



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Робототехника и мехатроника»

Методические указания

к курсовому проекту
по дисциплине

«Детали мехатронных модулей, роботов и их конструирование»

на тему:

**“Конструирование мехатронного
модуля с поступательным
(вращательным) движением
выходного звена”**

Авторы

Мироненко Р.С.

Ростов-на-Дону, 2015



Аннотация

Методические указания к курсовому проекту (КП) предназначены для студентов очной и сокращенной форм обучения направлений 221000, 15.03.06 «Мехатроника и робототехника».

Автор

к.т.н., доцент кафедры «РиМ»
Мироненко Р.С.



Оглавление

Варианты заданий	5
Состав пояснительной записки (общее содержание)	6
Состав графической части типового курсового проекта	7
1 Расчет шарико-винтовой передачи	8
2 Расчет требуемой мощности двигателя мехатронного модуля	16
3 Устройство асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	17
4 Определение главных размеров статора и ротора асинхронного двигателя	22
5 Расчет тормозного устройства мехатронного устройства	24
Примеры выполнения графической части курсового проекта	29
Список использованных источников	43

Методические указания содержат:

- общие сведения, касающиеся формулировки темы работы и целей курсового проектирования;
- информацию по выбору задания на курсовой проект;
- требования к курсовому проекту;
- состав пояснительной записки;
- состав графической части;
- методику типового расчета шарико-винтовой передачи (ШВП);
- описание устройства асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором;
- рекомендации по определению главных размеров статора и ротора асинхронного двигателя мехатронного модуля;
- методику расчета дискового электромагнитного тормозного устройства (ТУ);
- примеры оформления листов графической части;
- список литературы.

В данных методических указаниях даны все необходимые пояснения, обеспечивающие самостоятельную работу студента.

Общая тематика КП: "Конструирование мехатронного модуля с поступательным движением выходного звена".

Основная цель, решаемая в проекте, заключается в конструировании мехатронного модуля (ММ) с заданными техническими характеристиками. Требуемые технические характеристики модуля, а также вид движения его выходного звена, содержатся в задании, выдаваемом студенту.

Список рекомендуемой литературы приведен в конце данного пособия.

В помощь в проектировании в электронном виде прилагаются (находится на серверах кафедры "Р и М" в папке "Детали ММ"):

1. Справочник конструктора. Анурьев В.И. 2001г. В 3-х томах.
2. Гольдберг О.Д. и др. Проектирование электрических машин, 1984г.
3. Механика промышленных роботов. Том 3. Основы конструирования.
4. Промышленные роботы агрегатно-модульного типа.
5. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин, 1991.

6. Программно–методическое обеспечение курсового проекта в формате pdf объемом 409 стр. (название “дополнительно”).

Программно–методическое обеспечение курсового проекта под названием “дополнительно” использовать только при работе над разделом “Обзор существующих мехатронных модулей”. Имеющиеся там типовые расчеты и сопровождающие их рекомендации содержат большое количество ошибок.

Варианты заданий

№ варианта	Максимальное усилие передатчи $F_{нагр}, Н$	Частота вращения вала двигателя ММ $n, об/мин$	Линейная скорость выходного звена ММ $v_{вых}, м/с$	Длина винта ШВП $l_{в}, мм$
1	25	1000	0,085	1100
2	40	1500	0,1	900
3	50	750	0,04	1250
4	60	1500	0,13	1000
5	100	750	0,05	1500
6	110	1500	0,15	1300
7	140	750	0,1	2000
8	150	1000	0,053	1200
9	200	1000	0,065	1600
10	250	750	0,04	1900
11	270	1000	0,1	1800
12	350	1500	0,2	1700
13	600	1500	0,1	1400
14	650	1000	0,17	2300
15	700	750	0,075	2200
16	900	1000	0,085	2100
17	1250	750	0,064	2400
18	1500	1500	0,147	1850
19	1700	1500	0,25	2000
20	2200	750	0,1	3000
21	2300	1000	0,1	2700
22	2800	1000	0,2	2900
23	3000	750	0,127	3300
24	3200	1500	0,3	2400

25	3240	750	0,15	3500
26	3300	1000	0,17	2800
27	3400	750	0,2	3800
28	3500	1000	0,25	3200
29	3700	750	0,16	3900
30	5000	750	0,12	4000

Для всех вариантов расположение винта ШВП – горизонтальное.

Примечание к нижеприведенному тексту:

курсивом выделено то, что не является обязательным для типового курсового проекта.

Состав пояснительной записки (общее содержание)

Введение

В нем может быть представлена общая информация по мехатронным устройствам, преимуществам их использования, области применения конструируемого мехатронного модуля и т.д.

1. Обзор существующих мехатронных модулей

Раздел подразделяется на пункты, количество которых зависит от числа видов рассматриваемых мехатронных модулей.

Содержание раздела:

- классификация мехатронных модулей движения;
- общая информация и технические характеристики существующих мехатронных модулей движения;
- *описание компонентов ММ (исполнительный привод, подшипники, преобразователь движения, датчики, ЦАП, АЦП, микроконтроллер, направляющие, тормозное устройство и т.д.).*

2. Расчетно-конструкторская часть

Содержание раздела:

- расчет шарико-винтовой передачи с обязательными тремя проверочными расчетами;
- расчет требуемой мощности двигателя;
- определение главных размеров сердечников статора и ротора двигателя для получения полной информации об элементах ММ при работе над его сборочным чер-

тежом;

- расчет элементов тормозного устройства;
- описание состава и принципа работы предлагаемого ММ;

- в зависимости от подхода к проектированию могут добавляться, как пример, расчеты привода ММ, направляющих, выбор подшипников и т.д.

3. Информационная подсистема мехатронного модуля

Содержание раздела:

- выбор датчиков для ММ, обоснование выбора, их описание;
- *выбор микроконтроллера для управления ММ;*
- *определение задач микроконтроллера;*
- *разработка модуля связи с компьютером;*
- *разработка алгоритма работы ММ.*

Заключение

Оценка объема и выводы по проделанной работе.

Список использованных источников

Спецификация к сборочному чертежу

Приложения

Рекомендуемый объем пояснительной записки типового курсового проекта 50-60 страниц. Шифр в рамке: ДММР.ХХ0000.000ПЗ (ХХ – две последние цифры в зачетке).

Состав графической части типового курсового проекта

1 лист (общий вид или габаритный чертеж), формат А1

Название (пример): “Модуль мехатронный поступательного движения”.

Цель данного чертежа: показать общий вид, поясняющий принцип работы конструируемого модуля, взаимное расположение ММ, каретки и направляющих, способ соединения ММ с кареткой. Использовать на чертеже минимум два вида, например:

вид сбоку и вид сверху.

В конце методических указаний приведены примеры выполнения данного чертежа.

2 лист (сборочный чертеж), формат А1

Название (пример): “Модуль мехатронный поступательного движения”.

В конце методических указаний приведены примеры выполнения данного чертежа.

3 лист (деталировка к сборочному чертежу), формат А1

Должно быть представлено не менее четырех элементов ММ.

У каждого из представленных элементов – индивидуальная рамка и соответствующее название согласно спецификации на сборочный чертеж.

В конце методических указаний приведены примеры выполнения деталировки.

1 Расчет шарико-винтовой передачи

1.2 Расчёт геометрических параметров винта шарико-винтовой передачи

Для определения геометрических параметров звеньев механизма вначале задаемся некоторыми величинами в первом приближении.

Условие устойчивости винта определяется по формуле (данная формула предназначена для знакомства с ее элементами, входящими в условие устойчивости; для расчета не использовать):

$$n_y = \frac{J_{расч} \cdot q \cdot E_y}{F_{нагр} \cdot l^2_{p.z.}} \quad (1.1)$$

где

n_y – коэффициент запаса устойчивости (для

Робототехника и мехатроника

вертикальных винтов $n_y = 2$, для горизонтальных $n_y = 4$; значение принимать в соответствии с заданием варианта);

$F_{\text{нагр}}$ – максимальное усилие передачи (значение усилия передачи принимать в соответствии с заданием варианта), Н;

$l_{\text{р.г.}}$ – рабочая длина гайки (принимают равной 3 шагам винта), мм;

q – коэффициент закрепления винта, $q=40$;

E_y – модуль упругости первого рода материала винта, $E_y = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па;

$J_{\text{расч}}$ – приведенный к винту момент инерции поступательно перемещающихся масс, мм^4 .

Угловая скорость гайки (винта) определяется по формуле:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (1.2)$$

где

n – частота вращения вала двигателя ММ (входит в состав исходных данных для определения главных размеров статора и ротора асинхронного двигателя мехатронного модуля, значение частоты вращения принимать в соответствии с заданием варианта).

Передаточное отношение ШВП определяется по формуле:

$$U_{\text{вп}} = \frac{\omega}{v_{\text{вых}}} \quad (1.3)$$

где

$v_{\text{вых}}$ – линейная скорость винта (гайки), т.е. выходного звена ММ (значение линейной скорости принимать в соответствии с заданием варианта).

Значение $U_{\text{вп}}$ рекомендуется принимать в пределах от 300 до 2000 м^{-1} .

Шаг резьбы определяется по формуле:

$$P = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot \pi}{U_{\text{вн}} \cdot K} \quad (1.4)$$

где
 K – число заходов резьбы (обычно ШВП выполняются однозаходными, т.е. K=1).

Результат вычисления шага резьбы, полученный в мм, округляем до ближайшего стандартного числа из ряда:

1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 24.

Полученное значение шага резьбы используется для определения рабочей длины гайки $l_{p.g.}$.

На основании зависимости (1.1), приведенный к винту (валу) момент инерции поступательно перемещающихся масс равен, мм⁴:

$$J_{\text{расч}} = \frac{n_y \cdot F_{\text{нагр}} \cdot l_{p.g.}^2}{q \cdot E_y} \quad (1.5)$$

Средний диаметр винта определяют по формуле:

$$d_{cp} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot J_{\text{расч}}}{\pi}} \quad (1.6)$$

Значение диаметра винта посредством формулы (1.6) получаем в метрах, для удобства дальнейшей работы переводим в миллиметры и округляем до ближайшего **большого** стандартного значения из ряда:

3,5; 4; 4,5; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100

Диаметр шариков равен, мм:

$$d_{ш} = k_p \cdot P \quad (1.7)$$

где

k_p – коэффициент шага резьбы, равный 0,6.

Результат $d_{ш}$ округляют до ближайшего большего стандартного значения:

0,25; 0,30; 0,36; 0,635; 0,68; 0,7; 0,8; 0,84; 0,85; 1,0; 1,2; 1,3; 1,5; 1,558; 1,984; 2,0; 2,381; 2,5; 2,778; 3,0; 3,175; 3,5; 3,572; 4,0; 4,366; 4,5; 4,763; 5,0; 5,159; 5,5; 5,556; 5,8; 6,0; 6,35; 6,5; 6,747; 7,0; 7,144; 7,5; 7,938; 8,0; 8,334; 8,5; 8,731; 9,0; 9,575; 9,992; 10,0; 10,319; 10,716; 11,0; 11,112; 11,5; 11,509; 11,906; 12,0

Определяем угол подъема винтовой линии на среднем радиусе ходового винта по формуле:

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{P \cdot K}{\pi \cdot d_0} \quad (1.8)$$

где

d_0 - диаметр окружности, на которой располагаются центры шариков (см. рис. 1.1); d_0 считать равное $d_{ср}$.

Приведенный угол трения качения определяется по формуле:

$$\rho_k = \operatorname{arctg} \frac{2f_k}{d_{ш} \cdot \sin \beta} \quad (1.9)$$

где

f_k - приведенный коэффициент трения качения (при закаленных винтовых поверхностях HRC > 58 и стальных шариков твердостью HRC > 63 принимают $f_k=0,007 \dots 0,01$ мм, брать $f_k=0,007$ мм);

β - угол контакта шариков с винтом и гайкой; для круглой канавки $\beta = 30^\circ$.

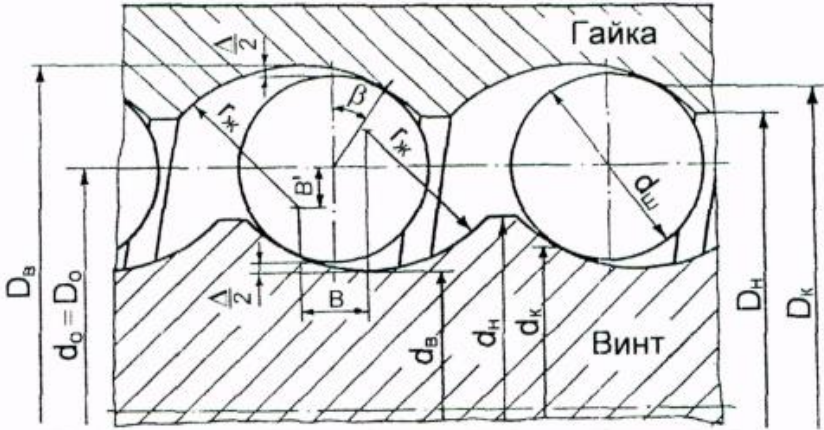


Рисунок 1.1 – Геометрия шарико-винтовой передачи

Коэффициент полезного действия винтовой пары:

$$\eta_{ен} = \frac{tg\psi}{tg(\psi + \rho_k)} \quad (1.10)$$

Длина развертки рабочей части винтовой шариковой канавки определяется как:

$$l_{p.k} = \frac{l_{p.г.}}{\sin(\psi)} \quad (1.11)$$

Расчетное количество шариков:

$$Z_p = \frac{l_{p.к.}}{d_{ш}} \quad (1.12)$$

Полученный результат округляют до ближайшего большего целого значения.

Уточнение длины гайки производят по формулам:

$$l_{p.k} = Z_p \cdot d_{ш} \quad (1.13)$$

$$l_{p.z} = l_{p.k} \cdot \sin(\psi) \quad (1.14)$$

Зазор между винтом (гайкой) и шариком:

$$\frac{\Delta}{2} = 0,04 \cdot d_{ш} \quad (1.15)$$

Радиус канавки (радиус профиля резьбы винта и гайки) определяется из выражений:

при $d_{ш} \leq 8\text{мм}$

$$r_{ж} = 0,51 \cdot d_{ш} \quad (1.16)$$

при $d_{ш} > 8\text{мм}$

$$r_{ж} = 0,53 \cdot d_{ш} \quad (1.17)$$

Внутренний диаметр винта:

$$d_v = d_{cp} - 2 \cdot r_{ж} - \frac{\Delta}{2} \quad (1.18)$$

Внешний диаметр винта:

$$d_H = d_v + 2 \cdot h_1 \quad (1.19)$$

где

h_1 – глубина профиля резьбы у винта и гайки; $h_1 = (0,3...0,35) \cdot d_{ш}$,

брать $h_1 = 0,32 \cdot d_{ш}$.

1.2 Расчёт геометрических параметров гайки шарико-винтовой передачи

Смещение профиля резьбы в радиальном направлении, мм:

$$B' = \left(r_{ж} - \frac{d_{ш}}{2} \right) \cdot \cos \beta \quad (1.20)$$

Внутренний диаметр гайки, мм:

$$D_e = d_{cp} + 2 \cdot (r_{ж} - B') \quad (1.21)$$

Диаметр окружности, по которой происходит контакт шариков с гайкой, мм:

$$D_k = d_{cp} + 2 \cdot r_{ж} \cdot \cos \beta \quad (1.22)$$

Внешний диаметр гайки, мм:

$$D_n = D_e - 2 \cdot h_1 \quad (1.23)$$

Наружный диаметр гайки при расположении в ней возвратного канала, мм:

$$D = 1,3 \cdot D_e + 2 \cdot d_{ш} + 10 \quad (1.24)$$

Наружный диаметр гайки при расположении возвратного канала вне гайки, мм:

$$D = 1,3 \cdot D_e \quad (1.25)$$

1.3 Проверочный расчёт передачи по контактным напряжениям

Условие контактной прочности:

$$\sigma_{H \max} = 0,245 \cdot n_p \cdot \sqrt[3]{F_{A\Sigma} \cdot E_y^2 \cdot \left(\frac{2}{r_{ш}} - \frac{1}{r_{жс}} + \frac{2}{r_в} \right)^2} \leq [\sigma]_H \quad (1.26)$$

где

$\sigma_{H \max}$ – максимальные контактные напряжения, МПа;

$[\sigma]_H$ – допускаемые контактные напряжения, МПа (для

винтовых поверхностей винта и гайки твердостью $HRC \geq 53$ и шариков твердостью $HRC \geq 63$ допускаемые контактные напряжения равны $[\sigma]_H = 3500 \dots 5000$ МПа);

$r_{ш}$ – радиус шарика, $r_{ш} = d_{ш}/2$, мм;

$r_в$ – внутренний радиус винта, $r_в = d_в/2$, мм;

$E_y = (2 \dots 2,5) \cdot 10^5$ МПа, брать

$$E_y = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

$F_{A\Sigma}$ – суммарная осевая сила,

$$F_{A\Sigma} = F_{нагр} + F_H \quad (1.27)$$

F_H – сила предварительного натяга,

$$F_H = (0,25 \dots 0,35) \cdot F_{нагр}, \text{ брать } F_H = 0,3 \cdot F_{нагр};$$

n_p – коэффициент нагрузки, определяемый в зависимости от отношения главных кривизн A/D по таблице 1.1.

Главная кривизна в плоскости наиболее плотного касания:

$$A = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{r_{ш}} - \frac{1}{r_{жс}} \right) \quad (1.28)$$

Главная кривизна в плоскости наименее плотного касания:

$$D = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{r_{ш}} + \frac{1}{r_с} \right) \quad (1.29)$$

Таблица 1.1 – Значения коэффициента нагрузки η_p

А/Д	η_p	А/Д	η_p	А/Д	η_p
1,0000	1,0000	0,2967	0,9262	0,05797	0,7144
0,8459	0,9985	0,2501	0,9067	0,04237	0,6740
0,6816	0,9919	0,2004	0,8766	0,02962	0,6300
0,5022	0,9746	0,1462	0,8386	0,01787	0,5721
0,3410	0,9409	0,09287	0,7774	0,00385	0,4267

В данном типовом расчете ШВП необходимо самостоятельно провести еще минимум два проверочных расчета. Как предложение, например, можно выполнить проверочные расчеты винта ШВП на устойчивость: на статическую и на динамическую (см. справочник конструктора, Анурьев В.И., 2001г, т.2, стр.800).

2 Расчет требуемой мощности двигателя мехатронного модуля

Для мехатронного модуля поступательного движения требуемую мощность электродвигателя, Вт, определяют по формуле:

$$P = \frac{F_{A\Sigma} \cdot v_{вых}}{\eta} \cdot K_{дин} \quad (2.1)$$

где

$F_{A\Sigma}$ – усилие сопротивления на выходном звене мехатронного модуля, Н (суммарная осевая сила из проверочного расчёта ШВП по контактным напряжениям);

$v_{вых}$ – линейная скорость выходного звена мехатронного модуля, м/с;

η – коэффициент полезного действия мехатронного модуля (из расчёта геометрических параметров винта ШВП);

$K_{дин}$ – коэффициент запаса, учитывающий

влияние динамических нагрузок в период разгона и торможения; $K_{дин}=1, 1, \dots, 1, 3$, брать $K_{дин}=1, 3$.

Для мехатронного модуля вращательного движения требуемую мощность электродвигателя, Вт, определяют:

$$P = T_H \cdot \frac{\omega_{вых}}{\eta} \cdot K_{дин} \quad (2.2)$$

или

$$P = \frac{T_H \cdot n_{вых}}{9.55 \cdot \eta} \cdot K_{дин}, \quad (2.3)$$

где

T_H – момент сопротивления на выходном звене мехатронного модуля, Н·м;

$\omega_{вых}$ – угловая скорость выходного звена мехатронного модуля, c^{-1} ;

$n_{вых}$ – частота вращения выходного звена мехатронного модуля, об/мин.

3 Устройство асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

На рисунке 3.1 представлен общий вид асинхронного двигателя серии 4А со степенью защиты IP44 и способом охлаждения по ГОСТ20459-75.

Сердечники статора и ротора собраны из штампованных листов электротехнической стали толщиной 0.5 мм. Для листов сердечников двигателей с высотами оси вращения 50-132 мм применяется холоднокатаная нелегированная сталь марки 2013 (ГОСТ21427.2-75), для двигателей с высотами оси вращения 160-250 мм – холоднокатаная слаболегированная сталь марки 2212 (ГОСТ 21427.2-75), для двигателей с высотами оси вращения 280-355 мм- горячекатаная сталь марки 1312 (ГОСТ 21427.3-75).

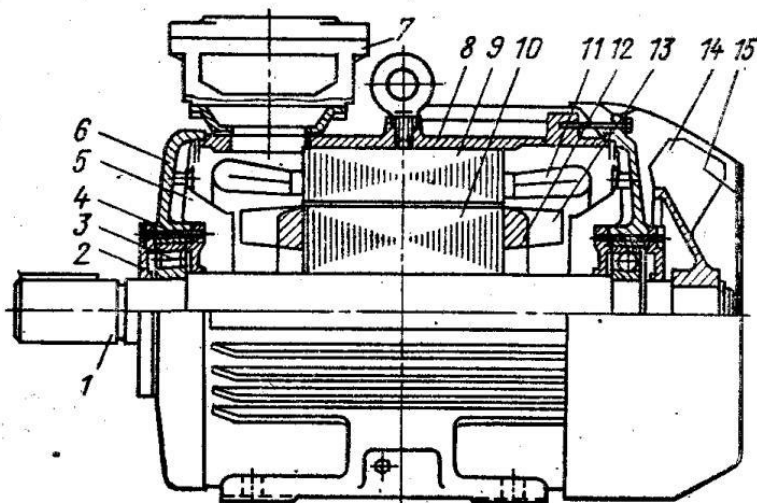


Рисунок 3.1 – Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором 4A200:

1 - вал, 2 - крышка подшипника наружная, 3 - подшипник, 4 - крышка подшипника внутренняя, 5 - щиток воздухонаправляющий, 6 - щит подшипниковый, 7 - вводное устройство, 8 - станина, 9 - сердечник статора, 10 - сердечник ротора, 11 - обмотка статора, 12 - обмотка ротора, 13 - вентиляционные лопатки ротора, 14 - вентилятор, 15 - кожух

Сердечники статоров двигателей с высотами оси вращения 50-180 мм скрепляются сваркой или скобами, а двигатели с высотами оси вращения 200-250 мм – только скобами. Листы сердечников статоров двигателей с высотами оси вращения 280-355 мм набирают непосредственно в станину, опрессовывают и закрепляют кольцевыми шпонками.

В предварительно изолированные пазы сердечников статора уложена обмотка. Двигатели с высотами оси вращения 50-160 мм за исключением двухполюсных двигателей с высотой оси вращения 160 мм, имеют однослойные всыпные статорные обмотки, двигатели с высотами оси вращения 180-250 мм и двухполюсные двигатели с высотой оси вращения 160 мм имеют однодвухслойные или двухслойные всыпные обмотки. В двигателях с высотами оси вращения 280-355 мм применяются жёсткие обмотки. Исключение составляют 10-полюсные двигатели с высотами

оси вращения 280-355 мм и 12-полюсные двигатели с высотами оси вращения 315-355 мм, имеющие всыпные двухслойные обмотки.

Станина имеет продольные ребра, увеличивающие поверхность охлаждения, и прилитые лапы. Станины двигателей с высотами оси вращения 50-63 мм изготавливаются из алюминиевого сплава. Двигатели с высотами оси вращения 71-160 мм имеют станины из алюминиевого сплава или чугуна. Станины двигателей с высотами оси вращения 180-250 мм – из чугуна. У двигателей с высотами оси вращения 280-355 мм могут быть станины как чугунные литые, так и стальные сварные.

Двигатели имеют на роторе литую короткозамкнутую клетку из алюминия марки А7 или А5 (ГОСТ 11069-74). С торцов клетки предусмотрены лопатки, которые служат для отвода теплоты от активных частей ротора и для перемешивания воздуха внутри двигателя.

Сердечник ротора с короткозамкнутой обмоткой посажен на вал. Вал лежит на двух подшипниковых опорах, состоящих из подшипников качения и подшипниковых щитов. Подшипниковые щиты двигателей с высотами оси вращения 50-63 мм отливаются из алюминиевого сплава. Ступица под подшипник у таких щитов армируется стальной втулкой. У двигателей с высотами оси вращения 71 мм и выше чугунный подшипниковые щиты. Подшипниковые щиты соединены со станиной замковым соединением и крепятся к станине винтами.

Охлаждение двигателей со степенью защиты IP44 осуществляется установленным на валу центробежным вентилятором, обдувающим ребристую станину машины. Вентилятор защищен кожухом, который служит одновременно и для направления воздушного потока.

В двигателях с высотами оси вращения 200-250 мм для улучшения охлаждения лобовых частей обмотки статора на подшипниковых щитах установлены воздухонаправляющие щитки.

Двигатели с высотами оси вращения 280-355 мм и степенью защиты IP44 (рис. 3.2) имеют дополнительное охлаждение ротора наружным воздухом, проходящим под действием малых лопаток вентилятора через жалюзи и окна в подшипниковых щитах, по трубкам и вентиляционным каналам ротора. Вращающиеся уплотнители обеспечивают требуемую степень защиты.

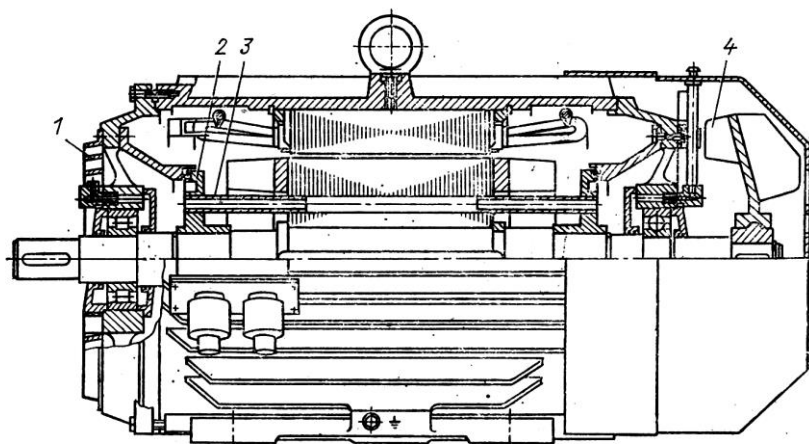


Рисунок 3.2 – Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором 4A280:

1 - жалюзи; 2 - уплотнитель; 3 - трубка; 4 - вентилятор.

На станине двигателя располагается вводное устройство. У двигателей с высотами оси вращения 50–250 мм (см. рис. 3.1) оно расположено сверху, а у двигателей с высотами оси вращения 280–355 мм (рис. 3.2) – сбоку.

Двигатели со встроенным электромагнитным тормозом выпускаются на базе двигателей основного исполнения или двигателей с повышенным скольжением в диапазоне высот вращения $h = 56 - 160$ мм. Тормозное устройство (рис. 3.3), состоящее из электромагнита, нажимного диска фрикционных элементов и пружин, смонтировано на конце вала со стороны вентилятора и закрыто общим с ним кожухом. Тормозные элементы выполнены из металлокерамики или материалов на основе асбокаучуковой композиции. При включении двигателя одновременно подается напряжение на катушку электромагнита, его якорь притягивается к ярму и, сжимая пружины, освобождает нажимный диск, вследствие чего двигатель растормаживается. При отключении двигателя от сети прекращается протекание тока по катушке электромагнита и его якорь под действием пружин прижимает нажимный диск к тормозным элементам, обеспечивая создание на валу тормозного момента. Охлаждение тормозного устройства осуществляется вентилятором двигателя, протягивающим охлаждающий воздух через тормозную систему.

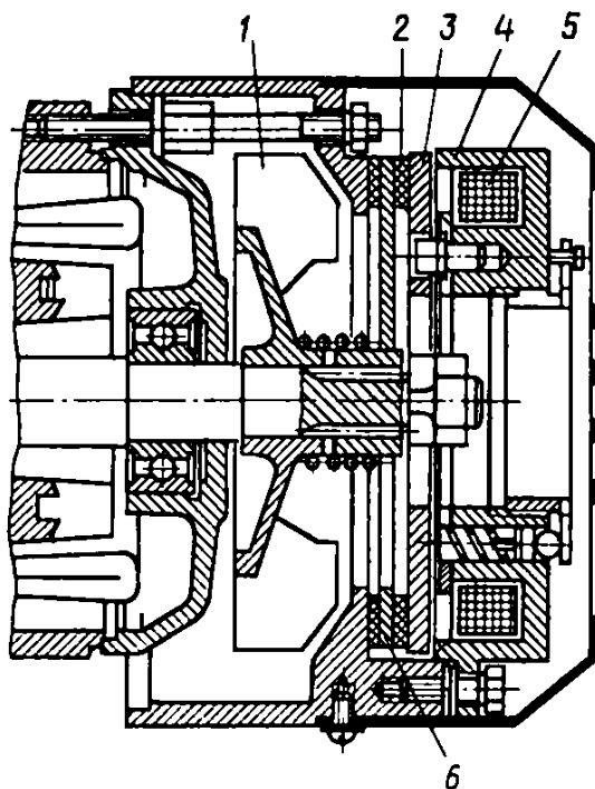


Рисунок 3.3 – Тормозная система двигателя:

1 – вентилятор; 2 – тормозной элемент; 3 – якорь электромагнита; 4 – ярмо; 5 – катушка; 6 – нажимной диск

Двигатели рассчитаны на повторно-кратковременный режим S4 с частыми пусками под нагрузкой (в зависимости от числа полюсов и режима работы в пределах 120 – 1500 пусков в час) при ПВ = 40%. Тормозное устройство обеспечивает тормозной момент не менее $(1.75 - 2)M_{ном}$.

Время торможения составляет не более 40 – 100 мс, время растормаживания – не более 100 – 200 мс. Мощность, потребляемая тормозным устройством в установившемся режиме, не превышает 0.5% от мощности, потребляемой электродвигателем. Энергетические показатели и пусковые характеристики рассматриваемых двигателей не более чем на 1... 1,5% хуже, чем у дви-

гателей основного исполнения. Питание тормозного магнита осуществляется от сети через специальное устройство; для обеспечения быстрого растормаживания при пуске применена форсировка тормозного магнита. Тормозное устройство обладает высокой надежностью и долговечностью. Оно обеспечивает 1 – 2 млн. срабатываний при вероятности безотказной работы 0.95.

4 Определение главных размеров статора и ротора асинхронного двигателя

Значения главных размеров статора и ротора двигателя необходимы при работе над сборочным чертежом мехатронного модуля. Размерами обмоток статора и ротора можно задаваться исходя из величин размеров сердечников статора и ротора в соответствии с пропорциями, показанными на рисунке 3.1. Вводное устройство чертить не обязательно.

Для расчета предлагается использовать учебное пособие: Гольдберг О.Д., Гурин Я.С., Свириденко И.С. Проектирование электрических машин: Учебник для вузов / Под ред. О.Д. Гольдберга. – М.: Высшая школа, 1984 /12/. Методика определения главных размеров статора и ротора асинхронного двигателя рассматривается со стр. 111 по стр. 127. Объем и последовательность расчета представлены в примере на стр. 126.

Рекомендации: выбор параметра h осуществляется по таблице 9-2 методики в /12/ исходя из значения параметра $D_{н1max}$. Значение $D_{н1max}$ определяется из таблицы 4.1.

Таблицы 4.1 Зависимость параметров $D_{н1max}$ и $D_{2п}$ от значения среднего диаметра винта ШВП

d_{cp}	16	20	25	32	40	50	63	80	100
$D_{н1max}$	96	96	108	122	122	139	175	197	233
$D_{2п}$	25	30	40	45	55	65	80	100	120

Далее целесообразность выбора параметра h проверяется по таблице 9-1 методики в /12/, из которой также выбираются значения мощности и момента двигателя для дальнейших расчетов.

Требования: таблицы и рисунки, необходимые для определения параметров двигателя, в обязательном порядке должны присутствовать в тексте пояснительной записки проекта.

Так как внутренний диаметр листов ротора D_2 в предлагаемой конструкции мехатронного модуля с ШВП ограничен наружным диаметром полого вала $D_{нар.пв}$, при условии $D_2 < D_{нар.пв}$ необходимо сделать соответствующий перерасчет, скомпенсировав указанное ограничение увеличением длины сердечника ротора.

Исходные данные для перерасчета главных размеров сердечников ротора и статора:

D_2 – внутренний диаметр листов ротора (определен по формуле (9-6) или (9-7) методики в /12/);

$D_{н2}$ – наружный диаметр сердечника ротора (определен по (9-5) методики в /12/);

l_2 – длина сердечника ротора (определена по (1-30) методики в /12/ в соответствии с условием равенства);

$D_{2П}$ – внутренний диаметр листов ротора в результате перерасчета (значение $D_{2П}$ определяется из таблицы 4.1, см. выше);

l_1 – длина сердечника статора (определена по (1-30) методики в /12/);

$l_{1П}$ – длина сердечника статора после перерасчета (соответствует значению длины сердечника ротора $l_{2П}$ после перерасчета);

D_1 – внутренний диаметр сердечника статора (определен по табл. 9-3 методики в /12/);

$D_{н1}$ – наружный диаметр сердечника статора (определен по табл. 9-2 методики в /12/).

Новое значение длины сердечника ротора:

$$l_{2П} = \frac{l_2 \cdot (D_{н2}^2 - D_2^2)}{(D_{н2}^2 - D_{2П}^2)} \quad (4.1)$$

Новое значение наружного диаметра сердечника статора:

$$D_{н1П} = \sqrt{\frac{l_1}{l_{1П}} \cdot (D_{н1}^2 - D_1^2) + D_1^2} \quad (4.2)$$

Таким образом, в результате перерасчета изменились параметры внутреннего диаметра листов ротора, длин сердечников

ротора и статора, а также величина наружного диаметра сердечника статора. Значения наружного диаметра сердечника ротора и внутреннего диаметра сердечника статора остались без изменения.

5 Расчет тормозного устройства мехатронного устройства

Тормозными называют устройства, которыми снабжают мехатронные модули для уменьшения скорости подвижного звена, остановки и удержания (фиксации) его в неподвижном состоянии.

При торможении происходит преобразование накопленной в процессе разгона движущихся масс кинетической энергии в другие обратимые или необратимые виды энергии (потенциальную, тепловую). Используемые для этого тормозные устройства создают дополнительную силу и момент сопротивления, направленные против движения и совершающие отрицательную работу на участке торможения. При этом накопленная энергия частично или полностью преобразуется (поглощается или рассеивается), постепенно снижается скорость движущихся масс по мере их приближения к заданной точке останова, устраняются их динамические нагрузки и удары, что способствует устранению отскоков и колебаний рабочих органов.

В зависимости от природы сил торможения тормозные устройства разделяют на механические, гидравлические, пневматические, электрические и комбинированные. Механические тормозные устройства подразделяют на пружинные, резиновые, эластомерные, инерционные и фрикционные; гидравлические - представляют собой устройства дроссельного регулирования; пневматические - могут быть напорными и вакуумными (применяются редко); к электрическим относят электромагнитные, индукционные и гистерезисные, а также порошковые тормозные устройства с сухим и жидким наполнителем фрикционного и дроссельного типов; комбинированные - включают в себя два или более типов перечисленных устройств (пневмогидравлические, пружинно-пневматические и др.).

Ко всем типам тормозных устройств предъявляют следующие основные требования: обеспечение заданного закона торможения; безударный останов и фиксация подвижных элементов в точках позиционирования; высокая надежность и долговечность

конструкции; высокое быстродействие; простота и компактность конструкции; стабильность характеристик при изменении условий работы; малая чувствительность к изменению температуры, влажности, тормозимой массы, скорости; возможность настройки и доступность регулирования; удобство осмотра и обслуживания; низкая стоимость, минимальные габариты и масса.

В управляемых электромагнитных тормозных устройствах источником создания тормозящего момента или усилия является электромагнитное поле, воздействующее прямо на движущиеся элементы (электромагнитные, индукционные и гистерезисные тормоза) или косвенно через порошкообразный сухой или жидкий наполнитель (электромагнитные порошковые тормоза и тормоза с ферромагнитными жидкостями).

Методика расчета дискового электромагнитного тормозного устройства приведена ниже.

В дисковом электромагнитном тормозе (рис. 5.1) диски 1 соединены с помощью шлицевого соединения с полумуфтой 2, а тормозные диски 3 – полумуфтой 4. Зазор между дисками 1 и 3 рекомендуют принимать $\delta = 0.3...0.5$ мм. Диски имеют осевую подвижность. Под действием пружины 5 они смещаются и приходят в соприкосновение друг с другом, образуя фрикционные пары.

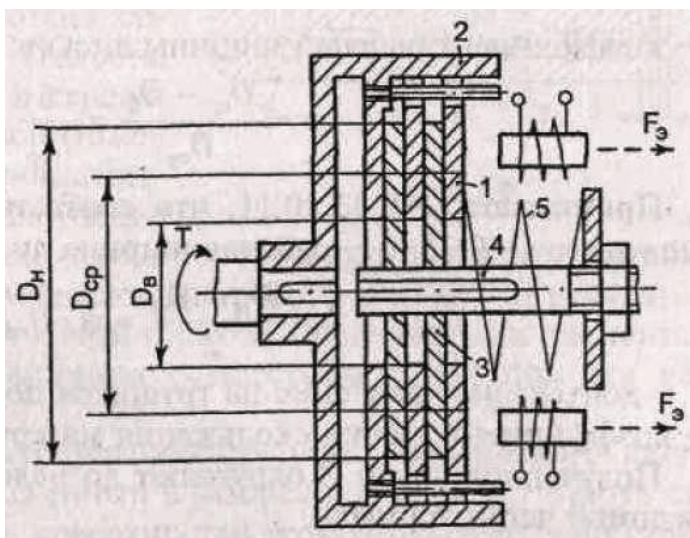


Рисунок 5.1 – Дисковый электромагнитный тормозной механизм

Число фрикционных пар, необходимое для затормаживания подвижного звена, нагруженного вращающим моментом T (момент следует принимать равным моменту двигателя ММ с небольшим запасом, равным 10%), находят из условия износостойкости:

$$q = \frac{2 \cdot K \cdot T}{\pi \cdot D_{\text{cp}}^3 \cdot f \cdot \psi \cdot Z} \leq [q] \quad (5.1)$$

по формуле:

$$Z \geq \frac{2 \cdot K \cdot T}{\pi \cdot D_{\text{cp}}^3 \cdot f \cdot \psi \cdot [q]}, \quad (5.2)$$

где

q – давление на трущихся поверхностях;

$K = 1.25 \dots 1.5$ – коэффициент, учитывающий эксплуатационные условия;

D_{cp} – средний диаметр кольца контакта дисков:

$$D_{\text{cp}} = \frac{D_{\text{н}} + D_{\text{в}}}{2}; \quad (5.3)$$

$D_{\text{н}}$ – наружный диаметр кольца контакта дисков:

$$D_{\text{н}} = D_{\text{cp}} \cdot (1 + \psi);$$

$D_{\text{в}}$ – внутренний диаметр кольца контакта дисков:

$$D_{\text{в}} = (0,5 \dots 0,6) \cdot D_{\text{н}};$$

ψ – коэффициент рабочей ширины дисков:

$$\psi = \frac{D_{\text{cp}} - D_{\text{в}}}{D_{\text{cp}}} = \frac{b}{D_{\text{cp}}};$$

(5.4)

принимают $\psi = 0.33 \dots 0.11$, что соответствует $D_{\text{в}} / D_{\text{н}} = (0.5 \dots 0.8)$;

b – рабочая ширина дисков:

$$b = \frac{D_H - D_B}{2} = \psi \cdot D_{cp}; \quad (5.5)$$

$[q]$ – допускаемое давление на трущихся поверхностях (табл. 5.1);

f – коэффициент трения скольжения материалов дисков (табл. 5.1).

Значениями параметров D_H и D_B разумно задаваться исходя из получаемых габаритов корпуса модуля и значения наружного диаметра полого вала, и в дальнейшем расчет числа фрикционных пар делать исходя из принятых размеров.

Так, например, для двигателя с номинальным моментом, равным 7 Н·м, с величинами $D_H = 60$ мм, $D_B = 40$ мм, параметры тормозного устройства будут иметь следующие значения.

$$D_{cp} = \frac{60 + 40}{2} = 50 \text{ мм}$$

$$\psi = \frac{50 - 40}{50} = \frac{10}{50} = 0.2$$

$$b = \frac{60 - 40}{2} = 10 \text{ мм}$$

$$Z \geq \frac{2 \cdot K \cdot T}{\pi \cdot D_{cp}^3 \cdot f \cdot \psi \cdot [q]} = \frac{2 \cdot 1.5 \cdot 7.7}{3.14 \cdot 0.05^3 \cdot 0.1 \cdot 0.2 \cdot 2 \cdot 10^6} = 1.47$$

Соответственно, исходя из полученного значения параметра Z , число фрикционных пар равно двум.

Таблица 5.1 – Допускаемое давление и коэффициент трения

Материалы фрикционных пар	Конусный тормоз		Дисковый тормоз	
	$[q]$, МПа	f (ft)	$[q]$, МПа	f (ft)
Закаленная сталь	—	—	2...4	0,1
Сталь-чугун	3...4	0,15	2...3	0,15
Сталь-бронза	5...6	0,05	4...5	0,05

Сталь-ферродо	1...2	0,3	2...2,5	0,3
Сталь-текстолит	4...5	0,2	5...6	0,2
Сталь-бронза	3...4	0,05	4...5	0,05

Необходимая сила пружины при числе Z пар тормозных поверхностей равна:

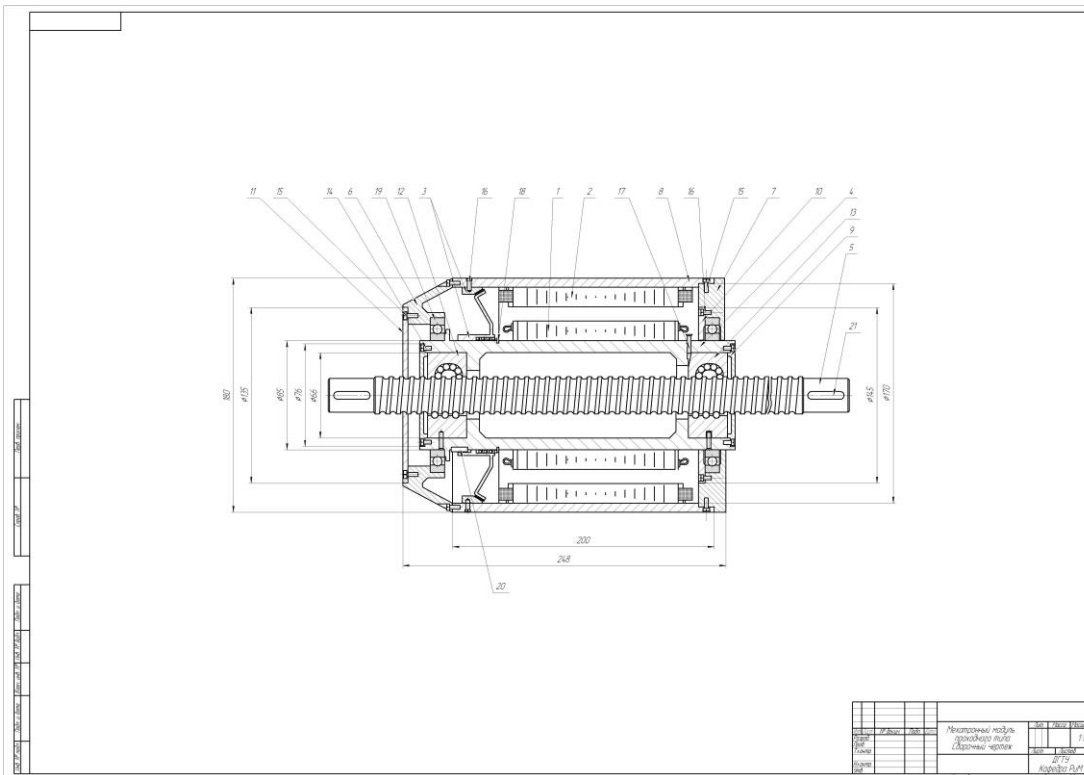
$$F_{\text{пр}} = c \cdot x = \frac{3 \cdot K \cdot T}{Z \cdot f} \cdot \frac{D_{\text{н}}^2 - D_{\text{в}}^2}{D_{\text{н}}^3 - D_{\text{в}}^3} \quad (5.6)$$

где c – жесткость пружины,

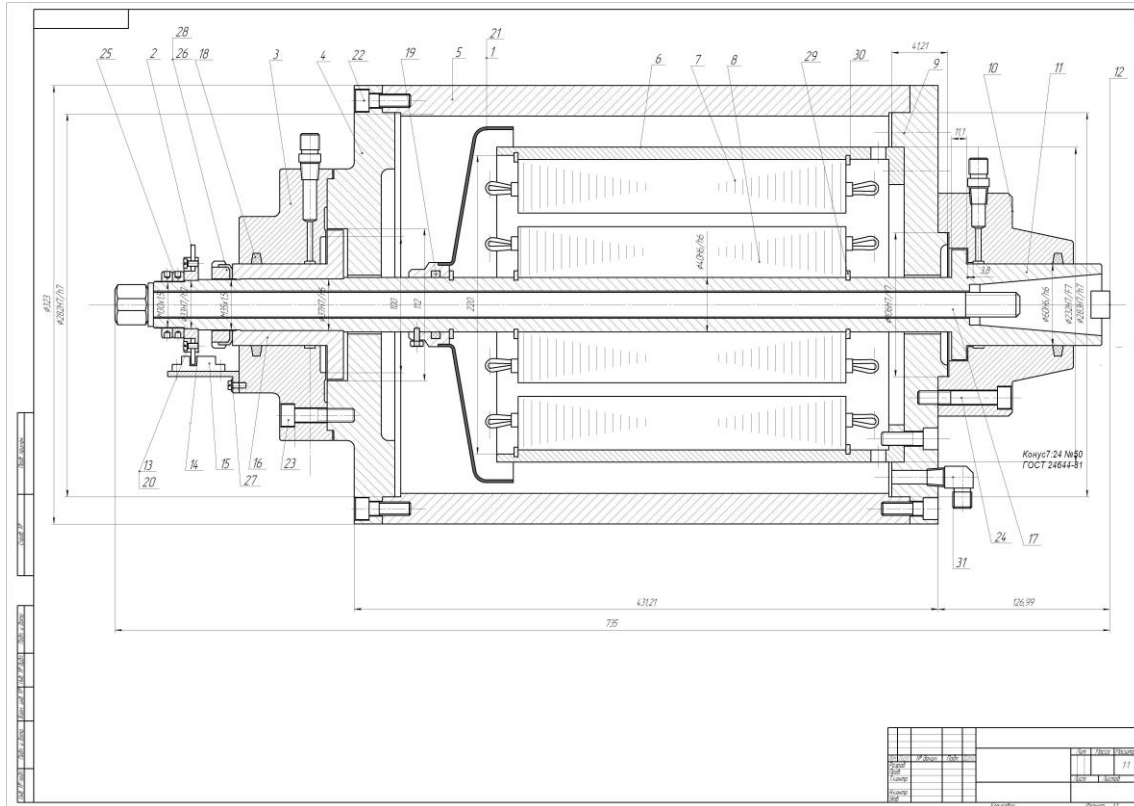
x – деформация пружины.

Растормаживание осуществляют с помощью электромагнитов, суммарное усилие которых должно быть больше силы пружины: $n \cdot F_{\text{э}} > F_{\text{пр}}$, где $F_{\text{э}}$ – усилие одного электромагнита; n – число электромагнитов.

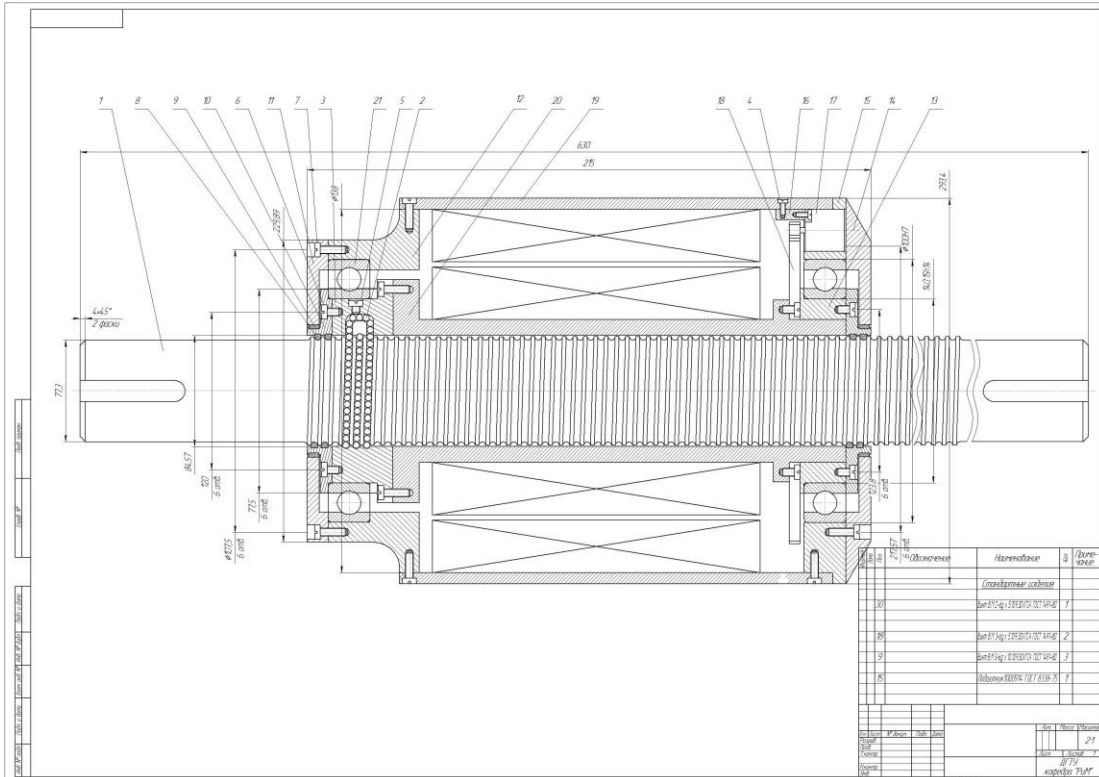
Примеры выполнения графической части курсового проекта



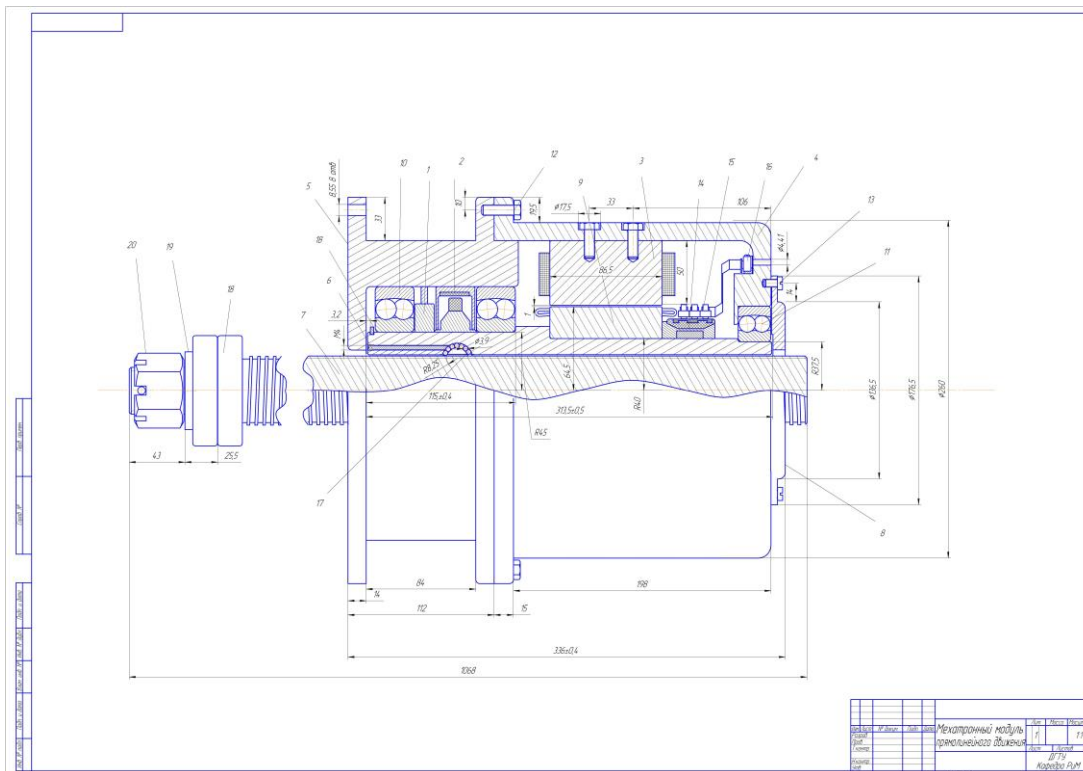
Робототехника и мехатроника



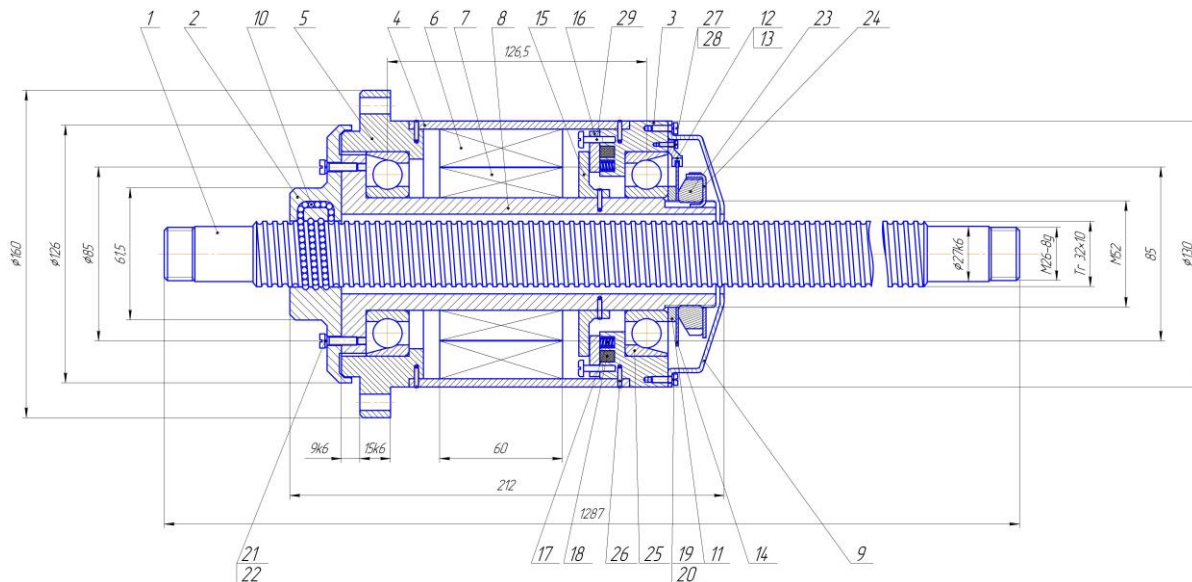
Робототехника и мехатроника



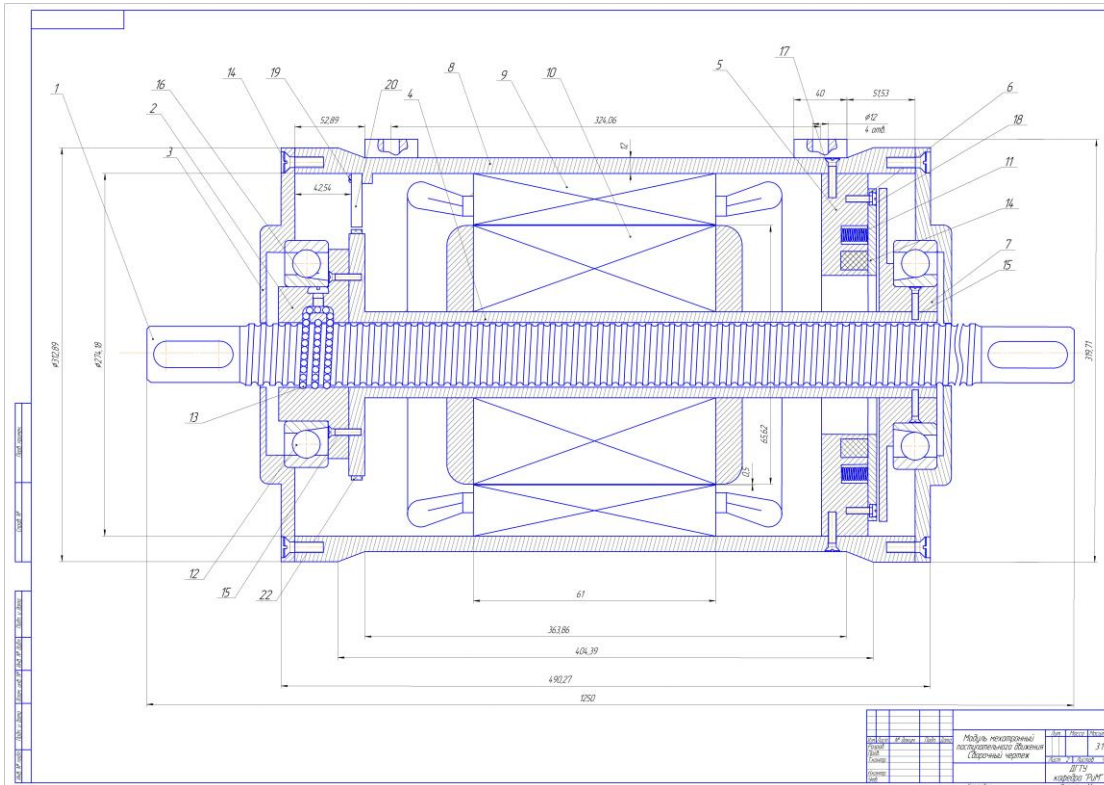
Робототехника и мехатроника



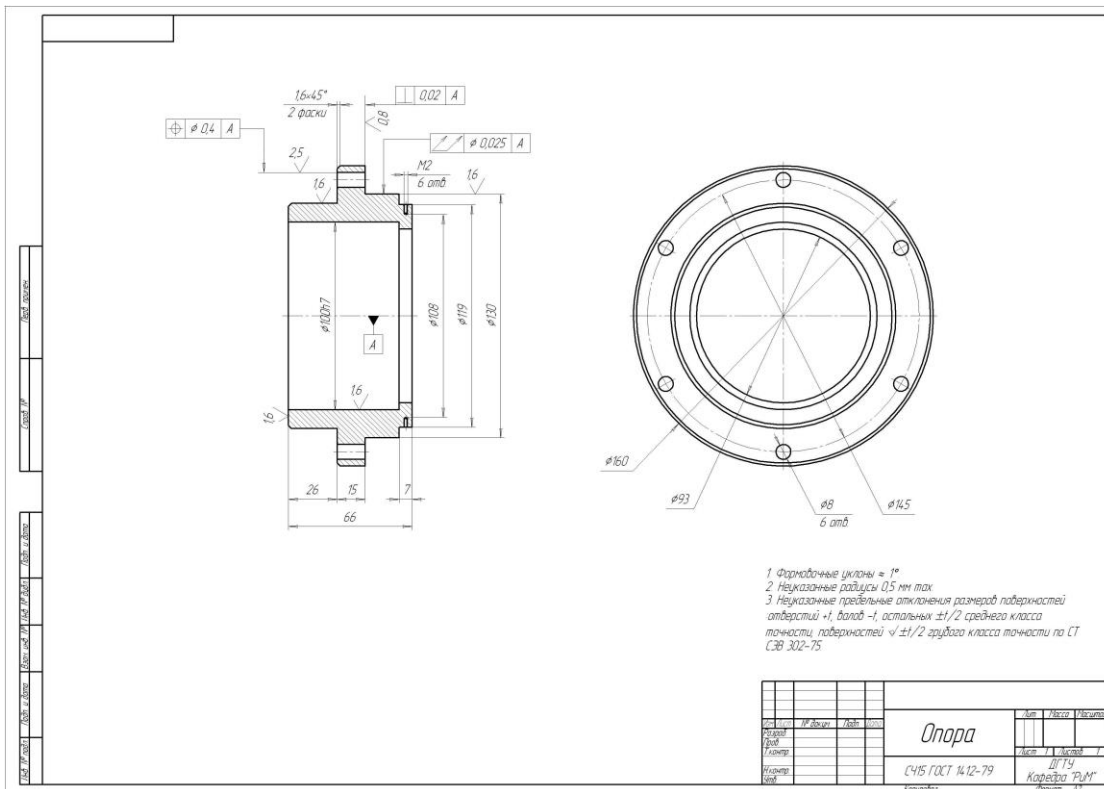
Робототехника и мехатроника

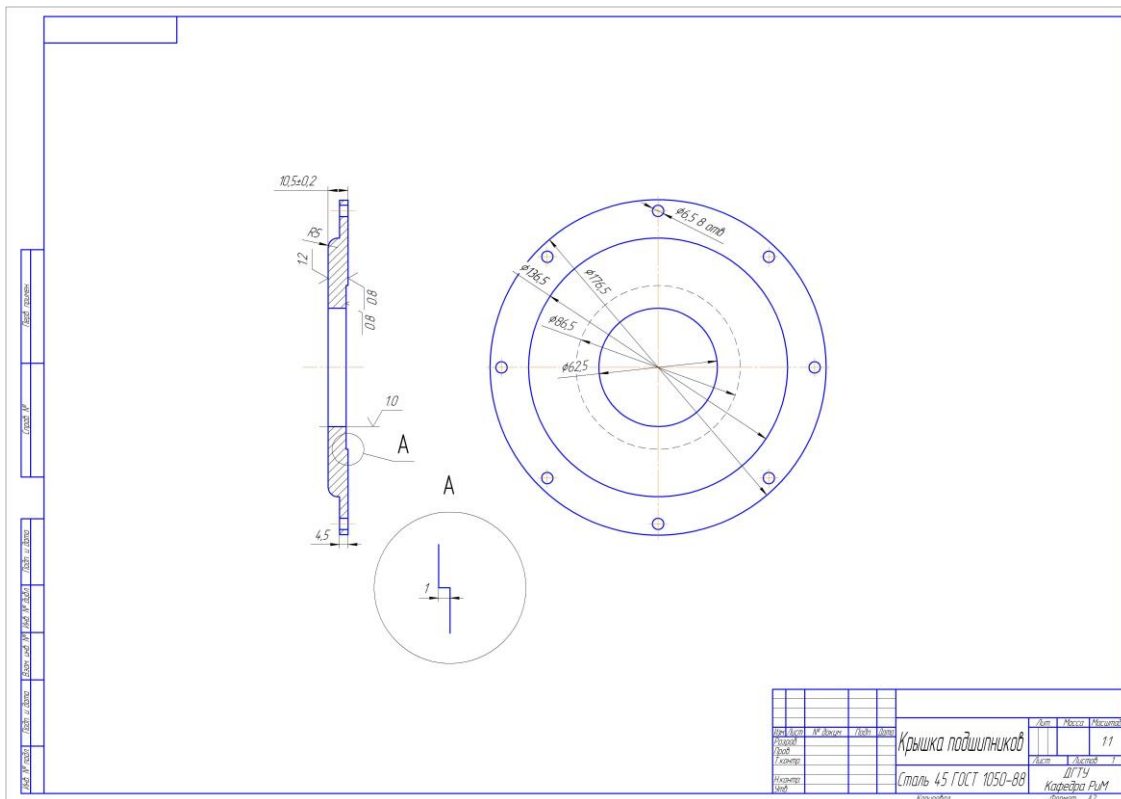


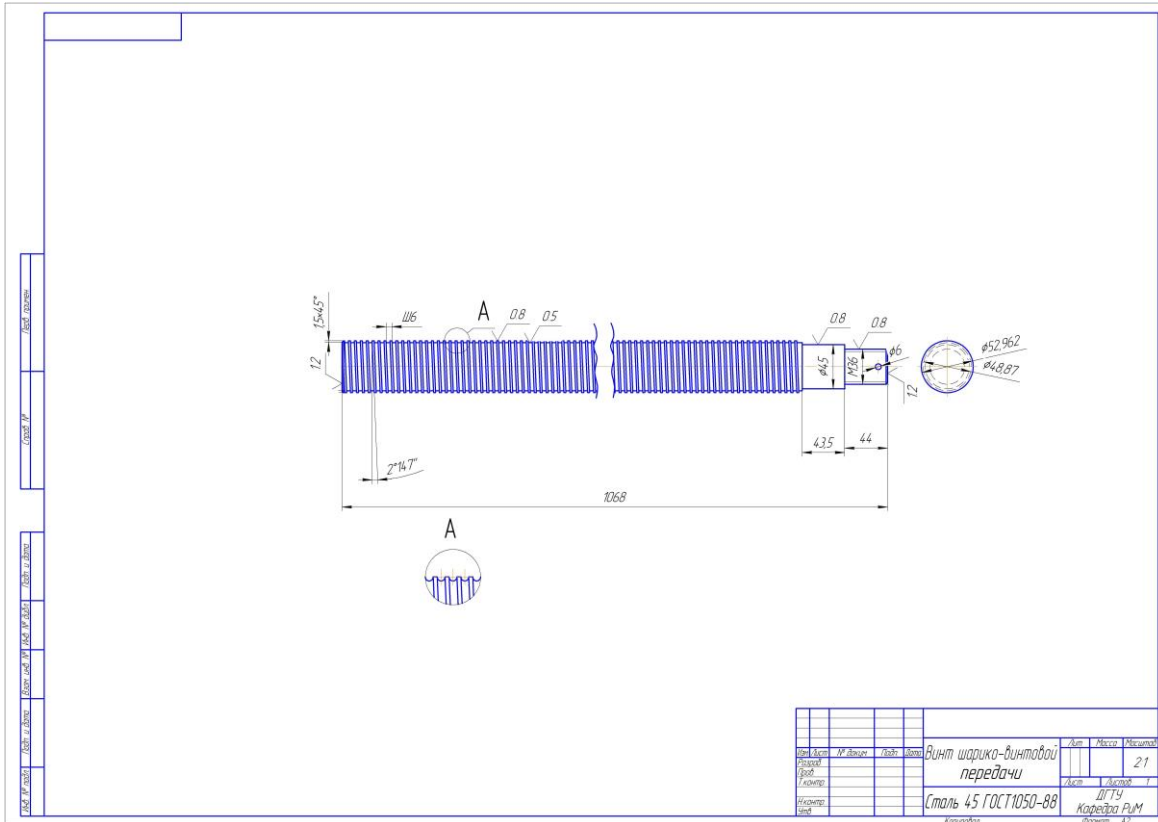
Робототехника и мехатроника



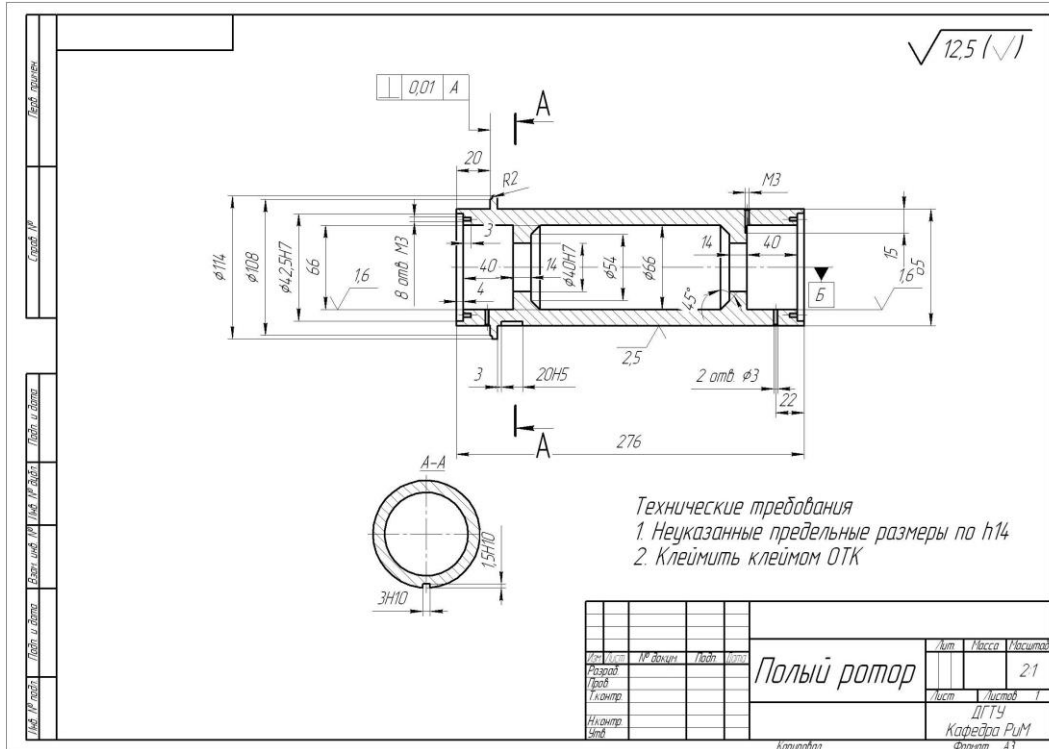
Робототехника и мехатроника







Робототехника и мехатроника



Список использованных источников

1. Введение в мехатронику: Учебное пособие/ А.К. Тугенгольд, И.В. Богуславский, Е.А. Лукьянов и др. Под ред. А.К. Тугенгольда. Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1999
2. О.Д. Егоров, Ю.В. Подураев. Конструирование мехатронных модулей: Учебник. Изд. второе, исправл. и доп. - М.: Изд-во «Станкин», 2005
3. А.М. Бражников, В.М. Домрачев. Цифровые преобразователи угла единого ряда для приводов широкого применения/Журнал «Приводная техника» №1, 1998
4. М.А. Аванесов, А.И. Балковой. Оптимизация электромагнитной структуры линейных мехатронных модулей/Журнал «Приводная техника» №5, 2001
5. М.А. Босинзон. Автоматизированные мехатронные модули линейных и вращательных перемещений/Журнал «Приводная техника» №1, 2002
6. Г.Б. Онищенко. Промышленный электропривод - некоторые итоги развития/ Журнал «Приводная техника» №2, 2001
7. М.А. Босинзон. Новые конструкции электромеханических шпиндельных узлов/ Журнал «СТИН» №5, 2004
8. Л.А. Садовский. В.Л. Виноградов. Развитие регулируемого электропривода с новыми типами машин переменного тока / Журнал «Приводная техника» №2, 2001
9. А.А. Петунин. Определение положения ротора в вентильном индукторном электроприводе / Журнал «Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика» №8, 2004
10. В.И. Анурьев. Справочник конструктора машиностроителя: В 3-х томах – 7-е изд., перераб и доп. / М.: Машиностроение, 1992
11. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин: учеб. пособие для техникумов. - М.: Высш. шк., 1991
12. Гольдберг О.Д., Гурин Я.С., Свириденко И.С. Проектирование электрических машин: Учебник для вузов / Под ред. О.Д. Гольдберга. – М.: Высшая школа, 1984
13. Кравчик А.Э. и др. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник. – М.: Энергоиздат, 1982
14. Радин В.И. и др. Электрические машины: Асинхронные машины: Учеб. для электромех. спец. вузов. – М.: Высш.

шк., 1988

15. И.Б. Пясик. Шариковые механизмы / М.: МАШГИЗ, 1962

16. Ю.В. Мещеряков. Характеристики узлов упорного гидростатического подшипника для шпиндельного узла типа шпиндель – поршень / Журнал «СТИН» №5, 2004

17. П.И. Орлов. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 1 / Под ред. П.Н. Усачева - Изд. 3-е, исп. - М.: Машиностроение, 1988

18. П.И. Орлов. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 2 / Под ред. П.Н. Усачева - Изд. 3-е, исп. - М.: Машиностроение, 1988