ С круговым зубом

Ременные

- ☐ Плоскоременные
- ☐ Червячные
- ☐ Клиноременные
- ☐ Цепные

OK Отмена Справка

Рисунок 2 – Выбор типа передачи

Основные данные

Момент на выходе [Нм] 114,5

Обороты на выходе [об/мин] 500

Передаточное число [-] 0.64

Требуемый ресурс [час] 10000.0

Число зацеплений

Шестерня 1 [-] Колесо 1 [-]

Термообработка

Шестерня Цементация Колесо Цементация

Режим работы Постоянный Крепление шестерни на валу Несимметрично

Продолжить Прервать Справка Еще...

Рисунок 3 – Основные данные

Помимо этого, необходимо указать дополнительные данные (Рисунок 4): модуль, твердость поверхности и сердцевины зубьев, а также число зубьев.

Дополнительные данные

Межосевое расстояние [мм] 0.0

Коэффициент ширины колеса [-] 0.0

Модуль [мм] 2,75

Угол наклона зубьев [град] 0.0

Коэффициент смещения

Шестерня 0.0 Колесо 0.0

☐ Задать материал шестерни Выбрать...

☐ Задать материал колеса Выбрать...

Твердость поверхности зубьев HRC

Шестерня 60 Колесо 60

Твердость сердцевины зубьев HRC

Шестерня 10.0 Колесо 20.0

Число зубьев

Шестерня 42 Колесо 66

☒ Возможен реверс

☒ Стандартное межосевое расстояние

Продолжить Прервать Справка

Рисунок 4 – Дополнительные данные

После того, как все данные введены, производим расчет, просматриваем полученные данные (см. рисунки 5, 6, 7).

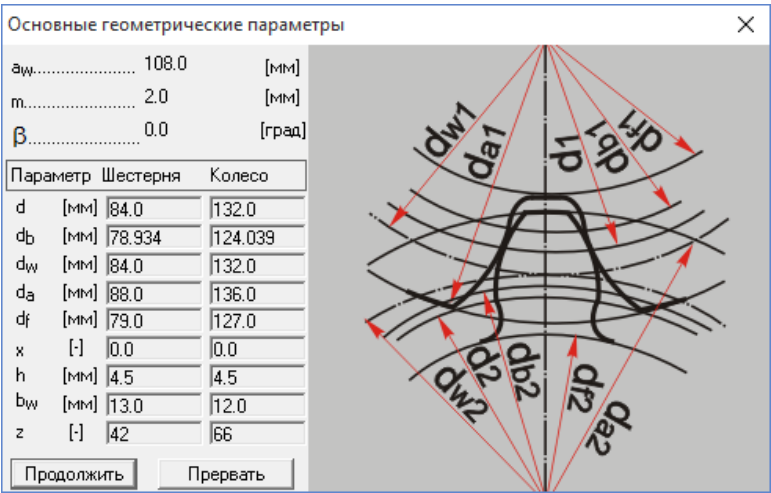


Рисунок 5 – Основные геометрические параметры

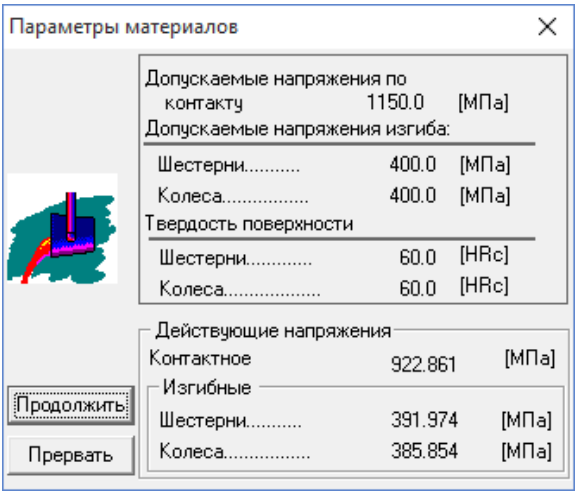


Рисунок 6 – Параметры материалов

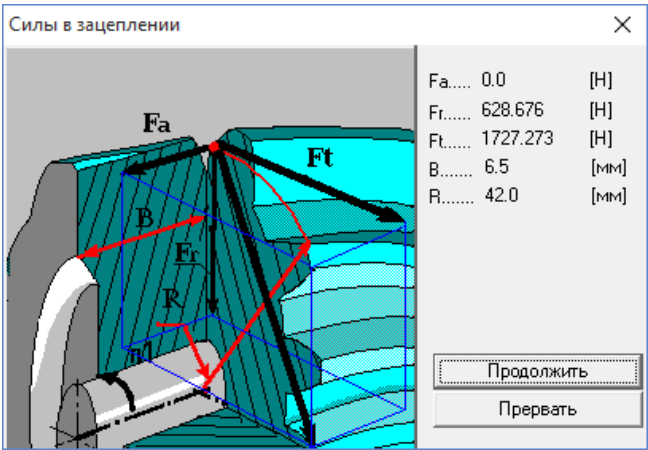


Рисунок 7 – Силы в зацеплении

3 Расчет шпинделя

Так как нам неизвестен момент инерции зубчатых колес, для определения произведем их моделирование. Воспользуемся программным продуктом *Компас 3D* (см. рисунок 8).

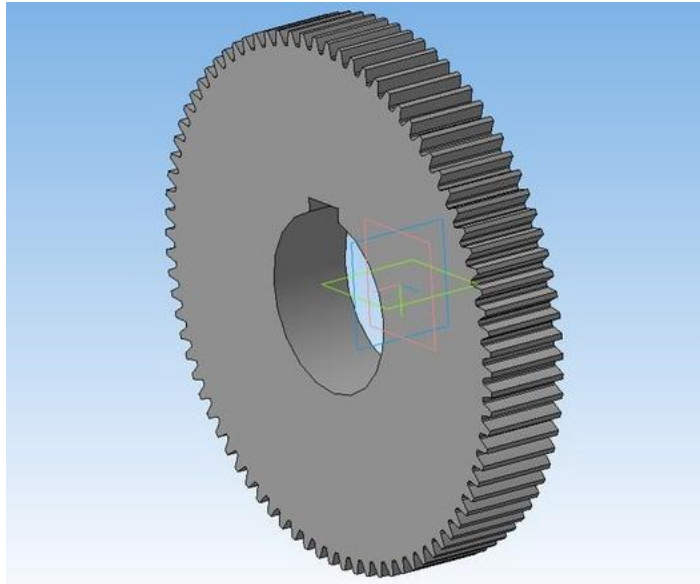


Рисунок 8 – Трехмерная модель зубчатого колеса

Момент инерции, посчитанный программой *Компас 3D*:

$$I = 0,009392 \text{ кг*м}^2.$$

Зная силы и моменты, возникающие в зацеплении, можно рассчитать шпиндель.

Для этого используем модуль *APM Shaft*, который имеет специализированный графический редактор для задания геометрии валов и осей. С помощью редактора задаем следующие параметры [2]:

- конструкцию шпинделя (необходимо начертить его в натуральную величину);
- действующие на шпиндель нагрузки (расположить силы которые действуют в зацеплении, а также силы, возникающие при резании);
- размещение опор, на которых установлен шпиндель (см. рисунок 9).

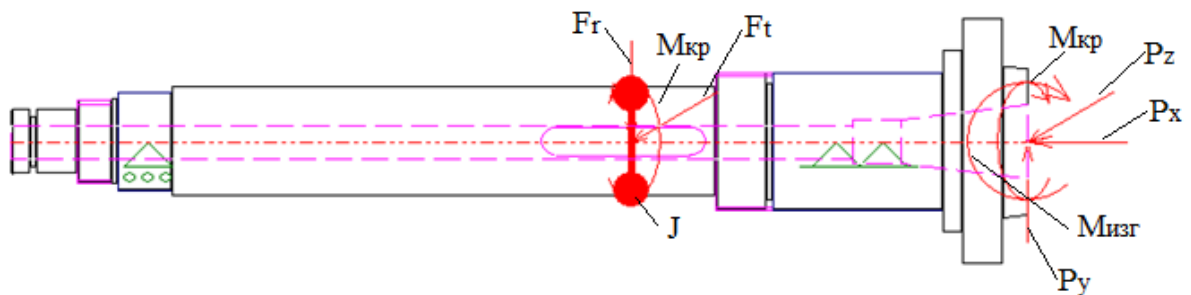


Рисунок 9 – Модель шпинделя токарного станка

Исходные данные для общего расчета вала приведены в таблицах 2–6.

Таблица 2

Радиальные силы

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Модуль, Н	Угол, град
F_{r-t}	338.00	1837.64	-109.98
P_{y-z}	554.00	2427.04	70.65

Таблица 3

Осевые силы

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Значение, Н
P_x	554.00	-721.00

Таблица 4

Моменты изгиба

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Модуль, Нхм	Угол, град
$M_{изг}$	554.00	36.00	0.00

Таблица 5

Моменты кручения

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Значение, Нхм
M_1	338.00	114.00
M_2	554.00	-114.00

Таблица 6

Моменты инерции

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Значение, кг х м ²
M_i	250.000	0.009

Результаты общего расчета вала представлены в таблице 7 и на рисунках 10 – 23.

Таблица 7

Реакции в опорах

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Реакция верт., Н	Реакция гориз., Н	Реакция осевая, Н	Модуль, Н	Угол, град
1	75.00	54.97	146.23	0.00	156.22	20.60
2	450.00	3662.48	14360.75	0.00	14820.42	14.31
3	475.00	-3893.46	-15069.98	721.00	15564.81	-165.51

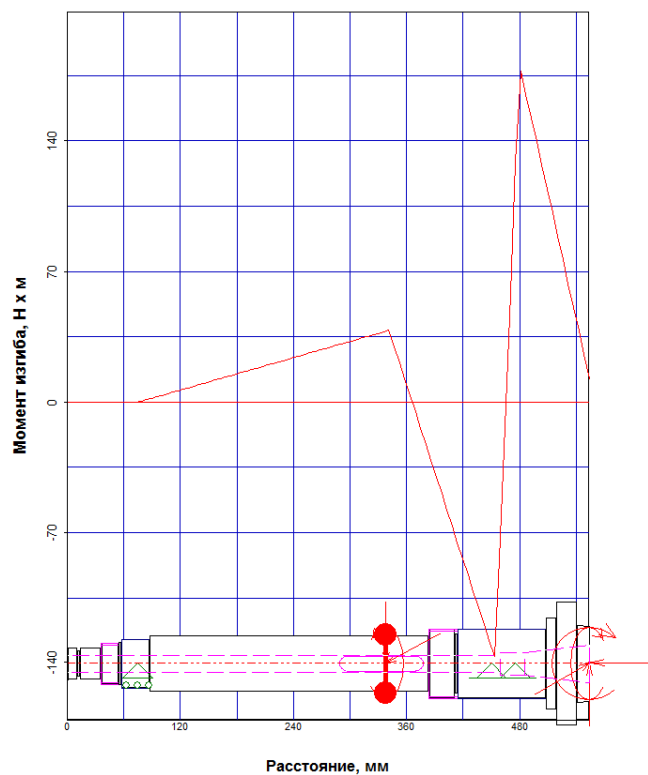


Рисунок 10 – Момент изгиба в вертикальной плоскости

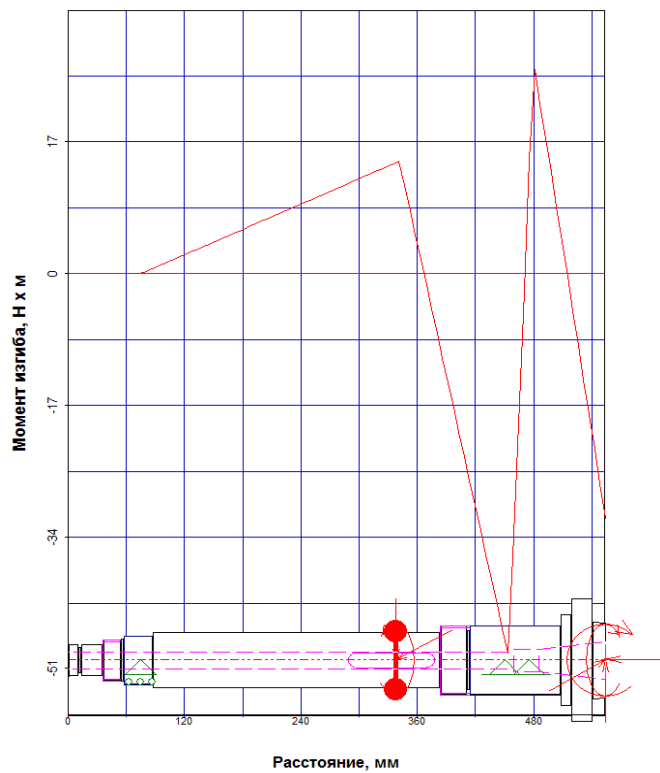


Рисунок 11 – Момент изгиба в горизонтальной плоскости

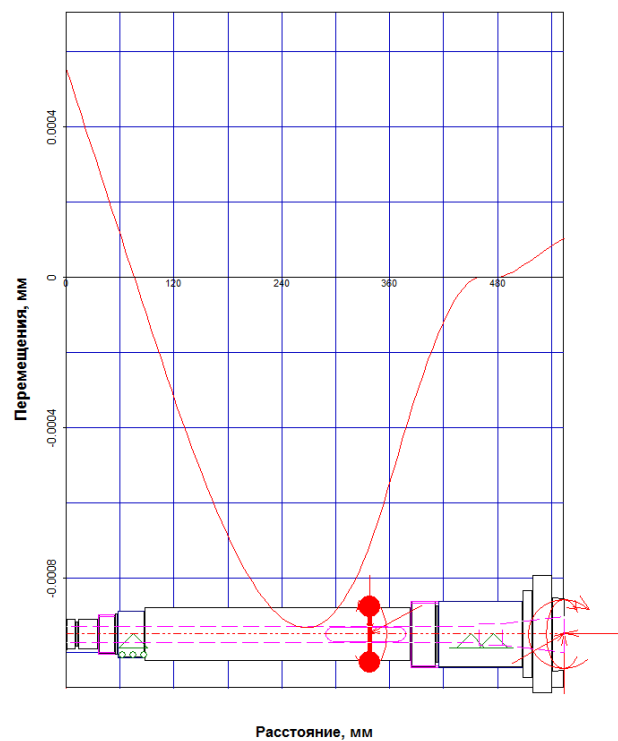


Рисунок 12 – Перемещения в вертикальной плоскости

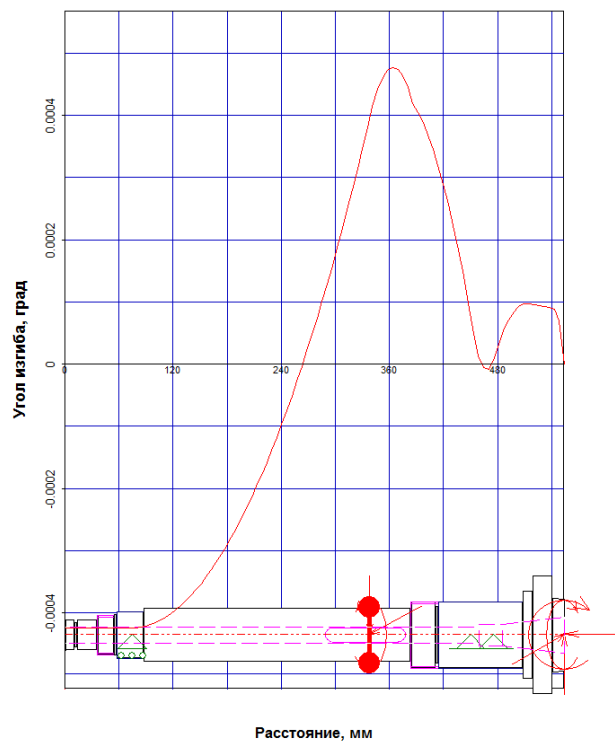


Рисунок 14 – Угол изгиба в вертикальной плоскости

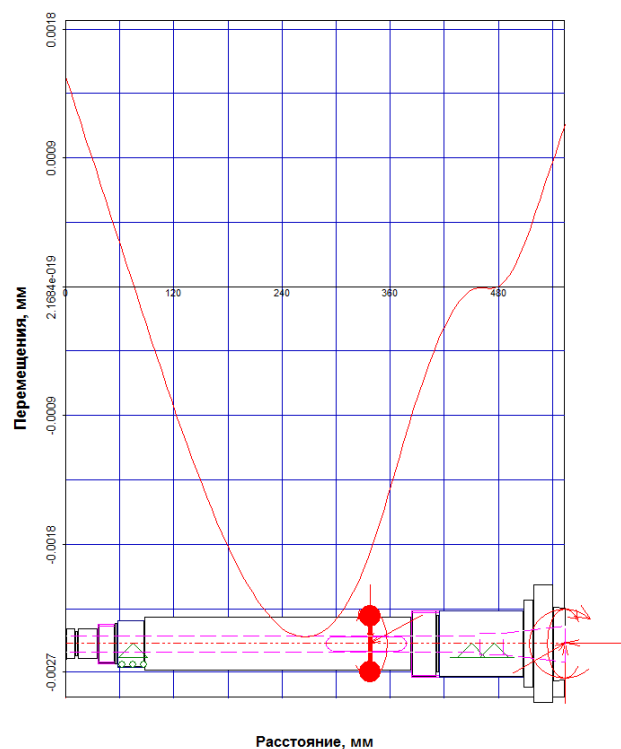


Рисунок 13 – Перемещения в горизонтальной плоскости

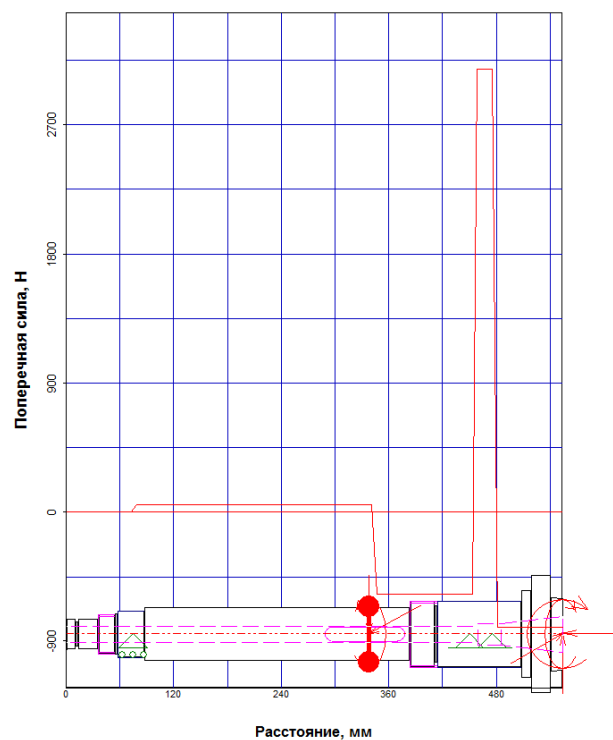


Рисунок 16 – Поперечные силы в вертикальной плоскости

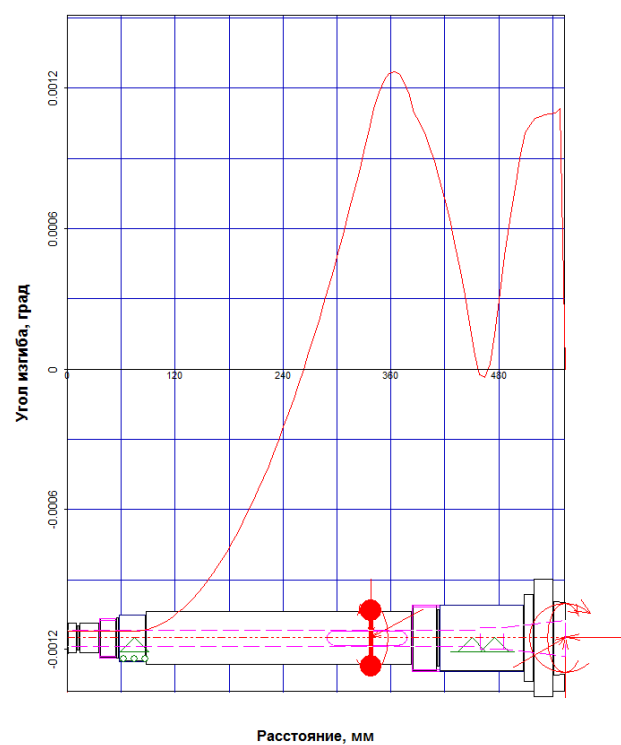


Рисунок 15 – Угол изгиба в горизонтальной плоскости

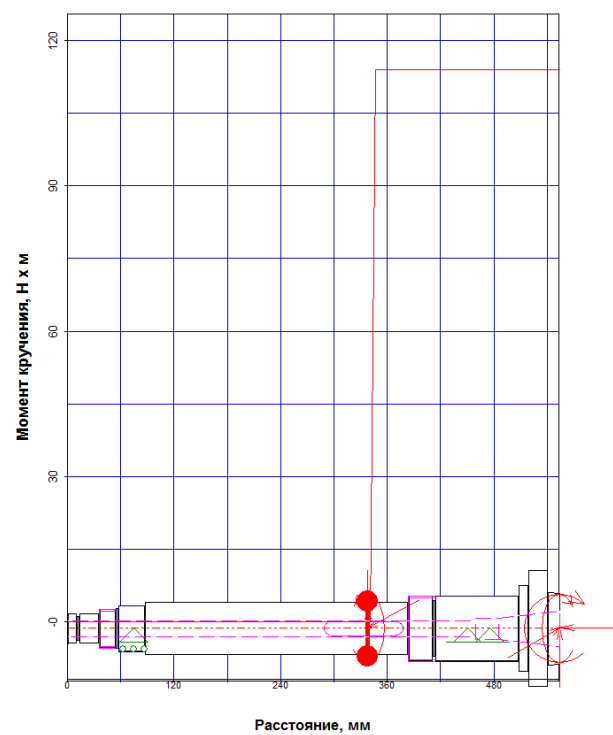


Рисунок 18 – Момент кручения

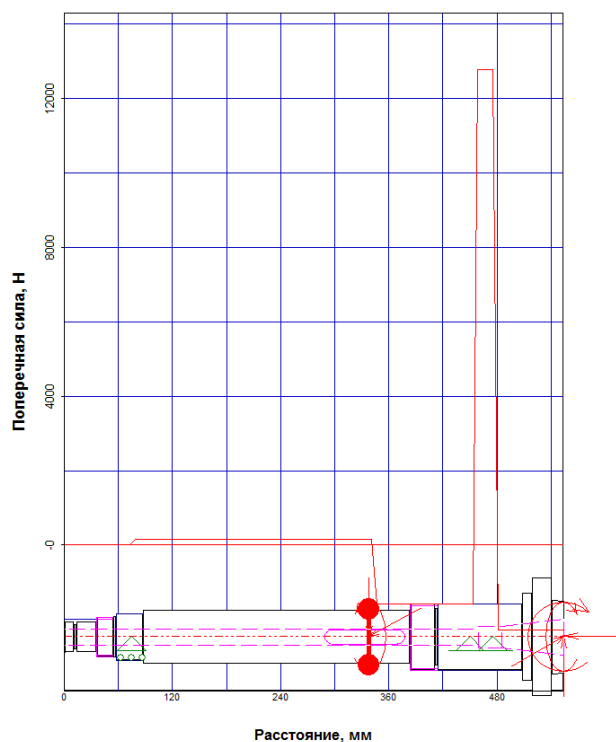


Рисунок 17 – Поперечные силы в горизонтальной плоскости

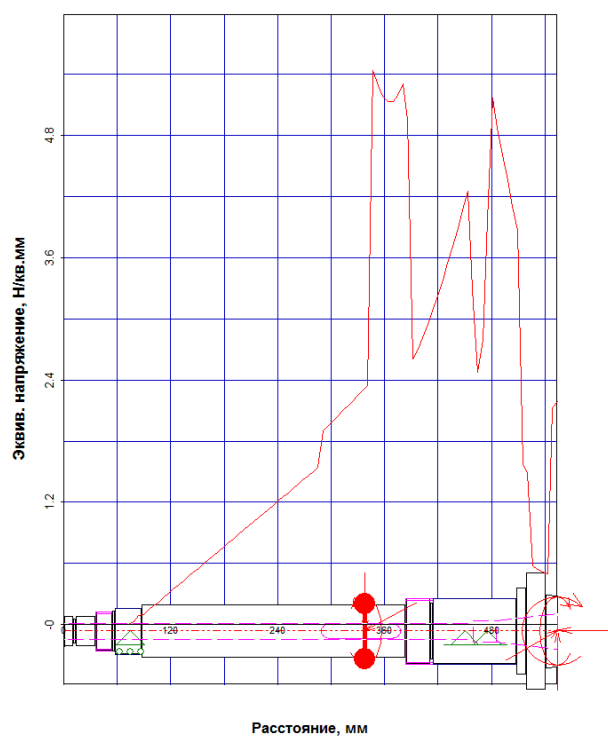


Рисунок 20 – Эквивалентное напряжение

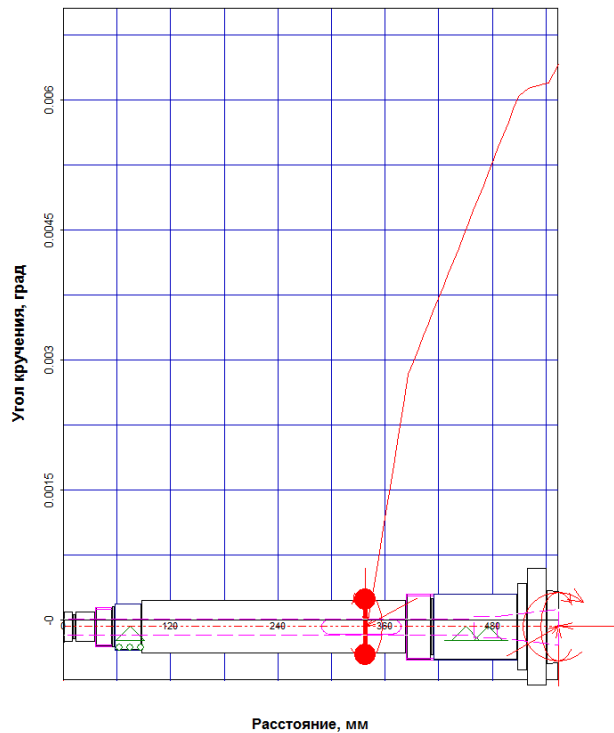


Рисунок 19 – Угол кручения

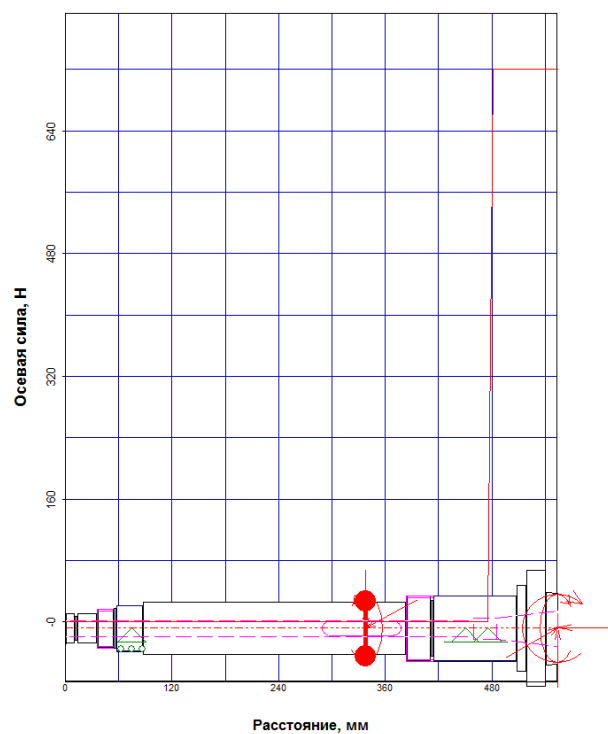


Рисунок 22 – Осевые силы

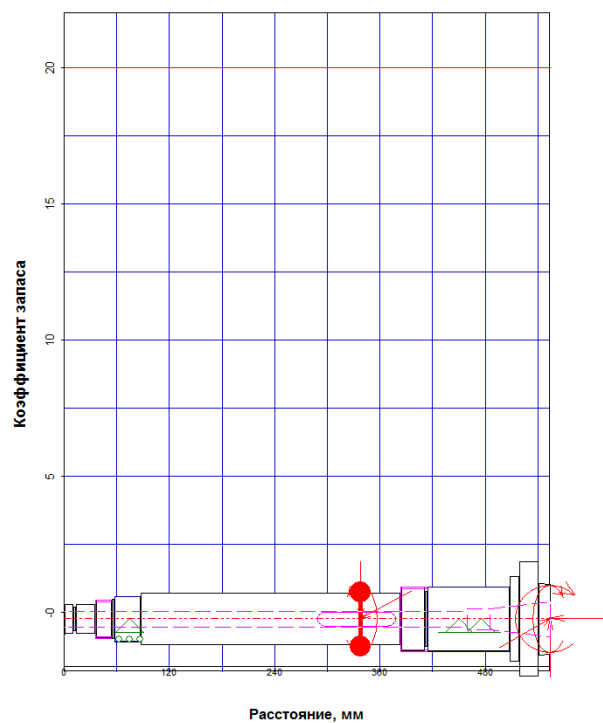


Рисунок 21 – Коэффициент запаса по усталостной прочности

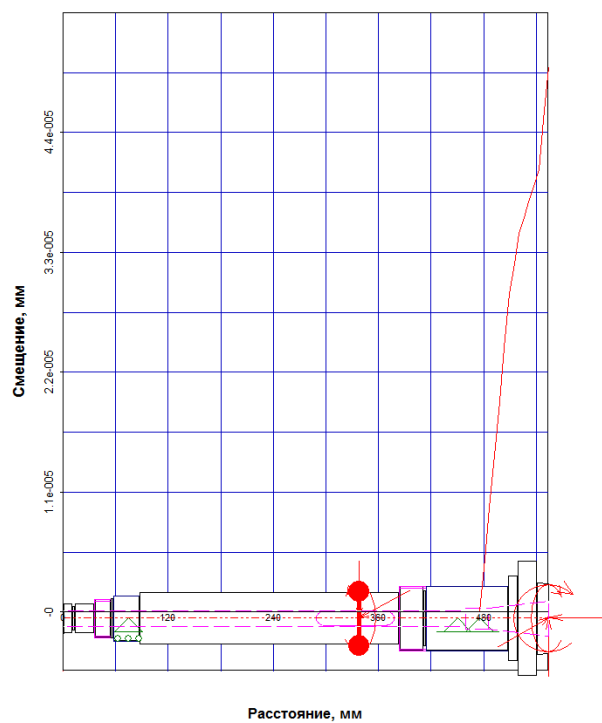


Рисунок 23 – Осевые перемещения

В таблицах 8 и 9 представлены результаты динамического расчета шпинделя.

Таблица 8

Собственные частоты

Изгибные колебания

N	Частота, рад/с	Частота, об/мин
1	9766,8783	93266,8176
2	28347,7508	270701,0799
3	35290,3577	336998,0922
4	46766,8078	446590,1180
5	67539,5747	644955,4301

Таблица 9

Крутильные колебания

N	Частота, рад/с	Частота, об/мин
1	12958,6476	123745,9692
2	19202,2730	183368,1999
3	52967,5744	505803,0774

Динамические характеристики шпинделя представлены на рисунках 24 – 31.

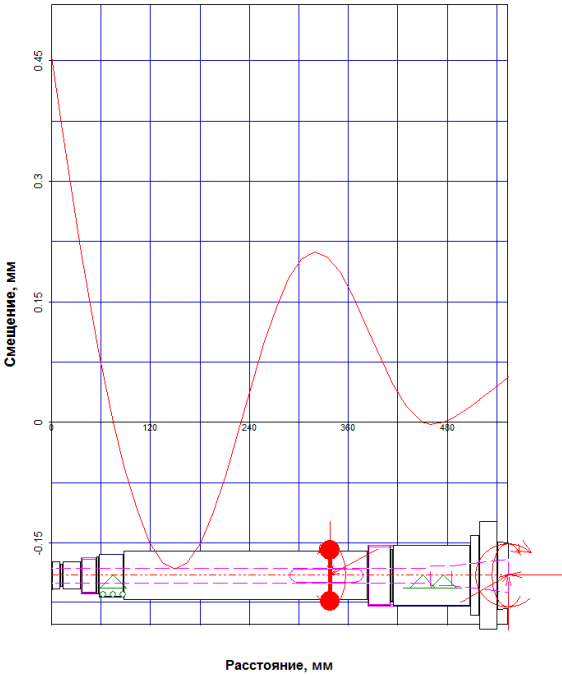
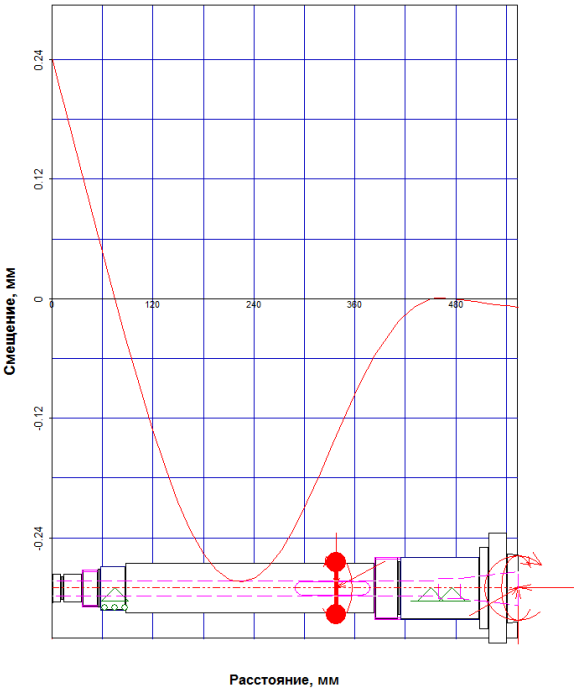


Рисунок 24 – Поперечные колебания (1 форма шпинделя)

Рисунок 25 – Поперечные колебания (2 форма шпинделя)

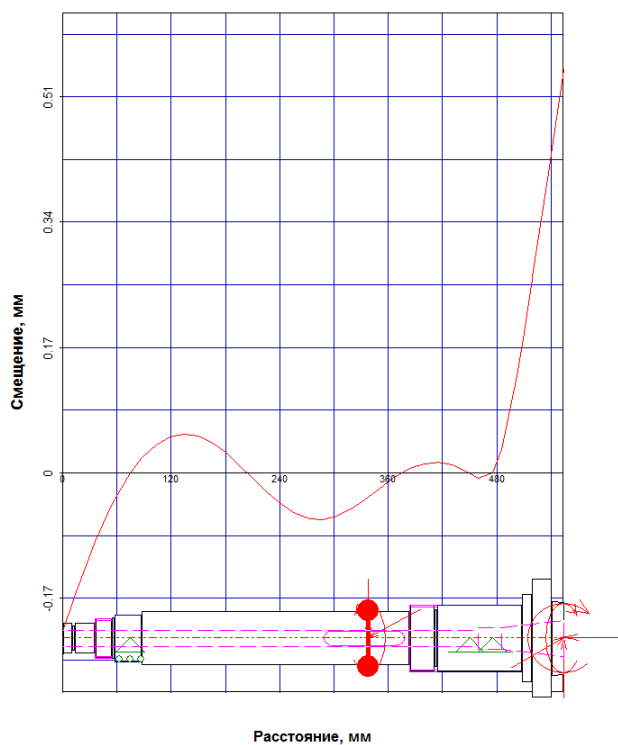


Рисунок 26 – Поперечные колебания (3 форма шпинделя)

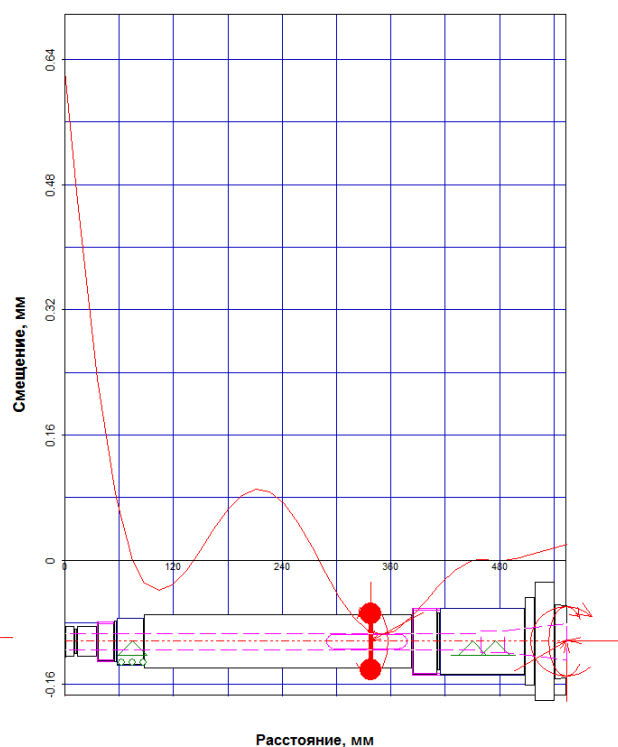


Рисунок 27 – Поперечные колебания (4 форма шпинделя)

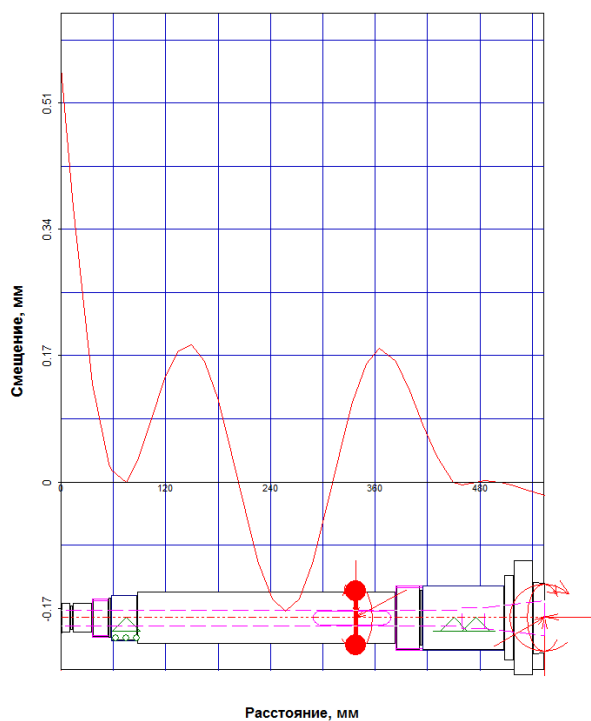


Рисунок 28 – Поперечные колебания (5 форма шпинделя)

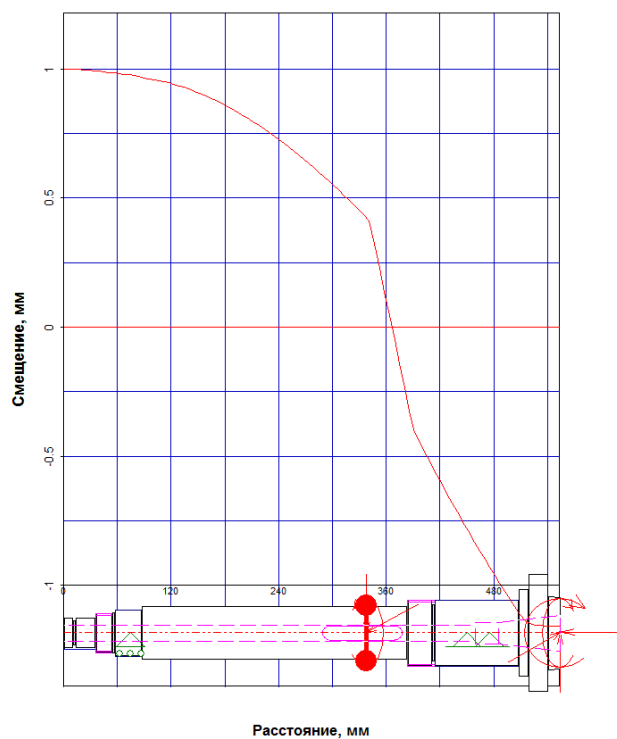


Рисунок 29 – Крутильные колебания (1 форма шпинделя)

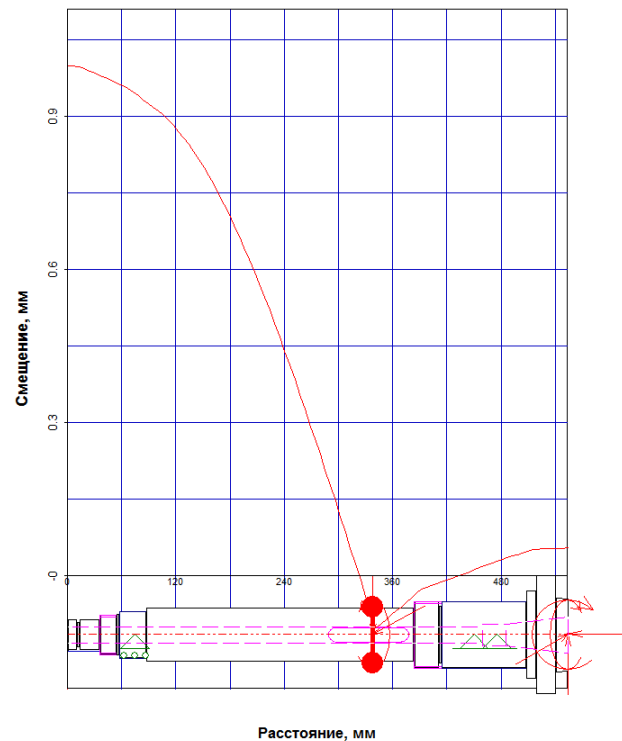


Рисунок 30 – Крутильные колебания (2 форма шпинделя)

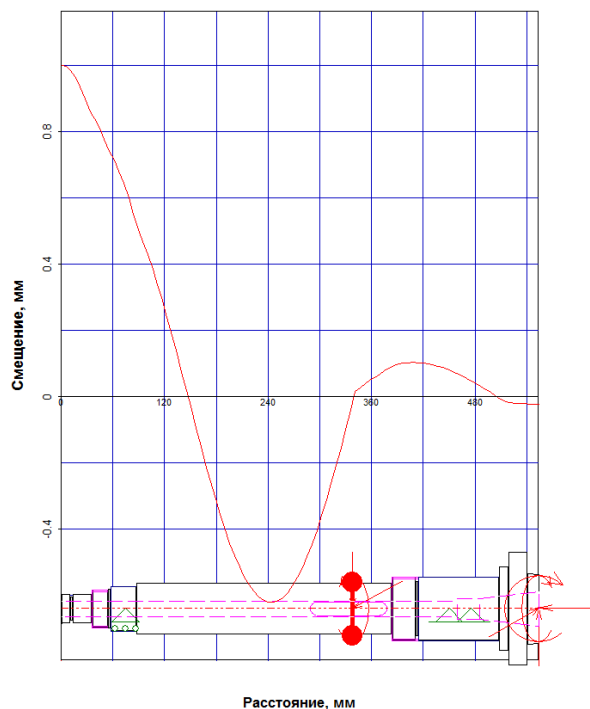


Рисунок 31 – Крутильные колебания (3 форма шпинделя)

Вывод

В данной работе были произведены расчеты составляющих сил резания, расчет зубчатых передач, определены статическая прочность и динамические характеристики шпинделя при помощи программного продукта *APM Win Machine*. Рассчитана величина коэффициента запаса прочности в различных сечениях шпинделя.

Был выполнен расчет шпинделя, в результате которого получены следующие данные: коэффициент запаса прочности – 20 ед., биение конца шпинделя - в горизонтальной плоскости 0,00135 мм; в вертикальной плоскости – 0,0004 мм, угол кручения - 0,006°.

Также был выполнен динамический расчет шпинделя и посчитаны частоты, на которых возникают резонансные колебания шпинделя.

Цель работы

Определить величину деформаций и коэффициент запаса прочности шпинделя токарного станка, используя программный продукт Ansys.

Задачи:

1. Построить 3D модель шпинделя в графическом редакторе;
2. Построить расчетную модель;
3. Определить запас прочности;
4. Определить полную деформацию.

3D модель шпинделя создаем в среде *SolidEdge*.

После запуска *Ansys Workbench*, добавляем в рабочую область проекта модуль *Static Structural*, который определяет набор параметров, необходимых для проведения статического анализа (см. рисунок 3).

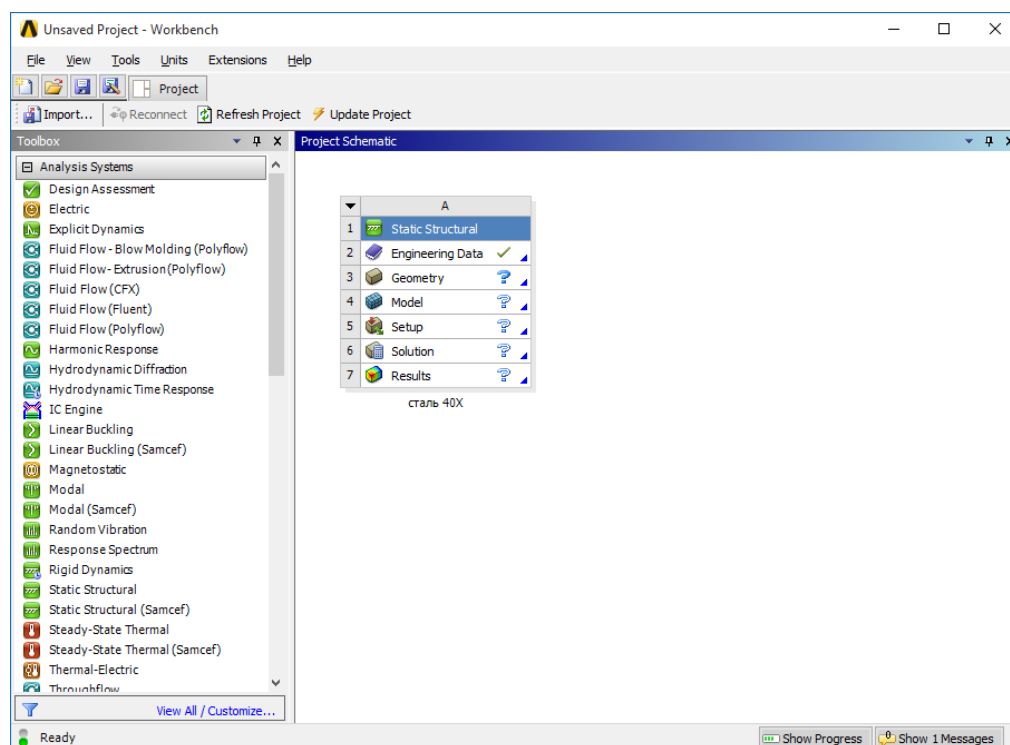


Рисунок 3 – Модуль Static Structural

Начинаем с подраздела «*Engineering Data*»

Указываем материал шпинделя, а также необходимые характеристики (см. рисунок 4).

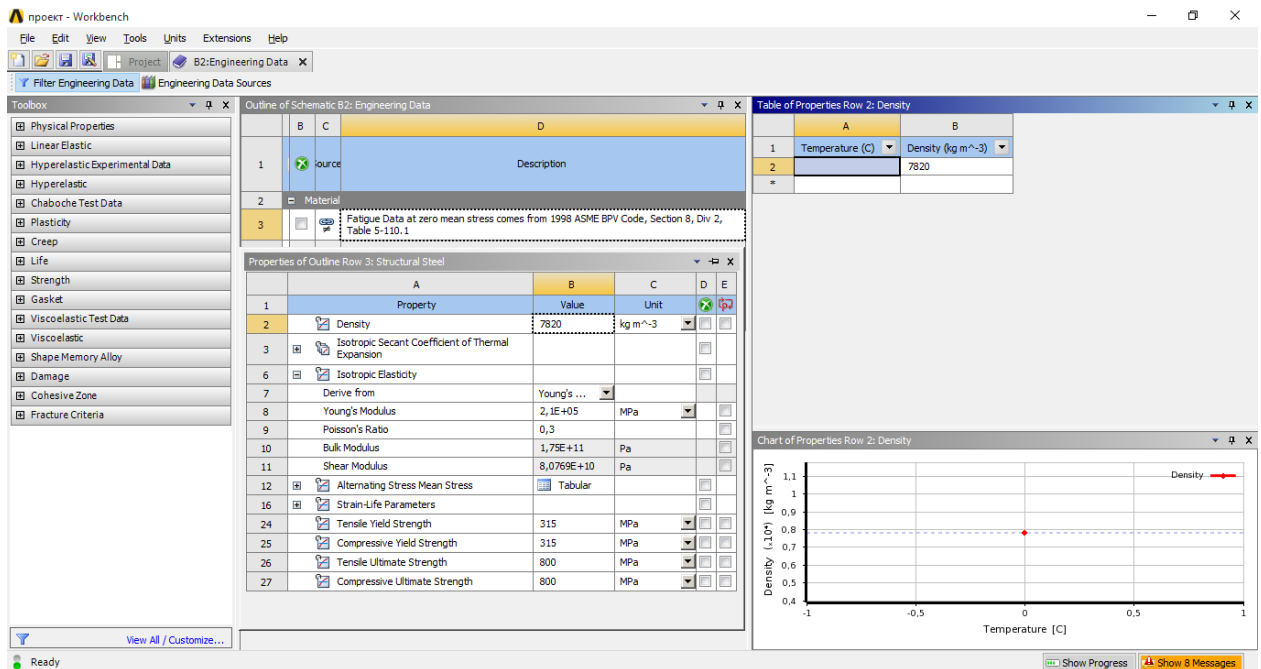


Рисунок 4 – Характеристики материала

Далее импортируем модель шпинделя в комплекс *Ansys* (см. рисунок 5).

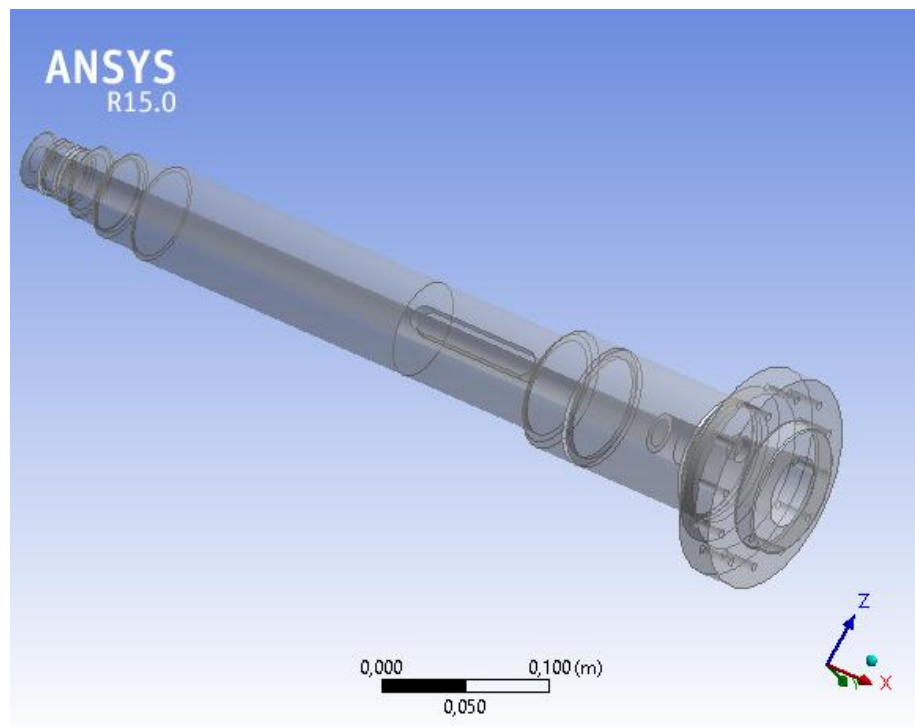


Рисунок 5 – 3D модель шпинделя

Далее, работаем с подразделом «*Model*»

Генерация конечно-элементной сетки

В разделе дерева математической модели «*Model*» осуществляем построение конечной элементарной сетки. Обозначаем предпочтительный метод разбиения сетки - HexDominantMethod (см. рисунок 6).

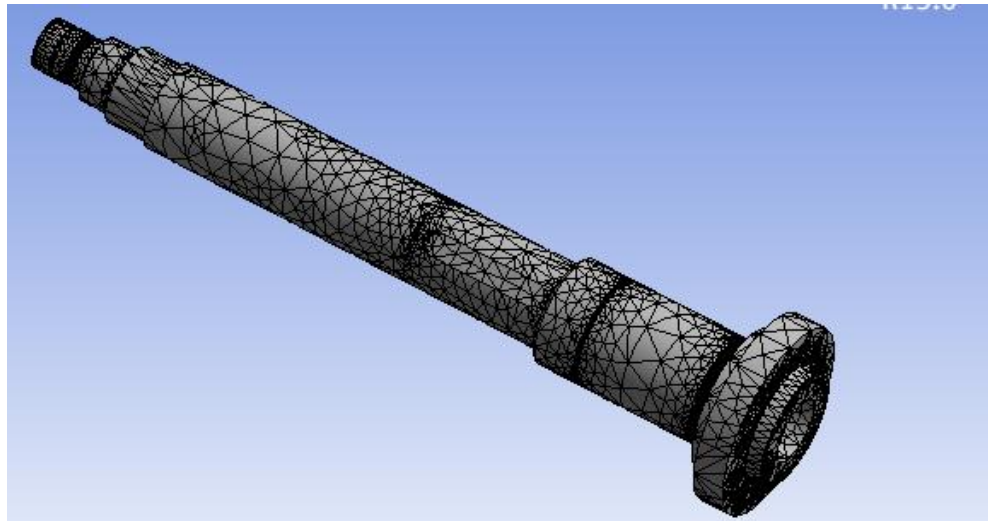


Рисунок 6 – Конечно-элементная сетка

Далее переходим в подраздел «*Static Structural*».

С помощью меню *Inertial* назначаем инерционные нагрузки: скорость вращения шпинделя.

Используя раздел *Supports* расставляем граничные условия, определяющие закрепление детали (подшипники, подвижные и неподвижные).

В разделе *Loads* задаем конструкционные нагрузки: силы и моменты.

С помощью команды *Moment* нагружаем деталь заданными моментами.

Командой *Force* нагружаем деталь действующими на нее силами.

Полностью нагрузив и закрепив шпиндель, мы имеем конечную модель, готовую для проведения расчетов (см. рисунок 7).

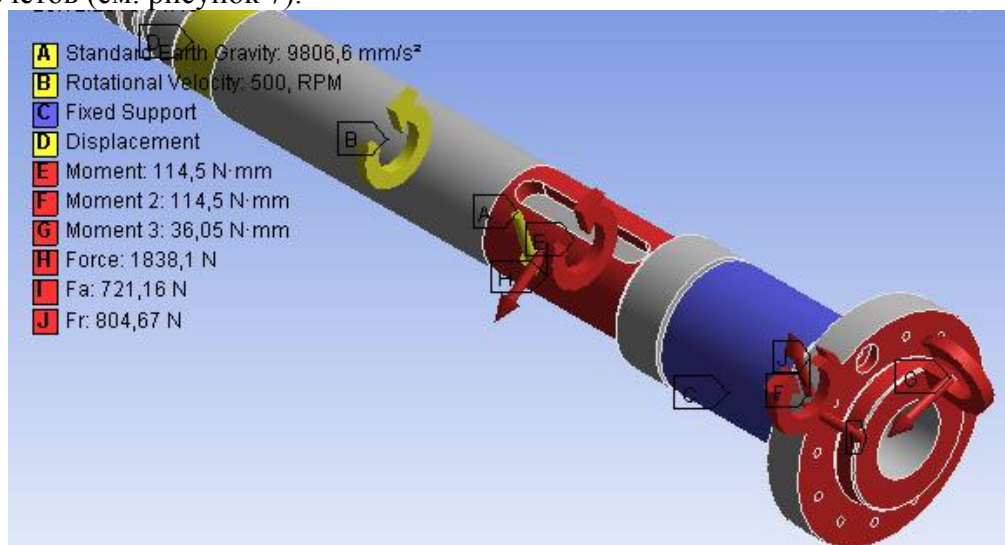


Рисунок 7 – Простановка сил и моментов, действующих на шпиндель

После того, как мы указали необходимые данные, можно произвести расчет. Определяем результат наших вычислений (*Total Deformation*, *Equivalent Stress*) в разделе «*Solution*», а также *Safety Factor* в разделе «*Stress Tool*» (см. рисунки 8-10).

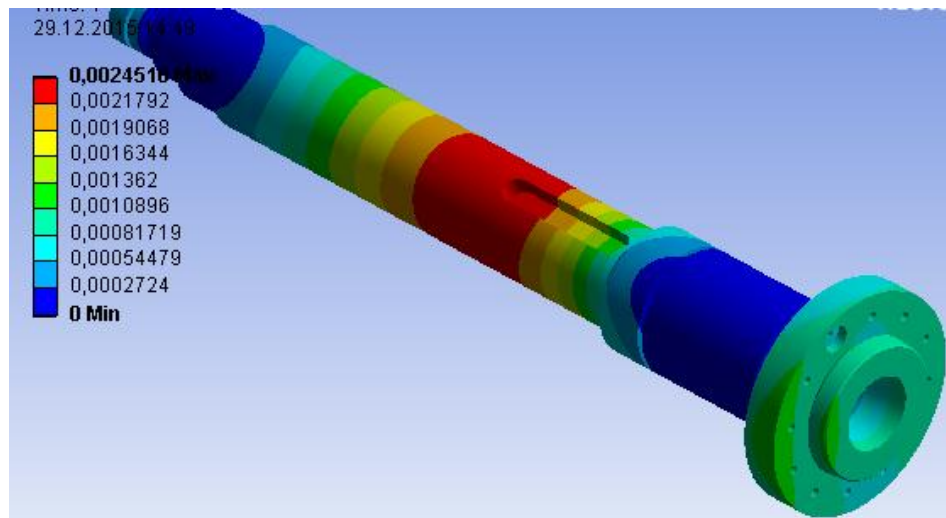


Рисунок 8 – Общие деформации шпинделя

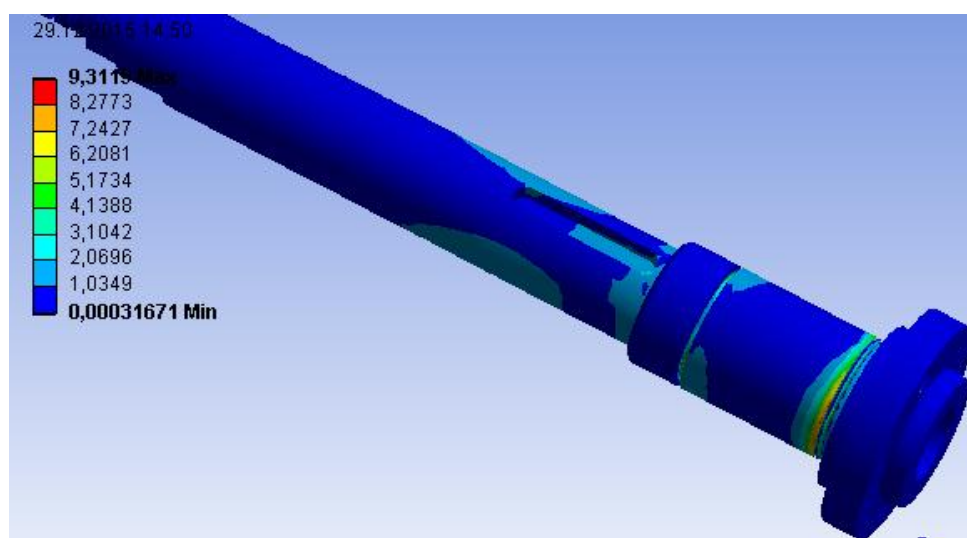


Рисунок 9 – Эквивалентные деформации шпинделя

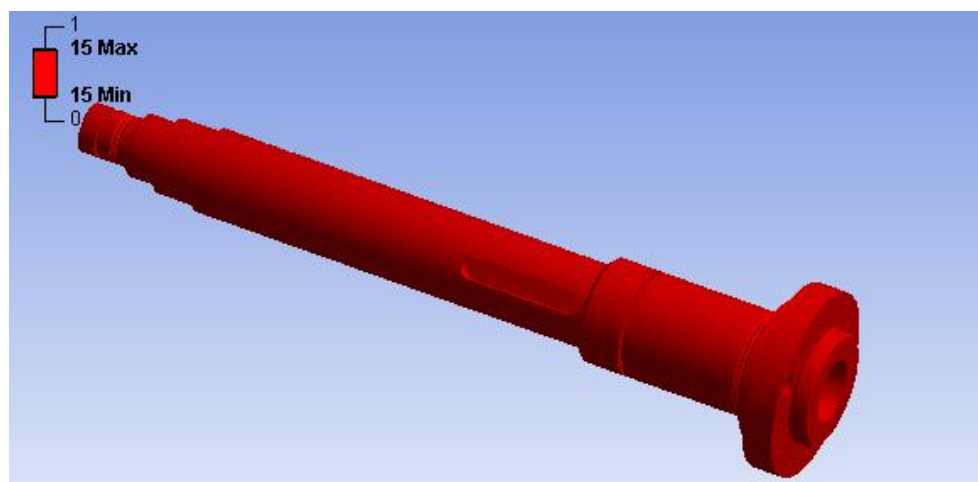


Рисунок 10 – Запас прочности шпинделя

После проведения расчетов необходимо определить отклонение зеркала шпинделя. Для этого производим замер наибольшего значения на зеркале шпинделя (см. рисунок 11).

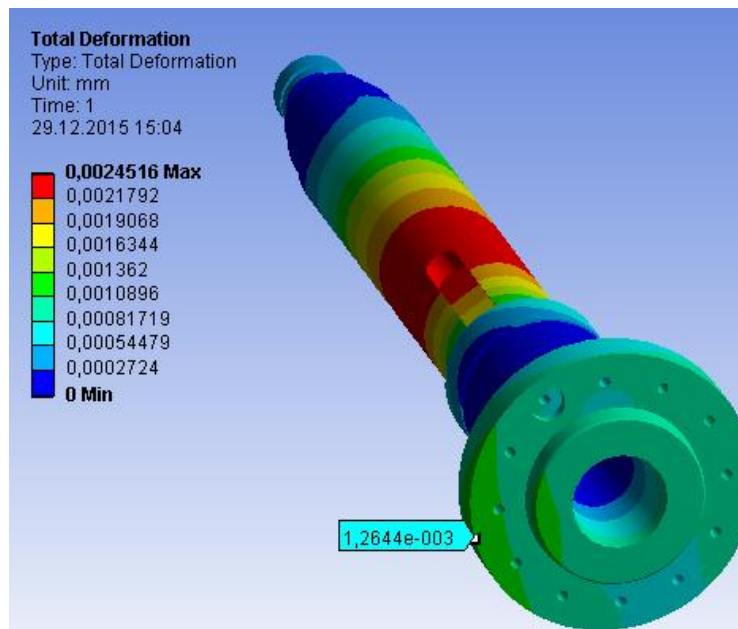


Рисунок 11 – Измерение максимального отклонения

Вывод

В данной работе был проведен расчет на определение общей деформации и коэффициента запаса прочности, с помощью программного продукта *Ansys*.

Исходя из расчетов делаем вывод, что данный шпиндель выдерживает нагрузки, возникающие в процессе резания и зубчатого зацепления, так как коэффициент запаса прочности равен 15.

Отклонение зеркала шпинделя составляет 0,0012644 мм.