

2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ РАСЧЕТ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

2.1. Выбор главных размеров

Выбираем предварительно по табл. 9.8, [1] для $h = 112$ мм внешний диаметр статора

$$D_a = 197 \text{ мм.}$$

Определяем внутренний диаметр статора

$$D = K_D \cdot D_a,$$

где K_D – коэффициент, характеризующий отношение внутренних и внешних диаметров сердечников статора. Из табл. 9.9, [1] выбираем $K_D = 0,65$

$$D = 0,65 \cdot 0,197 = 0,128 \text{ м.}$$

Находим полюсное деление по формуле

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p} = \frac{3,14 \cdot 0,128}{4} = 0,1005 \text{ м.}$$

$$d_{эл} = 1,06 \text{ мм, } d_{из} = 1,14 \text{ мм, } q_{эл} = 0,883 \text{ мм}^2, n_{эл} = 2.$$

Плотность тока (окончательно)

$$J_1 = \frac{I_{1н}}{a \cdot q_{эл} \cdot n_{эл}} = \frac{11,534}{1 \cdot 0,883 \cdot 10^{-6} \cdot 2} = 6,531 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$$

Схема трехфазной обмотки статора представлена на рисунке 2.1.

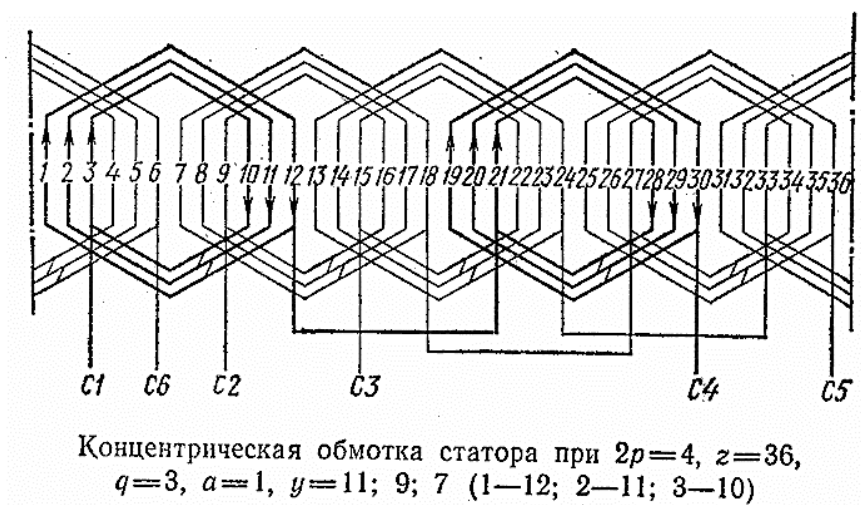


Рисунок 2.1

Тип обмотки статора – однослойная

Число пазов $Z_1 = 36$

Число фаз $m_1 = 3$
 Число пазов на полюс и фазу $q_1 = 3$
 Шаг обмотки по пазам $Y_n = 9$
 Число параллельных ветвей $a_1 = 1$

2.3. Расчёт размеров зубцовой зоны статора

Размеры пазов в электрических машинах должны быть выбраны таким образом, чтобы, во-первых, площадь паза соответствовала количеству и размерам размещаемых в нём проводников обмотки с учётом всей изоляции и во-вторых, чтобы значения индукции в зубцах и ярме статора находились в определённых пределах, зависящих от типа, мощности, исполнения машины и от марки электротехнической стали сердечника.

Ширина зубца

$$b_{z1} = \frac{B_\delta \cdot t_1 \cdot l_\delta}{B_{z1} \cdot l_{cm1} \cdot k_c} = \frac{0,868 \cdot 0,0112 \cdot 0,112}{1,8 \cdot 0,112 \cdot 0,97} = 0,0056 \text{ м},$$

где B_{z1} – индукция в зубцах статора.

Индукцию в зубцах статора принимаем $B_{z1} = 1,8 \text{ Тл}$

k_c – коэффициент заполнения пакета сталью по табл.6.11 [1]; $k_c = 0,97$

Высота ярма статора [1, с.175]

$$h_a = \frac{\Phi}{2 \cdot B_a \cdot l_{cm1} \cdot k_{c1}} = \frac{0,0062}{2 \cdot 1,6 \cdot 0,112 \cdot 0,97} = 0,0179 \text{ м}$$

где B_a – индукция в ярме статора ; предварительно принимаем $B_a = 1,6 \text{ Тл}$

Ширину шлица принимаем $b_{ul} = 3,5 \text{ мм}$ по табл.6.12 [1]; высоту шлица принимаем $h_{ul} = 0,5 \text{ мм}$ [1, стр.178]

Высота паза [1, стр.178, ф.6.40]

$$h_n = \frac{D_a - D}{2} - h_a = \frac{0,197 - 0,128}{2} - 0,0179 = 0,0166 \text{ м}$$

Максимальная ширина паза по формуле

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D + 2h_u - b_u) - Z_1 b_{z1}}{Z_1 - \pi} = \frac{\pi \cdot (0,134 + 2 \cdot 0,5 - 3,5) - 36 \cdot 5,6}{36 - \pi} = 5,92 \text{ мм}$$

Минимальная ширина паза по формуле

$$b_2 = \frac{\pi \cdot (D + 2h_{n1})}{Z_1} - b_{z1} = \frac{\pi \cdot (0,128 + 2 \cdot 0,0166)}{36} - 5,6 = 8,51 \text{ мм}$$

Высота паза, предназначенная для укладки обмотки по формуле

$$h_1 = h_n - \left(h_{u1} + \frac{b_1 - b_{u1}}{2} \right) = 16,6 - \left(0,5 + \frac{5,76 - 3,5}{2} \right) = 14,8 \text{ мм}$$

Размеры паза в свету с учётом припуска на сборку по формуле

$$b'_1 = b_1 - \Delta b_n = 5,92 - 0,1 = 5,82 \text{ мм}$$

$$b'_2 = b_2 - \Delta b_n = 8,51 - 0,1 = 8,41 \text{ мм}$$

$$h'_1 = h_n - \Delta h_n = 16,6 - 0,1 = 16,5 \text{ мм}$$

Площадь поперечного сечения корпусной изоляции в пазу по формуле

$$S_{из} = b_{из} \cdot (2h_n + b_1 + b_2) = 0,25 \cdot (2 \cdot 16,6 + 5,92 + 8,51) = 11,91 \text{ мм}^2$$

где $b_{из}$ – односторонняя толщина изоляции в пазу табл.3.8 [1]: $b_{из} = 0,25 \text{ мм}$

Площадь поперечного сечения прокладок [1, стр.179] так как обмотка одно-
слойная то:

$$S_{np} = 0 \text{ мм}^2.$$

Площадь поперечного сечения паза для размещения проводников рассчиты-
вается по формуле

$$S'_n = \frac{b'_1 + b'_2}{2} \cdot h'_1 - (S_{из} + S_{np}) = \frac{5,82 + 8,41}{2} \cdot 16,5 - (11,91 + 0) = 93,34 \text{ мм}^2$$

Коэффициент заполнения паза [1, стр.180]

$$\kappa_z = \frac{d_{из}^2 \cdot U_n \cdot n_{эл}}{S'_n} = \frac{(1,14)^2 \cdot 26 \cdot 2}{93,34} = 0,724$$

Полученное значение коэффициента заполнения паза находится в реко-
мендуемом пределе (0,72—0,74).

Размеры паза статора представлены на рисунке 2.2

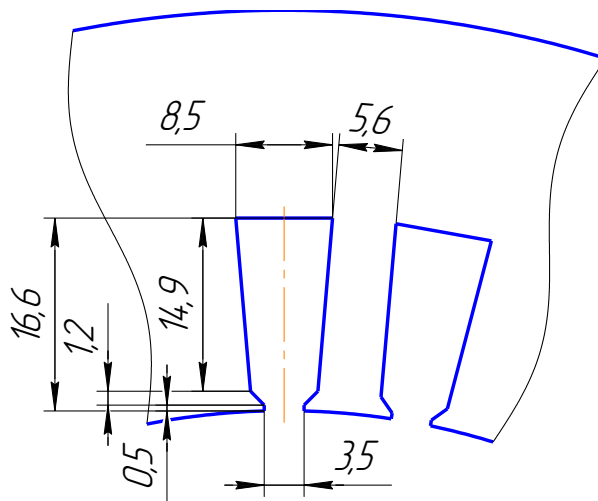


Рисунок 2.2 – Размеры паза статора

Размер паза ротора изображен на рисунке 2.3.

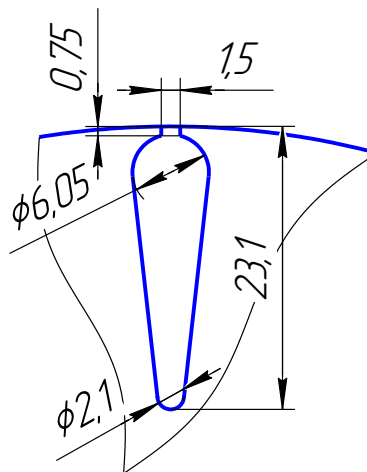


Рисунок 2.3 – Размер паза ротора

Расчетное значение индукции в зубцах ротора определяется по формуле:

$$B_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2 \cdot l_{\delta}}{b_{z2} \cdot \min \cdot l_{cm2} \cdot k_c} = \frac{0,868 \cdot 0,0112 \cdot 0,112}{0,0069 \cdot 0,112 \cdot 0,97} = 1,8 \text{ Тл}$$

Значения индукции лежит в допустимых пределах 1,7-1,9 Тл

По данным справочника для синхронных двигателей серии 4А был найден двигатель с похожими параметрам и для которого относительное значение сопротивления обмотки статора можн посчитать верным двигатель 4А 112М 4У 3 параметры этого двигателя $P=5,5 \text{ к В т}$ $r_1' = 0,064$ $X_1' = 0,078$ $r_2'' = 0,041$ $X_2'' = 0,13$ стр. 30 [4]

Удельные поверхностные потери по формуле
для статора

$$p_{нов1} = 0,5 k_{01} \left(\frac{Z_2 n}{10000} \right)^{1,5} (B_{0,1} t_{z2} \cdot 10^3)^2 = 92,75$$

для ротора

$$p_{нов2} = 0,5 \cdot \kappa_{02} \cdot \left(\frac{Z_2 \cdot n}{10000} \right)^{1,5} \cdot (B_{02} \cdot t_1 \cdot 10^3)^2 = 0,5 \cdot 1,8 \cdot \left(\frac{29 \cdot 1500}{10000} \right)^{1,5} \cdot (0,439 \cdot 0,0112 \cdot 10^3)^2 = 270,97 \frac{Bm}{m^2}$$

для статора

$$P_{нов.1} = p_{нов.1} (t_{z1} - b_{u1}) Z_1 l_{cm1} = 10,8 \text{ Вт}$$

для ротора

$$P_{нов2} = p_{нов2} \cdot (t_2 - b_{u2}) \cdot Z_2 \cdot l_{cm2} = 270,97 (0,0138 - 0,0015) \cdot 29 \cdot 0,112 = 10,8 \text{ Вт}$$

Масса зубцов стали по формуле

для статора

$$m_{z1} = h_{z1} b_{z1cp} Z_1 l_{cm1} k_{c1} \gamma_c = 2,81 \text{ кг}$$

для ротора $B_{нул2} = \frac{\gamma l \delta}{2 t_{z2}} B_{z2cp} = 0,0502 \text{ Тл}$

$$P_{нул2} \approx 0,11 \left(\frac{Z_1 n}{1000} B_{нул2} \right)^2 m_{z2} = 1,48 \text{ Вт}$$

Сумма добавочных потерь по формуле

$$P_{ст.доб} = P_{нов1} + P_{нул1} + P_{нов2} + P_{нул2} = 2,87 + 1,48 + 10,8 + 26,4 = 41,6 \text{ Вт}$$

Полные потери в стали по формуле

$$P_{ст} = P_{ст.осн} + P_{ст.доб} = 100,7 + 41,6 = 142,34 \text{ Вт}$$

Механические потери по формуле

$$P_{мех} = K_T \cdot \left(\frac{n}{10} \right)^2 \cdot D_a^4 = 1,044 \cdot \left(\frac{1500}{10} \right)^2 \cdot 0,197^4 = 35 \text{ Вт}$$

где K_T – коэффициент [1, с.208]; при $2p=4$ $K_T = 1,3(1 - D_a) = 1,044$

$$\gamma = \arctg \frac{r_1 \cdot x_{12} - r_{12} \cdot x_1}{r_{12} \cdot (r_1 + r_{12}) + x_{12} \cdot (x_1 + x_{12})} = \arctg \frac{1,0281 \cdot 37,85 - 1,0712 \cdot 1,4381}{1,0712 \cdot (1,0281 + 1,0712) + 37,85 \cdot (1,4381 + 37,85)} = 1,4373$$

$$a' = c_{1a}^2 - a_{1p}^2 = 1,0783;$$

$$a = c_{1a} \cdot r_1 - c_{1p} \cdot x_1 - b' \cdot x_2 = 1,246$$

$$b' = 2 \cdot c_{1a} \cdot c_{1p} = -0,0541;$$

$$b = c_{1a} \cdot x_1 + c_{1p} \cdot r_1 + a' \cdot x_2' = 4,2672$$

Результаты расчёта сведены в таблице 2.1.

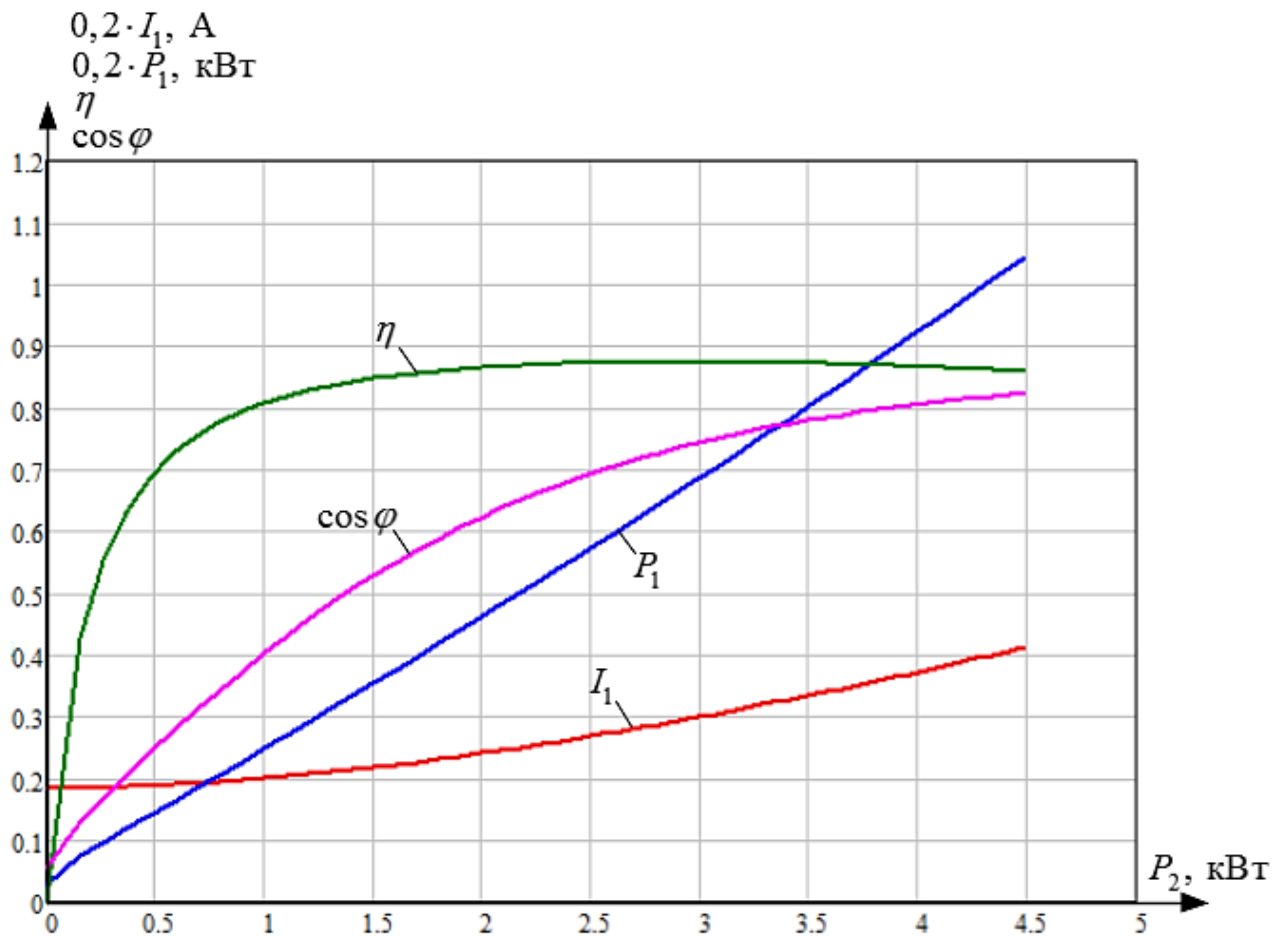


Рисунок 2.6 – Рабочие характеристики двигателя

Условие выполнено согласно [7] ст. 33 . $I_{Птр\epsilon\delta} \geq I_{П*}$, ($7 \geq 6,2$)

Кратность пускового момента с учётом влияния эффекта вытеснения тока и насыщения [1, с. 251]:

$$M'_n = \left(\frac{I'_{2n,нас}}{I'_{2ном}} \right)^2 K_R \frac{S_{ном}}{S} = \left(\frac{54,122}{10,363} \right) \cdot 1,368 \cdot \frac{0,0407}{1} = 2,547$$

Условие выполнено согласно [7] ст. 33 . $M_{Птр\epsilon\delta} \leq M_{П'}$, ($2 \leq 2,547$)

2.11. Механический расчёт

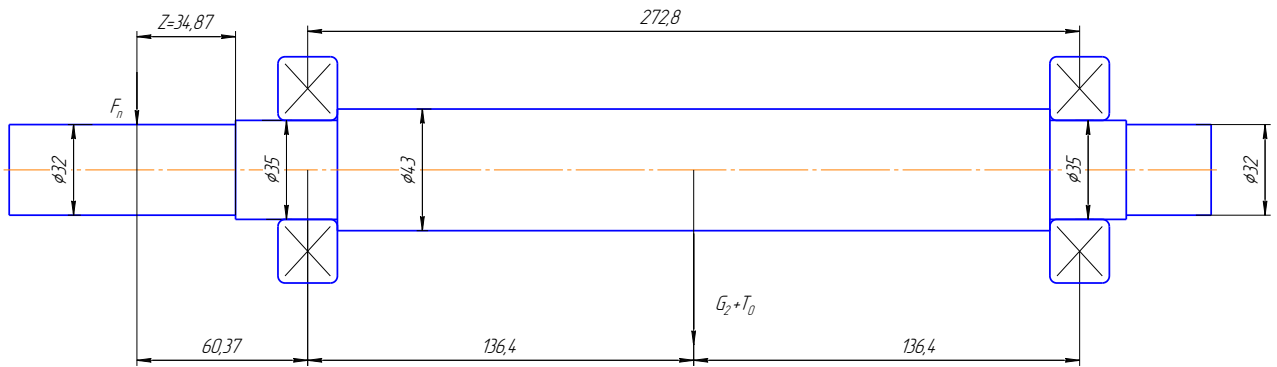


Рисунок 2.8 – Размеры вала

Асинхронный двигатель выполнен с горизонтальным расположением вала. В этом случае вал несёт на себе всю массу вращающихся частей, через него передаётся вращающий момент машины. При сочленении машины с исполнительным механизмом на вал действуют дополнительные изгибающие силы. Кроме того, на вал могут действовать силы одностороннего магнитного притяжения, вызванные магнитной несимметрией, усилия, появляющиеся из-за наличия небаланса вращающихся частей, а также усилия, возникающие при появлении крутильных колебаний. Правильно сконструированный вал должен быть достаточно прочным, чтобы выдерживать все действующие на него нагрузки без появления остаточных деформаций. Вал должен также иметь достаточную жёсткость, чтобы при работе машины ротор не задевал о статор. Критическая частота вращения вала должна быть значительно больше рабочих частот вращения машины. Окончательные размеры вала устанавливаются после его расчётов на жёсткость и прочность.

Принимая, что ротор асинхронной машины представляет собой сплошной цилиндр с плотностью 8300 кг/м^3 , его массу можно определить как

$$m_p = 6500 \cdot D_2^2 \cdot l_2 = 6500 \cdot 0,1272^2 \cdot 0,112 = 11,8 \text{ кг}$$

Сила тяжести ротора

$$G_p = 9,81 \cdot m_p = 9,81 \cdot 11,8 = 115,6 \text{ Н}$$

Определим поперечную силу, приложенную к выступающему концу вала

$$F_n = k_n \cdot \frac{M_n \cdot 2}{D_1} = 0,3 \cdot \frac{36,5 \cdot 2}{0,105} = 208,58 \text{ Н},$$

где M_n – номинальный вращающий момент;

$$M_n = 9550 \cdot \frac{P_2}{n_n} = 9550 \cdot \frac{5500}{1438,95} = 36,5 \text{ Нм},$$

n_n – частота вращения вала ротора $n_n = n \cdot (1 - S) = 1500 \cdot (1 - 0.0407) = 1438,95$ об/мин

k_n – коэффициент, при подаче упругой муфтой $k_n = 0,3$

D_1 – диаметр по центрам пальцев муфты $D_1 = 0,105$ м

Прогиб вала по середине сердечника под действием силы тяжести

$$f_q = \frac{G_p}{3 \cdot E \cdot l^2} \cdot (S_A a^2 + S_B b^2) =$$

$$= \frac{115,6}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,2728} \cdot (14,14 \cdot 10^3 \cdot 136,4^2 \cdot 10^{-6} + 12,61 \cdot 10^3 \cdot 136,4^2 \cdot 10^{-6}) = 1,25 \cdot 10^{-4}$$

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

$$S_A = \sum \frac{x_i^3 - x_{i-1}^3}{J_i} = 14,14 \cdot 10^3 \quad S_B = \sum \frac{y_i^3 - y_{i-1}^3}{J_i} = 12,6 \cdot 10^3$$

Вал разбивают на три участка a, b, c – это расстояния от места приложения силы до ближайшей опоры $a = 136,4 \cdot 10^{-3}$ м, $b = 136,4 \cdot 10^{-3}$ м, $c = 62 \cdot 10^{-3}$ м

Прогиб вала по середине магнитопровода ротора от поперечной силы муфты

$$f_n = \frac{F_n \cdot c}{3 \cdot E \cdot l^2} \left(\frac{3}{2} \cdot l \cdot S_0 - S_B \right) \cdot a + S_A \cdot b =$$

$$= \frac{257 \cdot 0,062}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,2728^2} \left(\frac{3}{2} \cdot 0,2728 \cdot 92,6 \cdot 10^4 - 12,61 \cdot 10^3 \right) \cdot 136,4 \cdot 10^{-3} + 14,138 \cdot 10^3 \cdot 136,4 \cdot 10^{-3} =$$

$$= 6,558 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$\text{где } S_0 = \sum \frac{y_i^2 - y_{i-1}^2}{J_i} = 9,27 \cdot 10^4 \frac{1}{\text{м}}$$

l – расстояние между опорами $l = 272,8 \cdot 10^{-3}$ м,

Первоначальное смещение ротора:

$$l_0 = 0,1 \cdot \delta + f_q + f_n = 0,1 \cdot 0,0004 + 1,25 \cdot 10^{-6} + 6,58 \cdot 10^{-7} = 4,19 \cdot 10^{-5} \text{ м},$$

Начальная сила одностороннего магнитного притяжения

$$T_0 = 2,94 \cdot D_2 \cdot l_2 \cdot \frac{l_0}{\delta} = 2,94 \cdot 0,1272 \cdot 0,112 \cdot \frac{4,19 \cdot 10^{-5}}{0,0004} = 438,8 \text{ Н},$$

Прогиб вала от силы T_0

$$f_m = \frac{f_q \cdot T_0}{G_p} = \frac{1,25 \cdot 10^{-6} \cdot 438,8}{115,6} = 4,75 \cdot 10^{-6}, \text{ м}$$

Установившийся прогиб вала от одностороннего момента притяжения

$$f_m = \frac{f_m}{1-m} = \frac{4,75 \cdot 10^{-6}}{1-0,1133} = 5,35 \cdot 10^{-6},$$

где $m=f_T/l_0=0,1133$

Суммарный прогиб по середине магнитопровода ротора

$$F=f_m+f_q+f_{\Pi}=7,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Критическая частота вращения

$$n_k = 30 \cdot \sqrt{\frac{1-m}{f_q}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1-0,1133}{1,25 \cdot 10^{-6}}} = 25264,1 \text{ об/мин} > 1,3 \cdot n_H = 1950 \text{ об / мин}$$

Коэффициент нагрузки $k=2$

Напряжение на свободном конце вала в **сечении А**:

Изгибающий момент в расчетном сечении

$$M_{uA} = k \cdot F_n \cdot Z = 2 \cdot 208,6 \cdot 0,035 = 14,6 \text{ Нм}$$

где $Z=0,035$ м - расстояние указано на эскизе вала

Момент сопротивления при изгибе

$$W_A = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 0,035^3 = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

где $d=0,035$ м - диаметр вала в сечении А

Напряжение изгиба

$$\sigma_{npA} = \frac{1}{w_A} \cdot \sqrt{MuA^2 + (\kappa \cdot M_n)^2} = \frac{1}{6,4 \cdot 10^{-6}} \cdot \sqrt{14,6^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 36,5)^2} = 7,21 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

где $\alpha = 0,8$ - отношение допустимого напряжения при изгибе к удвоенному допускаемому напряжению при кручении.

Напряжение в **сечении Б** :

Изгибающий момент в расчетном сечении

$$M_{uB} = k \cdot F_n \cdot Z = 27,76 \text{ Нм}$$

Момент сопротивления при изгибе

$$W_B = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 0,035^3 = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

где $d=0,035$ м - диаметр вала в сечении Б

Напряжение изгиба

$$\sigma_{npB} = \frac{1}{w_B} \cdot \sqrt{MuB^2 + (\kappa \cdot \alpha \cdot M_n)^2} = \frac{1}{6,4 \cdot 10^{-6}} \cdot \sqrt{27,76^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 36,5)^2} = 8,1 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

где $\alpha = 0,8$ - отношение допустимого напряжения при изгибе к удвоенному допускаемому напряжению при кручении.

Рассчитаем подшипники качения.

Наибольшая радиальная нагрузка на подшипник расположенный ближе к выходному концу вала [с. 85, формула 9-22]:

$$R_a = P_H \cdot \frac{c}{l} + (P'_2 + P_M) \cdot \frac{b}{l} = 208,58 \cdot \frac{62}{272,8} + (115,6 + 438,8) \cdot \frac{136,4}{272,8} = 324,6 \text{ Н},$$

Наибольшая радиальная нагрузка на другой подшипник [с.85, формула 9-22]:

$$R_b = P_H \cdot \frac{c}{l} + (P'_2 + P_M) \cdot \frac{a}{l} = 208,6 \cdot \frac{62}{272,8} + (115,6 + 438,8) \cdot \frac{136,4}{272,8} = 533,17 \text{ Н},$$

Принимаем нагрузку с умеренными толчками ($k_n = 1,5$ - коэффициент учитывающий характер нагрузки двигателя). Для однорядных радиальных подшипников динамическая приведённая нагрузка на один подшипник [с.85, формула 9-23а]:

$$Q = k_n \cdot R_b = 1,5 \cdot 533,17 = 799,75 \text{ Н},$$

Принимаем расчётный срок службы подшипников $L_d = 15000$ часов, наибольшая частота вращения 1500 об/мин.

Необходимая динамическая грузоподъёмность шарикоподшипника [с.86, формула 9-25а]:

$$C = \frac{Q}{25,6} \cdot \sqrt[3]{L_d \cdot n} = \frac{799,75}{25,6} \cdot \sqrt[3]{15000 \cdot 1500} = 8819 \text{ Н},$$

Выбираем шарикоподшипник средней серии 307 с динамической грузоподъёмностью $C = 33200$ Н.

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ОБЩЕЙ СБОРКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Целью данного выпускной квалификационной работы является разработка технологического процесса общей сборки асинхронного двигателя, оценить технологичность изделия, построить размерные цепи, рассчитать их, выбрать маршрут технологического процесса, рассчитать и выбрать оборудование, рассчитать нормы и время, с годовой программой выпуска 11 000 шт.

В данной работе требуется выполнить технологический анализ, составление схемы сборки, маршрутной технологии.

Более 60% всей вырабатываемой в мире электроэнергии преобразуется в механическую, в основном, с помощью асинхронных двигателей. Это объясняется простотой их конструкции, большей надежностью, и высоким значением КПД.

Созданные 100 лет назад русским ученым Доливо-Добровольским трехфазные асинхронные двигатели нашли широкое распространение во всех отраслях промышленности, сельского хозяйства, торговли, транспорта и бытовой техники.

Позднее были созданы серии асинхронных двигателей И2, МА-200, АМ. Каждая из этих серий для своего времени были достаточно хорошо спроектированы и находились на уровне передовых образцов мирового электромашиностроения. В 1969-1971 годах была спроектирована серия 4А. В 1975 году в рамках международной организации «Интерэлектро» было подписано соглашение о научно-техническом сотрудничестве области разработки и освоении унифицированной серии АД напряжением до 1000 В.

Единые серии позволяют наиболее полно обеспечить специализацию и широкую кооперацию, централизовать производство технологической оснастки и инструмента. При этом значительно облегчаются выбор, установка, ремонт и обслуживание электродвигателей.

В результате была спроектирована и в настоящее время широко осваивается серия АИ, отвечающая всем рекомендациям международной электротехнической комиссии и имеющая весьма высокий технический уровень, позволяющий двигателям серии АИ широко войти на мировой рынок.

Станину и подшипниковые щиты выполняем из чугуна, вентилятор – из пластмассы.

Электродвигатель выполняем с радиальными однорядными шарикоподшипниками легкой серии 209 ГОСТ 8338 – 75, имеющими уплотнительные шайбы, обеспечивающие предохранение от пыли и воды внутрь подшипников. Подшипники заполнены смазкой, которая обеспечивает работу электродвигателя в течении 12000 часов.

Обмотку статора электродвигателя выполняем проводом ПЭТМ (провод медный, круглый, эмалированный лаком на полиэфирной основе) и укладываем в пазы статора, изолированные пленкосинтокартоном толщиной 0,25 мм, соответствующим классу изоляции нагревостойкости F.

Для увеличения площади охлаждения, с целью улучшения теплоотвода с поверхности станины, производится ее ребрение (ребра отливаются вместе с корпусом).

Ротор электродвигателя имеет короткозамкнутую конструкцию, пазы которого заливаются расплавленным алюминием.

Сердечники статора и ротора электродвигателя шихтуются из листов электротехнической стали марки 2013, толщиной 0,5 мм.

Для предохранения электродвигателя от воздействия внешних факторов окружающей среды применяют следующие исполнения покрытий деталей:

- Покрытие чугунных деталей:
 - грунтовка ВП – 02 или ВП – 023 и эмаль ЗП – 140 серая (№75)
 - ВП – 02 с алюминиевой пудрой и эмаль ЭЛ – 140 (№81)
 - АК - 070 и эмаль ЭП – 525 зеленая (№85)
 - * - по 2 АК – 070;
 - ** - по 1 слою остальные

- Покрытие алюминиевых деталей
 - грунтовка ВЛ – 02 или ВЛ – 023 и эмаль ЭЛ – 140 серая (№75)
 - ВЛ – 02 с алюминиевой пудрой и эмаль В' – МА – 1232 и эмаль 140 (№74)
 - * - по 2 слоя АК – 070
 - ** - по 1 слою остальные
 - Покрытие сердечника статора
 - грунтовка УРФ – 0110 красно – коричневая или эмаль ГФ – 92 ГС серая
 - грунтовка ФЛ – 03 К
 - Эмаль МЛ – 12 серая
 - Покрытие ротора, напрессованного на вал
 - Грунтовка УРФ – 0110 красно – коричневая или эмаль ГФ – 92 ГС серая
 - Грунтовка ФЛ – 03К
 - Эмаль МЛ – 12 серая
 - Покрытие обмотки статора
- Пропиточный состав
- Лак МЛ – 92 или ПЭ – 9153. ПЭ – 993, УР – 9144
 - Компаунд КП – 34
- Покрывной состав
- ГФ – 92 ГС серая или ЭП – 91 темно – зелёная
 - * - 1 слой
- стальные детали покрывают
 - грунтовка ВЛ – 02 и эмаль ЭП – 140 серая (№75)
 - ВЛ – 02 с алюминиевой пудрой и эмаль ЭП – 140 (№81)
 - АК – 070 и эмаль Эп – 525 зеленая (№83) или эмаль ХВ – 785 (№135) и эмаль В – МА – 1232 и эмаль ЭП – 140 (№74)
 - * - 2 слоя АК – 070 и 3 слоя ХВ – 785
 - ** - 1 слой грунтовки и 2 слоя эмали
 - Покрытие знака заземления
 - эмаль ГФ – 92 ЧС красная или НЦ – 132 красная

○ Покрытие двигателя в сборе

- эмаль ЭП – 140 7 У/2 серая (№74, №75, №81) или эмаль ЭП – 525 Т 1/У2 зеленая (№83)

- ХВ – 785 7/1 У2 серая (№135)

- Эп – 773 7/1 У2 зеленая (№65)

- двигатели одно и многоскоростные основного исполнения серий АИР и АД;

- двигатели одно и многоскоростные серий 6А и АИС с привязкой мощностей и установочных размеров, принятых Европейским комитетом по стандартизации в электротехнике (CENELEC документ 28/64, DIN42673 и DIN42677).

Двигатели изготавливаются в закрытом обдуваемом исполнении со степенью защиты IP54. Электродвигатели имеют систему охлаждения IC041 ГОСТ 20459, которая осуществляется путем обдува корпуса внешним центробежным вентилятором, расположенным на валу двигателя со стороны, противоположной приводу и защищенным кожухом. Степень защиты вентилятора IP20.

Двигатели изготавливаются на напряжения 220, 380, 660 В, ГОСТ 12139 частота 50 Гц, (60 Гц) со схемами соединения обмотки статора «треугольник», «звезда», «треугольник-звезда». По заказу потребителя двигатели могут быть изготовлены и на другие стандартные напряжения и схемы соединения.

Конструктивное исполнение по способу монтажа двигателей следующее: IM1081, IM1082, IM2081, IM2082, IM3081, IM3082 ГОСТ 2479. По заказу потребителя двигатели могут быть изготовлены и с другими исполнениями по способу монтажа ГОСТ 2479.

Двигатели предназначены для эксплуатации в макроклиматических районах с умеренным - У, тропическим - Т, с умеренным и холодным - УХЛ и холодным - ХЛ климатом и категорий размещения 1, 2, 3, 4 ГОСТ 15150. Конкретный вид климатического исполнения оговаривается при за-

казе. Нормальные значения климатических факторов внешней среды при эксплуатации двигателей, ГОСТ 15543, ГОСТ 15150.

3.2. Анализ конструкции электрической машины на технологичность

Конструкцию любой машины определяет, прежде всего, её назначение и те технические характеристики, которым она должна соответствовать в эксплуатационных условиях. Однако наряду с этим к конструкциям машин предъявляют так же и производственные требования. В частности конструкция должна быть такой, чтобы эксплуатационные качества машины, зависящие от сборки, были достижимы при данном объеме производства путем применения наиболее экономичного технологического процесса сборки. Такую конструкцию принято называть технологичной в сборке.

Правила обработки там, где возможно, и повышении) требуемого качества изделий.

В данном случае статор и ротор асинхронного двигателя, как сборочные единицы, независимы друг от друга и, таким образом, представляя собой сборочные группы. Их сборка выделена из процесса общей сборки машины, тем самым упрощена технология сборки и сокращена её трудоемкость. Необходимая по техническим требованиям точность и другие критерии качества сборки должны обеспечиваться соответствующим построением технологий сборки и механической обработки деталей. Методы достижения требуемой точности сборки, а следовательно, и её экономичность в значительной мере зависят от конструкции сборочной единицы или изделия.

Детали рассматриваемого двигателя имеют малые величины допусков и высокую точность изготовления, что связано с увеличением трудоемкости. Конструкция данного двигателя, как сборочной единицы, достаточно проста (не требует специального оборудования), что ведет к снижению себестоимости, а так же к снижению времени изготовления изделия и общей трудоемкости.

Влияние на трудоемкость и себестоимость оказывает также применение дополнительных операций, таких как разборка, пригоночные работы, проведение технологических испытаний.

Двигатель, представленный в проекте, состоит из двух сборочных единиц: статора в сборе и ротора в сборе.

Компоновка изделия производится следующим образом: в станину запрессовывается статор обмотанный, на вал напрессовывается сердечник ротора и подшипники, затем собранный ротор вставляется в статор и привинчиваются подшипниковые щиты: на шпонку насаживается вентилятор и закрывается кожухом.

Конструкции соединений составных частей не требуют дополнительной механической обработки.

Типы соединения исключают возможность в процессе сборки демонтажа.

Заданную точность расположения составных частей обеспечивают замковые поверхности подшипниковых щитов.

При выборе вида конструкции соединений следует учитывать затраты труда, материалов и энергии на образование соединений конструктивных элементов и возможность использования тех видов соединения которые ранее приняты и освоены в данных производственных условиях.

В нашем случае резьбовые соединения для крепления подшипниковых щитов к станине, шпоночные соединения для крепления вентилятора на валу.

Для обеспечения нормальной работы двигателя в течение всего срока эксплуатации необходимо обеспечить параллельность осей – отверстий и качество поверхностей, к которым прилагают опорные поверхности гаек и винтов.

Перенос опорных поверхностей может привести к срыву резьбы, ослаблению крепления, отрыву винтов.

Общая сборка данной электрической машины

Сборка АД осуществляется из сборочных единиц (ротор, статор, вводное устройство), деталей (подшипниковые щиты, вентилятор, кожух, подшип-

никовые крышки), стандартных изделий (болты, винты, шайбы, шпонки, подшипники, рым болт).

3.3. Технологические требования к сборке АД

1. При сборке двигателя жировые канавки подшипниковых щитов и пружинное кольцо покрыть смазкой ЛЗ-31 ТУ38.11144-88 в количестве 0.003 кг.

2. Покрытие двигателя производить эмалью ОФ-1115

3. Допускается кольцо пружинное покрыть смазкой К-17

Для обеспечения точности сборки предъявляются такие требования:

- Допустимые предельные отклонения параметров шероховатости $\pm 40\%$.
- Головки винтов покрыть эмалью ЮЦ-132 П красной
- Рельеф знака заземления покрыть по ведомости лакопокрытий.
- Консервацию двигателя производить по инструкции .
- Двигатель должен соответствовать технологическим требованиям.

Правила приёмки АД по ГОСТ 183-74.

Электрические машины следует подвергать приемам сдаточным испытаниям.

Основной задачей на данном этапе является составление технологического маршрута, т.е. перечень, указывающих последовательность операций и их выполнение. Технологический маршрут

Статор и ротор собираются отдельно на автоматических линиях и поставляются на место общей сборки.

Печь для нагрева подшипников П28.

Правильный выбор количества оборудования необходим для его рационального использования. Критерии, показывающие степень использования оборудования является коэффициент загрузки этого оборудования.

Расчёт ведётся по действительному фонду времени работы оборудования при двухсменной работе.

Программа запуска

$$N_{\text{зан}} = N(1 + \frac{A}{100}) = 11000(1 + \frac{0.1}{100}) = 11011 \text{ шт}$$

где $A=0.1\%$ - плановый процент потерь от брака.

Исходя из программы запуска, определяем необходимое число каждого из оборудования.

$$C_p = \frac{N_{\text{зан}} \cdot T_{\text{шт.к}}}{60 \cdot F_d}$$

где $N_{\text{зан}}$ – действительная программа запуска;

$T_{\text{шт.к}}$ – суммарное штучно-калькуляционное время по операциям, выполняемым на данном виде оборудования, отнесенное к одному изделию;

F_d - действительный фонд рабочего времени оборудования.

Полученное значение округляем до ближайшего целого и таким образом определяем число рабочих мест P .

Определяем фактический коэффициент загрузки рабочего места

$$h_z = \frac{C_p}{P}$$

Результаты расчета сводим в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Определение коэффициента загрузки оборудования

Оборудование	$T_{\text{штк}}$ мин	C_p	P , шт	h_z
1. Кран-балка	16.0	1.69	2	0.845
2. Печь для нагрева подшипников ЭП5	1.9	0.17	1	0.17
3. Испытательная станция Ис	3.27	0.32	1	0.32

График загрузки оборудования изображен на рисунке 3.1

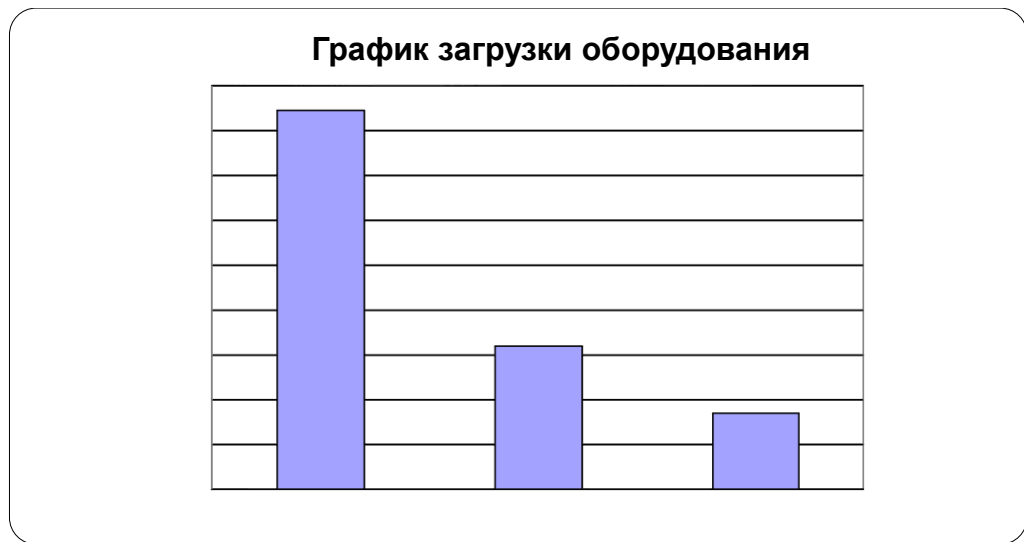


Рисунок 3.1 – График загрузки оборудования

Увеличить коэффициент загрузки оборудования, можно увеличив программу выпуска электродвигателей.

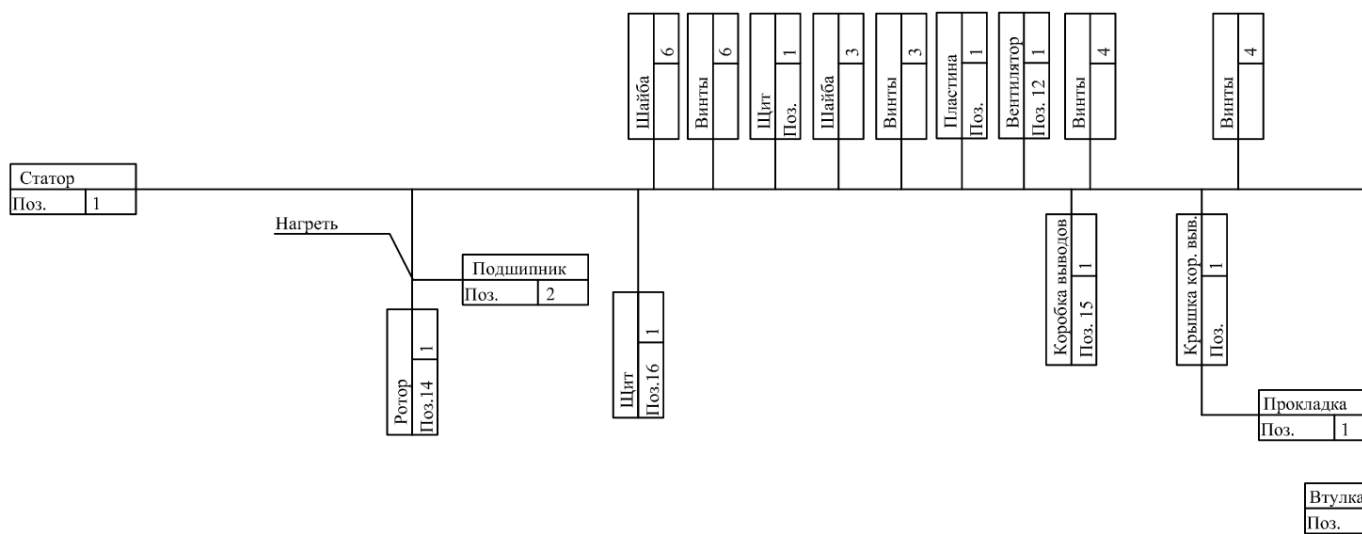


Рисунок 3.2 – Схема сборки электродвигателя АИР112М

4.2. Оценка конкурентоспособности продукции

Основными конкурентами являются отечественные и зарубежные производители асинхронных двигателей.

ПАО «СЭМЗ» после реализации продукции согласно договору о купле-продаже, предоставляет гарантийное и сервисное обслуживание, консультации специалистов по вопросам монтажных и пуско-наладочных работ с соблюдением всех технологических требований.

Асинхронные электродвигатели производства ПАО «СЭМЗ» широко используются в различных отраслях промышленности России и за рубежом. В отличие от своих аналогов, произведенных другими заводами, электродвигатели ПАО «СЭМЗ» обладают более эффективной охлаждающей системой, т.е. поверхность охлаждения двигателей больше на 30%, следовательно, перегрев обмотки будет ниже при равных условиях эксплуатации, поэтому, как известно, надежность и срок службы данных двигателей больше, чем у аналогов.

Далее проведем анализ предложений от других производителей аналогичных двигателей общепромышленного типа. Результаты оценки факторов конкурентоспособности электродвигателя сведем в таблицу 4.2 [20-23].

Из таблицы 4.2 можно сделать следующий вывод, что наиболее высокими показателями факторов конкурентоспособности асинхронных двигателей общепромышленного типа, изготовленных на ПАО «СЭМЗ» являются качество продукции, её технические показатели и обслуживание, а также гарантийный срок, надежность работы, защищенность конструкции от попадания брызг и посторонних предметов, более низкая стоимость и наличие прямого канала сбыта.

Расчет проведён по данным и методике, принятой в ПАО «СЭМЗ».

4.3.1. Материальные затраты

По таблице 4.3 видно, что основную часть материальных затрат составляют черные металлы (32,5%) и цветные металлы (31,5%).

Полная стоимость сырья и материалов включает транспортные расходы на их заготовление и приобретение и рассчитывается по формуле:

$$Z_m = M \cdot k_{т.зр}$$

где $k_{т.зр} = 1,14$ - коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

$$Z_m = 5463,31 \cdot 1,14 = 6,2 \text{ тыс. руб./шт}$$

4.3.2. Расходы на силовую электроэнергию

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$Z_{\text{э}} = \frac{N \cdot t_{\text{шт}} \cdot k_3 \cdot k_{\text{эд}} \cdot k_{\text{пс}} \cdot C_{\text{э}}}{\eta},$$

где N – установленная мощность электродвигателей, кВт;

$t_{\text{шт}}$ – трудоёмкость, час;

k_3 – коэффициент загрузки электродвигателей по мощности, $k_3 = 0,66$;

$k_{\text{эд}}$ – коэффициент загрузки электродвигателей по времени, $k_{\text{эд}} = 0,8$;

$k_{\text{пс}}$ – коэффициент, учитывающий потери эл. энергии в сети, $k_{\text{пс}} = 0,95$;

$C_{\text{э}}$ – цена за 1 кВт·ч электроэнергии, руб, $C_{\text{э}} = 5,4$.

η – средний коэффициент полезного действия двигателей, $\eta = 0,86$.

Рассчитаем затраты на силовую электроэнергию, проектируемого асинхронного двигателя и базового варианта асинхронного двигателя с такими же характеристиками, произведенного на заводе ПАО «СЭМЗ». Результаты расчёта сводим в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Расчет расходов на силовую электроэнергию

Станок	Мощность, кВт	Трудоемкость, час/шт	Стоимость электроэнергии, руб./шт
Токарный	16	1,65	83,15
Прессовочный	5	1,30	20,47
Сверлильный	3,3	1,20	12,47
Фрезерный	10	1,10	34,65
Шлифовальный	5,5	0,90	15,59
Штамповочный	12	0,50	18,90
Точильный	3,3	0,30	3,12
Всего			188,34

Из таблицы 4.4 можно сделать вывод, что затраты на силовую электроэнергию на изготовление проектируемого электродвигателя составят 188,34 руб./шт.

4.3.3. Полная заработная плата технологических рабочих

Полная заработная плата включает в себя основную и дополнительную заработную плату. Основная заработная плата рабочих определяется на основании трудоёмкости изготовления электрической машины по операциям. Она включает в себя тарифную заработную плату, премиальные, надбавки и выплаты по районному коэффициенту.

В таблице 4.5 рассчитана тарифная заработная плата основных рабочих.

Таблица 4.5 – Тарифная заработная плата

Виды работ	Трудоемкость, час/шт.	Тарифная ставка, руб./час	Заработная плата, руб./шт.
Токарные	1,65	53,25	87,86
Прессовочные	1,30	58,12	75,56
Намоточно-обмоточные	1,20	55,76	66,91
Сверлильные	1,20	62,15	74,58
Фрезерные	1,10	63,32	69,65
Шлифовочные	0,95	41,57	39,49
Отделочные	0,80	42,32	33,86
Заготовка тары	0,60	41,79	25,07

Испытательные	0,60	65,79	39,47
Штамповочные	0,50	45,87	22,94
Точильные	0,50	84,60	42,30
Слесарные	0,50	49,70	24,85
Сборочные	0,50	57,38	28,69
Заготовительные	0,40	76,54	30,62
Итого			661,85

Основная заработная плата рассчитывается по формуле [17]:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, тыс. руб.;

$k_{\text{пр}}$ – коэффициент, учитывающий премиальные выплаты, $k_{\text{пр}} = 0,3$;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, $k_{\text{д}} = 0,2$;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент (для Томска), $k_{\text{р}} = 1,3$.

Основная заработная плата рассчитывается на основании данных планово-экономического отдела ПАО «СЭМЗ».

$$Z_{\text{осн}} = 0,66 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 1,3 \text{ тыс. руб./шт.}$$

Дополнительная заработная плата начисляется рабочим и служащим за непроработанное время, предусмотренное действующим законодательством. В том числе оплата компенсаций, обучение учеников, времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей, очередных отпусков, по уходу за ребенком, выходное пособие при увольнении.

Дополнительная заработная плата учитывается так же, как и основная, и включается в фонд заработной платы предприятия.