

Реферат

Выпускная квалификационная работа 114 с, 7 рисунков, 14 таблицы, 20 источников, 7 приложения и 4 л графического материала.

Ключевые слова: Асинхронный двигатель, станина, статор, ротор, обмотка, сопротивление, кратность пускового тока, кратность пускового пусковая характеристика, ресурсосбережение, технологичность.

Объектом исследования является асинхронный машина с короткозамкнутым ротором для привода вентилятора.

Исходными данными для расчета асинхронной машины являются мощность, высота оси вращения, число полюсов, степень защиты, система охлаждения и способ монтажа. При проектировании машины рассчитываются размеры статора и ротора, выбирается тип обмотки, обмоточный провод, изоляция, материалы активных и конструктивных частей машины. Следует учитывать, чтобы при изготовлении машины расход материалов и трудоёмкость были наименьшими.

В работе рассмотрены общая сборка асинхронной машины, оценка её технологичности, составлена схема сборки и маршрутная технологии сборки. Выбор оборудования и оснастки для сборки в масштабе серийного производства. Осуществлено нормирование сборочных работ и потребного количества оборудования. Проектирование двигателя производится с учётом требований ГОСТ.

Введение

Задачей для ВКР является проектирование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором для привода вентилятора, который применяется для вентилятора местного проветривания. Вентилятор при эксплуатации устанавливается в горизонтальном положении.

Двигатель должен иметь относительно небольшой пусковой момент, так как механическая характеристика вентилятора выходит из нуля и момент сопротивления при пуске равен нулю.

Асинхронные двигатель – распространенные электрические двигатель. В особенности они широко применяются как электрическая машина, считаются главными преобразователями электрической энергии в механическую. Использование асинхронных машин в качестве электропривода, дающего многих механизмов, разъясняется несложностью конструкции, надёжностью и большим значением КПД данных двигателей.

Главные размеры спроектированного двигателя (расчетная длина воздушного зазора и внутренний диаметр статора) были выбраны правильно, так как λ , служащее критерием правильности выбора главных размеров, находится в рекомендуемом пределе для данного двигателя.

Важным условием при производстве и проектировании машины является минимальная материалоемкость электрических двигателей. Электрические двигатель с безотходной технологией производства обладают достоинства перед простыми машинами.

Проектируемая электрическая двигатель обязана обладать большие характеристики (КПД и $\cos\phi$). Электрические двигатель с минимальными потерями дают возможность сократить использованных материалов в энергосистеме. Большие энергетические характеристики электрической машины обеспечивают сокращение степени нынешних расходов на эксплуатацию и капитальные вложения. Снова разрабатываемые электрические машины должны соответствовать, являться надёжными и обладать срок службы 8 – 10 лет.

1 Расчет электромагнитный

1.1 Определение основных размеров АД

Расчёт асинхронного машины специального осуществления будем осуществлять согласно методике. Совершать данное будем с целью роста стойкости данного машины к колебаниям наружной температуры и питающего напряжения.

В первоначальном этапе расчета асинхронного двигателя определяем основные размеры, а непосредственно внутренний диаметр статора D и расчетную протяженность воздушного зазора l_δ .

1.1.1 В связи с установленной осью вращения $h=0,132$ м предварительно выбираем [1, стр.343, рис. 9.8] внешний диаметр статора

$$D_a = 0,285 \text{ м.}$$

1.1.2 Что для внутреннего диаметра статора, выбираем с учетом того, что размеры пазов не зависят от количества полюсов, приобретаем с формулировки [1, стр.344]:

$$D = K_D \cdot D_a = 0,66 \cdot 0,285 = 188 \text{ м,}$$

где K_D - коэффициент выбирается, характеризующий отношение внешних и внутренних диаметров сердечника статора $K_D=0,66$. [1,стр.344]

1.1.3 Полюсное деление τ , м определяется по [1,стр.344]:

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p} = \frac{3,14 \cdot 188}{4} = 0,148 \text{ м,}$$

$f_1=50$ Гц – частота сети;

$n_1=1500$ об/мин – частота вращения статора.

1.1.4 Вычисление мощности машины P' определяется по [1,стр.344]:

$$P' = P_2 \cdot \frac{k_E}{\eta \cdot \cos \varphi} = 11000 \cdot \frac{0,972}{0,88 \cdot 0,875} = 1,389 \cdot 10^4 \text{ Вт,}$$

где k_E - отношение ЭДС обмотки статора к номинальному напряжению, определяемое в согласовании с рисунком $k_E = 0,972$;

P_2 - мощность на валу машины, $P_2 = 11000 \text{ Вт}$;

η - коэффициент полезного действия; $\eta = 0,88$;

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности; $\cos \varphi = 0,875$.

1.1.5 В этой стадии следует найти электромагнитные нагрузки. Значение электромагнитных нагрузок находится в существенный уровень показатели машины. Подготовительные значения возьмем заниженными от рекомендуемых для придания двигателю большей устойчивости к перепадам питающего напряжения и температуры окружающего воздуха. Это обеспечится за счёт увеличенных габаритов двигателя, кроме того будет создан запас по магнитным индукциям, которые напрямую зависят от питающего напряжения [1,стр.346].

$$A = 34,3 \cdot 10^3 \text{ A/м} \quad B_{\delta} = 0,76 \text{ Тл}$$

1.1.6 Предварительное значение обмоточного коэффициента выбираем для двухслойной обмотки согласно [1 стр.111].

$$K_{об1} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2m_1}\right)}{q \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2m_1 \cdot q}\right)} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \beta\right) \quad K_{об1} = 0.927 \quad ;$$

1.1.7 Вычисление длины магнитопровода l_{δ} находим по [1,стр.348]

$$l_{\delta} = \frac{P'}{k_B \cdot D^2 \cdot \Omega_1 \cdot k_{об1} \cdot A \cdot B_{\delta}} = \frac{1.389 \cdot 10^4}{1,11 \cdot 0,188^2 \cdot 157,08 \cdot 0,927 \cdot 34,3 \cdot 10^3 \cdot 0,76} = 0.093 \text{ м},$$

где k_B - коэффициент формы поля, заранее берется одинаковым по [1,стр.348]

$$k_B = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} = 1.11 ;$$

Ω - одновременная круговая колебание машины, рассчитывается по [1,стр.348]

$$\Omega_1 = 2\pi \cdot \frac{f_1}{p} = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{50}{2} = 157,08 \text{ рад / с};$$

Принимаем $l_{\delta} = 0,093 \text{ м}$.

1.1.8 Пределом верности выбора основных размеров D и l_{δ} является позиция

$$\lambda = \frac{l_{\delta}}{\tau} = \frac{0,093}{0,148} = 0.63.$$

Значение $\lambda = 0,63$ вступает в представляемые границы [см. 1, стр.348].

1.2 Вычисление обмотки статора

При вычислении обмотки статора находится число пазов статора, количество витков в фазе обмотки и сечение проводника. При этом количество витков фазы обмотки статора обязано отвечать линейной нагрузке и индукции в воздушном зазоре так, для того чтобы они равно как возможно поближе соответствовали с

заранее избранными значениями, а число пазов статора обеспечивало довольно размеренное разделение катушек обмотки. Общеизвестно, что для наиболее размеренного распределения катушек обмотки по длине окружности зазора следует огромное количество пазов, но при этом следует отследить из-за машинной крепостью зубцов.

1.2.1 Значения Наибольшее значение и Наименьшее значение зубцового деления статора $t_{Z1\max}$ и $t_{Z1\min}$ принимаются для асинхронного машины заранее из допустимой области при $\tau = 0,148 \text{ м}$ [1, стр.351]:

Наибольшее значение $t_{Z1\max} = 0,02 \text{ м}$;

Наименьшее значение $t_{Z1\min} = 0,016 \text{ м}$.

1.2.2 Находим количество пазов статора Z_1 с учетом допустимой участка зубцового деления статора t_{Z1}

$$Z_{1\min} = \frac{\pi \cdot D}{t_{Z1\max}} = 29,55.$$

$$Z_{1\max} = \frac{\pi \cdot D}{t_{Z1\min}} = 36,93;$$

Решительно приобретаем количество пазов статора $Z_1 = 36$.

Количество пазов на полюс и фазу q

$$q = \frac{Z_1}{2p \cdot m} = \frac{36}{4 \cdot 3} = 3,$$

где $m=3$ – количество фаз обмотки статора.

С учетом установленного количества пазов статора решительно приобретаем значение зубцового деления статора t_{z1} [1, стр.457]

$$t_{z1} = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p \cdot m \cdot q} = \frac{3,14 \cdot 0,188}{4 \cdot 3 \cdot 3} = 0,0164 \text{ м.}$$

Значение t_{z1} входит в допустимый предел.

1.2.3 Заблаговременное значимость количества результативных проводников при условии отсутствия параллельных ветвей ($a=1$)

$$u'_i = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_{\text{ллі}} \cdot Z_1} = 26,012,$$

$$\text{где } I_{\text{ллі}} = \frac{P_2}{m \cdot U_{\text{ллі}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{1,1 \cdot 10^4}{3 \cdot 220 \cdot 0,88 \cdot 0,875} = 21,54 \text{ А - номинальный фазный}$$

ток обмотки статора [1, с т р .352].

Принимаем $u'_n = 26,012$

Следует принимать во внимание, что применение в асинхронных машинах двухслойной обмотки предполагает u_n целое и кратное двум. Поэтому приобретенное в расчете количество u_n округляется до ближайшего целого четного числа, заранее выбрав подобное количество параллельных ветвей обмотки, при котором количество эффективных проводников полностью удовлетворяет указанным обстоятельствам.

1.2.4 Число параллельных ветвей берется одинаковым, $a=1$, в этом случае конечное значимость количества результативных проводников в пазу определяются по [1, стр.352]

$$u_n = a \cdot u'_n = 1 \cdot 26,012 = 26,01$$

Округляем до самого полного числа и получаем $u_n = 26$

1.2.5 Окончательное значение числа витков в фазе обмотки статора w_1 [1,стр.352]

$$w_1 = \frac{u_n \cdot Z_1}{2 \cdot a \cdot m} = \frac{26 \cdot 36}{2 \cdot 1 \cdot 3} = 156.$$

1.2.6 Решительное значение линейной перегрузки A

$$A = \frac{2 \cdot I_{ном} \cdot w_1 \cdot m}{\pi \cdot D} = \frac{2 \cdot 21.65 \cdot 156 \cdot 3}{3.14 \cdot 0.188} = 3.428 \cdot 10^4 \text{ A / м.}$$

Приобретенное значение несущественно различается с прежде установленным.

1.2.7 Уточняем значение обмоточного коэффициента [1,стр.111]:

$$k_{i\alpha 1} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2m_1}\right)}{q \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2m_1 \cdot q}\right)} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \beta\right) = 0,927$$

где β - обмотка с укорочением шага принимаем:

$$\beta = \frac{7}{9}.$$

1.2.8 Магнитный поток Φ

$$\Phi = \frac{k_E \cdot U_{1н}}{4 \cdot k_B \cdot w_1 \cdot k_{об1} \cdot f_1} = \frac{0,972 \cdot 220}{4 \cdot 1,11 \cdot 156 \cdot 0,927 \cdot 50} = 6,66 \cdot 10^{-3} \text{ Вб.}$$

1.2.9 Индукция в воздушном зазоре (окончательно)

$$B_\delta = \frac{p \cdot \Phi}{D \cdot l_\delta} = \frac{2 \cdot 6,66 \cdot 10^{-3}}{0,188 \cdot 0,093} = 0,76 \text{ Тл.}$$

Значения A и B_δ находятся в допустимых пределах [см. 1,стр.346].

1.2.10 В асинхронных машинах плотность тока в обмотке статора намного находится в зависимости от наружного диаметра сердечника статора и от полюсности двигателя. Плотность тока в обмотке статора с учетом линейной нагрузки (предварительно) [1,стр.354]

$$J_1 = \frac{AJ}{A} = \frac{1.8 \cdot 10^{11}}{3.428 \cdot 10^4} = 5.25 \text{ A / мм}^2$$

где AJ - произведение линейной нагрузки на плотность тока, находится по [1,стр.355]

$$AJ = 1.8 \cdot 10^{11} \text{ A}^2 / \text{мм}^2$$

1.2.11 Сечение эффективного проводника $q_{\text{эф}}$ находится исходя из тока одной параллельной ветви и дозированной плотности тока в обмотке.

$$q_{\text{эф}} = \frac{I_{\text{ном}}}{a \cdot J_1} = \frac{21.645}{1.5.25 \cdot 10^6} = 4,123 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

1.2.12 Для насыпных обмоток смогут находиться применены обмоточные провода диаметром наиболее 1,8 мм. Но в нынешних машинах с целью увеличения прочности обмотки и упрощения ее укладки применяют провода маленького диаметр. При ручной складывания диаметр провода не должен превосходить 1,7 мм. Даже если вычисленное сечение эффективного проводника в двигателях со насыпной обмоткой больше смыслов, соответствующих указанным диаметрам, то эффективный проводник делится в ряд простых $n_{\text{эл}}$.

$$q_{\text{эл}} = \frac{q_{\text{эф}}}{n_{\text{эл}}} = \frac{4.123 \cdot 10^{-6}}{3} = 1.374 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2,$$

где $n_{\text{эл}} = 3$ - число элементарных проводников.

Выбираем стандартные размеры провода марки ПЭТ-155:

$$q_{\text{эл}} = 1,368 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2, \quad d_{\text{из}} = 1,405 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad d_{\text{эл}} = 1.32 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$q_{\text{эф}} = q_{\text{эл}} \cdot n_{\text{эл}} = 1,368 \cdot 10^{-6} \cdot 3 = 4,104 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

1.2.13 Конечное значение плотности тока в обмотке статора J_1

$$J_1 = \frac{I_{\text{ном}}}{a \cdot q_{\text{эл}} \cdot n_{\text{эл}}} = \frac{21,645}{1 \cdot 4,104 \cdot 10^{-6} \cdot 3} = 5,274 \cdot 10^6 \text{ A / м}^2.$$

1.3 Вычисление размеров зубцовой области статора

При избрании размеров пазов следует учитывать несколько моментов. Во-первых, следует чтобы области паза отвечала числу и размерам размещаемым в нем проводников обмотки с учетом полной изоляции, а во-вторых, следует для того чтобы значимости индукции в зубцах и ярме статора были в конкретных границах, зависящих от типа двигателя, ее мощности, выполнения и от марки электротехнической стали сердечника.

$$b_{u1} = d_{из} + (1,5 \pm 2) \text{ мм.}$$

Принимаем $b_{ш1}=3,7$ мм.

1.3.5 Высота паза статора h_n

$$h_n = \frac{D_a - D}{2} - h_a = \frac{0,285 - 0,188}{2} - 0,0236 = 0,025 \text{ м.}$$

1.3.6 Максимальная ширина паза статора b_1

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D + 2h_n)}{Z_1} - b_{z1} = \frac{3,14 \cdot (0,188 + 2 \cdot 0,025)}{36} - 7,148 \cdot 10^{-3} = 0,014 \text{ м.}$$

1.3.7 Минимальная ширина паза статора b_2

$$b_2 = \frac{\pi \cdot (D + 2h_{u1} - b_{u1}) - Z_1 \cdot b_{z1}}{Z_1 - \pi} =$$

$$= \frac{3,14 \cdot (0,188 + 2 \cdot 1 \cdot 10^{-3} - 3,7 \cdot 10^{-3}) - 36 \cdot 7,148 \cdot 10^{-3}}{36 - 3,14} = 9,99 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

1.3.8 Высота паза, предназначенная для укладки обмотки $h_{н.к}$

$$h_{н.к} = h_n - (h_u + h_k) = 0,025 - (1 \cdot 10^{-3} + 3,145 \cdot 10^{-3}) = 0,021 \text{ м.}$$

1.3.9 Высота клиновой части паза h_k

$$h_k = \frac{b_2 - b_{u1}}{2} = \frac{9,99 \cdot 10^{-3} - 3,7 \cdot 10^{-3}}{2} = 3,145 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

1.3.10 Размеры паза в свету с учетом припуска на сборку:

$$b'_1 = b_1 - \Delta b_n = 1,4 \cdot 10^{-3} - 0,1 \cdot 10^{-3} = 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

$$b'_2 = b_2 - \Delta b_n = 9,99 \cdot 10^{-3} - 0,1 \cdot 10^{-3} = 9,9 \cdot 10^{-4} \text{ м;}$$

$$h'_1 = h_1 - \Delta h_n = 2,5 \cdot 10^{-3} - 0,1 \cdot 10^{-3} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

1.3.11 Согласно [1, с.177] принимаем припуски по ширине и высоте:

$$\Delta b_n = \Delta h_n = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Эскиз паза статора представлен на рисунке 1.2.

1.3.12 Площадь поперечного сечения изоляционных прокладок $S_{пр}$

$$S_{пр} = (0,9 \cdot b_1 + 0,4 \cdot b_2) \cdot 10^{-3} = (0,9 \cdot 1,4 \cdot 10^{-3} + 0,4 \cdot 9,99 \cdot 10^{-3}) \cdot 10^{-3} = 1,623 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

1.3.13 Площадь поперечного сечения пазовой изоляции $S_{из}$

$$S_{из} = b_{из} \cdot (2 \cdot h_n + b_1 + b_2) = 2 \cdot 10^{-4} \cdot (2 \cdot 0,025 + 1,4 \cdot 10^{-3} + 9,99 \cdot 10^{-3}) = 1,465 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2,$$

где $b_{из}$ – односторонняя толщина изоляции в пазу: $b_{из}=0,2$ мм.

1.3.14 Площадь поперечного сечения паза для размещения проводников

S'_n

$$S'_n = \frac{b'_1 + b'_2}{2} \cdot h'_{II.K} - (S_{uz} + S_{np}) =$$

$$= \frac{1,4 \cdot 10^{-3} + 9,99 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} - (1,465 \cdot 10^{-5} + 1,623 \cdot 10^{-5}) = 2,097 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

1.3.14 Коэффициент заполнения паза κ_3

$$\kappa_3 = \frac{d_{uz}^2 \cdot u_{II} \cdot n_{эл}}{S'_n} = \frac{(1,405 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 26 \cdot 3}{2,097 \cdot 10^{-4}} = 0,734.$$

Полученное значение коэффициента заполнения паза находится в рекомендуемом пределе (0,7—0,74).

1.4 Расчет ротора

Выбираются грушевидные полузакрытые пазы ротора по [1,стр.380]

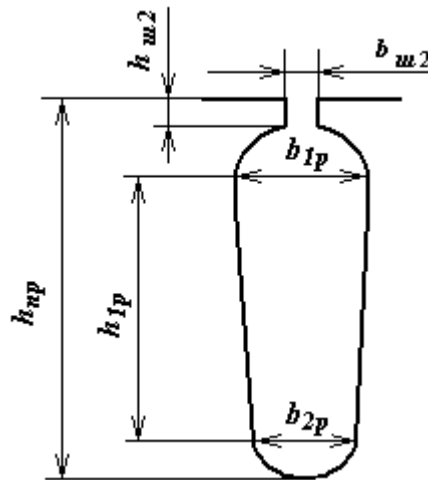


Рисунок 2 – Вид паза ротора с основными размерами

1.4.1 Воздушный зазор определяется [1,стр.367]

$$\delta = (0.25 + D) \cdot 10^{-3} = (0.25 + 0.188) \cdot 10^{-3} = 4.381 \cdot 10^{-4}$$

Примем $\delta = 4.381 \cdot 10^{-4}$ м.

1.4.2 Присутствие подбore количества пазов ротора нужно учесть ряд моментов.

Таким образом, принимаем $Z_2=48$.

1.4.3 Наружный диаметр ротора D_2

$$D_2 = D - 2 \cdot \delta = 0.188 - 2 \cdot 4.381 \cdot 10^{-4} = 0.1872 \text{ м.}$$

1.4.4 Протяженность магнитопровода ротора воспринимается равной протяженности статора

$$l_2 = l_\delta \quad l_2 = 0.093 \text{ м.}$$

1.4.5 Зубцовое разделение ротора t_{z2}

$$t_{z2} = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2} = \frac{3.14 \cdot 0.1872}{48} = 0.0123 \text{ м.}$$

1.4.6 В виду того, что сердечник напрямую насаживается на гладкий вал с помощью горячей посадки, внутренний диаметр ротора равный диаметру вала.

$$D_j = D_B = k_B \cdot D_a = 0,23 \cdot 0,285 = 0,066 \text{ м},$$

где $k_B=0,23$ – коэффициент, находимый с суждений наименьшего этапа инерции ротора.

1.4.7 Ток в стержне ротора I_2

$$I_2 = k_i \cdot v_i \cdot I_1 = 0,9 \cdot 18,0 \cdot 21,6 = 352,1 \text{ А},$$

где k_i – коэффициент, рассматривающий воздействие тока намагничивания и сопротивления обмоток на отношение I_1/I_2 , его значение принимается в зависимости от номинального $\cos\phi$, установленного в начале расчета; $k_i=0,9$.

v_i – коэффициент приведения токов [1,стр.374]

$$v_i = \frac{2 \cdot m_1 \cdot w_1 \cdot K_{o61}}{Z_2} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 156 \cdot 0,927}{48} = 18,08,$$

1.4.8 Площадь поперечного сечения стержня q_c

$$q_c = \frac{I_2}{J_2} = \frac{352,174}{3 \cdot 10^6} = 1,174 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

где J_2 – плотность тока в стержне ротора машин закрытого исполнения. При заливке пазов алюминием значение J_2 находится в пределах $J_2=(2,5 \div 3,5) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$.

1.4.9 Паз ротора машины полужакрытый грушевидный и имеет узкую прорезь с размерами, зависящими от высоты оси вращения:

$$b_{ш2}=(1 \div 1,5) \text{ мм}, \quad h_{ш2}=(0,5 \div 0,75) \text{ мм}. \quad \text{Принимаем} \quad b_{ш2} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \\ h_{ш2} = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

1.4.9 Допустимая ширина зубца ротора b_{z2}

$$b_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_{z2}}{B_{z2} \cdot k_c} = \frac{0,76 \cdot 0,012}{1,8 \cdot 0,97} = 5,336 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

где B_{z2} - зубцы ротора при постоянном сечении $B_{z2} = 1,8 \text{ Тл}$

1.4.10 Размеры паза ротора:

Максимальная ширина паза b_1

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D_2 - 2h_{u2}) - Z_2 \cdot b_{z2}}{\pi + Z_2} = \frac{3,14 \cdot (0,187 - 2 \cdot 0,75 \cdot 10^{-3}) - 48 \cdot 5,336 \cdot 10^{-3}}{3,14 + 48} = 6,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Минимальная ширина паза b_2

$$b_2 = \sqrt{\frac{b_1^2 \cdot \left(\frac{Z_2 + \pi}{2}\right) - 4 \cdot q_c}{\frac{Z_2 - \pi}{2}}} = \sqrt{\frac{(6,4 \cdot 10^{-4})^2 \cdot \left(\frac{48}{3,14} + \frac{3,14}{2}\right) - 4 \cdot 1,175 \cdot 10^{-4}}{\left(\frac{48}{3,14} - \frac{3,14}{2}\right)}} = 2,938 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Абсолютная высоты паза ротора $h_{пр}$

$$h_{пр} = h_{u2} + \frac{b_1}{2} + h_1 + \frac{b_2}{2} = 7,5 \cdot 10^{-4} + \frac{6,4 \cdot 10^{-3}}{2} + 2,1 \cdot 10^{-3} + \frac{3,619 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,027 \text{ м},$$

где $h_{1н}$ – интервал среди средоточиями окружностей:

$$h_{1н} = (b_{1н} - b_{2н}) \cdot \frac{Z_2}{2 \cdot \pi} = (6,4 \cdot 10^{-3} - 3,619 \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{48}{2 \cdot 3,14} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Эскиз паза ротора представлен на рисунке 2

1.4.11 Устанавливаем значимость площади сечения стержня ротора q_c

$$\begin{aligned} q_c &= \frac{\pi}{8} \cdot (b_1^2 + b_2^2) + \frac{1}{2} \cdot (b_1 + b_2) \cdot h_1 = \\ &= \frac{3,14}{8} \cdot \left((6,4 \cdot 10^{-3})^2 + (3,619 \cdot 10^{-3})^2 \right) + \frac{1}{2} \cdot (6,4 \cdot 10^{-3} + 3,619 \cdot 10^{-3}) \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} = \\ &= 1,277 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2. \end{aligned}$$

1.4.12 Уточняем значение плотности тока в стержне J_2

$$J_2 = \frac{I_2}{q_c} = \frac{352,174}{1,277 \cdot 10^{-4}} = 2,758 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2.$$

1.4.13 Короткозамыкающие кольца:

Область поперечного сечения кольца $q_{кл}$

$$q_{кл} = \frac{I_{кл}}{J_{кл}} = \frac{1,349 \cdot 10^{-3}}{2,345 \cdot 10^6} = 5,754 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

где $I_{кл}$ – ток в кольце, определяемый по формуле:

$$I_{кл} = \frac{I_2}{2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot p}{Z_2}} = \frac{352,174}{2 \cdot \sin \frac{180 \cdot 2}{48}} = 1,35 \cdot 10^3 \text{ A};$$

$$J_{кл} = 0,85 \cdot J_2 = 0,32 \cdot 2,758 \cdot 10^6 = 2,345 \cdot 10^6 \text{ A/м}^2, \quad - \quad \text{плотность тока в}$$

короткозамыкающих кольцах.

Плотность тока в короткозамыкающих кольцах выбирают меньше, чем в стержнях, так как короткозамыкающие кольца должны иметь меньшие потери и температуру, так как с их поверхностей происходит отвод тепла от обмотки ротора.

Высота короткозамкнутого кольца $b_{кл}$

$$b_{кл} = 1,25 \cdot h_{np} = 1,25 \cdot 0,027 = 0,034 \text{ м.}$$

Длина короткозамкнутого кольца $a_{кл}$

$$h_{кл} = \frac{q_{кл}}{b_{кл}} = \frac{5,754 \cdot 10^{-4}}{0,034} = 0,017 \text{ м.}$$

Нормальный диаметр короткозамкнутого кольца $D_{кл.ср}$

$$D_{кл.ср} = D_2 - b_{кл} = 0,187 - 0,034 = 0,153 \text{ м.}$$

1.5 Вычисление магнитной цепи

Вычисление намагничивающего тока ведется для режима холостого хода. (окончательно)

1.5.1 Значимость индукции в зубцах статора B_{z1}

$$B_{z1} = \frac{B_\delta \cdot t_{z1}}{b_{z1} \cdot \kappa_c} = \frac{0,76 \cdot 0,0016}{7,148 \cdot 10^{-3} \cdot 0,97} = 1,8 \text{ Тл.}$$

1.5.2 Значимость индукции в зубцах ротора B_{z2}

$$B_{z2} = \frac{B_\delta \cdot t_{z2}}{b_{z2} \cdot \kappa_c} = \frac{0,76 \cdot 0,012}{5,336 \cdot 10^{-3} \cdot 0,97} = 1,8 \text{ Тл.}$$

1.5.3 Значимость индукции в ярме статора B_a

$$B_a = \frac{\Phi}{2 \cdot h_a \cdot l_\delta \cdot \kappa_c} = \frac{6,66 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,024 \cdot 0,093 \cdot 0,97} = 1,56 \text{ Тл.}$$

1.5.4 Значимость индукции в ярме ротора B_j

$$B_j = \frac{\Phi}{2 \cdot h'_j \cdot l_\delta \cdot k_c} = \frac{6,66 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,042 \cdot 0,093 \cdot 0,97} = 0,89 \text{ Тл},$$

где h'_j – расчетная высота ярма ротора, определяемая по формуле:

$$h'_j = \left(\frac{D_2}{2} - h_{np} \right) = \left(\frac{0,187}{2} - 0,027 \right) = 0,042 \text{ м}.$$

Окончательные значения индукций практически не отличаются от выбранных предварительных значений.

1.5.5 Коэффициент воздушного зазора k_δ .

Результирующий коэффициент воздушного зазора

$$k_\delta = \frac{t_{z1}}{t_{z1} - \gamma \cdot \delta} = \frac{0,016}{0,016 - 5,305 \cdot 4,381 \cdot 10^{-4}} = 1,165$$

где γ - коэффициент, рассматривающий зубчатость статора:

$$\gamma = \frac{(b_{u1}/\delta)^2}{5 + (b_{u1}/\delta)} = \frac{(3,7 \cdot 10^{-3}/4,381 \cdot 10^{-4})^2}{5 + (3,7 \cdot 10^{-3}/4,381 \cdot 10^{-4})} = 5,305$$

1.5.6 Магнитное напряжение воздушного зазора F_δ

$$F_\delta = \frac{2}{\mu} \cdot B_\delta \cdot \delta \cdot k_\delta = 1,59 \cdot 10^6 \cdot 0,76 \cdot 4,381 \cdot 10^{-4} \cdot 1,165 = 617 \text{ А}$$

1.5.7 Магнитное напряжение зубцовой зоны статора F_{z1}

$$F_{z1} = 2 \cdot h_{z1} \cdot H_{z1} = 2 \cdot 0,025 \cdot 1,45 \cdot 10^3 = 71,981 \text{ А},$$

где $h_{z1} = h_n$ $h_{z1} = 0,025$ м;

$H_{z1} = 1,45 \times 10^3$ А/м – напряженность магнитного поля, соответствующая индукции в зубцах статора на кривые намагничивания электротехнической, стали 2212.

1.5.8 Магнитное напряжение зубцовой зоны ротора F_{z2}

$$F_{z2} = 2 \cdot h_{z2} \cdot H_{z2} = 2 \cdot 0,026 \cdot 4,16 \cdot 10^3 = 216,394 \text{ А},$$

где $H_{z2} = 4,16 \times 10^3$ А/м – напряженность магнитного поля, соответствующая индукции в зубцах ротора на кривые намагничивания электротехнической, стали 2212;

$h_{z2} = h_{n2} - 0,1 \cdot b_2 = 0,027 - 0,1 \cdot 9,99 \cdot 10^{-3} = 0,026$ м – расчетная высота зубца ротора.

1.5.9 Коэффициент насыщения зубцовой зоны k_z

$$k_z = 1 + \frac{F_{z1} + F_{z2}}{F_\delta} = 1 + \frac{71,981 + 216,394}{617} = 1,47.$$

1.5.10 Магнитное напряжение ярма статора F_a

$$F_a = L_a \cdot H_a = 0,205 \cdot 656 = 134,664 \text{ A},$$

$$\text{где } L_a = \pi \cdot \frac{(D_a - h_a)}{2p} = 3,14 \cdot \frac{(0,285 - 0,024)}{4} = 0,205 \text{ м} \quad - \quad \text{длина средней}$$

магнитной линии ярма статора;

$H_a = 656 \text{ А/м}$ – напряженность магнитного поля, соответствующая индукции в ярме статора на кривой намагничивания электротехнической стали 2212.

1.5.11 Магнитное напряжение ярма ротора F_j

$$F_j = L_j \cdot H_j = 0,078 \cdot 243 = 18,967 \text{ A},$$

$$\text{где } L_j = \frac{\pi \cdot (D_B + h_j)}{2p} = \frac{\pi \cdot (0,066 + 0,0034)}{4} = 0,078 \text{ м} \quad - \quad \text{длина средней магнитной}$$

линии ярма ротора;

где h_j – расчетная высота ярма ротора, определяемая по формуле:

$$h_j = \left(\frac{D_2 - D_j}{2} - h_{n2} \right) = \left(\frac{0,187 - 0,0066}{2} - 0,027 \right) = 0,0034 \text{ м}.$$

$H_j = 243 \text{ А/м}$ – напряженность магнитного поля, соответствующая индукции в ярме ротора на кривой намагничивания электротехнической стали 2212.

1.5.12 Магнитное напряжение на пару полюсов F_Σ

$$F_\Sigma = F_\delta + F_{z1} + F_{z2} + F_a + F_j = 617 + 71,981 + 216,394 + 134,664 + 18,967 = 1059 \text{ A}.$$

1.5.13 Коэффициент насыщения магнитной цепи k_μ

$$k_\mu = \frac{F_\Sigma}{F_\delta} = \frac{1059}{617} = 1,72.$$

1.5.14 Намагничивающий ток I_μ

$$I_\mu = \frac{p \cdot F_\Sigma}{0,9 \cdot m_1 \cdot w_1 \cdot k_{об1}} = \frac{2 \cdot 1059}{0,9 \cdot 3 \cdot 156 \cdot 0,927} = 5,42 \text{ A}.$$

1.5.15 Сравнительное значение намагничивающего тока I'_μ

$$I'_\mu = \frac{I_\mu}{I_{ном}} = \frac{5,42}{21,645} = 0,25.$$

5. Технологический процесс общего сборки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

5.1 Анализ конструкции асинхронного двигателя на технологичность

Проектируемый двигатель предназначен для привода вентилятора. Степень защиты электродвигателя IP44, исполнение по способу монтажа IM1001.

Электродвигатель выполнен в корпусе из чугуна, имеющем радиальное оребрение. Лапы отлиты заодно с корпусом. Подшипниковые щиты также изготовлены из чугуна. Коробка выводов расположена сверху и обеспечивает подвод питания с любой из боковых сторон двигателя. Кожух вентилятора стальной. Вентилятор из алюминиевого сплава.

Особенности конструкции подобных электродвигателей обусловлены особыми условиями их эксплуатации и требованиями, которые предъявляются к этим двигателям относительно перегрузочной способности, регулирования скорости вращения, работы при частых пусках и реверсах, а также при скорости вращения, значительно превышающей номинальную скорость вращения.

Анализ на технологичность деталей:

1. Анализ вала на технологичность осуществлялся относительно требований, предъявляемых к данной детали. Анализ позволил сделать следующие выводы: вал довольно жесткий, элементарная структура элемента упрощает подбор начальной болванки, размещение ступенек комфортное для обрабатывания, не имеет труднодоступных поверхностей, допустимо использование обычного нашего оснащения забивающего и измерительного инструмента, комфортные базирующие плоскости присутствие фрезеровании шпоночного паза и обточке река, недостаток тепловой обрабатывания упрощает научно-технический процедура обрабатывания, имеют все шансы являться применены типичные зажимные адаптации на всех технологических операциях, надзор

установленных характеристик река способен реализоваться обычными контрольно-замерными устройствами.

2. Анализ статор, станины и подшипниковых щитов, требования к технологичности конструкции детали согласно ГОСТ 14.204-73 следующие:

–конструкция статор состоит из стандартных и унифицированных конструктивных элементов;

–размеры станины и поверхности детали имеют соответственно оптимальные степень точности и шероховатость;

–показатели базовой поверхности подшипникового щита обеспечивать точность установки, обработки и контроля.

5.2 Выбор сборочного оборудования, оснастки и подъемно-транспортных средств.

В процессе сборки асинхронного электродвигателя для привода вентилятора с короткозамкнутым ротором осуществляются следующие операции:

1. Продувка статора производится установкой для продувки сжатым воздухом.

2. Сборка статора с ротором производится на слесарном верстаке, который включает в себя тиски слесарные и выдвижной ящик с подручными инструментами (молоток, зубило, керн, плоскогубцы, круглогубцы и т.д.).

3. Установка подшипников производится молотком с помощью оправки для посадки подшипников.

4. Заполнение камер подшипников смазкой производится вручную, с помощью деревянной цеховой лопатки.

5. Установка подшипниковых щитов производится вручную, с помощью кувалды ТВ-7790.

6. Затяжка болтов подшипниковых щитов и подшипниковых крышек производится пневмогайковертом ИП-3113А ГОСТ 10210-74.

7. Сверление отверстий под клепки фирменной таблички производится пневматической машиной СП-9С, ГОСТ 10212-68.

9. Клепается фирменная табличка вручную с помощью молотка 7850-0035 и обжимки ТВ-5305.

10. Двигатель проходит приёмо-сдаточные испытания.

Для измерения сопротивления изоляции применим мегаомметр М4100/1-5, напряжением 500В, шкала прибора $\Omega=500\text{Мом}$.

Для испытания двигателя на электрическую прочность и параметры в режиме холостого хода и короткого замыкания применим испытательный стенд. Испытательная станция СКП-1

11. Разгрузка на складах и транспортировки из одного цеха в другой цех ящиков с деталями, сборочными единицами и прочими изделиями применим электрокаре, а так же для перемещения тяжёлых грузов в цехах применим электрическую кран-балку $Q=2\text{т}$.

После всех проверок двигатель отправляется на покраску. Для покраски применим малярную кисть ГОСТ 10597-87.

Далее двигатели упаковываются в специальные ящики и складываются.

5.4 Нормирование сборочных работ

Расчет норм времени и определение количества оборудования необходимого для обеспечения заданной программы 5 000 шт.

Для неавтоматизированного производства штучное время равно:

$T_{шт} = T_o + T_e + T_{об} + T_n$, где:

T_o - Основное (технологическое) время, мин.

T_e - вспомогательное время, мин.

$T_{об}$ – время организационного обслуживания рабочего места, мин.

T_n – время перерывов для удовлетворения естественных надобностей и отдыха рабочего, мин.

Так как элементы основного и вспомогательного времени тесно связаны между собой, при сборке нормируют и оперативное время.

$$T_{on}=T_o+T_v$$

Сборка двигателя осуществляется в 10 операций:

005 – Консервация(складировать все детали, сборочные единицы для начала работы)

010 – Обдувка станины для удаления грязи

015 – Слесарно-сборочная (вкрутка рым-болта, шайбы пружинной, установка заднего подшипникового щита)

020 - Слесарно-сборочная (установка фланцев, напрессовка подшипников, установка переднего подшипникового щита)

025 - Слесарно-сборочная (установка вентилятора, шпонки)

030 - Слесарно-сборочная (установка коробки выводов)

035 – Испытательная станция

040 – Контроль размеров

045 – Комплектовочная

050 – Транспортирование (отправка двигателя на окраску)

Пример расчета времени на операцию 030

$T_o=1,25$ мин. Основное время. Для данной операции основное время тратится на выполнение соединений, пригонку сопрягаемых деталей (при соединении), подготовку деталей к сборке.

$T_v=0,4$ мин. Вспомогательное время. Вспомогательное время тратится на установку, закрепление и снятие собираемой части изделия, управление механизмом и оборудования.

$T_{об}=0,1$ мин. Время обслуживания оборудования и рабочего место. Время обслуживания оборудования и рабочего место составляет 6% от оперативного времени $T_{оп}$ ($T_{оп}=1,25+0,4=1,65$ мин), согласно рекомендациям.

$T_n = 0,05$ мин. Время перерывов в работе на отдых и личные надобности. Определяется как 3% от оперативного времени ($T_{оп}$)

Тогда для неавтоматизированного производства штучное время для операции 030 равно:

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{об} + T_n = 1,25 + 0,4 + 0,1 + 0,05 = 1,8 \text{ мин}$$

При сборке изделий партиями в серийном производстве вместо штучного времени $T_{шт}$ определяют штучно-калькуляционное $T_{шт.к}$.

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n} = 1,8 + \frac{0,7}{5000} = 1,8 \text{ мин},$$

где $T_{пз}$ - подготовительно заключительное время, в данном случае затрачивается для снятия и сдачу инструментов после выполненной работы.

n - число изделий в партии. Принимаем равным годовому выпуску - 5000 штук/год.

Определим эффективный годовой фонд производственного времени

$$F_{\partial} = [(365 - B_{\partial} - P_{\partial}) \cdot 8 - P_{нд}] \cdot K_p$$

$$F_{\partial} = [(365 - 104 - 11) \cdot 8 - 9] \cdot 0,94 = 1871 \text{ час},$$

где B_{∂} - количество выходных дней в году;

P_{∂} - количество праздничных дней в году;

$P_{нд}$ - количество предпраздничных дней в году;

K_p - коэффициент, учитывающий время пребывания единицы оборудования в ремонте.

Нормы времени выбираются согласно литературе [8]

Аналогично рассчитывается и для других операций. Внесем данные в таблицу 5.1.

Таблица 5.1. Нормирование сборочных работ

Операция	T ₀ , МИН	T _В , МИН	T _{оп} , МИН	T _{об} , МИН	T _п , МИН	T _{пз} , МИН	T _{шт} , МИН	T _{шт.к} , МИН
005	0,2	0,5	0,25	0,025	0,025	1,5	0,75	0,75
010	0,18	0,02	0,20	0,005	0,005	0,8	0,21	0,21
015	2,0	0,2	2,2	0,08	0,12	1,5	2,4	2,4
020	3,1	0,3	3,4	0,16	0,04	0,6	3,6	3,6
025	3,8	0,32	4,12	0,13	0,15	1,3	4,4	4,4
030	1,25	0,4	1,65	0,05	0,1	0,7	1,8	1,8
035	4,9	0,5	5,4	0,4	0,2	2,5	6,0	6,0
040	4,2	0,5	4,7	0,3	0,2	0,4	5,2	5,2
045	0,9	0,3	1,2	0,4	0,2	0,8	1,8	1,8
050	0,2	0,05	0,25	0,03	0,02	1,2	0,3	0,3

В качестве оборудования для осуществления технологического процесса сборки применяются сборочный верстак, кран балка, испытательный стенд, сварочная камера.

Расчетное число C_p для сборочного верстака

$$C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_{\partial}} = \frac{19,41 \cdot 5000}{60 \cdot 1871} = 0,8645$$

где N – годовая программа выпуска изделий.

Тогда коэффициент загрузки сборочного верстака

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{\Pi}} \cdot 100\% = \frac{0,8645}{1} \cdot 100\% = 86,45\%,$$

где C_n – принятое число оборудования, получается округлением расчетного в большую сторону.

Расчетное число C_p для испытательного стенда

$$C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_{\partial}} = \frac{6 \cdot 5000}{60 \cdot 1871} = 0,267$$

Коэффициент загрузки испытательного стенда

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{\Pi}} \cdot 100\% = \frac{0,267}{1} \cdot 100\% = 26,7\%$$

Расчетное число C_p для крана балки

$$C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_{\partial}} = \frac{1,05 \cdot 5000}{60 \cdot 1871} = 0,0468$$

Коэффициент загрузки кран балки

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{\Pi}} \cdot 100\% = \frac{0,0468}{1} \cdot 100\% = 4,68\%$$

По расчетным данным построена диаграмма, показывающая коэффициенты загрузки для различных типов оборудования, участвующего в процессе общей сборки кранового асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Таблица 5.2 Расчет коэффициента загрузки

Наименование оборудования	$T_{шт.к}$	C_p	C_{Π}	$K_3, \%$
Кран-балка	1,05	0,0468	1	4,68
Испытательный стенд	6,0	0,267	1	26,7
Сборочного верстака	19,41	0,8645	1	86,45

Согласно данным нормирования сборочных работ, согласно таблицы 5.1 и маршрутной карты, в которой отображено число повторяющихся операций можно подсчитать общее штучное время, необходимое для производства одной сборочной единицы.

Для этого сложим $T_{шт}$ каждой операции с учетом количества повторений:

$$005 + 010 + 015 + 020 + 025 + 030 + 035 + 040 + 045 + 050 =$$

$$0,75 + 0,21 + 2,4 + 3,6 + 4,4 + 1,8 + 6,0 + 5,2 + 1,8 + 0,3 = 26,46 \text{ мин} = 0,441 \text{ ч}$$

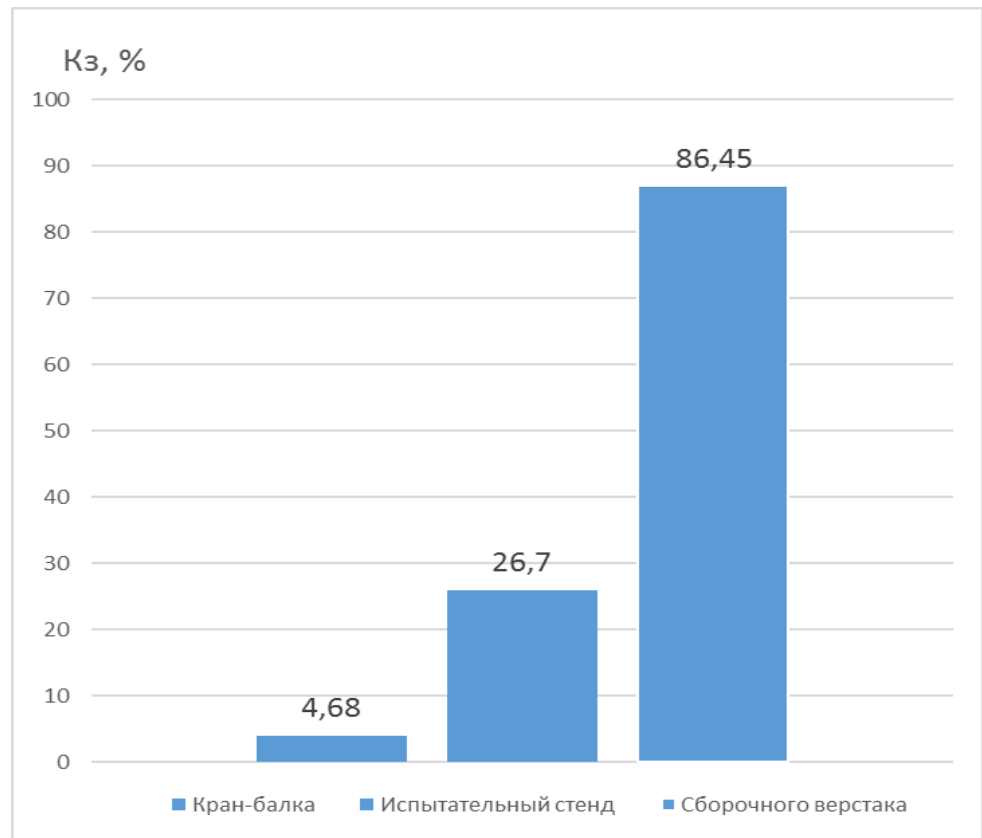


Рис 5.1. График загрузки оборудования.

Для того чтобы проверить выполняется ли программа годового выпуска, используем самое загруженное оборудование и ведем расчет сколько данное оборудование может выпустить в год изделий.

Самое загруженное оборудование это сборочный верстак в количестве 1 штук, оставив с формулу $C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_{\partial}}$ Сп вместо Ср и выразив N.

$$N = \frac{C_{\pi} \cdot 60 \cdot F_{\partial}}{T_{шт.к}} = \frac{1 \cdot 60 \cdot 1871}{19,41} = 5783 \text{ шт}$$

Таким образом, 5783 шт. больше 5000 шт. Программа выпуска выполняется.

Заключение

В данной работе был спроектирован асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором для привода вентилятора. Промышленностью выпускается серийный двигатель, имеющий те же параметры, что и проектируемый двигатель. Серийный двигатель имеет следующие данные: $P_2 = 11$ кВт, $U_1 = 220 / 380$ В, $f_1 = 50$ Гц, $m_1 = 3$, $2p = 4$, $h = 132$ мм. Сравним спроектированный двигатель с серийным по основным параметрам: коэффициенту полезного действия, коэффициенту мощности и кратности начального пускового момента. КПД спроектированного двигателя получился меньше, чем КПД серийного двигателя, так как серийный двигатель рассчитан на большую мощность, а с увеличением мощности двигателей КПД увеличивается. Для работы двигателя в номинальном режиме с высоким КПД необходимо, чтобы в этом режиме он имел небольшое скольжение, $s_{\text{ном}} = (0.01 - 0.06)$, при этом обмотку ротора выполняют с небольшим активным сопротивлением. Если массогабаритные показатели машины при проектировании выбраны заниженными, то КПД и $\cos\varphi$ уменьшается. Это связано с тем, что нарушается условие максимума КПД, при котором постоянные потери равны переменным. Критерием правильности размещения обмотки в пазах является коэффициент заполнения паза. Полученное значение коэффициента заполнения соответствует рекомендуемому коэффициенту заполнения для механизированной обмотки.

Тепловой расчет двигателя показал, что среднее превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды не превышает допустимого значения для класса нагревостойкости F.

Вентиляционный расчет показал, что расход воздуха обеспечиваемый вентилятором больше требуемого для охлаждения двигателя.

В ходе выполнения механического расчета оценили вал на прочность и жесткость. Прогиб вала не превышает требуемого значения.

В дополнении можно сказать, что производство данной машины не требует каких либо дополнительных технологических приемов и материальных затрат. Так как при проектировании учитывались возможности электротехнических заводов в настоящем времени, а так же: стоимость активных и конструктивных материалов, трудоемкость при производстве.

Промышленностью выпускается серийный двигатель 4A160S6Y3, имеющий те же параметры, что и проектируемый двигатель.

Сравним спроектированный двигатель с серийным по основным параметрам:

КПД спроектированного двигателя получился одинаковым по сравнению с КПД серийного двигателя. Коэффициент мощности спроектированного двигателя получился немного выше, чем серийного. Это говорит о том, что изменилось соотношение между активной P_1 и реактивной Q_1 мощностями в процессе преобразования энергии.

Кратность начального пускового момента в спроектированном двигателе такая же и находится в допустимых пределах регламентируемых значений $M_{п}$ для данного типа машин. Кратность начального пускового момента в спроектированном двигателе находится в допустимых пределах регламентируемых значений $M_{п*}$ для данного типа машин.