

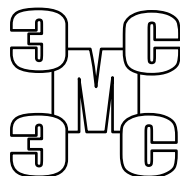
ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет»

Кафедра «Электромеханические системы и электроснабжение»

406-2007

РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ

**по дисциплине «Конструкции, расчет, проектирование, потребительские свойства электромагнитных устройств»,
разделу «Асинхронные машины»
для студентов специальности 140601 «Электромеханика»
всех форм обучения**



Воронеж 2007

Составители: канд. техн. наук Л.Н. Титова, доц. Ю.А. Перцев,
канд. техн. наук Д.А. Снегирев

УДК 612.313

Рабочая тетрадь по дисциплине «Конструкции, расчет, проектирование, потребительские свойства электромагнитных устройств», разделу «Асинхронные машины» для студентов специальности 140601 «Электромеханика» всех форм обучения / ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Л.Н. Титова, Ю.А. Перцев, Д.А. Снегирев. Воронеж, 2007. – 40 с.

Рабочая тетрадь предназначена для организации самостоятельной работы студентов. В рабочей тетради приведен алгоритм расчетов, методические указания и библиографический список, необходимые студентам при выполнении курсового проекта по дисциплине «Конструкции, расчет, проектирование, потребительские свойства электромагнитных устройств» в части проектирования асинхронного электродвигателя.

Рецензент канд. техн. наук, доц. Ю.В. Писаревский

Ответственный за выпуск зав. кафедрой канд. техн. наук, доц. В.П. Шелякин

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ГОУВПО «Воронежский государственный
технический университет», 2007

РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ

по дисциплине

**«Конструкции, расчет, проектирование, потребительские свойства
электромагнитных устройств»**

СТУДЕНТА (КИ) _____
(ФАМИЛИЯ, ИМЯ, ОТЧЕСТВО)

ГРУППА _____

ШИФР _____

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

ОЦЕНКА

ДАТА

ПОДПИСЬ

ИНИЦИАЛЫ, ФАМИЛИЯ
ПРЕПОДАВАТЕЛЯ

КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Основной литературой для выполнения курсового проекта являются:

1. Проектирование электрических машин: учеб. пособ. для вузов / И.П. Копылов, Ф.А. Горяинов и др.; Под ред. И.П. Копылова. – М.: Энергия, 1980.

2. Проектирование электрических машин: учебник / О.Д. Гольдберг, И.С. Свириденко; Под ред. О.Д. Гольдберга. 3-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 2006.

Ссылки по тексту алгоритма расчета асинхронного электродвигателя сделаны на перечисленные выше издания (гл.6 /1/, гл.9 /2/).

В рабочей тетради выполняются предварительные расчеты в соответствии с техническим заданием.

Пояснительная записка к курсовому проекту должна содержать все разделы согласно приведенному в рабочей тетради алгоритму и оформляется в соответствии с требованиями, изложенными в стандарте ВГТУ 62-2007.

Графическая часть курсового проекта состоит из сборочного чертежа (формата А1) спроектированного электродвигателя, выполненного в соответствии с ЕСКД. Электродвигатель должен быть представлен 2-мя видами с необходимыми разрезами и техническими требованиями. Пример общего вида электродвигателя рис.6-2, 6-3, стр.157-158 /1/, рис.3-2, 3-3, стр.41-42 /2/.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Наименование объекта проектирования	Электродвигатель асинхронный с короткозамкнутым ротором
Номинальный режим работы	Продолжительный
Исполнение ротора	Короткозамкнутый ротор
Номинальная отдаваемая мощность P_2 , кВт	
Количество фаз статора, m_1	3
Способ соединения фаз статора	Δ/Y
Частота сети f , Гц	50
Номинальное линейное напряжение U , В	220/380
Синхронная частота вращения n_1 , об/мин	
Степень защиты от внешних воздействий	IP
Исполнение по способу охлаждения	IC
Исполнение по способу монтажа	На лапах
Категория климатического исполнения	УХЛ
Способ соединения с приводным механизмом	Упругая муфта

Дата выдачи задания _____

Руководитель _____

Студент _____

1 Электромагнитный расчёт

1.1 Выбор главных размеров (п.6-4 /1/)	
1.1.1 Число пар полюсов	
$p = \frac{60 \cdot f}{n_1}$	
1.1.2 Высота оси вращения по рис.6-7, а, б /1/. Принимаем из стандартного ряда высот (табл.6-6 /1/) ближайшее значение h , мм. Соответственно наружный диаметр статора D_a , м.	
1.1.3 Внутренний диаметр статора	
$D = k_D \cdot D_a, \text{ м}$ <p>где k_D - коэффициент, характеризующий отношение внутреннего и наружного диаметров сердечника статора асинхронного двигателя серии 4А, (табл. 6-7 /1/).</p>	
1.1.4 Полусное деление	
$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p}, \text{ м}$	
1.1.5 Принимаем (по рис.6-11, 6-12 /1/)	
- линейная нагрузка A , А/м; - индукция в воздушном зазоре B_δ , Тл.	
1.1.6 Расчётная мощность	
$P' = P_{2,н} \cdot \frac{k_E}{\eta \cdot \cos\varphi}, \text{ Вт},$ <p>где k_E - коэффициент, характеризующий отношение ЭДС обмотки статора к номинальному напряжению (рис.6-8 /1/), $\eta, \cos\varphi$ по рис.6-9 /1/</p>	
1.1.7 Расчётная длина воздушного зазора	
$l_\delta = \frac{P'}{k_B \cdot D^2 \cdot \Omega \cdot k_{об,1} \cdot A \cdot B_\delta}, \text{ м}$ <p>где k_B - коэффициент формы поля, (стр.167 /1/), $k_B = 1,11$; Ω - синхронная угловая скорость ротора, $k_{об,1}$ - предварительный обмоточный выбирают в зависимости от типа обмотки статора.</p> $\Omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_1}{60}, \text{ рад/с},$	
1.1.8 Для проверки правильности выбора главных размеров определим отношение	
$\lambda = \frac{l_\delta}{\tau}.$ <p>Где $\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p}$, м - полюсное деление</p> <p>Полученное значение λ сравниваем с рекомендуемыми пределами для данной высоты оси вращения по рис.6-14 /1/. Если значение λ не входит в рекомендуемые пределы, то следует изменить высоту оси вращения (табл.6-6) и повторить расчет по п.п. 1.1.1-1.1.8.</p>	

1.2 Определение числа пазов статора, числа витков и сечения провода обмотки статора (п.п.6-4, 6-5 /1/)	
<p>Обмотка статора выбирается в соответствии с высотой оси вращения электродвигателя: $h \leq 160$ мм - однослойная насыпная обмотка; $h > 160$ мм - двухслойная из мягких или из жестких катушек. $h \leq 250$ мм и $h \geq 280$ мм с $2p \geq 10$ - обмотка из круглого обмоточного провода; $h \geq 280$ мм при $2p \leq 8$ - обмотка полужесткая из прямоугольного провода, укладываемая в полуоткрытые пазы.</p>	
<p>1.2.1 Предельные значения зубцового деления статора по рис.6-15, стр.170 /1/ $t_{1, \min}$, мм; $t_{1, \max}$, мм.</p>	
<p>1.2.2 Число пазов статора</p> $Z_{1, \min} = \frac{\pi \cdot D}{t_{1, \max}},$ $Z_{1, \max} = \frac{\pi \cdot D}{t_{1, \min}}.$	
<p>1.2.3 Число пазов статора должно быть кратным числу фаз m и число катушечных групп q должно быть целым числом. Следовательно, принимаем $Z_1 =$.</p>	
<p>1.2.4 Число катушечных групп</p> $q = \frac{Z_1}{2p \cdot m},$ <p>где m - число фаз обмотки статора, $m = 3$.</p>	
<p>1.2.5 Уточняем зубцовое деление статора</p> $t_1 = \frac{\pi \cdot D}{Z_1}, \text{ м.}$	
<p>1.2.6 Номинальный ток обмотки статора</p> $I_{1, \text{н}} = \frac{P_2}{m \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi}, \text{ А.}$	
<p>1.2.7 Принимаем предварительно число пар параллельных ветвей обмотки $a = 1$. Тогда предварительное число эффективных проводников в пазу</p> $u_{\text{п}}' = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_{1, \text{н}} \cdot Z_1},$	
<p>1.2.8 Уточняем значение a (в соответствии с типом обмотки п.3-7 /1/, стр.129 /2/) и, следовательно, уточняем значение числа эффективных проводников в пазу</p> $u_{\text{п}} = a \cdot u_{\text{п}}', \text{ (стр.171 /1/).}$	

<p>1.2.9 Число витков в фазе обмотки статора</p> $w_1 = \frac{u_n \cdot Z_1}{2a \cdot m},$	
<p>1.2.10 Уточняем значение линейной нагрузки</p> $A = \frac{2 \cdot I_{1,н} \cdot w_1 \cdot m}{\pi \cdot D}, \text{ А/м}$	
<p>1.2.11 Полюсное деление, выраженное в зубцах статора</p> $\tau = \frac{Z_1}{2p},$	
<p>1.2.12 Предварительное значение шага обмотки:</p> <p>- для однослойной обмотки с диаметральным шагом по пазам</p> $y = \tau$ <p>- для двухслойной обмотки с укороченным шагом</p> $y = \beta \cdot \tau,$ <p>где β - предварительное значение укорочения шага обмотки выбирают таким, чтобы y равнялось целому числу: $\beta \approx 0,6$ при $2p=2$; $\beta \approx 0,8$ при $2p \geq 4$ (п.3-5 и стр.171 /1/).</p>	
<p>1.2.13 Уточняем значение укорочения шага обмотки</p> $\beta = \frac{y}{\tau},$	
<p>1.2.14 Магнитный поток в воздушном зазоре</p> $\Phi_\delta = \frac{k_E \cdot U_n}{4 \cdot k_B \cdot w_1 \cdot k_{об,1} \cdot f}, \text{ Вб},$ <p>где $k_{об,1}$ - обмоточный коэффициент обмотки статора,</p> $k_{об,1} = k_p \cdot k_y,$ <p>где k_p - коэффициент распределения обмотки статора;</p> $k_p = \frac{0,5}{q \cdot \sin \frac{30^\circ}{q}},$ <p>где k_y - коэффициент укорочения обмотки статора;</p> $k_y = \sin \left(\frac{\pi}{2} \beta \right),$ <p>- для однослойной обмотки с диаметральным шагом $\beta = 1$.</p>	
<p>1.2.15 Уточняем значение магнитной индукции в воздушном зазоре</p> $B_\delta = \frac{p \cdot \Phi_\delta}{D \cdot l_\delta}, \text{ Тл}$ <p>и сравниваем с допустимыми значениями по рис.6-11 /1/.</p>	

<p>1.2.16 Предварительно плотность тока в обмотке статора</p> $j_1 = \frac{A \cdot j_1}{A}, \text{ A/м}^2,$ <p>где $A \cdot j_1$ - произведение линейной нагрузки и плотности тока в обмотке статора, $\text{A}^2/\text{м}^3$ (рис.6-16 /1/).</p>	
<p>1.2.17 Предварительное сечение эффективного проводника</p> $Q_{\text{эф}} = \frac{I_{1, \text{н}}}{a \cdot j_1}, \text{ м}^2.$	
<p>1.2.18 Выбирается тип обмоточного провода в соответствии с высотой вращения электродвигателя и класс нагревостойкости изоляции (табл. П-28, П-29 /1/).</p>	
<p>1.2.19 Если необходимо принимаем число элементарных проводников в одном эффективном $n_{\text{эл}}$ (стр.172 /1/). Тогда сечение элементарного проводника</p> $q_{\text{эл}} = \frac{Q_{\text{эф}}}{n_{\text{эл}}}, \text{ м}^2.$	
<p>1.2.20 Принимаем ближайший стандартный провод (табл. П-28 /1/) для круглого сечения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - диаметр голого провода $d_{\text{из}}$, м; - диаметр изолированного провода $d_{\text{г}}$, м; - сечение провода $q_{\text{эл}}$, м^2. <p>Для проволоки прямоугольного сечения (табл. П-29 /1/):</p> <ul style="list-style-type: none"> - по меньшей стороне a, м; - по большей стороне b, м; - сечение проволоки $q_{\text{эл}}$, м^2. 	
<p>1.2.21 Уточняем значение эффективного проводника</p> $Q_{\text{эф}} = n_{\text{эл}} \cdot q_{\text{эл}}, \text{ м}^2.$	
<p>1.2.22 Уточняем плотность тока в обмотке статора</p> $j_1 = \frac{I_{1, \text{н}}}{a \cdot Q_{\text{эф}}}, \text{ A/м}^2.$	
<p>Схема обмотки статора приводится в пояснительной записке курсового проекта (пример схемы обмотки статора в приложении А рабочей тетради).</p>	
<p>1.3 Расчёт размеров зубцовой зоны статора и воздушного зазора (п.6-5 /1/)</p>	
<p>1.3.1 Паз статора выбирается по рекомендациям п.6-5, рис.6-17, 6-18, 6-18 /1/.</p>	
<p>1.3.2 Предварительно принимаем</p> <ul style="list-style-type: none"> - индукцию в зубцах статора $B_{z,1}$, Тл , - индукцию в ярме статора B_a, Тл (табл. 6-10 /1/). 	

<p>1.3.3 Ширина зубца статора</p> $b_{z,1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot l_{\delta}}{B_{z,1} \cdot l_{ст,1} \cdot k_c}, \text{ м,}$ <p>где $l_{ст,1}$ - длина стали сердечника статора, $l_{ст,1} = l_{\delta}$, м, k_c - коэффициент заполнения сталью магнитопровода листами электротехнической стали (табл.6-11 /1/).</p>	
<p>1.3.4 Высота ярма статора</p> $h_a = \frac{\Phi_{\delta}}{2 \cdot B_a \cdot l_{ст,1} \cdot k_c}, \text{ м.}$	
<p>1.3.5 Принимаем</p> <ul style="list-style-type: none"> - высоту шлица паза статора $h_{ш,1}$, м, - ширину шлица паза статора $b_{ш,1}$, м (стр.177 /1/). 	
<p>1.3.6 Высота паза статора</p> $h_{п,1} = \frac{D_a - D}{2} - h_a, \text{ м.}$	
<p>1.3.7 Большая ширина паза статора</p> $b_1 = \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot h_{п,1})}{Z_1} - b_{z,1}, \text{ м.}$	
<p>1.3.8 Меньшая ширина паза статора</p> $b_2 = \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot h_{ш,1} - b_{ш,1}) - Z_1 \cdot b_{z,1}}{Z_1 - \pi}, \text{ м.}$	
<p>1.3.9 Расстояние между основаниями паза статора</p> $h_1 = h_{п,1} - \left(h_{ш,1} + \frac{b_2 - b_{ш,1}}{2} \right), \text{ м.}$	
<p>1.3.10 Принимаем припуски на размеры паза при сборке</p> <ul style="list-style-type: none"> - по ширине $\Delta b_{п}, \cdot 10^{-3}$ м, - по высоте $\Delta h_{п}, \cdot 10^{-3}$ м (стр. 177 /1/). 	
<p>1.3.11 Размеры паза статора в свету с учётом припусков</p> $b'_1 = b_1 - \Delta b_{п}, \text{ м;}$ $b'_2 = b_2 - \Delta b_{п}, \text{ м;}$ $h'_1 = h_1 - \Delta h_{п}, \text{ м.}$	
<p>1.3.12 Площадь поперечного сечения корпусной изоляции в пазу</p> $S_{из} = b_{из} \cdot (2 \cdot h_{п,1} + b_1 + b_2), \text{ м}^2,$ <p>где $b_{из}$ - односторонняя толщина пазовой изоляции (табл. 3-8 /1/).</p>	
<p>1.3.13 Площадь поперечного сечения прокладок в пазу</p> <ul style="list-style-type: none"> - при однослойной обмотке $S_{пр} = 0$; - для двигателей с $h=180 \div 250$ мм 	

$S_{пр} = (0,4 \cdot b_1 + 0,9 \cdot b_2) \cdot 10^{-3};$ <p>- для двигателей с $h \geq 280$ мм</p> $S_{пр} = 0,6 \cdot (b_1 + b_2) \cdot 10^{-3}, \text{ м}^2.$	
<p>1.3.14 Площадь поперечного сечения паза для размещения проводников</p> $S'_{п} = \frac{b'_1 + b'_2}{2} \cdot h'_1 - S_{из} - S_{пр}, \text{ м}^2.$	
<p>1.3.15 Коэффициент заполнения паза статора проводниками</p> $k_3 = \frac{d_{из}^2 \cdot u_{п} \cdot n_{эл}}{S'_{п}},$ <p>полученное значение сравнить по табл.3-12, п.3-3 /1/. При необходимости скорректировать число эффективных проводников в пазу и уточнить величину магнитной индукции в воздушном зазоре B_{δ}, зубцах $B_{z,1}$ и ярме B_a. Или изменить размеры паза и повторить расчет по п.п.1.3.1-1.3.15.</p>	
<p>Эскиз паза статора представить в пояснительной записке курсового проекта (пример паза статора в приложении Б рабочей тетради).</p>	
<p>1.4 Расчёт ротора (п.6-7,6 /1/)</p>	
<p>В электродвигателях с высотой оси вращения $h \leq 160$ мм на роторе выполняется скос пазов на одно зубцовое деление $b_{ск} = t_2$, что учитывается в дальнейших расчетах (стр.205 /1/)</p>	
<p>1.4.1 Принимаем</p> <p>- величину воздушного зазора $\delta, \text{ м}$ по рис. 6-21 /1/ или стр.123 /2/,</p> <p>- число пазов ротора Z_2 по табл.6-15/1/ или табл.9-11, стр.125 /2/.</p>	
<p>1.4.2 Внешний диаметр ротора</p> $D_2 = D - 2 \cdot \delta, \text{ м.}$	
<p>1.4.3 Длина ротора</p> <p>- для $h \leq 250$ мм $l_2 = l_{\delta}, \text{ м.}$</p> <p>- для $h > 250$ мм $l_2 = l_{\delta} + 5 \cdot 10^{-3}, \text{ м.}$</p>	
<p>1.4.4 Зубцовое деление ротора</p> $t_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2}, \text{ м.}$	
<p>1.4.5 Внутренний диаметр сердечника ротора</p> $D_j = D_B = k_B \cdot D_a, \text{ м,}$ <p>где k_B - коэффициент, характеризующий отношение наружного диаметра сердечника статора к внутреннему диаметру сердечника ротора по табл.6-16 /1/.</p>	
<p>1.4.6 Коэффициент приведения токов статора и ротора</p> $v_i = \frac{2 \cdot m \cdot k_{об,1} \cdot w_1}{Z_2},$	

<p>1.4.7 Ток в стержне ротора</p> $I_2' = k_i \cdot I_1 \cdot v_i, \text{ А,}$ <p>где k_i - коэффициент, учитывающий влияния тока намагничивания и сопротивления обмоток на отношение I_1/I_2 по рис.6-22/1/.</p>	
<p>1.4.8 Предварительно принимаем плотность тока в стержнях ротора j_2, А/м² стр.186 /1/.</p>	
<p>1.4.9 Предварительное значение сечение стержня ротора</p> $q_c = \frac{I_2'}{j_2}, \text{ м}^2.$	
<p>1.4.10 Паз ротора выбираем по рис.6-27, по рекомендациям стр.188 /1/</p> <ul style="list-style-type: none"> - высота шлица паза ротора $h_{ш,2}$, м , - ширина шлица паза ротора $b_{ш,2}$, м , - высота перемычки над пазом $h'_{ш,2}$, м , если паз закрытый. 	
<p>1.4.11 Ширина зубца ротора для грушевидных пазов</p> $b_{z,2} = \frac{B_\delta \cdot t_2 \cdot l_\delta}{B_{z,2} \cdot l_{ст,2} \cdot k_c}, \text{ м,}$ <p>где $B_{z,2}$ - предварительное значение индукции в зубцах ротора (табл.6-10), $l_{ст,2}$ - длина стали сердечника ротора, $l_{ст,2} = l_2$, м .</p>	
<p>1.4.12 Диаметр большей окружности паза ротора (для грушевидных пазов)</p> $b_1 = \frac{\pi \cdot (D_2 - 2 \cdot h_{ш,2} - 2 \cdot h'_{ш}) - Z_2 \cdot b_{z,2}}{\pi + Z_2}, \text{ м.}$	
<p>1.4.13 Диаметр меньшей окружности паза ротора (для грушевидных пазов)</p> $b_2 = \sqrt{\frac{b_1^2 \cdot \left(\frac{Z_2 + \pi}{\pi} + \frac{\pi}{2}\right) - 4 \cdot q_c}{\frac{Z_2 - \pi}{\pi} - \frac{\pi}{2}}}, \text{ м.}$	
<p>1.4.14 Расстояние между центрами окружностей паза ротора (для грушевидных пазов)</p> $h_1 = (b_1 - b_2) \cdot \frac{Z_2}{2 \cdot \pi}, \text{ м.}$	
<p>1.4.15 Уточняем значение площади поперечного сечения стержня (для грушевидных пазов)</p> $q_c = \frac{\pi}{8} \cdot (b_1^2 + b_2^2) + \frac{1}{2} \cdot (b_1 + b_2) \cdot h_1, \text{ м.}$	
<p>Эскиз паза ротора представить в пояснительной записке курсового проекта (пример паза ротора в приложении Б рабочей тетради).</p>	

1.4.16 Уточняем плотность тока в стержне	
$j_2 = \frac{I_2'}{q_c}, \text{ A/ м}^2.$	
1.4.17 Ток в замыкающем кольце	
$I_{\text{кл}} = \frac{I_2'}{\Delta}, \text{ A},$	
где $\Delta = 2 \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot p}{Z_2}\right),$	
1.4.18 Предварительно принимаем плотность тока в замыкающих кольцах $j_{\text{кл}} = 0,8 \cdot j_2, \text{ A/ м}^2.$	
1.4.19 Предварительное значение площади поперечного сечения замыкающего кольца	
$q_{\text{кл}} = \frac{I_{\text{кл}}}{j_{\text{кл}}}, \text{ м}^2.$	
1.4.20 Высота паза ротора	
$h_{\text{п},2} = h_{\text{ш}}' + h_{\text{ш}} + h_1 + \frac{b_1 + b_2}{2}, \text{ м}.$	
1.4.21 Высота замыкающего кольца	
$b_{\text{кл}} = 1,25 \cdot h_{\text{п},2}, \text{ м}.$	
1.4.22 Толщина замыкающего кольца	
$a_{\text{кл}} = \frac{q_{\text{кл}}}{b_{\text{кл}}}, \text{ м}.$	
1.4.23 Уточняем площадь поперечного сечения замыкающего кольца	
$q_{\text{кл}} = a_{\text{кл}} \cdot b_{\text{кл}}, \text{ м}^2.$	
1.4.24 Уточняем плотность тока в замыкающих кольцах	
$j_{\text{кл}} = \frac{I_{\text{кл}}}{q_{\text{кл}}}, \text{ A/ м}^2.$	
1.4.25 Средний диаметр замыкающих колец	
$D_{\text{кл, ср}} = D_2 - b_{\text{кл}}, \text{ м}.$	
1.5 Расчёт намагничивающего тока (п.6-8 /1/)	
1.5.1 Уточняем индукцию в зубцах статора	
$B_{z,1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot l_{\delta}}{b_{z,1} \cdot l_{\text{ст},1} \cdot k_c}, \text{ Тл}$	
1.5.2 Уточняем индукцию в зубцах ротора	
$B_{z,2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2 \cdot l_{\delta}}{b_{z,2} \cdot l_{\text{ст},2} \cdot k_c}, \text{ Тл}$	

<p>1.5.3 Уточняем индукцию в ярме статора</p> $B_a = \frac{\Phi}{2 \cdot h'_a \cdot l_{ст,1} \cdot k_c}, \text{ Тл,}$ <p>где h'_a - расчётная высота ярма статора</p> <ul style="list-style-type: none"> - при отсутствии аксиальных вентиляционных каналов $h'_a = h_a$, м. (п.п.1.3.4); - при наличии аксиальных вентиляционных каналов (6-106), стр. 193 /1/. 	
<p>1.5.4 Расчётная высота ярма ротора</p> <p>Рекомендации по выбору аксиальных вентиляционных каналов стр.191 /1/</p> <ul style="list-style-type: none"> - при $h \geq 250$ мм выполняют аксиальные вентиляционные каналы (6-109), стр.194 /1/. $h'_j = \frac{2+p}{3,2p} \left(\frac{D_2}{2} - h_{п,2} \right) - \frac{2}{3} d_{к,2} m_{к,2}, \text{ м,}$ <p>где $d_{к,2}$, - диаметр аксиальных каналов, м;</p> <p>$m_{к,2}$ - число рядов аксиальных каналов;</p> <ul style="list-style-type: none"> - при отсутствии аксиальных вентиляционных каналов $d_{к,2}=0$, $m_{к,2}=0$; - для крупных асинхронных машин высота ярма ротора по (6-108), стр.194 /1/. 	
<p>1.5.5 Индукция в ярме ротора</p> $B_j = \frac{\Phi}{2 \cdot h'_j \cdot l_{ст,2} \cdot k_c}, \text{ Тл.}$	
<p>1.5.6 Коэффициент воздушного зазора, обусловленный зубчатостью поверхности статора (стр.106 /1/)</p> $k_{\delta,1} = \frac{t_1}{t_1 - \gamma_1 \cdot \delta},$ $\gamma_1 = \frac{\left(\frac{b_{ш,1}}{\delta} \right)^2}{5 + \frac{b_{ш,1}}{\delta}}.$ <p>где $\gamma_1 = \frac{\left(\frac{b_{ш,1}}{\delta} \right)^2}{5 + \frac{b_{ш,1}}{\delta}}.$</p>	
<p>1.5.7 Коэффициент воздушного зазора, обусловленный зубчатостью поверхности ротора (стр.106 /1/)</p> $k_{\delta,2} = \frac{t_2}{t_2 - \gamma_2 \cdot \delta},$ $\gamma_2 = \frac{\left(\frac{b_{ш,2}}{\delta} \right)^2}{5 + \frac{b_{ш,2}}{\delta}}.$ <p>где $\gamma_2 = \frac{\left(\frac{b_{ш,2}}{\delta} \right)^2}{5 + \frac{b_{ш,2}}{\delta}}.$ Если поверхность ротора гладкая, т.е пазы закрытые, то $k_{\delta,2} = 1.$</p>	

1.5.8 Результирующий коэффициент воздушного зазора машины	$k_{\delta} = k_{\delta,1} \cdot k_{\delta,2},$
1.5.9 Магнитное напряжение воздушного зазора	$F_{\delta} = 1,59 \cdot 10^6 \cdot B_{\delta} \cdot \delta \cdot k_{\delta}, \text{ А.}$
1.5.10 Расчётная высота зубца статора	$h_{z,1} = h_{п,1}, \text{ м.}$
1.5.11 Расчётная высота зубца ротора	$h_{z,2} = h_{п,2} - 0,1 \cdot b_2, \text{ м.}$
1.5.12 Напряжённость магнитного поля в зубцах статора для выбранной марки стали по табл. П-17, П-20, П-23 /1/	$H_{z,1}, \text{ А/м.}$
1.5.13 Магнитное напряжение зубцовой зоны статора	$F_{z,1} = 2 \cdot h_{z,1} \cdot H_{z,1}, \text{ А.}$
1.5.14 Напряжённость магнитного поля в зубцах ротора для выбранной марки стали по табл. П-17, П-20, П-23 /1/	$H_{z,2}, \text{ А/м.}$
1.5.15 Магнитное напряжение зубцовой зоны ротора	$F_{z,2} = 2 \cdot h_{z,2} \cdot H_{z,2}, \text{ А.}$
1.5.16 Коэффициент насыщения зубцовой зоны машины	$k_z = 1 + \frac{F_{z,1} + F_{z,2}}{F_{\delta}},$ <p>Если $k_z > 1,5 \div 1,6$ - перенасыщение зубцов ротора, если $k_z < 1,2$, то зубцы недоиспользованы или выбран слишком большой воздушный зазор. В обоих случаях необходимо скорректировать расчет (стр.194 /1/).</p>
1.5.17 Длина средней магнитной линии ярма статора	$L_a = \frac{\pi \cdot (D_a - h_a)}{2p}, \text{ м.}$
1.5.18 Напряжённость магнитного поля в ярме статора по табл. П-16, П-19, П-22 /1/	$H_a, \text{ А/м.}$
1.5.19 Магнитное напряжение ярма статора	$F_a = L_a \cdot H_a, \text{ А.}$
1.5.20 Длина средней магнитной линии ярма ротора	$L_j = \frac{\pi \cdot (D_j + h_j)}{2p}, \text{ м.}$
1.5.21 Напряжённость магнитного поля в ярме ротора по табл. П-16, П-19, П-22 /1/	$H_j, \text{ А/м.}$
1.5.22 Магнитное напряжение ярма ротора	$F_j = L_j \cdot H_j, \text{ А.}$

1.5.23 Суммарное магнитное напряжение магнитной цепи машины на пару полюсов $F_{\Sigma} = F_{\delta} + F_{z,1} + F_{z,2} + F_a + F_j, \text{ А.}$	
1.5.24 Коэффициент насыщения магнитной цепи $k_{\mu} = \frac{F_{\Sigma}}{F_{\delta}},$	
1.5.25 Намагничивающий ток $I_{\mu} = \frac{p \cdot F_{\Sigma}}{0,9 \cdot m \cdot w_1 \cdot k_{об,1}}, \text{ А.}$	
1.5.26 Относительное значение намагничивающего тока $I_{\mu}^* = \frac{I_{\mu}}{I_{1,н}}, \text{ о.е.}$ Рекомендации по величине I_{μ}^* стр.195 /1/.	
1.6 Параметры рабочего режима (п. 6-9 /1/)	
1.6.1 Средняя ширина катушки всыпной обмотки статора (стр.197 /1/) $b_{кт,1} = \frac{\pi \cdot (D + h_{п,1})}{2p} \cdot \beta, \text{ м.}$	
1.6.2 Длина вылета лобовой части всыпной обмотки статора $l_{выл,1} = k_{выл,1} \cdot b_{кт,1} + B_1, \text{ м,}$ где $k_{выл,1}$ - коэффициент, зависящий от числа полюсов машины и наличия изоляции в лобовых частях (табл.6-19 /1/); B_1 - длина вылета прямолинейной части катушек из паза от торца сердечника до начала отгиба лобовой части, м (стр.197 /1/). Для обмоток из провода прямоугольного сечения $l_{выл,1} = k_{выл,1} \cdot b_{кт,1} + B_1 + 0,5h_{п,1}, \text{ м,}$ $h_{п,1}$ - высота паза статора.	
1.6.3 Длина лобовой части всыпной обмотки статора $l_{л,1} = k_{л,1} \cdot b_{кт,1} + 2 \cdot B_1, \text{ м,}$ где $k_{л,1}$ - коэффициент, зависящий от числа полюсов машины и наличия изоляции в лобовых частях (табл.6-19 /1/). Для обмоток из провода прямоугольного сечения $l_{л,1} = k_{л,1} \cdot b_{кт,1} + 2 \cdot B_1 + h_{п,1}, \text{ м.}$	
1.6.4 Длина пазовой части обмотки статора $l_{п} = l_1, \text{ м.}$	
1.6.5 Средняя длина витка обмотки статора $l_{ср,1} = 2 \cdot (l_{п,1} + l_{л,1}), \text{ м.}$	

<p>1.6.6 Общая длина проводников фазы обмотки статора</p> $L_1 = I_{cp,1} \cdot w_1, \text{ м.}$	
<p>1.6.7 Активное сопротивление фазы обмотки статора</p> $r_1 = \rho_{\vartheta,1} \cdot \frac{L_1}{q_{\vartheta\phi} \cdot a}, \text{ Ом,}$ <p>где $\rho_{\vartheta,1}$ - удельное сопротивление меди обмотки статора табл.4-1, стр.111 /1/ при расчётной температуре $\vartheta, ^\circ\text{C}$ для выбранного класса нагревостойкости изоляции стр.110 /1/.</p>	
<p>1.6.8 Относительное значение активного сопротивления обмотки статора</p> $r_1^* = r_1 \cdot \frac{I_{1,н}}{U_н}, \text{ о.е.}$	
<p>1.6.9 Активное сопротивление стержня короткозамкнутой обмотки ротора</p> $r_c = \rho_c \cdot \frac{l_c}{q_c}, \text{ Ом,}$ <p>где ρ_c - удельное сопротивление алюминиевого стержня короткозамкнутого ротора табл.4-1, стр.111 /1/ при расчётной температуре $\vartheta, ^\circ\text{C}$ для выбранного класса нагревостойкости изоляции стр.110 /1/;</p> <p>длина стержня ротора $l_c=l_2$, м - без скоса пазов;</p> <p>длина стержня ротора $l_c = \sqrt{l_2^2 + t_2^2}$, м - с учетом скоса пазов.</p>	
<p>1.6.10 Активное сопротивление короткозамыкающего кольца</p> $r_{кл} = \rho_{кл} \cdot \frac{\pi \cdot D_{кл,ср}}{Z_2 \cdot q_{кл}}, \text{ Ом,}$ <p>где $\rho_{кл}$ - удельное сопротивление алюминия короткозамыкающего кольца, табл.4-1, стр.111 /1/.</p>	
<p>1.6.11 Активное сопротивление фазы обмотки ротора</p> $r_2 = r_c + \frac{2 \cdot r_{кл}}{\Delta^2}, \text{ Ом.}$	
<p>1.6.12 Активное сопротивление фазы обмотки ротора, приведённое к числу витков обмотки статора</p> $r_2' = r_2 \cdot \frac{4 \cdot m \cdot (w_1 \cdot k_{об,1})^2}{Z_2}, \text{ Ом.}$	
<p>1.6.13 Относительное значение приведённого активного сопротивления фазы обмотки ротора</p> $r_2'^* = r_2' \cdot \frac{I_{1,н}}{U_н}, \text{ о.е.}$	

<p>1.6.14 Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки статора рассчитывают по формулам табл.6-22 /1/ в соответствии с конфигурацией паза, типом обмотки и с учетом коэффициента укорочения:</p> <p>- для всыпной двухслойной и однослойной обмотки, пазы рис.6-38,е, ж, и /1/</p> $\lambda_{п,1} = \frac{h_3}{3 \cdot b} \cdot k_{\beta} + \left(\frac{h_2}{b} + \frac{3 \cdot h_1}{b + 2 \cdot b_{ш}} + \frac{h_{ш}}{b_{ш}} \right) \cdot k'_{\beta},$ <p>где $h_0, м; h_1, м; h_2, м; h_3, м; b, м;$ по рис.6-38 /1/,</p> <p>- при двухслойной обмотке с укорочением $2/3 \leq \beta < 1$</p> $k'_{\beta} = 0,25 \cdot (1 + 3\beta);$ <p>- при укорочении $1/3 \leq \beta \leq 2/3$</p> $k'_{\beta} = 0,25 \cdot (6\beta - 1); \text{ стр.199 /1/}.$ $k_{\beta} = 0,25 \cdot (1 + 3k'_{\beta}); \text{ стр.199 /1/};$ <p>- при диаметральном шаге двухслойных обмоток и для всех однослойных обмоток $k_{\beta} = k'_{\beta} = 1.$</p>	
<p>1.6.15 Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния обмотки статора стр.199 /1/</p> $\lambda_{л,1} = 0,34 \cdot \frac{q}{l_{\delta}} \cdot (l_{л,1} - 0,64 \cdot \beta \cdot \tau),$	
<p>1.6.16 Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки статора стр.202-203 /1/</p> $\lambda_{д,1} = \frac{t_1}{12 \cdot \delta \cdot k_{\delta}} \cdot \xi_1,$ <p>где ξ_1 - коэффициент дифференциального рассеяния обмотки статора,</p> <p>- при полузакрытых и полуоткрытых пазах статора</p> $\xi_1 = 2 \cdot k'_{ск} \cdot k_{\beta} - k_{об,1}^2 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \cdot (1 + \beta_{ск}^2),$ <p>где t_1 и t_2 - зубцовые деления статора и ротора; $\beta_{ск} = b_{ск} / t_2$ - коэффициент скоса, выраженный в долях зубцового деления ротора; при отсутствии скоса пазов $b_{ск} = 0$; $k'_{ск}$ - определяют по кривым рис.6-39, д /1/ в зависимости от t_2/t_1 и $\beta_{ск}$ (при отсутствии скоса пазов - по кривой, соответствующей $\beta_{ск} = 0$); - при открытых пазах статора (6-171), стр.202 /1/.</p>	
<p>1.6.17 Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора стр.202 /1/</p> $x_1 = 15,8 \cdot \frac{f_1}{100} \cdot \left(\frac{w_1}{100} \right)^2 \cdot \frac{l_{\delta}}{p \cdot q} \cdot (\lambda_{п,1} + \lambda_{л,1} + \lambda_{д,1}), \text{ Ом.}$	

<p>1.6.18 Относительное значение индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора</p> $x_1^* = x_1 \cdot \frac{I_{1,н}}{U_H}, \text{ о.е.}$	
<p>1.6.19 Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки ротора (паз ротора рис.6-40, расчетные формулы табл.6-23 /1/):</p> <p>- для закрытых пазов рис.6-40, и</p> $\lambda_{п,2} = \left[\frac{h_1}{3 \cdot b} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot b^2}{8 \cdot q_c} \right)^2 + 0,66 \frac{b_{ш,2}}{2 \cdot b} \right] \cdot k_d + \frac{h_{ш,2}}{b_{ш,2}} + 1,12 \cdot \frac{h'_{ш}}{I_2} \cdot 10^6,$ <p>где $h_1, м$; $b, м$; $k_d = 1$ (для номинального режима).</p> <p>- для открытых пазов рис.6-40,а, е /1/</p> $\lambda_{п,2} = \left[\frac{h_1}{3 \cdot b} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot b^2}{8 \cdot q_c} \right)^2 + 0,66 \frac{b_{ш,2}}{2 \cdot b} \right] \cdot k_d + \frac{h_{ш,2}}{b_{ш,2}},$ <p>где $h_1, м$; $b, м$; $k_d = 1$ (для номинального режима).</p>	
<p>1.6.20 Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния обмотки ротора</p> <p>- для литых обмоток</p> $\lambda_{л,2} = \frac{2,3 \cdot D_{кл,ср}}{Z_2 \cdot l_\delta \cdot \Delta^2} \cdot \lg \left(\frac{4,7 \cdot D_{кл,ср}}{2 \cdot a_{кл} + b_{кл}} \right),$ <p>- для стержневых обмоток (6-177, стр.204 /1/).</p>	
<p>1.6.21 Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки ротора</p> $\lambda_{д,2} = \frac{t_2}{12 \cdot \delta \cdot k_\delta} \cdot \xi_2, \text{ (6-174) /1/},$ <p>где ξ_2 - коэффициент дифференциального рассеяния обмотки ротора,</p> $\xi_2 = 1 + \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{\pi \cdot p}{Z_2} \right)^2 - \frac{\Delta_{z,2}}{1 - \left(\frac{p}{Z_2} \right)^2}, \text{ (6-175) /1/},$ <p>где $\Delta_{z,2}$ - находят по кривым рис.6-39,а /1/.</p>	
<p>1.6.22 Индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора</p> $x_2 = 7,9 \cdot f_1 \cdot l_\delta \cdot (\lambda_{п,2} + \lambda_{л,2} + \lambda_{д,2}) \cdot 10^6 \cdot \sigma_{ск}, \text{ Ом},$ <p>где $\sigma_{ск} \approx 1 + 0,41 \left(\frac{b_{ск}}{\tau} \right)^2 \frac{U_H}{I_\mu x_1}$, (6-182) стр.205 /1/.</p>	

<p>1.6.23 Индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведённое к числу витков обмотки статора</p> $x_2' = x_2 \cdot \frac{4 \cdot m \cdot (w_1 \cdot k_{об,1})^2}{Z_2}, \text{ Ом.}$	
<p>1.6.24 Относительное значение приведённого индуктивного сопротивления обмотки ротора</p> $x_2'^* = x_2' \cdot \frac{I_{1,н}}{U_H},$	
<p>1.7 Расчёт потерь (п. 6-10 /1/)</p>	
<p>1.7.1 Масса стали ярма статора</p> $m_a = \pi \cdot (D_a - h_a) \cdot h_a \cdot l_{ст,1} \cdot k_c \cdot \gamma_c, \text{ кг,}$ $\gamma_c = 7800 \text{ кг/м}^3.$	
<p>1.7.2 Масса стали зубцов статора</p> $m_{z,1} = h_{z,1} \cdot b_{z,1} \cdot Z_1 \cdot l_{ст,1} \cdot k_c \cdot \gamma_c, \text{ кг.}$	
<p>1.7.3 Масса стали зубцов ротора</p> $m_{z,2} = h_{z,2} \cdot b_{z,2} \cdot Z_2 \cdot l_{ст,2} \cdot k_c \cdot \gamma_c, \text{ кг.}$	
<p>1.7.4 Основные потери в стали статора</p> $P_{ст,осн} = p_{1,0/50} \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^\beta \cdot (k_{д,а} \cdot B_a^2 \cdot m_a + k_{д,з} \cdot B_{z,1}^2 \cdot m_{z,1}), \text{ Вт}$ <p>из табл.6-24 /1/ в соответствии с маркой стали выбирают: β- показатель степени, $p_{1,0/50}$, Вт/кг; $k_{д,а}$; $k_{д,з}$ - коэффициенты, учитывающие влияние на потери в стали неравномерности распределения потока по сечениям участков магнитопровода и технологических факторов (стр.206 /1/). - для машин мощностью $P_H < 250$ кВт приблизительно $k_{д,а} = 1,6$; $k_{д,з} = 1,8$; - для машин большей мощности $k_{д,а} = 1,4$; $k_{д,з} = 1,7$.</p>	
<p>1.7.5 Амплитуда пульсации индукции в воздушном зазоре над коронками зубцов ротора</p> $B_{0,2} = \beta_{0,2} \cdot k_\delta \cdot B_\delta, \text{ Тл,}$ <p>где $\beta_{0,2}$ - коэффициент, зависящий от отношения ширины шлица пазов статора к воздушному зазору $\frac{b_{ш,1}}{\delta}$ по рис.6-41 /1/.</p>	
<p>1.7.6 Удельные поверхностные потери ротора</p> $p_{пов,2} = 0,5 \cdot k_{0,2} \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{10000}\right)^{1,5} \cdot (B_{0,2} \cdot t_1 \cdot 10^3)^2, \text{ Вт/м}^2,$ <p>где $k_{0,2}$ - коэффициент, учитывающий влияние обработки поверхности головок зубцов ротора на удельные потери, (стр.207 /1/);</p>	

<p>- для двигателей мощностью $P_n \leq 160$ кВт $k_{0,2} = 1,4 \div 1,8$;</p> <p>- для двигателей мощностью $P_n > 160$ кВт $k_{0,2} = 1,7 \div 2,0$.</p>	
<p>1.7.7 Полные поверхностные потери ротора</p> $P_{пов,2} = P_{пов,2} \cdot (t_2 - b_{ш,2}) \cdot Z_2 \cdot l_{ст,2}, \text{ Вт.}$	
<p>1.7.8 Амплитуда пульсации индукции в среднем сечении зубцов ротора (стр.207 /1/)</p> $B_{пуль,2} = \frac{\gamma_1 \cdot \delta}{2 \cdot t_2} \cdot B_{z,2}, \text{ Тл,}$ <p>где γ_1 из п.п.1.5.6 рабочей тетради.</p>	
<p>1.7.9 Пульсационные потери в зубцах ротора</p> $P_{пуль,2} = 0,11 \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{1000} \cdot B_{пуль,2} \right)^2 \cdot m_{z,2}, \text{ Вт.}$	
<p>1.7.10 Добавочные потери в стали</p> $P_{ст,доб} = P_{пов,2} + P_{пуль,2}, \text{ Вт.}$	
<p>1.7.11 Полные потери в стали</p> $P_{ст} = P_{ст,осн} + P_{ст,доб}, \text{ Вт.}$	
<p>1.7.12 Механические и вентиляционные потери (стр.208 /1/)</p> <p>- для двигателей с внешним обдувом (IP44)</p> $P_{мех} = k_T \cdot \left(\frac{n}{10} \right)^2 \cdot D_a^4, \text{ Вт,}$ <p>где $k_T = 1$ при $2p=2$;</p> <p>$k_T = 1,3(1 - D_a)$ при $2p \geq 4$.</p> <p>- для двигателей с радиальной системой вентиляции без радиальных вентиляционных каналов (IP23)</p> $P_{мех} = k_T \cdot \left(\frac{n}{1000} \right)^2 \cdot (10 \cdot D_a)^3,$ <p>где для двигателей с $D_a \leq 250$ мм $k_T = 5$ при $2p=2$; $k_T = 6$ при $2p \geq 4$;</p> <p>для двигателей с $D_a > 250$ мм $k_T = 6$ при $2p=2$; $k_T = 7$ при $2p \geq 4$.</p> <p>- для двигателей с аксиальной системой вентиляции с аксиальными вентиляционными каналами и вентилятором (IP44)</p> $P_{мех} = k_T \cdot \left(\frac{n}{1000} \right)^2 \cdot (10 \cdot D_{вент})^3,$ <p>где $D_{вент}$, м наружный диаметр вентилятора, может быть принят $D_{вент} \approx D_a$</p> <p>для двигателей с $D_a \leq 250$ мм $k_T = 2,9$;</p> <p>для двигателей с $D_a = 250 \div 500$ мм $k_T = 3,6$.</p> <p>- для двигателей большой мощности ($500 < D_a < 900$ мм)</p>	

$P_{\text{мех}} = k_T \cdot (10 \cdot D_a)^3,$ <p>где k_T из табл. 6-25, стр.209 /1/.</p>	
<p>1.7.13 Добавочные потери в номинальном режиме</p> $P_{\text{доб,н}} = 0,005 \cdot \frac{P_{2,\text{н}}}{\eta}, \text{ Вт.}$	
<p>1.7.14 Реактивная составляющая тока холостого хода</p> $I_{x,x,p} \approx I_\mu, \text{ А.}$	
<p>1.7.15 Электрические потери в статоре при холостом ходе</p> $P_{\text{э,1,x,x}} \approx m \cdot I_\mu^2 \cdot r_1, \text{ Вт.}$	
<p>1.7.16 Активная составляющая тока холостого хода</p> $I_{x,x,a} = \frac{P_{\text{ст}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{э,1,x,x}}}{m \cdot U_H}, \text{ А.}$	
<p>1.7.17 Ток холостого хода двигателя</p> $I_{x,x} = \sqrt{I_{x,x,a}^2 + I_{x,x,p}^2}, \text{ А.}$	
<p>1.7.18 Коэффициент мощности при холостом ходе</p> $\cos \varphi_{x,x} = \frac{I_{x,x,a}}{I_{x,x}},$	
1.8 Расчёт рабочих характеристик (п.6-11 /1/)	
<p>1.8.1 Расчётное сопротивление, учитывающее влияние потерь в стали статора на характеристики двигателя (6-179), стр.205 /1/</p> $r_{1,2} \approx \frac{P_{\text{ст,осн}}}{m \cdot I_\mu^2}, \text{ Ом.}$	
<p>1.8.2 Сопротивление взаимной индуктивности (6-180), стр.205 /1/</p> $x_{1,2} \approx \frac{U_H}{I_\mu} - x_1, \text{ Ом.}$	
<p>1.8.3 Коэффициент (6-218), стр.210 /1/</p> $c_1 \approx 1 + \frac{x_1}{x_{1,2}},$	
<p>1.8.4 Активная составляющая тока синхронного холостого хода</p> $I_{0,a} = \frac{P_{\text{ст,осн}} + 3 \cdot I_\mu^2 \cdot r_1}{3 \cdot U_H}, \text{ А.}$	
<p>1.8.5 Реактивная составляющая тока синхронного холостого хода</p> $I_{0,p} \approx I_\mu, \text{ А.}$	

<p>1.8.6 Определим необходимые для расчёта рабочих характеристик величины (стр.211 /1/)</p> $a' = c_1^2,$ $a = c_1 \cdot r_1,$ $b' \approx 0.$ $b = c_1 \cdot (x_1 + c_1 \cdot x_2'),$	
<p>Расчёт рабочих характеристик проводится для значений скольжения $s = 0,005; 0,010; 0,015; 0,020; 0,025; 0,030$. Предварительно номинальное скольжение $S_H = r_2'^*$.</p> <p>Расчёт приводится для $s = 0,005$ (табл.6-26 /1/).</p>	
<p>1.8.7 Значение произведения</p> $a' \cdot \frac{r_2'}{s}, \text{ Ом.}$	
<p>1.8.8 Значение произведения</p> $b' \cdot \frac{r_2'}{s}, \text{ Ом.}$	
<p>1.8.9 Активное сопротивление</p> $R = a + a' \cdot \frac{r_2'}{s}, \text{ Ом.}$	
<p>1.8.10 Индуктивное сопротивление</p> $X = b + b' \cdot \frac{r_2'}{s}, \text{ Ом.}$	
<p>1.8.11 Полное сопротивление</p> $Z = \sqrt{R^2 + X^2}, \text{ Ом.}$	
<p>1.8.12 Значение тока I_2''</p> $I_2'' = \frac{U_H}{Z}, \text{ А.}$	
<p>1.8.13 Значение $\cos \phi_2'$</p> $\cos \phi_2' = \frac{R}{Z},$	
<p>1.8.14 Значение $\sin \phi_2'$</p> $\sin \phi_2' = \frac{X}{Z},$	
<p>1.8.15 Активная составляющая тока статора</p> $I_{1,a} = I_{0,a} + I_2'' \cdot \cos \phi_2', \text{ А.}$	
<p>1.8.16 Реактивная составляющая тока статора</p> $I_{1,p} = I_{0,p} + I_2'' \cdot \sin \phi_2', \text{ А.}$	
<p>1.8.17 Ток статора</p> $I_1 = \sqrt{I_{1,a}^2 + I_{1,p}^2}, \text{ А.}$	

1.8.18 Приведённый ток ротора $I_2' = c_1 \cdot I_2'', \text{ А.}$	
1.8.19 Потребляемая мощность $P_1 = 3 \cdot U_H \cdot I_{1,a}, \text{ Вт.}$	
1.8.20 Электрические потери в статоре $p_{э,1} = 3 \cdot I_1'^2 \cdot r_1, \text{ Вт.}$	
1.8.21 Электрические потери в роторе $p_{э,2} = 3 \cdot I_2'^2 \cdot r_2', \text{ Вт.}$	
1.8.22 Добавочные потери при ненормальном режиме работы $p_{доб} = p_{доб,н} \cdot \left(\frac{I_1}{I_{1н}} \right)^2, \text{ Вт.}$	
1.8.23 Сумма потерь $\Sigma p = p_{ст} + p_{мех} + p_{э,1} + p_{э,2} + p_{доб}, \text{ Вт.}$	
1.8.24 Полезная мощность $P_2 = P_1 - \Sigma p, \text{ Вт.}$	
1.8.25 Коэффициент полезного действия $\eta = 1 - \frac{\Sigma p}{P_1},$	
1.8.26 Коэффициент мощности $\cos \varphi = \frac{I_{1,a}}{I_1},$	

Согласно приведенному алгоритму производится расчет для других значений скольжения. Результаты расчёта рабочих характеристик сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Результаты расчёта рабочих характеристик

Расчётная величина	Скольжение						
	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,027
$a' \cdot r_2' / s, \text{ Ом}$							
$b' \cdot r_2' / s, \text{ Ом}$							
$R, \text{ Ом}$							
$X, \text{ Ом}$							
$Z, \text{ Ом}$							
$I_2'', \text{ А}$							
$\cos \varphi_2'$							
$\sin \varphi_2'$							
$I_{1,a}, \text{ А}$							
$I_{1,p}, \text{ А}$							
$I_1, \text{ А}$							

I_2', A							
$P_1, \text{Вт}$							
$p_{э,1}, \text{Вт}$							
$p_{э,2}, \text{Вт}$							
$p_{\text{доб}}, \text{Вт}$							
$\Sigma p, \text{Вт}$							
$P_2, \text{Вт}$							
η							
$\cos \varphi$							
<p>В результате расчёта рабочих характеристик были получены следующие номинальные данные двигателя: $P_{2,н}, \text{кВт}; U_n = 220/380 \text{ В}; I_{1,н}, \text{А};$ $I_{2,н}, \text{А}; \eta_n; \cos \varphi_n; s_n.$</p>							
<p>Рабочие характеристики двигателя представить на рисунке в пояснительной записке курсового проекта. Пример рабочих характеристик в приложении В рабочей тетради.</p>							
<p>1.9 Расчёт пусковых характеристик (п.6-12 /1/, табл.6-32, стр.248-249 /1/)</p>							
<p>Пусковые характеристики рассчитываются, задаваясь значением скольжения $s = 1; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1.$ Расчёт приводится для $s = 1.$</p>							
<p>1.9.1 Высота стержня ротора</p> $h_c = h_{п,2} - h_{ш,2} - h'_{ш,2}, \text{ м.}$							
<p>1.9.2 Приведённая высота стержня ротора для литой алюминиевой обмотки (стр.215 /1/)</p> <p>- для класса изоляции В $\xi = 65,15 \cdot h_c \cdot \sqrt{s},$ - для класса изоляции F, H $\xi = 63,61 \cdot h_c \cdot \sqrt{s}.$</p> <p>Для к.з. роторов из медных вставных стержней по (6-232), (6-233), стр.215 /1/ в зависимости от класса изоляции. См. также (9-328), (9-329) стр.183 /2/.</p>							
<p>1.9.3 Принимаем Φ и Φ' по рис.6-46 /1/.</p>							
<p>1.9.4 Глубина проникновения тока в паз</p> $h_r = \frac{h_c}{1 + \varphi}, \text{ м.}$							
<p>1.9.5 Ширина паза, соответствующая глубине проникновения тока</p> $b_r = b_2 - \frac{b_2 - b_1}{h_1} \cdot \left(h_r - \frac{b_2}{2} \right), \text{ м.}$							
<p>1.9.6 Площадь паза, соответствующая глубине проникновения тока</p> $q_r = \frac{\pi \cdot b_2^2}{8} + \frac{b_2 + b_r}{2} \cdot \left(h_r - \frac{b_2}{2} \right), \text{ м}^2.$							

1.9.7 Коэффициент увеличения активного сопротивления пазовой части стержня ротора	
$k_r = \frac{q_c}{q_r},$	
1.9.8 Коэффициент общего увеличения сопротивления фазы ротора под воздействием эффекта вытеснения тока	
$K_R = 1 + \frac{r_c \cdot (k_r - 1)}{r_2},$	
1.9.9 Приведённое активное сопротивление ротора с учётом действия эффекта вытеснения тока	
$r'_{2,\xi} = r'_2 \cdot K_R, \text{ Ом.}$	
1.9.10 Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния с учётом эффекта вытеснения тока (табл.6-23 и рис.6-40 /1/, п.п.1.6.19 рабочей тетради)	
$\lambda_{п, 2, \xi},$ где $k_d = \varphi'.$	
1.9.11 Изменение индуктивного сопротивления фазы ротора от действия эффекта вытеснения тока (стр.218 /1/)	
$K_x = \frac{\lambda_{п, 2, \xi} + \lambda_{л, 2} + \lambda_{д, 2}}{\lambda_{п, 2} + \lambda_{л, 2} + \lambda_{д, 2}},$	
1.9.12 Приведённое индуктивное сопротивление фазы ротора с учётом эффекта вытеснения тока	
$x'_{2,\xi} = x'_2 \cdot K_x, \text{ Ом.}$	
1.9.13 Приближённое значение тока ротора без учёта влияния насыщения, принимая ($c_{1,п} = 1$)	
$I'_2 \approx \frac{U_H}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r'_{2,\xi}}{s}\right)^2 + (x_1 + x'_{2,\xi})^2}}, \text{ А.}$	
1.9.14 Принимаем для расчёта пускового режима коэффициент насыщения $k_{нас}$ (стр.219 /1/).	
1.9.15 Принимаем ток статора $I_1 \approx I'_2, \text{ А.}$	
1.9.16 Ток статора при насыщении участков зубцов полями рассеяния	
$I_{нас} = k_{нас} \cdot I_1, \text{ А.}$	
1.9.17 Средняя МДС обмотки, отнесённая к одному пазу обмотки статора	
$F_{п, ср} = 0,7 \cdot \frac{I_{нас} \cdot u_{п,1}}{a} \cdot \left(k'_\beta + k_{y,1} \cdot k_{об,1} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} \right), \text{ А.}$	

<p>1.9.18 Фиктивная индукция потока рассеяния в воздушном зазоре</p> $B_{\phi, \delta} = \frac{F_{п, ср}}{1,6 \cdot \delta \cdot C_N} \cdot 10^{-6}, \text{ Тл.}$ <p>где $C_N = 0,64 + 2,5 \cdot \sqrt{\frac{\delta}{t_1 + t_2}}$,</p>	
<p>1.9.19 Находим по рис.6-50 /1/ коэффициент, характеризующий отношение потока рассеяния при насыщении к потоку рассеяния ненасыщенной машины χ_{δ}.</p>	
<p>1.9.20 Дополнительное раскрытие паза статора</p> $c_1 = (t_1 - b_{ш,1}) \cdot (1 - \chi_{\delta}), \text{ м.}$	
<p>1.9.21 Уменьшение коэффициента магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки статора с учётом влияния насыщения от полей рассеяния для полузакрытого паза</p> $\Delta\lambda_{п,1,нас} = \frac{h_{ш,1} + 0,58 \cdot h'}{b_{ш,1}} \cdot \frac{c_1}{c_1 + 1,5 \cdot b_{ш,1}},$ <p>где h', м по рис.6-51, в, г /1/.</p> <p>Для другого типа паза коэффициент определяется по (6-256), (6-257) стр.219-220 и рис.6-51 а, б /1/.</p>	
<p>1.9.22 Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки статора при насыщении</p> $\lambda_{п,1,нас} = \lambda_{п,1} - \Delta\lambda_{п,1,нас},$	
<p>1.9.23 Дополнительное раскрытие паза ротора</p> $c_2 = (t_2 - b_{ш,2}) \cdot (1 - \chi_{\delta}), \text{ м.}$	
<p>1.9.24 Уменьшение коэффициента магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки ротора с учётом влияния насыщения определяется по (6-260), рис.6-51,д,е,ж /1/.</p> $\Delta\lambda_{п,2,нас} = \frac{h_{ш,2}}{b_{ш,2}} \cdot \frac{c_2}{b_{ш,2} + c_2},$	
<p>1.9.25 Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния ротора при насыщении</p> $\lambda_{п,2,\xi,нас} = \lambda_{п,2,\xi} - \Delta\lambda_{п,2,нас},$	
<p>1.9.26 Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния статора при насыщении</p> $\lambda_{д,1,нас} = \lambda_{д,1} \cdot \chi_{\delta},$	

1.9.27 Коэффициент проводимости дифференциального рассеяния ротора при насыщении $\lambda_{д,2,нас} = \lambda_{д,2} \cdot \chi_{\delta},$	
1.9.28 Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора с учётом влияния насыщения $X_{1,нас} = X_1 \cdot \frac{\lambda_{п,1,нас} + \lambda_{д,1,нас} + \lambda_{л,1}}{\lambda_{п,1} + \lambda_{д,1} + \lambda_{л,1}}, \text{ Ом.}$	
1.9.29 Приведённое индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора с учётом влияния эффекта вытеснения тока и насыщения $X'_{2,\xi,нас} = X'_2 \cdot \frac{\lambda_{п,2,\xi,нас} + \lambda_{д,2,нас} + \lambda_{л,2}}{\lambda_{п,2} + \lambda_{д,2} + \lambda_{л,2}}, \text{ Ом.}$	
1.9.30 Сопротивление взаимной индуктивности обмоток в пусковом режиме $X_{1,2,п} = X_{1,2} \cdot \frac{F_{\Sigma}}{F_{\delta}}, \text{ Ом.}$	
1.9.31 Коэффициент $c_{п,1,нас}$ $c_{1,п,нас} = 1 + \frac{X_{1,нас}}{X_{1,2,п}},$	
1.9.32 Активное сопротивление короткого замыкания $R_{к,з} = r_1 + c_{1,п,нас} \cdot \frac{r'_{2,\xi}}{s}, \text{ Ом.}$	
1.9.33 Индуктивное сопротивление короткого замыкания $X_{к,з} = X_{1,нас} + c_{1,п,нас} \cdot X'_{2,\xi,нас}, \text{ Ом.}$	
1.9.34 Ток в обмотке ротора в момент пуска $I'_{2,п} = \frac{U_H}{\sqrt{R_{к,з}^2 + X_{к,з}^2}}, \text{ А.}$	
1.9.35 Ток в обмотки статора в момент пуска $I_{1,п} = I'_2 \cdot \frac{\sqrt{R_{к,з}^2 + (X_{к,з} + X_{1,2,п})^2}}{c_{1,п,нас} \cdot X_{1,2,п}}, \text{ А.}$	
1.9.36 Кратность пускового тока $I_{п}^* = \frac{I_{1,п}}{I_{1,н}},$	
1.9.37 Кратность пускового момента $M_{п}^* = \left(\frac{I'_{2,п}}{I'_{2,н}} \right)^2 \cdot K_R \cdot \frac{s_H}{s},$	

Результаты расчёта пусковых характеристик сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Результаты расчёта пусковых характеристик

Расчётная величина	Скольжение									
	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
ξ										
φ										
k_r										
K_R										
$r'_{2,\xi}, \text{ Ом}$										
k_d										
K_x										
$X'_{2,\xi}, \text{ Ом}$										
$X'_{2,\xi, \text{нас}}, \text{ Ом}$										
$X_{1, \text{нас}}, \text{ Ом}$										
$c_{1, \text{п, нас}}$										
$R_{к, з}, \text{ Ом}$										
$X_{к, з}, \text{ Ом}$										
$I'_{2, \text{п}}, \text{ А}$										
$I_{1, \text{п}}, \text{ А}$										
$I_{\text{п}}^*$										
$M_{\text{п}}^*$										

1.9.38 Критическое скольжение

$$S_{\text{кр}} = \frac{r'_2}{\frac{X_{1, \text{нас, ср}}}{c_{1, \text{нас, ср}}} + X'_{2, \text{нас, ср}}},$$

где $X_{1, \text{нас, ср}}, \text{ Ом}$, $X'_{2, \text{нас, ср}}, \text{ Ом}$, $c_{1, \text{нас, ср}}$ — средние значения, соответствующие скольжениям $0,2 \div 0,1$ по табл.2.

1.9.39 Максимальный момент, соответствующий $S_{\text{кр}}$

$$M_{\text{max}}^* \cdot \sigma_{\text{ск}} \approx 1 + 0,41 \left(\frac{b_{\text{ск}}}{\tau} \right)^2 \frac{U_{1\text{н}}}{I_{\text{ц}} X_1}.$$

По табл.6-27 /1/ проверяют соответствие значений $I_{\text{п}}^*$, $M_{\text{п}}^*$ ГОСТ.

Пусковые характеристики двигателя представить на рисунке в пояснительной записке к курсовому проекту. Пример пусковых характеристик в приложении В рабочей тетради.

2 Механический расчёт вала. Расчет вала на жесткость проводится по методике, изложенной в п. 9-3 /1/, размеры упругой муфты выбираются из приложения 37, стр.415 /2/.

Эскиз вала приводится в пояснительной записке курсового проекта. (Пример эскиза вала в приложении Г рабочей тетради).

2.1 Прогиб вала посередине сердечника ротора от веса ротора

$$f_p = \frac{G_p}{3 \cdot E \cdot L_1^2} \cdot (L_3^2 \cdot S_1 + L_2^2 \cdot S_2), \text{ м,}$$

где $G_p = 9,81 \cdot m_p$ - сила тяжести ротора, Н,

$m_p = 6500D_2^2 l_2$, кг – масса ротора

E - модуль упругости Юнга, $E = 2,06 \cdot 10^{11}$ Па,

$L_1, \text{ м}; L_2 = L_3, \text{ м}$ - расстояния между подшипниковыми опорами и от подшипниковых опор до точки приложения силы;

S_1 и S_2 - величины, рассчитываемые по таблице 2.1.

2.2 Номинальный вращающий момент двигателя

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{2, \text{ном}} \cdot 60}{2\pi \cdot n_c}, \text{ Нм.}$$

Таблица 2.1 - Расчёт величин $S_1; S_2$ и S_0

Часть вала	Номер участка	$d_i, \text{ м}$	$J_i = \frac{\pi \cdot d^4}{64}, \text{ м}^4$	$x_i, \text{ м}$	$x_i^2, \text{ м}^2$	
	1	2	3	4	5	
Левая	1					
	2					
	3					
	4					
		$x_i^3, \text{ м}^3$	$x_i^2 - x_{i-1}^2, \text{ м}^2$	$x_i^3 - x_{i-1}^3, \text{ м}^3$	$\frac{x_i^2 - x_{i-1}^2}{J_i}, \text{ м}^{-2}$	$\frac{x_i^3 - x_{i-1}^3}{J_i}, \text{ м}^{-1}$
$S_2 = \sum_{i=1}^m \frac{x_i^3 - x_{i-1}^3}{J_i}, \text{ м}^{-1}$						
Часть вала	Номер участка	$d_i, \text{ м}$	$J_i = \frac{\pi \cdot d^4}{64}, \text{ м}^4$	$x_i, \text{ м}$	$x_i^2, \text{ м}^2$	
	1	2	3	4	5	
Правая	1					
	2					

	x_i^3, M^3	$x_i^2 - x_{i-1}^2, M^2$	$x_i^3 - x_{i-1}^3, M^3$	$\frac{x_i^2 - x_{i-1}^2}{J_i}, M^{-2}$	$\frac{x_i^3 - x_{i-1}^3}{J_i}, M^{-1}$
$S_1 = \sum_{i=1}^m \frac{x_i^3 - x_{i-1}^3}{J_i}, M^{-1};$ $S_0 = \sum_{i=1}^m \frac{x_i^2 - x_{i-1}^2}{J_i}, M^{-2}$					
<p>2.3 Реакция передачи</p> $P_{\Pi} = \frac{M_{\text{НОМ}}}{R_0} \cdot C_{\Pi}, \text{ Н},$ <p>где R_0 - радиус расположения пальцев муфты, $R_0, \text{ м}$, C_{Π} - коэффициент, зависящий от способа сопряжения двигателя с приводным механизмом. $C_{\Pi} = 0,3$ - при передаче упругой муфтой.</p>					
<p>2.4 Прогиб вала от усилия передачи</p> $f_{\Pi} = \frac{P_{\Pi} \cdot b}{3 \cdot E \cdot L_1^2} \cdot [(1,5 \cdot L_1 \cdot S_0 - S_1) \cdot L_3 + L_2 \cdot S_2], \text{ м},$ <p>где $b, \text{ м}$ - расстояние от точки приложения силы P_{Π} до ближайшей опоры.</p>					
<p>2.5 Эксцентриситет ротора, обусловленный неточностью изготовления деталей</p> $e = 0,1 \cdot \delta, \text{ м}.$					
<p>2.6 Начальный расчётный эксцентриситет ротора, вызванный неточностью изготовления деталей двигателя, статическим прогибом вала от действия веса ротора и от усилия передачи</p> $e_0 = e + f_p + f_{\Pi}, \text{ м}.$					
<p>2.7 Начальная сила одностороннего магнитного притяжения</p> $Q_0 = 1,5 \cdot D_2 \cdot l_2 \cdot \frac{e_0}{\delta} \cdot 10^5, \text{ Н}.$					
<p>2.8 Прогиб вала от силы одностороннего магнитного притяжения</p> $f_0 = f_p \cdot \frac{Q_0}{G_p}, \text{ м}.$					
<p>2.9 Установившийся прогиб вала от силы одностороннего магнитного притяжения</p> $f_m = \frac{f_0}{1 - m}, \text{ м}$ <p>где $m = \frac{f_0}{e_0}$,</p>					

<p>2.10 Сила установившегося одностороннего магнитного притяжения</p> $Q_M = \frac{Q_0}{1 - m}, \text{ Н.}$	
<p>2.11 Суммарный прогиб вала посередине сердечника ротора</p> $f = f_p + f_{\Pi} + f_m, \text{ м.}$ <p>Суммарный прогиб вала по середине сердечника ротора f, м должен не превышать 10% от воздушного зазора δ, м между статором и ротором.</p>	
<p>2.12 Критическая частота вращения</p> $n_k = 30 \cdot \sqrt{\frac{1 - m}{f_p}}, \text{ об/мин.}$ <p>Критическая частота вращения должно быть $n_k, \text{ об/мин} > 1,3 \cdot n_c, \text{ об/мин}$.</p>	
<p>3 Тепловой и вентиляционный расчеты. Тепловой и вентиляционный расчет проводится по методике, изложенной в гл.5, п.5-6,б , стр.118 /1/; 9-13, стр.188 /2/.</p> <p>3.1 Тепловой расчет</p>	
<p>3.1.1 Электрические потери в обмотке статора в пазовой части</p> $P'_{\text{э,п,1}} = k_p \cdot P_{\text{э,1}} \cdot \frac{2 \cdot I_1}{I_{\text{ср,1}}}, \text{ Вт,}$ <p>где k_p — коэффициент увеличения потерь (стр.235 /1/):</p> <ul style="list-style-type: none"> - для обмоток с изоляцией класса нагревостойкости В $k_p = 1,15$; - для обмоток с изоляцией класса нагревостойкости F $k_p = 1,07$ - для обмоток с изоляцией класса нагревостойкости H $k_p = 1,45$. 	
<p>3.1.2 Превышение температуры внутренней поверхности сердечника статора над температурой воздуха внутри двигателя</p> $\Delta \vartheta_{\text{пов,1}} = K \cdot \frac{P_{\text{э,п,1}} + P_{\text{ст.осн}}}{\pi \cdot D \cdot l_1 \cdot \alpha_1}, \text{ } ^\circ\text{C.}$ <p>где K — коэффициент, учитывающий, что часть потерь в сердечнике статора и в пазовой части обмотки, передающиеся через станину непосредственно в окружающую среду (по табл.6-30 /1/);</p> <p>α_1, Вт/(м²·°C) — коэффициент теплоотдачи с поверхности статора (рис.6-59 – 6-61 /1/ в зависимости от исполнения машины).</p>	
<p>3.1.3 Расчетный периметр поперечного сечения паза статора:</p> <ul style="list-style-type: none"> - для полузакрытых трапециевидных пазов (рис.6-19, а /1/) $\Pi_{\text{п,1}} = 2 \cdot h_{\text{п,1}} + b_1 + b_2, \text{ м;}$ <ul style="list-style-type: none"> - для прямоугольных открытых и полукрытых пазов 	

<p>(рис.6-17, 6-18 /1/)</p> $\Pi_{п,1} = 2 \cdot (h_{п,1} + b_1), \text{ м.}$	
<p>3.1.4 Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки статора</p> $\Delta\vartheta_{из,п,1} = \frac{p'_{э,п,1}}{Z_1 \cdot \Pi_{п,1} \cdot l_1} \left(\frac{b_{из,п,1}}{\lambda_{эКВ}} + \frac{b_1 + b_2}{16 \cdot \lambda'_{эКВ}} \right), \text{ }^\circ\text{C.}$ <p>где $\lambda_{эКВ} = 0,16 \text{ Вт/(м}\cdot\text{}^\circ\text{C)}$ - средняя эквивалентная теплопроводность пазовой изоляции для классов нагревостойкости В, F, H; $\lambda'_{эКВ}, \text{ Вт/(м}\cdot\text{}^\circ\text{C)}$ - среднее значение коэффициента теплопроводности внутренней изоляции катушки всыпной обмотки из эмалированных проводников с учетом неплотности прилегания друг к другу для $d/d_{из}$ по рис.6-62/1/; - для обмоток из прямоугольного провода принимают $\frac{b_1 + b_2}{16 \cdot \lambda'_{эКВ}} = 0$.</p>	
<p>3.1.5 Электрические потери в обмотке статора в лобовых частях катушек</p> $p'_{э,л,1} = k_p \cdot p_{э,1} \cdot \frac{2 \cdot l_{л,1}}{l_{ср,1}}, \text{ Вт,}$ <p>где k_p из п.п.3.1.1.</p>	
<p>3.1.6 Превышение температуры наружной поверхности лобовых частей обмотки над температурой воздуха внутри машины</p> $\Delta\vartheta_{пов,л,1} = K \cdot \frac{P_{э,п,1}}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot l_{выл,1} \cdot \alpha_{л}}, \text{ }^\circ\text{C,}$ <p>где $\alpha_{л} = \alpha_1, \text{ Вт/(м}\cdot\text{}^\circ\text{C)}$ — коэффициент теплоотдачи с поверхности лобовых частей обмотки статора.</p>	
<p>3.1.7 Периметр условной поверхности охлаждения лобовой части одной катушки</p> $\Pi_{л,1} \approx \Pi_{п,1}, \text{ м.}$	
<p>3.1.8 Перепад температуры по толщине изоляции лобовых частей</p> $\Delta\vartheta_{из,л,1} = \frac{p'_{э,л,1}}{2 \cdot Z_1 \cdot \Pi_{л,1} \cdot l_{л,1}} \cdot \left(\frac{b_{из,л,1}}{\lambda_{эКВ}} + \frac{h_{п,1}}{12 \cdot \lambda'_{эКВ}} \right), \text{ }^\circ\text{C,}$ <p>где $b_{из,л,1}$, — односторонняя толщина изоляции лобовой части катушки (табл.3-5, 3-6, 3-7, 3-10, 3-11); - при отсутствии изоляции в лобовых частях $b_{из,л,1} = 0$.</p>	

<p>3.1.9 Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри машины</p> $\Delta\vartheta'_1 = \frac{(\Delta\vartheta_{\text{пов},1} + \Delta\vartheta_{\text{из},\text{п},1}) \cdot 2 \cdot l_1 + (\Delta\vartheta_{\text{пов},\text{л},1} + \Delta\vartheta_{\text{из},\text{л},1}) \cdot 2 \cdot l_{\text{л},1}}{l_{\text{ср},1}}, \text{ } ^\circ\text{C}.$	
<p>3.1.10 Сумма потерь, отводимых в воздух внутри двигателя - для IP 44</p> $\sum p'_в = \sum p + (k_p - 1) \cdot (p_{\text{э},1} + p_{\text{э},2}) - (1 - K) \cdot (p'_{\text{э},\text{п},1} + p_{\text{ст.осн}}) - 0,9 \cdot p_{\text{мех}}, \text{ Вт.}$ <p>- для IP 23</p> $\sum p'_в = \sum p + (k_p - 1) \cdot (p_{\text{э},1} + p_{\text{э},2}) - (1 - K) \cdot (p'_{\text{э},\text{л},1} + p_{\text{ст.осн}}) - 0,9 \cdot p_{\text{мех}}, \text{ Вт.}$	
<p>3.1.11 Эквивалентная поверхность охлаждения корпуса - для IP 44</p> $S_{\text{кор}} = (\pi \cdot D_a + 8 \cdot \Pi_p) \cdot (l_1 + 2 \cdot l_{\text{выл},1}), \text{ м}^2,$ <p>где Π_p, м — условный периметр поперечного сечения ребер станины (по рис.6-63 /1/);</p> <p>- для IP 23</p> $S_{\text{кор}} = \pi \cdot D_a \cdot (l_1 + 2 \cdot l_{\text{выл},1}), \text{ м}^2.$	
<p>3.1.12 Превышение температуры воздуха внутри машины над температурой окружающей среды</p> $\Delta\vartheta_в = \frac{\sum p'_в}{S_{\text{кор}} \cdot \alpha_в}, \text{ } ^\circ\text{C}.$ <p>где $\alpha_в = \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ — коэффициент подогрева воздуха, учитывающий теплоотдающую способность поверхности корпуса и интенсивность перемешивания воздуха внутри машины (рис. 6-59 – 6-61 /1/).</p>	
<p>3.1.13 Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды</p> $\Delta\vartheta_1 = \Delta\vartheta'_1 + \Delta\vartheta_в, \text{ } ^\circ\text{C}.$ <p>$\Delta\vartheta_1$-должно быть на 10% меньше, чем допустимое превышение температуры для принятого класса изоляции (табл.5-1 /1/).</p>	

3.2 Вентиляционный расчет

3.2.1 Коэффициент, учитывающий изменение условий охлаждения по длине поверхности корпуса, обдуваемого наружным вентилятором для IP 44

$$k_m = m \cdot \sqrt{\frac{n_H}{100}} \cdot D_a,$$

где - для двигателей с $2p=2$ при $h \leq 132$ мм $m = 2,6$;

при $h \geq 160$ мм $m = 3,3$;

- для двигателей с $2p \geq 4$ при $h \leq 132$ мм $m = 1,8$;

при $h \geq 160$ мм;

$m = 2,5 \cdot n_H = n_c \cdot (1 - s_H)$, об/мин — номинальная частота вращения ротора.

3.2.2 Расход воздуха, требуемый для охлаждения

- для IP 44

$$Q_B = \frac{k_m \cdot \sum p'_B}{1100 \cdot \Delta \vartheta_B}, \text{ м}^3/\text{с};$$

- для IP 23

$$Q_B = \frac{\sum p'_B}{1100 \cdot \Delta \vartheta'_B}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где $\Delta \vartheta'_B = 2 \Delta \vartheta_B$ - превышение температуры выходящего из двигателя воздуха над температурой входящего.

3.2.3 Расход воздуха, обеспечиваемый наружным вентилятором

- для IP 44

$$Q'_B = 0,6 \cdot D_a^3 \cdot \frac{n_H}{100}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

- для IP 23

$$Q'_B = m(n_K b_K + 0,1) D_a^2 \cdot \frac{n_H}{100}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где n_K, b_K – число и ширина радиальных вентиляционных каналов, м,

m – коэффициент

- при $2p=2$ $m=2,6$,

- при $2p \geq 4$ $m=3-15$,

при отсутствии вентиляционных каналов

$$Q'_B = 0,1 \cdot m \cdot D_a^2 \cdot \frac{n_H}{100}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расход воздуха Q'_B должен быть больше требуемого для охлаждения машины Q_B ($Q'_B > Q_B$).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

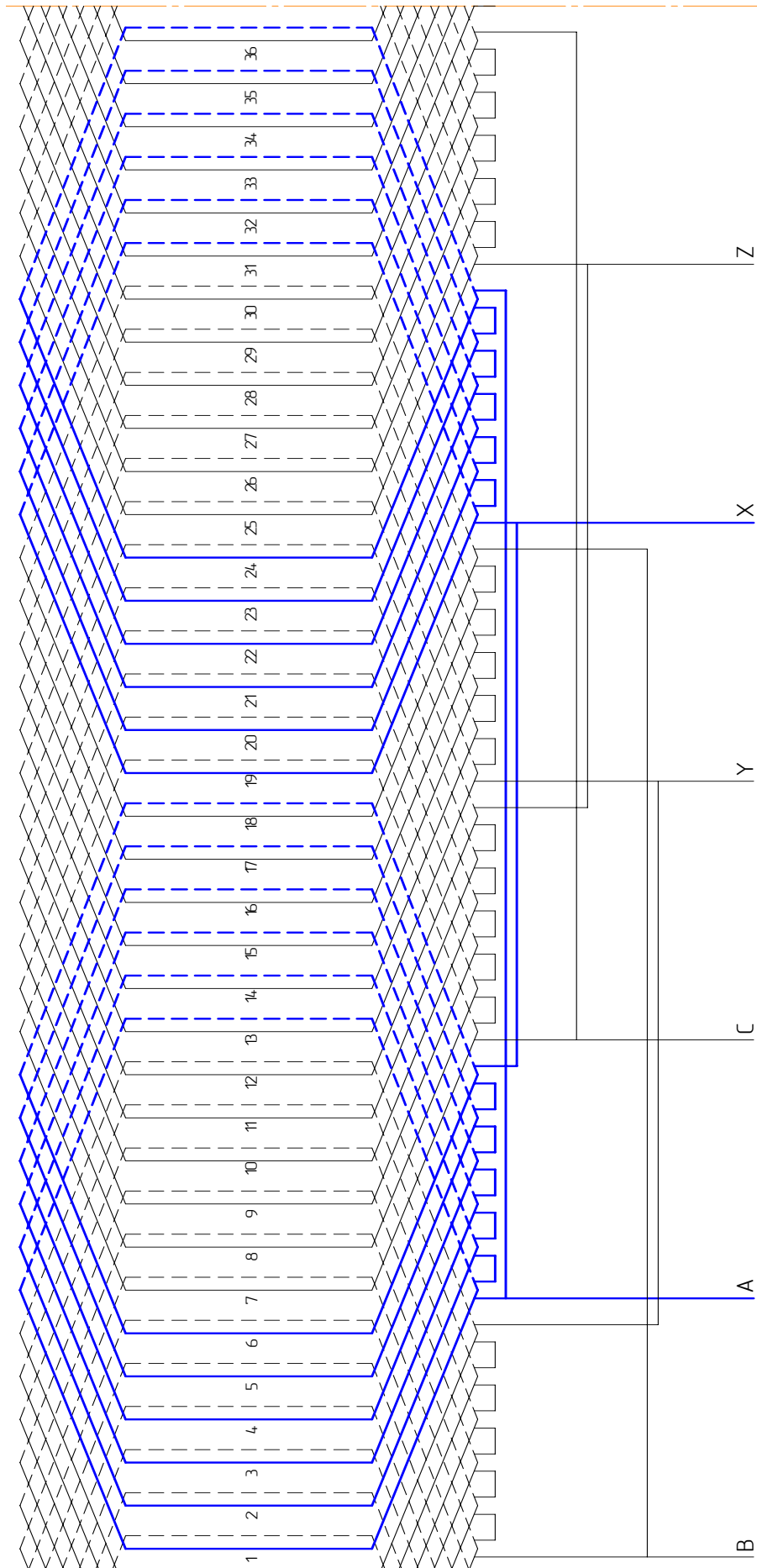


Рисунок 1 - Обмотка статора $Z=36$, $q=6$, $a=2$

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

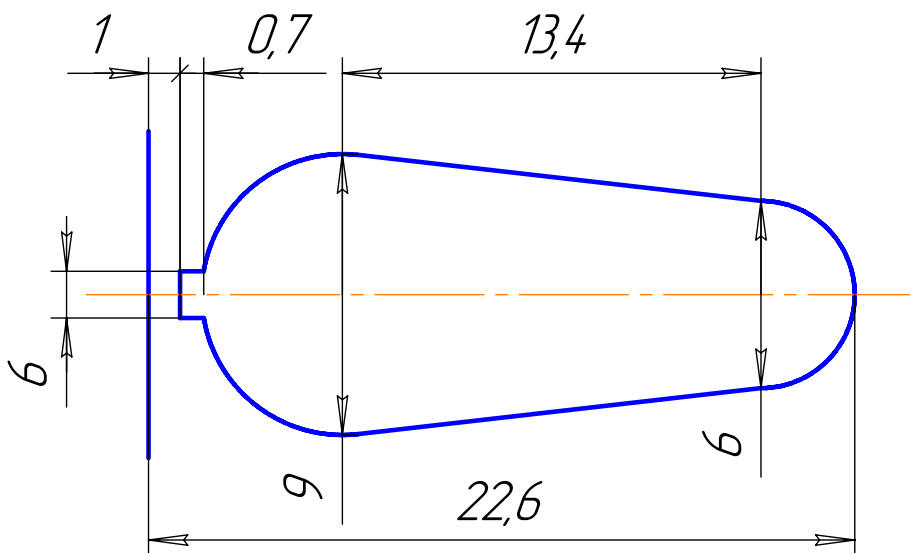


Рисунок 3 - Паз рогора

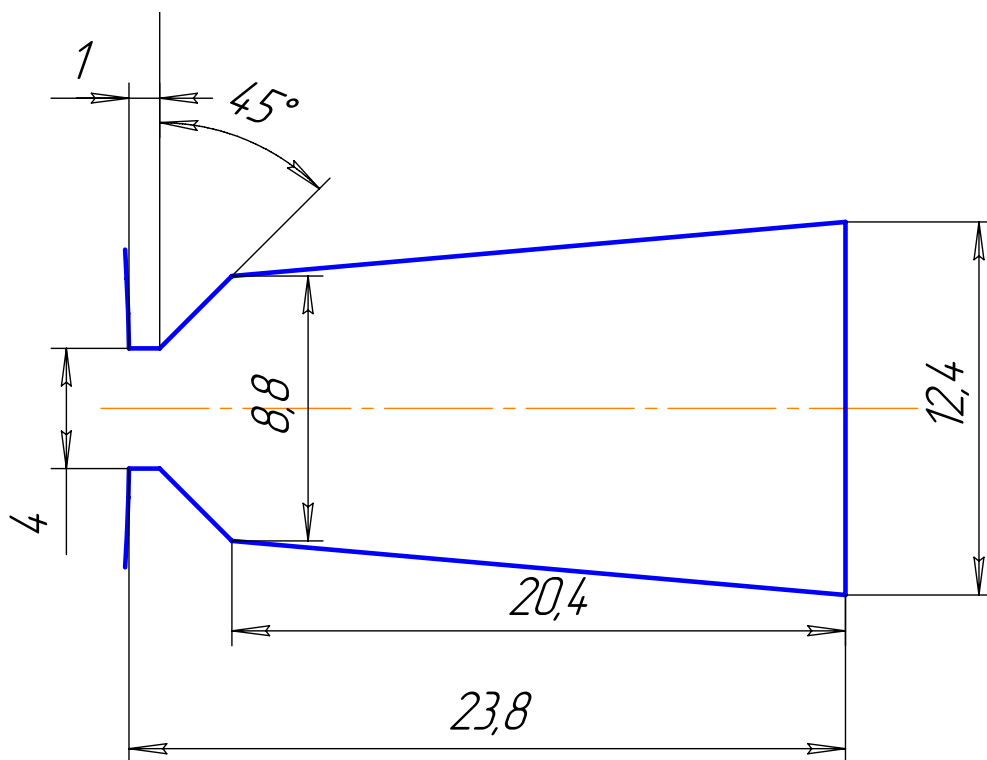


Рисунок 2 - Паз стагора

ПРИЛОЖЕНИЕ В

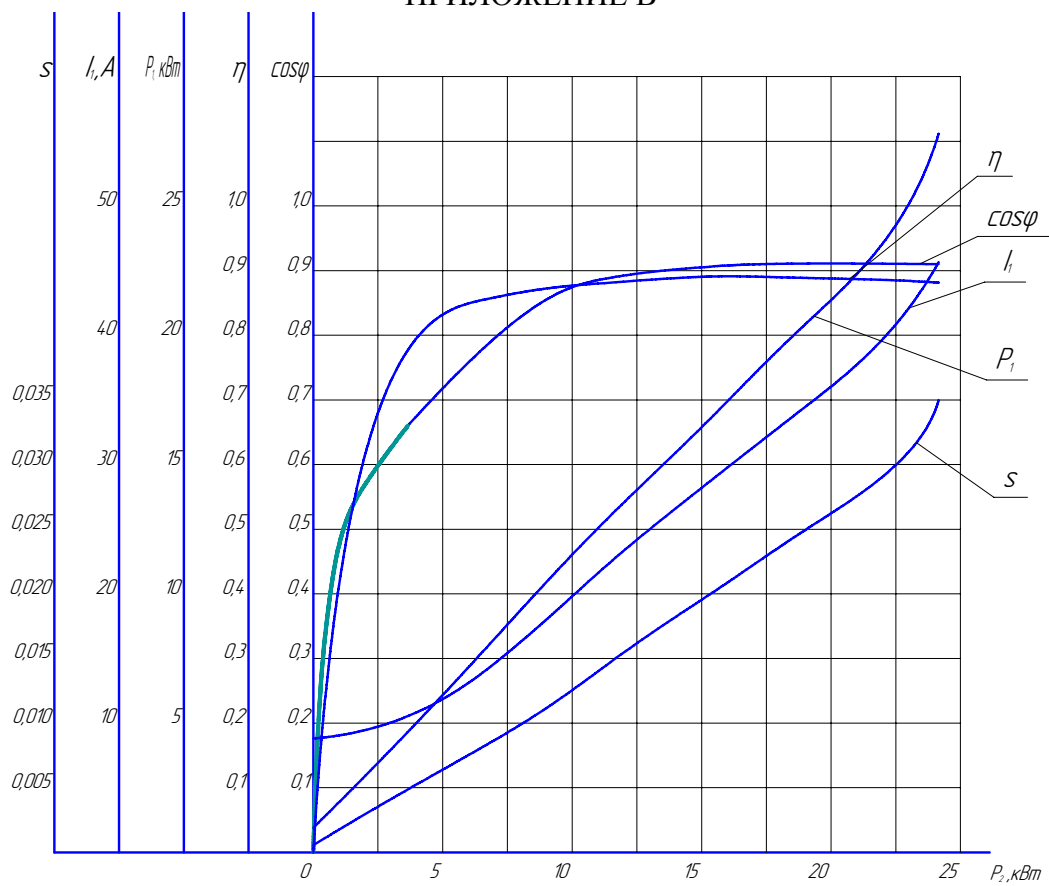


Рисунок 4 – Рабочие характеристики

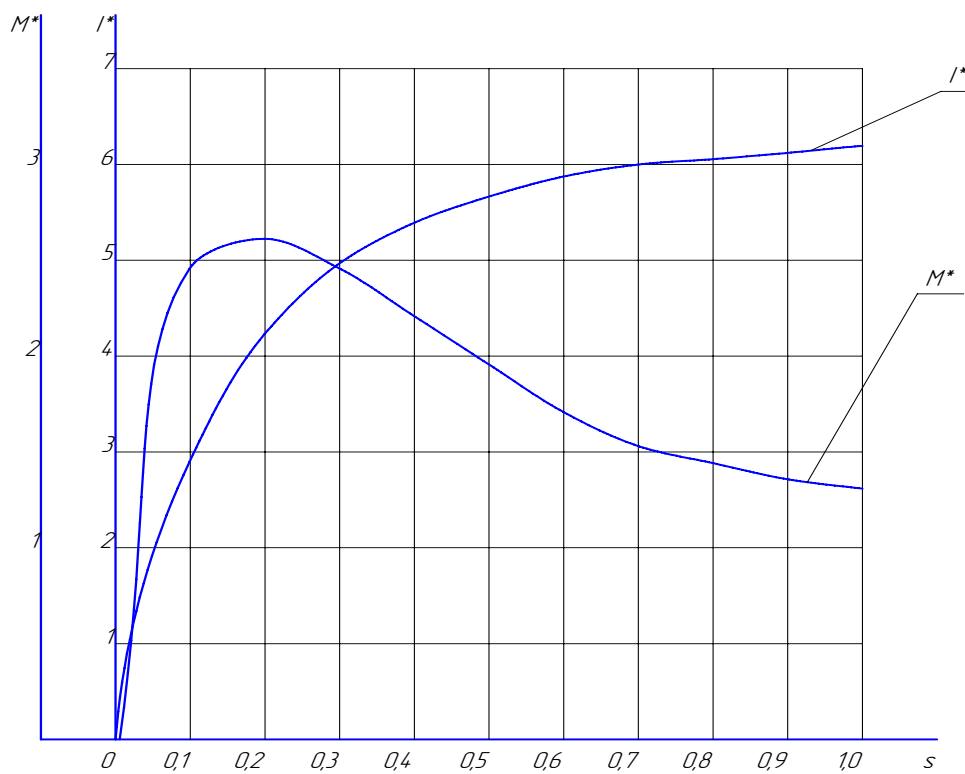


Рисунок 5 – Пусковые характеристики

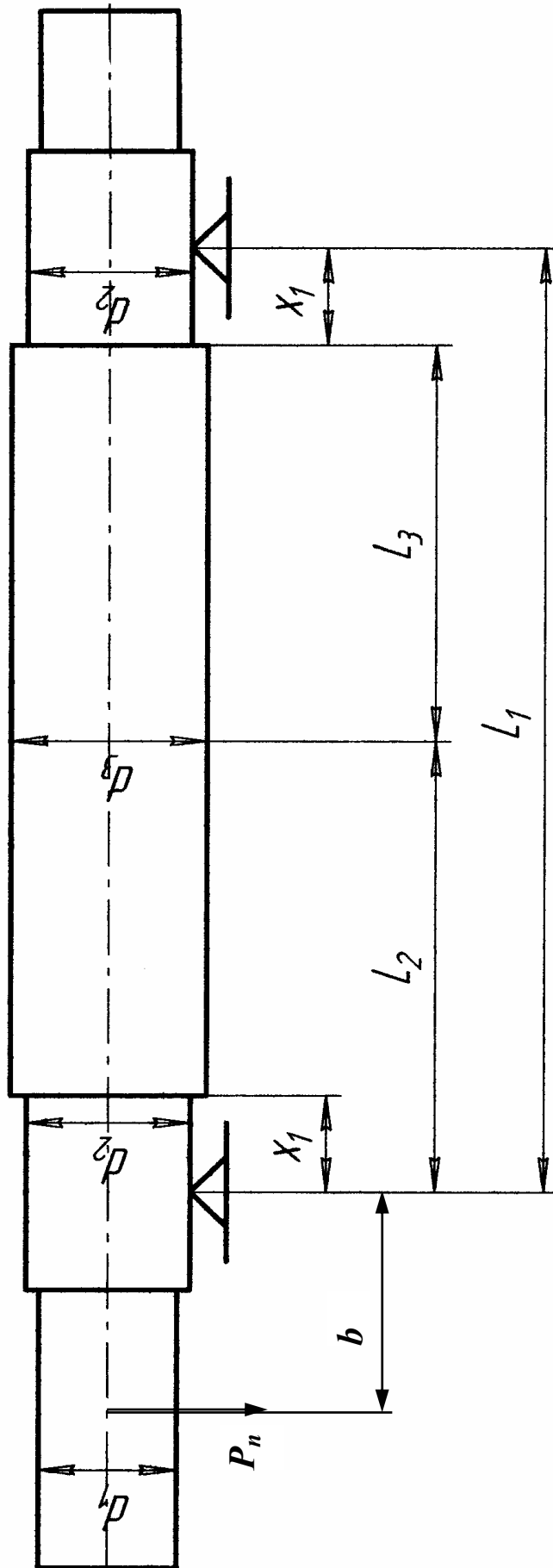


Рисунок 6 — Эскиз вала асинхронного электродвигателя

РАБОЧАЯ ТЕТРАДЬ

по дисциплине «Конструкции, расчет, проектирование, потребительские свойства электромагнитных устройств»,
разделу «Асинхронные машины»
для студентов специальности 140601 «Электромеханика»
всех форм обучения

Составители:

Титова Лариса Николаевна
Перцев Юрий Алексеевич
Снегирев Денис Александрович

В авторской редакции

Подписано в печать 13.12.2007.
Формат 60x84/8. Бумага для множительных аппаратов.
Усл. печ. л. 4,8. Уч.- изд. л. 4,6. Тираж 50 экз.
«С» 389. Зак.№.

ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14