

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт ЭНИН
Специальность Электромеханика
Кафедра ЭКМ

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы

Проектирование синхронной машины с постоянными магнитами на основе Nd-Fe-B.
УДК 621.313.322:621.313.8.001

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
К-7303	Сазанов Евгений Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Гарганеев А.Г.	д-р тех. наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузьмина Н.Г.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин А.А.	кан.тех.наук		

По разделу «Технология производства»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Баранов П.Р.	канд.тех.наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев А.Г.	д-р тех. наук		

Содержание

Содержание	7
Введение	9
1. Электромагнитный расчет	11
1.1 Определение основных электрических величин	11
1.2. Расчет постоянных магнитов и геометрических размеров ротора	13
1.3. Расчёт обмотки и магнитопровода статора.....	16
1.4. Размер зубцовой зоны статора.....	18
1.5. Расчёт магнитной цепи	22
1.6. Характеристика короткого замыкания.....	30
1.7. Построение диаграммы магнита и внешней характеристики синхронного генератора	32
1.8. Определение массы, потерь и КПД генератора.....	37
2. Тепловой и вентиляционный расчет	40
3. Механический расчет генератора.....	44
3.1 Расчет вала на прочность	44
3.2.Выбор подшипников	48
4. Специальная часть.....	50
4.1 Мостовой, управляемый выпрямитель	50
4.2 От генератора переменного тока к поспоянному.	53
4.3 Выбор тиристоров для управляемого выпрямителя.....	53
4.4 Построение внешней характеристики синхронного генератора работающего на выпрямитель	54
5. Технология общей сборки синхронного генератора на постоянных магнитах.....	57
5.1 Анализ конструкции генератора на технологичность.....	58
5.2 Расчет размерных цепей методом полной взаимозаменяемости	60
5.3 Выбор оборудования и инструментов.....	65
5.4 Расчет норм времени, программы выпуска, загрузки оборудования и построение графика загрузки оборудования.	67
5.5 Разработка маршрутной технологии	72

6. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсаэффективности	75
6.1 Смета затрат на проектирование	75
6.2 Смета затрат на подготовку проекта	76
6.3 Отчисления на социальные нужды.	77
6.4 Материальные затраты на канцелярские товары.....	77
6.5 Амортизация вычислительной техники.	77
6.6 Прочие неучтенные затраты.	78
6.7 Накладные расходы.....	78
6.8 Себестоимость проекта	78
6.9 Оценка технического уровня	79
7. Социальная ответственность.	83
7.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов.	83
7.2.Производственная санитария.....	85
7.3. Микроклимат	85
7.4. Шум и вибрация.	87
7.5. Освещение.	89
7.6. Пожарная безопасность.	93
7.7. Электробезопасность.	95
7.8. Чрезвычайная ситуация.	96
7.9.Охрана окружающей среды.	99
Заключение.....	100
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	102
Приложение 1	105

Введение

Ускорение научно-технического прогресса требует всемерной автоматизации производственных процессов. Для этого необходимо создавать электрические машины, удовлетворяющие по своим показателям и характеристикам, весьма разнообразным требованиям различных отраслей народного хозяйства. Процесс создания электрических машин включает в себя проектирование, изготовление и испытание.

В последнее время все более часто генератор постоянного тока заменяют синхронным генератором, на выходе которого включен полупроводниковый выпрямитель. Замена генератора постоянного тока синхронным дает возможность выполнить его более быстроходным, что в свою очередь позволяет существенно уменьшить габариты и массу машины. Это объясняется тем, что в машинах постоянного тока для обеспечения удовлетворительной коммутации приходится ограничивать окружную скорость коллектора, а следовательно, и ротора. Кроме того, эксплуатация синхронного генератора, в котором отсутствует коллектор, существенно проще, а надежность выше, чем у генератора постоянного тока.

В настоящей ВКР рассматриваются вопросы проектирования дизельного синхронного генератора с постоянными магнитами на основе Nd-Fe-B, мощностью 10кВт. Такие электростанции служат для аварийного питания (подземного участка, подстанций систем автоматики и релейной защиты и т.д.) Так же они могут применяться в аварийных системах предприятий, больниц и других объектов, где необходимо обеспечение постоянного электропитания.

Под проектированием электрической машины понимается расчет размеров отдельных ее частей, параметров обмотки, рабочих и других характеристик машины, конструирование машины в целом, а также ее отдельных деталей и сборочных единиц.

Основные тенденции развития энергетической отрасли говорят, о том, что исторически сложилось так, что для улучшения параметров электри-

ческих машин проектировщики делают акцент на изменение параметров и варьирование энергетических показателей проектируемых машин.

На сегодняшний день можно утверждать что Россия, как и весь мир, переходит на новые методы проектирования, включаются в работу системы автоматизированного проектирования, берутся в учет экономические показатели, учитываются технологические размеры при производстве.

1. Электромагнитный расчет

Исходные данные

Номинальная мощность $P_2=10$ кВт

Номинальное напряжение $U=220$ В

Номинальная частота $f_1=50$ Гц

Число фаз $m=3$

Число пар полюсов $2p=6$

Высота оси вращения $h=132$ мм

Система охлаждения IC0141

Способ монтажа IM1001

1.1 Определение основных электрических величин

Для того чтобы рассчитать синхронный генератор. Необходимо определить расчетную мощность генератора, фазные токи, напряжения и коэффициент мощности.

1.1.1. Расчетная мощность генератора. [3,с.19,ф.1-12].

$$P = P_2 \cdot \frac{k_n}{\cos \varphi}.$$

где P_2 – мощность на валу генератора, Вт; k_n – коэффициент, зависящий от индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора и коэффициента мощности нагрузки (предварительно) [3];

У синхронных генераторов применяем. [3,с.313].

$$\cos \varphi = 0,8, \text{ тогда } \sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \sqrt{1 - 0,8^2} = 0,6.$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора. [3, с.313,рис.11-1]. $x_{\sigma^*} = 0,12$ о.е.

Значение коэффициента предварительно.

$$k_n = \sqrt{\cos^2 \varphi + (\sin \varphi + x'_{\sigma^*})^2} = \sqrt{0,8^2 + (0,6 + 0,12)^2} = 1,076.$$

Предварительное значение КПД. [3, с.313, рис. 11-2].

$$\eta' = 0,8 \text{ о.е.}$$

1.1.2. Главные размеры.

Расчетная мощность

$$P' = \frac{m \cdot k_n \cdot I_\phi \cdot U_\phi}{\cos \varphi'} = \frac{3 \cdot 1,076 \cdot 22,6 \cdot 132,8}{0,8} = 12,14 \text{ , кВт, где}$$

$$U_\phi = \frac{U_{\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{230}{\sqrt{3}} = 132,8. \text{ В – значение фазного напряжения}$$

$$I_\phi = \frac{P_{2\text{н}}}{3U_{\text{нл}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi'} = \frac{10}{3 \cdot 230 \cdot 0,8 \cdot 0,8} = 22,6. \text{ А – значение фазного тока}$$

Высоту оси вращения.[3, с.115, табл.9-1].

$$h = 132 \text{ мм.}$$

Допустимое расстояние от корпуса до опорной поверхности.[табл. 9-2].

$$h_1 = 6 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр корпуса

$$D_{\text{корп}} = 2(h - h_1) = 2(132 - 6) = 254 \text{ мм.}$$

Максимально допустимый наружный диаметр сердечника статора.
[табл. 9-2].

$$D_{\text{нлmax}} = 233 \text{ мм.}$$

Выбираем наружный диаметр сердечника статора.

$$D_{\text{нл}} = 233 \text{ мм.}$$

Предварительное значение линейной нагрузки статора. [3, с.315, рис. 11-3].

$$A'_1 = 260 \text{ А/см.}$$

Предварительное значение магнитной индукции в воздушном зазоре и номинальном режиме. [3, с. 315, рис. 11-4].

$$B'_6 = 0,85 \text{ Тл.}$$

1.1.3. Определим внутренний диаметр статора. [3, с.118, табл. 9-3].

$$Di = 0,7 \cdot Da - 3 = 0,7 \cdot 233 - 3 = 0,156 \text{ м.}$$

Параметр λ , зависит от числа пар полюсов, лежит в пределах от 1,2...2,3. [5, с.254]. Примем $\lambda=1.54$, $\alpha_{\delta} = 0,8$

Коэффициент формы поля k_{ϕ} в СГПМ меняется в небольшом диапазоне ($k_{\phi} = 1,11 \dots 1,15$) примем $k_{\phi} = 1,11$. Обмоточный коэффициент $k_o=0,92$. [5, с.254].

1.1.4. Находим полюсное деление.

$$\tau = \frac{\pi \cdot Di}{2p} = \frac{3,14 \cdot 0,156}{6} = 0,082 \text{ м.}$$

1.1.5. Расчетная длина сердечника статора. [3, с.23, ф.1-31].

$$l_1' = \frac{6,1 \cdot 10^7 P'}{D_1^2 n_1 A_1 B_{\delta} \alpha' k_{\phi} k_o} = \frac{6,1 \cdot 10^7 \cdot 12140}{156^2 \cdot 1000 \cdot 260 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot 1,11 \cdot 0,92} = 0,263 \text{ м.}$$

1.1.6. Активную длину сердечника ротора берём равной длине сердечника статора.

$$l_c = l_{\delta} = 0,263 \text{ м.}$$

1.2. Расчет постоянных магнитов и геометрических размеров ротора

В проектируемом синхронном генераторе выбран ротор коллекторного типа с призматическими магнитами на основе неодим – железо – бора (NdFeB) намагниченными тангенциально (рис.1.1). У данного типа ротора магнитный поток позволяет изготовить полюса шихтованные.

Характеристики магнита по данным ООО «Компонент СПб»[4]: код магнита(NdFeB).N46H, остаточная магнитная индукция. $B_r=1,33 \dots 1,39$, коэрцитивная сила по индукции. $H_c=950$ кА/м [4].

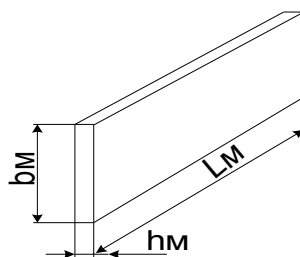


Рис.1.1 -Эскиз магнита

Ротор (индуктор) коллекторного типа (рис.1.2) состоит из магнитомягких полюсов (1) в виде сегментов, между которыми расположены призматические магниты (2), намагниченные в тангенциальном направлении. Устанавливаются магниты внутренними торцами на немагнитную втулку (3) так, чтобы полярность постоянных магнитов, обращенных к одному полюсу, была одинаковой. Для обеспечения механической прочности на внешней части полюса выполнены элементы крепления (4).

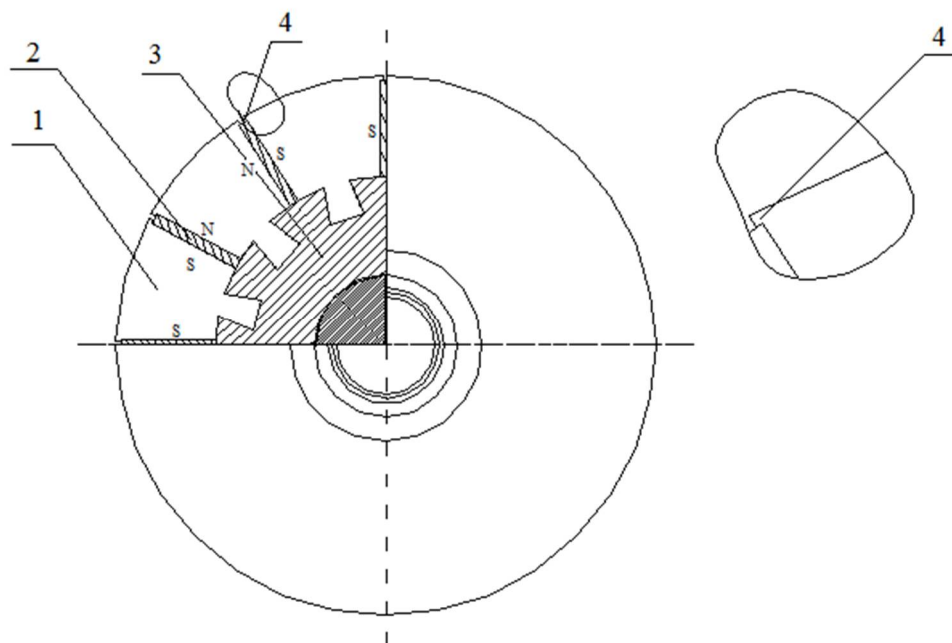


Рис.1.2 - Конструкция сборного ротора коллекторного типа

1.2.1. Коэффициент, учитывающий падение магнитного напряжения в магнитной цепи в долях МДС реакции якоря $\beta i = 1,1 \dots 1,5$. Примем $\beta i = 1,2$ [4, с.206].

1.2.2. Коэффициент рассеяния магнита в режиме холостого хода для $2p=6$ по экстраполяции $\sigma_0 = 1,15 \div 1,2$ [4, с. 171]. Примем $\sigma_0 = 1,2$.

1.2.3. Коэффициент приведения МДС реакции якоря по продольной оси к МДС возбуждения $k_{ad}=0,82 \dots 0,87$. Примем $k_{ad}=0,82$ (стр. 171 [4]).

1.2.4. Индукция при х.х. в нейтральном сечении магнита $B_{mo} = (0,8 \dots 0,9) Br$ [4, с.206]. Примем $B_{mo} = 0,8 \cdot Br = 0,8 \cdot 1,35 = 1,147$ Тл.

1.2.5. Напряженность поля в магните. [7, с.153].

$$H_{mo} = 0,5 \cdot H_c = 0,5 \cdot 950 = 475 \text{ А/м}$$

1.2.6. Ширина магнита предварительно. [4, с.171, ф.4.46].

$$b_m = 0,5 \cdot (\alpha_p - \Delta^*) \cdot D_i = 0,5 \cdot (0,65 - 0,1) \cdot 0,156 = 0,024 \text{ м.}$$

1.2.7. Объём магнитов. [4, с.169, ф.4.38].

$$\begin{aligned} V_M &= \frac{0,225 \cdot Sr \cdot \beta i \cdot \sigma_0 \cdot K_{ad} \cdot K_{K3}}{K_{\phi} \cdot f \cdot B_{mo} \cdot H_{MK} \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\cos j'}{K_{K3}} \right)^2} - \frac{\sin j'}{K_{K3}}} = \\ &= \frac{0,225 \cdot 12140 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 0,82 \cdot 3}{1,11 \cdot f \cdot 1,147 \cdot 475 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{0,8}{3} \right)^2} - \frac{0,6}{3}} = 3,745 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \end{aligned}$$

1.2.8. Длину магнита в аксиальном направлении приравняем длине сердечника статора.

$$L_M = l_c = 0,263 \text{ м}$$

1.2.9. Из конструктивных соображений высоту магнита применим. $h_i = 0,01$ м.

1.2.10. Конструктивный коэффициент полюсного перекрытия. [4, с. 174]. $\alpha_i = \frac{\tau - h_M}{\tau} = \frac{0,082 - 0,01}{0,082} = 0,878$

Воздушный зазор следует выбирать, руководствуясь данными выпускаемых генераторов. [3].

При малых зазорах повышаются добавочные потери, а также при деформации ротора появляется опасность задевания его об статор. От зазора зависят возможные кратковременные перегрузки синхронной машины по моменту и мощности. На максимальные значения момента и электромагнитной мощности существенное влияние оказывает синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси X_d . Чем больше зазор, тем меньше индуктивное сопротивление X_d и, следовательно, большими будут кратности момента и мощности. Согласно рекомендациям[3] выбираем $\delta = 1$ мм.

1.2.11. Диаметр немагнитной втулки предварительно. [4, с.172].

$$D_{en} = D_i - 2\delta - 2b_m - 2h_{n\delta} = 0,156 - 2 \cdot 0,001 - 2 \cdot 0,024 - 2 \cdot 0,002 = 0,096 \text{ м.}$$

Сердечник закреплён на немагнитной втулке (рис.4), которая насаживается на гладкий вал при помощи горячей посадки. Внутренний диаметр втулки равен диаметру вала.

1.2.12. Высота спинки немагнитной втулки.

$$h_{gm} = 0,002 \text{ м.}$$

1.3. Расчёт обмотки и магнитопровода статора

При расчёте обмотки статора определяется число пазов статора, геометрические размеры, число витков в фазе обмотки и сечение проводника. При этом число витков фазы обмотки статора должно быть таким, чтобы линейная нагрузка двигателя и индукция в воздушном зазоре как можно более близко совпадали с их значениями принятыми предварительно при выборе главных размеров, а число пазов статора обеспечивало достаточно равномерное распределение катушек обмотки.

Синхронный генератор работает на выпрямитель, нагрузкой выпрямителя является аккумуляторная батарея. Вследствие чего нет необходимости число пазов на полюс и фазу брать дробным, так как в данном случае форма синусоиды неважна, аккумуляторная батарея демпфирует все пульсации.

1.3.1. Число пазов на полюс и фазу

$$q=3$$

1.3.2. Число пазов статора Z_1

$$Z_1=2p \cdot q \cdot m=6 \cdot 3 \cdot 3=54$$

1.3.3. Зубцовое деление статора.

$$t_l = \frac{\pi \cdot D}{2p \cdot q \cdot m} = \frac{\pi \cdot 0,156}{6 \cdot 3 \cdot 3} = 0,009 \text{ м.}$$

1.3.4. Величина магнитного потока полюса в режиме холостого хода предварительно [5].

$$\Phi_{\delta o} = B_o \cdot l_{\delta} \cdot \tau \cdot \alpha_i = 0,85 \cdot 0,263 \cdot 0,082 \cdot 0,878 = 0,016 \text{ Вб.}$$

1.3.5. ЭДС холостого хода, при естественной стабилизации напряжения. [5, с. 257]

$$E_o = U_{\phi} k_H = 132,7 \cdot 1,1 = 146,07 \text{ В}$$

1.3.6. Предварительное число последовательно соединенных витков в фазе обмотки статора. [5, с.257].

$$W_{\phi} = \frac{E_o}{4k_{\phi} \cdot \kappa_o \cdot f \cdot \Phi_{\delta o}} = \frac{146,07}{4 \cdot 1,11 \cdot 0,92 \cdot 50 \cdot 0,016} = 44,656$$

1.3.7. Число эффективных проводников в пазу.

При выборе числа параллельных ветвей необходимо, чтобы ток в параллельной ветви находился в пределах 50...150 А. В нашем случае, $a=1$. Тогда число эффективных проводников в пазу будет равно.

$$u_n = \frac{W_{\phi} \cdot a}{q \cdot p} = \frac{44 \cdot 1}{3 \cdot 3} = 4,962$$

Принимаем $u_n=5$

1.3.8. Окончательное число витков в фазе.

$$w_{\phi} = \frac{u_n \cdot q \cdot p}{a} = \frac{5 \cdot 3 \cdot 3}{1} = 45$$

1.3.9. Уточнённая величина магнитного потока в режиме холостого хода.

$$\Phi_{\delta o} = \frac{E_o}{4k_{\phi} k_o f W_{\phi}} = \frac{146,7}{4 \cdot 1,11 \cdot 0,92 \cdot 50 \cdot 45} = 0,016 \text{ Вб}.$$

1.3.9. Уточняем значение линейной нагрузки. [5]

$$A = \frac{Z \cdot u_n \cdot I_{нф}}{\pi \cdot D_i \cdot a} = \frac{54 \cdot 5 \cdot 22,6}{\pi \cdot 0,156 \cdot 1} = 1,24 \cdot 10^4 \text{ А/м}.$$

1.3.10. Уточнённое значение индукции в воздушном зазоре. [5]

$$B_{\delta o} = B_{\delta} \cdot w / w_1 = 0,85 \cdot 45 / 42,038 = 0,9 \text{ Тл}.$$

Сталь примем 2013, толщина листа $\Delta_{\text{л}}=0,5$ мм. Коэффициент заполнения пакета сталью $\kappa_c=0,95$ [5].

Принимаем однослойную выпунную обмотку с мягкими секциями из провода ПЭТ-155 (класс нагревостойкости F), укладываем в трапецеидальные полузакрытые пазы.

Сечение эффективного проводника определяется исходя из допустимой плотности тока в обмотке. С точки зрения повышения использования активных материалов плотность тока должна быть выбрана как можно большей, но при этом возрастают электрические потери в обмотке. Увеличение потерь приводит, во-первых, к повышению температуры обмотки и во-вторых, к снижению КПД генератора.

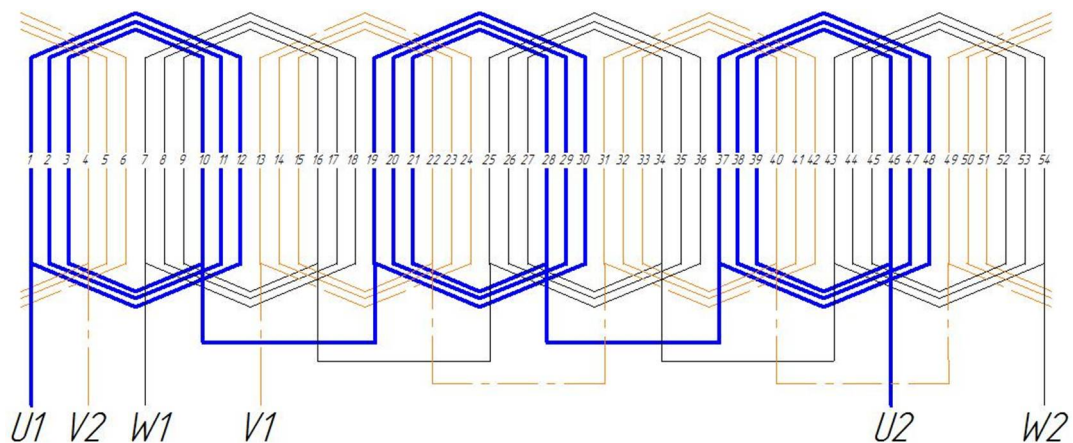


Рис. 1.3 Развернутая схема обмотки статора, $Z=54$, $2p=6$, $q=3$, $a=1$

1.4. Размер зубцовой зоны статора

При выборе размеров пазов в электрических машинах должны учитываться следующие факторы. Во-первых, чтобы площадь паза соответствовала количеству и размерам размещаемых в нём проводников обмотки с учётом всей изоляции. Во-вторых, чтобы значения индукции в зубцах и ярме статора находились в определённых допустимых пределах, зависящих от типа, мощности, исполнения машины и от марки электротехнической стали сердечника.

В связи с тем, что обмоточный провод круглого сечения, то он может быть уложен в пазы произвольной конфигурации. Поэтому размеры зубцовой зоны при насыпной обмотке выбираем таким образом, чтобы зубцы имели параллельные грани. Такие зубцы имеют постоянное, не изменяющееся с высотой зубца, поперечное сечение. Индукция по высоте зубца также не меняется и магнитное напряжение зубцов с параллельными гранями оказывается меньше, чем магнитное напряжение трапециевидных зубцов притом же среднем значении индукции в них. Эскиз паза статора представлен на рис.1.3.

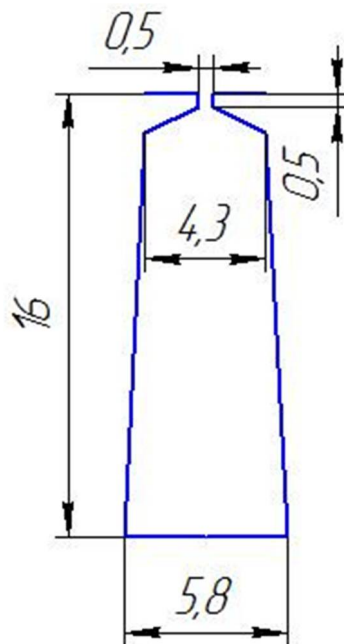


Рис.1.4 - Паз статора с основными размерами

1.4.1. Ширина зубца. [3, ф. 9-23].

$$b_{z1} = \frac{B_{\delta o} \cdot t}{B_z \cdot k_c} = \frac{0,85 \cdot 0,009}{1,6 \cdot 0,95} = 5,075 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

где B_z – индукция в зубцах статора, для стали 2013 B_z варьируется в пределах $B_z=1,6 \dots 1,9$ Тл. Примем $B_z=1,6$ Тл.

Принимаем $b_{z1}=5 \cdot 10^{-3}$ м.

1.4.2. Высота ярма статора. [3, ф.9-24].

$$h_a = \frac{\Phi_{\delta o}}{2 \cdot B_a \cdot l_{\delta} \cdot k_c} = \frac{0,85}{2 \cdot 1,4 \cdot 0,263 \cdot 0,95} = 0,023 \text{ м}.$$

где B_a – индукция в ярме статора. Принимаем $B_a=1,4$ Тл.

1.4.3. Высота паза. [3, ф.9-25].

$$h_{n1} = \frac{D_a - D_i}{2} - h_a = \frac{0,233 - 0,156}{2} - 0,023 = 0,016 \text{ м}..$$

1.4.4. Высота шлица. [3, с. 131].

$$h_{u1} = 0,5 \text{ мм}.$$

1.4.5. Среднее значение односторонней толщины изоляции. [3, с. 131].

$$b_{u1} = 0,25 \text{ мм}.$$

1.4.6. Предварительное значение ширины шлица. [3, с. 131].

$$b_{u1} = 0,3 \cdot \sqrt{h} = 0,3 \cdot \sqrt{132} = 0,5 \text{ мм}.$$

Принимаем $b_{u1}=0,5$ мм.

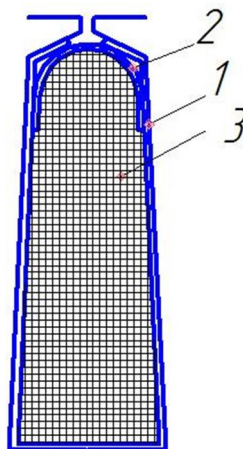


Рис.1.4.1 - Паз статора с изоляцией однослойной насыпной обмотки.

1-корпусная изоляция, 2 – прокладка, 3 – провод

1.4.7. Меньшая ширина паза. [3, ф. 9-26].

$$b_{12} = \frac{\pi \cdot (D_i + 2h_{ul} - b_{ul1}) - Z_1 \cdot b_{z1}}{Z_1 - \pi} =$$

$$= \frac{\pi \cdot (0,156 + 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3}) - 54 \cdot 0,005}{54 - \pi} = 4,278 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Принимаем $b_{12} = 4 \text{ мм.}$

1.4.8. Большая ширина паза. [3, ф. 9-27].

$$b_{11} = \frac{\pi \cdot (D_i + 2h_{n1})}{Z_1} - b_{z1} = \frac{\pi \cdot (0,156 + 2 \cdot 0,016)}{54} - 0,005 = 5,835 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

1.4.9. Площадь поперечного сечения паза в штампе. [3, ф. 9-29].

$$S_{n1} = \frac{b_{11} + b_{12}}{2} \times \left(h_{n1} - h_{ul1} - \frac{b_{12} - b_{ul1}}{2} \right) =$$

$$= \frac{0,0058 + 0,0042}{2} \times \left(0,016 - 0,0005 - \frac{0,0042 - 0,0005}{2} \right) = 0,067 \text{ мм}^2.$$

Припуски на сборку сердечников статора и ротора с $h = 132 \text{ мм.}$ по высоте $h_c = 0,2 \text{ мм.}$ по ширине $b_c = 0,2 \text{ мм.}$ [1].

1.4.10. Площадь поперечного сечения паза в свету. [3, ф. 9-30].

$$S'_{n1} = \left(\frac{b_{11} + b_{12}}{2} - b_c \right) \cdot \left(h_{n1} - h_{ul1} - \frac{b_{12} - b_{ul1}}{2} - h_c \right) =$$

$$= \left(\frac{5+4}{2} - 0,1 \right) \cdot \left(116 - 0,5 - \frac{4-0,5}{2} - 0,1 \right) = 6,401 \times 10^{-2} \text{ мм}^2$$

1.4.11. Площадь поперечного сечения корпусной изоляции. [3, ф. 9-31].

$$S_u = b_{ul1} \cdot (2 \cdot h_{n1} + b_{11} + b_{12}) = 0,5 \cdot (2 \cdot 16 + 5 + 4) = 2,083 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^2.$$

1.4.12. Суммарная площадь поперечного сечения прокладок. [3, ф. 9-32].

$$S_{np} = 0,5 \cdot b_{11} + b_{12} = 0,5 \cdot 5 + 4 = 7,1961 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2.$$

1.4.13. Площадь поперечного сечения паза, занимаемая обмоткой. [3, ф. 9-33].

$$S''_{n1} = S'_{n1} - S_u - S_{np} = 6,401 - 2,083 - 7,19 = 3,599 \times 10^{-5} \text{ мм}^2.$$

1.4.14. Количество элементарных проводников $\tilde{n} = 3$.

1.4.15. Предварительное значение коэффициента заполнения паза. [3, с.132]. $k'_n = 0,72$.

1.4.16. Диаметр изолированного обмоточного провода.

$$d' = \sqrt{\frac{k'_n \cdot S''_{n1}}{u_n \cdot c}} = \sqrt{\frac{0,72 \cdot 3,599 \cdot 10^{-5}}{5 \cdot 3}} = 1,314 \text{ мм}.$$

По приложению 1[1] ближайший стандартизированный диаметр изолированного провода $d' = 1,33 \text{ мм}$. , соответствующий ему диаметр неизолированного провода $d = 1,25 \text{ мм}$. , площадь сечения неизолированного провода $S = 1,227 \text{ мм}^2$.

1.4.17. Коэффициент заполнения паза. [3, ф. 9-35].

$$k_n = \frac{u_n \cdot c \cdot d'^2}{S''_{n1}} = \frac{5 \cdot 3 \cdot 1,33^2}{3,599 \cdot 10^{-5}} = 0,737$$

1.4.18. Плотность тока в обмотке статора. [3, ф. 9-39].

$$J_1 = \frac{I_{нф}}{c \cdot a \cdot S} = \frac{22,6}{3 \cdot 1 \cdot 1,227} = 6,152 \text{ А/мм}^2$$

1.5. Расчёт магнитной цепи

Расчёт намагничивающего тока будем проводить для режима холостого хода генератора, при котором для синхронных машин характерно сильное насыщение стали зубцов статора и ротора.

1.5.1. Индукция в зубцах статора окончательно.

$$B_{z1} = \frac{B_{\delta o} \cdot t_1}{b_{z1} \cdot k_c} = \frac{0,9 \cdot 0,009}{5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95} = 1,6 \text{ Тл}.$$

1.5.2. Индукция в ярме статора окончательно. [3].

$$B_a = \frac{\Phi}{2 \cdot h_a \cdot l_{\delta} \cdot k_c} = \frac{0,016}{2 \cdot 0,023 \cdot 0,263 \cdot 0,95} = 1,4 \text{ Тл}.$$

1.5.3. Коэффициент воздушного зазора.

Из-за зубчатости статора магнитное сопротивление участков воздушного зазора в поперечном сечении машины различно, поэтому распределение индукции по площади воздушного зазора неравномерно. Над коронками зубцов магнитные линии потока сгущаются, а над прорезями пазов плотность линии уменьшается. В кривой индукции в воздушном зазоре появляются провалы. Магнитное сопротивление и магнитное напряжение воздушного зазора при неравномерной индукции возрастают. Увеличение магнитного напряжения учитывается введением коэффициента воздушного зазора по формуле.[5, с.262].

$$k_{\delta} = \frac{t_1 + \frac{5 \cdot t_1 \cdot \delta}{b_{u1}}}{\left(t_1 + \frac{5 \cdot t_1 \cdot \delta}{b_{u1}} \right) - b_{u1}} = \frac{0,009 + \frac{5 \cdot 0,009 \cdot 0,001}{0,4}}{\left(0,009 + \frac{5 \cdot 0,009 \cdot 0,001}{0,4} \right) - 0,4} = 1,005$$

$$\delta' = k_{\delta'} \cdot \delta = 1,005 \cdot 0,001 = 0,001 \text{ мм.}$$

1.5.4. Параметры схемы замещения. [5, с.264].

1.5.4.1. Длина лобовой части.

$$l_{\text{л}} = 1,4 \cdot \tau = 1,4 \cdot 0,082 = 0,114 \text{ м.}$$

1.5.4.2. Средняя длина витка.

$$l_{cp} = 2 \cdot (l_{\text{л}} + l_{\delta}) = 2 \cdot (0,114 + 0,263) = 0,754 \frac{1}{2} \text{ м.}$$

1.5.4.3. Активное сопротивление фазы обмотки якоря. [5].

$$r_a = \rho_o \cdot k_t \cdot \left(\frac{l_{cp} \cdot w_{\phi}}{q_d \cdot a} \right) ; \quad \text{где} \quad \rho_o = 1,75 \cdot 10^{-8} \quad \text{Ом/мм}^2 \text{ (удельное}$$

сопротивление меди); $k_t = 1,2$ (температурный коэффициент);

$$q_d = 2 \cdot S \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 0,005 \cdot 10^{-6} = 0,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

площадь сечения эффективного проводника.

$$r_a = \rho_o \cdot k_t \cdot \left(\frac{l_{cp} \cdot w_{\phi}}{q_d \cdot a} \right) = 1,75 \cdot 10^{-8} \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{0,754 \cdot 45}{0,01 \cdot 10^{-6}} \right) = 0,291 \text{ Ом.}$$

1.5.4.4. Индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки якоря.

$$[4, с.265]. \quad x\sigma = \left(\frac{4\pi l_i f w \phi^2}{10^8 pq} \right) (\lambda_n + \lambda_d + \lambda_l); \quad \text{где } \lambda_n, \lambda_d, \lambda_l \text{ удельные проводимости}$$

пазового, дифференциального и лобового рассеяния соответственно.

$k_{y1}=1$ и $k_{y2}=1$ – коэффициенты, учитывающие укорочение обмотки [5].

$h_k=1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – высота клина [2].

$$\lambda_n = \left(\frac{k_{y1} \cdot (h_{n1} - h_k)}{3 \cdot h_{n1}} \right) + \frac{k_{y2} \cdot h_k}{b_{uu}} = \left(\frac{1 \cdot (0,016 - 0,001)}{3 \cdot 0,016} \right) + \frac{1 \cdot 0,001}{0,0005} = 2,312$$

$$\begin{aligned} \lambda_d &= \left(\frac{\delta' \cdot \alpha'_i}{b_{uu1} + 0,8 \cdot \delta'} \right) \cdot (0,25 + 0,75\beta) = \\ &= \left(\frac{0,0005 \cdot 0,848}{0,0005 + 0,8 \cdot 0,0005} \right) \cdot (0,25 + 0,75 \cdot 0,8) = 0,423 \end{aligned}$$

где α'_i – расчетный коэффициент полюсного перекрытия.

$$\alpha'_i = \alpha_i + \frac{4}{\left(\frac{\tau}{\delta'} \right) + \frac{6}{1 - \alpha_i}} = 0,878 + \frac{4}{\left(\frac{0,082}{0,0005} \right) + \frac{6}{1 - 0,878}} = 0,896$$

$\beta = 0,8$ – коэффициент укороченного шага обмотки

$$\lambda_l = \frac{0,34 \cdot q \left(l_l - 0,64 \cdot \beta \cdot \tau \right)}{l\delta} = \frac{0,34 \cdot 1 \cdot (0,114 - 0,64 \cdot 0,8 \cdot 0,082)}{0,263} = 0,281$$

$$x\sigma = \left(\frac{16\pi^2 \cdot 50 \cdot 45^2}{10^7 \cdot 6} \right) \cdot (2,312 + 0,448) \cdot 0,263 + 0,281 \cdot 0,0055 = 0,133 \text{ Ом.}$$

1.5.5.1. Индуктивное сопротивление якоря по продольной X_{ad} и поперечной X_{aq} осям.

$\mu_M = 1,26$ – магнитная проницаемость возврата материала Nd₂Fe₁₄B [4].

Коэффициенты магнитной проводимости полюса в продольном направлении. [4]

$$\lambda_{nd} = \frac{\mu_M b_M L_M}{h_M} = \frac{1,26 \cdot 0,043 \cdot 0,263}{0,01} = 0,795$$

$$\lambda_{nq} = \frac{\mu_M \tau L_M}{h_M} = \frac{1,26 \cdot 0,082 \cdot 0,263}{0,01} = 2,705$$

Коэффициент магнитной проводимости воздушного зазора по продольной оси. [4].

$$\lambda_{\delta d} = \frac{\tau l_{\delta}}{k_{\eta d} \cdot \delta' \cdot 10^{-3}};$$

где $k_{\eta d} = 1,2$ – коэффициент, учитывающий насыщение магнитной цепи машины по продольной оси. [4, с. 266].

$$\lambda_{\delta d} = \frac{\tau l_{\delta}}{k_{\eta d} \cdot \delta'} = \frac{0,082 \cdot 0,263}{1,2 \cdot 0,00055} = 35,784$$

Коэффициент магнитной проводимости воздушного зазора по поперечной оси. (стр. 267 [4])

где $k_{\eta q} = 1,35$ – коэффициент, учитывающий насыщение магнитной цепи машины по поперечной оси [4]

$$\lambda_{\delta q} = \frac{(\tau - h_M) l_{\delta}}{k_{\eta q} \cdot \delta'} = \frac{(0,082 - 0,01) \cdot 0,263}{1,35 \cdot 0,00055} = 27,913$$

Коэффициент реакции якоря по продольной оси. [4, с.267].

$$k_{ad} = \frac{\alpha_i \pi + \sin(\alpha_i \pi)}{4 \sin\left(\alpha_i \frac{\pi}{2}\right)} = \frac{0,932 \cdot \pi + \sin(0,932 \cdot \pi)}{4 \sin\left(0,932 \frac{\pi}{2}\right)} = 0,798$$

Коэффициент реакции якоря по поперечной оси. [4].

$$k_{ad} = \frac{\left(\alpha_i \pi + \sin(\alpha_i \pi)\right) + \frac{2}{3} \cos\left(\alpha_i \frac{\pi}{2}\right)}{4 \sin\left(\alpha_i \frac{\pi}{2}\right)} =$$

$$= \frac{(0,932\pi + \sin(0,932\pi)) + \frac{2}{3} \cos\left(0,932 \frac{\pi}{2}\right)}{4 \sin\left(0,932 \frac{\pi}{2}\right)} = 0,83$$

Коэффициенты проводимости машины по продольной и поперечной осям. [4].

$$\lambda_{ad} = k_b \cdot k_{ad} \cdot \frac{\lambda_{\delta d} \cdot \lambda_{nd}}{\lambda_{\delta d} + \lambda_{nd}} = 1,11 \cdot 0,798 \cdot \frac{35,784 \cdot 0,795}{35,784 + 0,795} = 0,689$$

$$\lambda_{aq} = k_b \cdot k_{aq} \cdot \frac{\lambda_{\delta q} \cdot \lambda_{nq}}{\lambda_{\delta q} + \lambda_{nq}} = 1,1 \cdot 0,83 \cdot \frac{27,913 \cdot 2,705}{27,913 + 2,705} = 2,273$$

где $k_d = 1,11$ - коэффициент формы поля возбуждения.

Индуктивное сопротивление якоря по продольной X_{ad} и поперечной X_{aq} осям.

$$x_{ad} = \left(\frac{4\mu_o}{\pi p} \right) m f \left(w_{\phi} k_o \right)^2 \lambda_{ad} = \left(\frac{16\pi \cdot 10^{-7}}{\pi \cdot 3} \right) \cdot 3 \cdot 50 (45 \cdot 0,92)^2 \cdot 0,689 = 0,094 \text{ Ом.}$$

$$x_{aq} = \left(\frac{4\mu_o}{\pi p} \right) m f \left(w_{\phi} k_o \right)^2 \lambda_{aq} = \left(\frac{16\pi \cdot 10^{-7}}{\pi \cdot 3} \right) \cdot 3 \cdot 50 (45 \cdot 0,92)^2 \cdot 2,273 = 0,312 \text{ Ом.}$$

где $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнитная проницаемость в вакууме.

1.5.5.2. Полные индуктивные сопротивления обмотки якоря по продольной и поперечной осям. [4].

$$x_d = x_{ad} + x_{\sigma} = 0,094 + 0,133 = 0,228 \text{ Ом.}$$

$$x_q = x_{aq} + x_{\sigma} = 0,312 + 0,133 = 0,445 \text{ Ом.}$$

1.5.6. Расчет проводимостей рассеяния ротора. [4].

Проводимости рассеяния ротора складываются из самого магнита λ_{sm} и проводимостей рассеяния полюсов λ_{sp} .

В свою очередь, проводимость рассеяния магнита λ_{sm} складывается из боковых $\lambda_{sm,b}$, биторцевых $\lambda_{sm,bt}$, проводимостей рассеяния на один магнит (рис.1.5).

$k_{\lambda} = 0,35$ - отношение проводимости рассеяния магнита к проводимости рассеяния эквивалентного электромагнита [1].

$\mu_r = 1,1$ - относительная магнитная проницаемость немагнитной втулки.

1.5.6.1. Расчет торцевой проводимости магнита. [1]

$$\lambda_{sm,t} = k_{\lambda} \mu_o b_m = 0,35 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,024 = 1,056 \cdot 10^{-8}$$

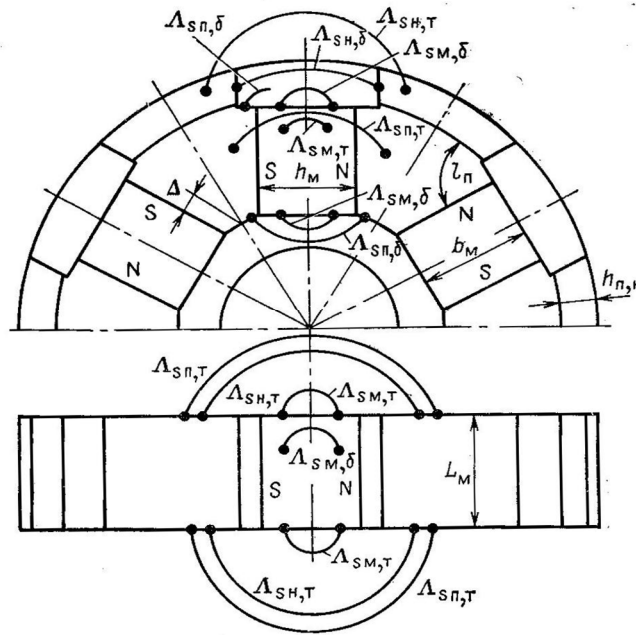


Рис.1.5 - К расчету проводимостей рассеяния в индукторе коллекторного типа.

1.5.6.2. Расчет боковой проводимости магнита.

$$\lambda_{sm,\sigma} = k_{\lambda} \mu_o \frac{L_m}{2} (\mu_r + 1) = 0,35 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{0,263}{2} \cdot (1,1 + 1) = 1,214 \cdot 10^{-7}$$

1.5.6.3. Расчет проводимости рассеяния магнита.

$$\lambda_{sm} = 2\lambda_{sm,\sigma} + 2\lambda_{sm,t} = 2 \cdot 1,214 \cdot 10^{-7} + 2 \cdot 1,056 \cdot 10^{-8} = 2,639 \cdot 10^{-7}$$

Проводимость рассеяния полюсов λ_{sp} складывается из проводимостей бокового рассеяния полюсов $\lambda_{sp,\delta}$, торцевого рассеяния полюсов $\lambda_{sp,t}$, бокового рассеяния полюсных наконечников $\lambda_{sh,\delta}$ и торцевого рассеяния полюсных наконечников $\lambda_{sh,t}$.

1.5.6.4. Минимальное расстояние между башмаками двух соседних полюсов.

$$C_p = (1 - \alpha_i) \cdot \frac{\pi D_i}{2p} - 2 = (1 - 0,878) \cdot \frac{\pi \cdot 0,156}{6} - 2 = 0,01 \text{ м}$$

$$\Delta = \left(\frac{\tau}{2} \right) - \frac{h_m}{2} = \left(\frac{0,082}{2} \right) - \frac{0,01}{2} = 0,036 \text{ м.}$$

1.5.6.5. Проводимость бокового рассеяния полюсов.

$$\lambda_{sn.\sigma} = 2\mu_o \cdot L_M \left[\ln \left(1 + \frac{\Delta}{L_M \cos\left(\frac{\pi}{2p}\right)} + \ln \left(1 + \frac{C_p - h_M}{L_M} \right) \right) \right] =$$

$$2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,263 \left[\ln \left(1 + \frac{0,036}{0,263 \cos\left(\frac{\pi}{6}\right)} + \ln \left(1 + \frac{0,01 - 0,01}{0,263} \right) \right) \right] = 9.659 \cdot 10^{-8}$$

1.5.6.6. Проводимость торцевого рассеяния полюсов.

$$\lambda_{sn.t} = \frac{2\mu_o h_M}{\pi^2 \sin\left(\frac{\pi}{2p}\right)} (\gamma \ln \gamma - \gamma' \ln \gamma' - \gamma''), \text{ где}$$

$$\gamma' = 1 + \left(\frac{0,5\pi\Delta}{h_M} \right) \sin\left(\frac{\pi}{2p}\right) = 1 + \left(\frac{0,5\pi \cdot 0,036}{0,01} \right) \sin\left(\frac{\pi}{6}\right) = 3,815$$

$$\gamma'' = \left(\frac{\pi b_i}{h_i} \right) \sin\left(\frac{\pi}{2p}\right) = \left(\frac{\pi \cdot 0,024}{0,01} \right) \sin\left(\frac{\pi}{6}\right) = 3,77$$

$$\gamma = \gamma' + \gamma'' = 3,815 + 3,77 = 7,585$$

$$\lambda_{sn.t} = \frac{2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,01}{\pi^2 \sin\left(\frac{\pi}{6}\right)} \cdot (7,585 \cdot \ln 7,585 - 3,815 \cdot \ln 3,815 - 3,77) = 3,305 \cdot 10^{-8}$$

1.5.6.7. Проводимость рассеяния полюсов.

$$\lambda_{sn} = \lambda_{sn.\sigma} + 2\lambda_{sn.t} = 9.659 \cdot 10^{-8} + 2 \cdot 3.305 \cdot 10^{-8} = 1.627 \cdot 10^{-7}$$

1.5.6.8. Проводимость рассеяния ротора.

$$\lambda_s = \lambda_{sm} + \lambda_{sn} = 2,639 \cdot 10^{-7} + 1.627 \cdot 10^{-7} = 4.266 \cdot 10^{-7}$$

1.5.7. Магнитное напряжение воздушного зазора. [5, с.271].

$$F_{\delta o} = 0,8 B_{o\delta} \delta' \cdot 10^6 = 0,8 \cdot 0,85 \cdot 0,0001 \cdot 10^6 = 340 \text{ А}$$

1.5.8. Напряженность поля в зубце. [2, приложение 1].

$$H_z = 850 \text{ А/м}$$

1.5.9. Напряженность поля в спинке якоря. [2, приложение 1].

$$H_a = 750 \text{ А/м}$$

1.5.10. МДС, необходимая для проведения потока через зубцовую зону. [4, с. 272]

$$F_{zo} = h_{n1} H_z = 0,016 \cdot 850 = 13,404 \text{ А}$$

1.5.11. Средняя длина силовой линии в спинке якоря.

$$L_a = \frac{\pi(D_i + 2h_{n1} + 2h_a)}{2p} = \frac{\pi(0,233 + 2 \cdot 0,016 + 2 \cdot 0,023)}{6} = 0,122 \text{ м}$$

1.5.12. МДС на проведение потока через спинку якоря.

$$F_{da} = L_a H_a = 0,122 \cdot 750 = 91,499 \text{ А}$$

1.5.12. Суммарная МДС на пару полюсов, необходимая для проведения магнитного потока.

$$F_{1.0} = 2F_{\delta o} + 2F_{zo} + F_{da} = 2 \cdot 340 + 2 \cdot 13,404 + 91,499 = 798,307 \text{ А}$$

1.5.13. Поток рассеяния между двумя половинами полюсов. [5, с.188].

$$\Phi_{sn} = (F_{1.0}) \cdot (\lambda_{sn}) = (798,307) (1,627 \cdot 10^{-7}) = 1,299 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

1.5.14. МДС полюсов. [1]

$$B_n = \frac{0,5\Phi_{\delta o} + \Phi_{snH} + \Phi_{sn}}{S_n} - \text{индукция полуполюса,}$$

где S_n - площадь поперечного сечения магнитного потока полуполюса.

[1]

$$S_n = L_m \frac{b_m + 0,5b_p}{2} = 0,263 \frac{0,024 + 0,5 \cdot 0,116}{2} = 0,011 \text{ м}^2$$

$$B_n = \frac{0,5\Phi_{\delta o} + \Phi_{sn}}{S_n} = \frac{0,5 \cdot 0,016 + 1,299 \cdot 10^{-4}}{0,011} = 0,75 \text{ Тл}$$

Средняя длина силовой линии на полуполюсе.

$$l_n = \sqrt{\left(\frac{h_m}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_p}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,01}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,116}{2}\right)^2} = 0,058 \text{ м}$$

1.5.15. Напряженность полуполюса. [2, приложение 1].

$$H_n = 71 \text{ А}$$

$$F_n = l_n H_n = 0,058 \cdot 71 = 4,13 \text{ А}$$

1.5.16. Индукция в стыке магнита с полюсом. [1]

$$B_{\delta_{cm}, m, k} = \frac{(0.5\Phi_{\delta o} + \Phi_{sn} + \Phi_{sn})}{S_m} \text{ где}$$

$$S_m = b_m L_m = 0,024 \cdot 0,263 = 6.308 \cdot 10^{-3}$$

$$B_{\delta_{cm}, m, k} = \frac{(0,5\Phi_{\delta o} + \Phi_{sn})}{S_m} = \frac{(0,5 \cdot 0,016 + 1.299 \cdot 10^{-4})}{6.308 \cdot 10^{-3}} = 1.28 \text{ Тл.}$$

1.5.17. МДС стыка магнита с полюсом. [1]

$$F_{\delta_{cm}, m, k} = 0,8 B_{\delta_{cm}, m, k} \cdot \delta_{cm} \cdot 10^6 = 0,8 \cdot 0,724 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \cdot 10^6 = 80 \text{ А}$$

1.5.18. Поток рассеяния магнита. [1]

$$\Phi_{sm, k} = (F_{1.0} + 2F_n \cdot F_{\delta_{cm}, m, k}) \lambda_{sm} = (798.307 + 2 \cdot 4,13) \cdot 2,639 \cdot 10^{-7} = 2,128 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

1.5.19. Магнитный поток и МДС магнита при холостом ходе.

$$\Phi_{mo} = 0,5 \cdot \Phi_{\delta o} + \Phi_{cn} = 0,5 \cdot 0,016 + 2.299 \cdot 10^{-4} = 8,076 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$$

$$F_{mo} = F_{1.0} + 2 \cdot F_n + 2 \cdot F_{\delta_{cm}, m, k} = 798.307 + 2 \cdot 4,13 = 806.566 \text{ А}$$

1.5.20. Коэффициент рассеяния магнита.

$$\sigma_o = \frac{2\Phi_{mo}}{\Phi_{\delta o}} = \frac{2 \cdot 8,076 \cdot 10^{-3}}{0,016} = 1,016$$

1.6. Характеристика короткого замыкания

Характеристика КЗ представляет собой зависимость потока в магнитной системе Φ_k от МДС F_k при КЗ якоря. Расчет по методике. [1, с.192].

1.6.1. Расчетный продольный ток КЗ

Задаемся расчетным продольным током КЗ. $I_{dkp} = (2 \div 4) I_{нф}$

$$I_{dkp} = 3 \cdot 22,6 = 67,935 \text{ А}$$

1.6.2. Расчетное сопротивление продольного тока КЗ.

$$X'_s = x_\sigma + \frac{r_a^2}{X_q} = 0,135 + \frac{0,291^2}{0,65} = 0,323 \text{ Ом.}$$

1.6.3. ЭДС при КЗ.

$$E_{dk} = I_{dkp} \cdot x_s = 67,935 \cdot 0,323 = 21.948 \text{ В.}$$

1.6.4. Магнитный поток КЗ в якоре.

$$\Phi_{dk} = \frac{(\Phi_{\delta o} \cdot E_{dk})}{E_o} = \frac{(0,016 \cdot 21.948)}{146,07} = 2.388 \cdot 10^{-3} \text{ Вб.}$$

1.6.5. МДС реакции якоря.

$$F_a = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \frac{m_w \phi_o^k}{p} I_{\phi a}^k = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \frac{3 \cdot 45 \cdot 0,92}{3} 22,6 \cdot 1,1 = 464,226 \text{ А}$$

где $\kappa_a=1,1$ — отношение основной волны потока реакции якоря к полному потоку реакции якоря.

1.6.6. МДС продольной реакции якоря при КЗ (на один полюс).

$$F_{ak} = \frac{F_a \cdot I_{dkp}}{I_{\phi}} = \frac{464,226 \cdot 67,935}{22,6} = 1,393 \cdot 10^3 \text{ А}$$

1.6.7. Магнитное напряжение цепи якоря при КЗ.

$$F_{1k} = F_{1.0} \cdot \frac{E_{dk}}{E_o} = 798.307 \cdot \frac{21.948}{146,07} = 119.953 \text{ А}$$

1.6.8. Поток дифференциального рассеяния при КЗ.

$$\Phi_{s\partial} = \left(\frac{\Phi_{\delta o} \cdot F_{ak}}{F_{1.0}} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{k_a \cdot k_{\phi.в}} \right) = \left(\frac{0,016 \cdot 1,393 \cdot 10^3}{798.307} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{1,1 \cdot 0,95} \right) = 1,194 \cdot 10^{-3} \text{ Вб,}$$

где $k_{\phi.в} = 0,95$.

1.6.9. МДС полюса.

$$\Phi_{sn\kappa} = (F_{1.\kappa} + 2F_{ak} + 2F_n) (\lambda_{sn.m}) = (798.307 + 2 \cdot 1,393 \cdot 10^3 + 2 \cdot 4,13) (1.627 \cdot 10^{-7}) = 5.844 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

$$B_{n\kappa} = \frac{(0,5 \cdot \Phi_{\partial\kappa})}{S_n} = \frac{(0,5 \cdot 2.388 \cdot 10^{-3})}{0,011} = 0,111 \text{ Тл}$$

$$H_{n\kappa} = 74 \text{ А/м. [3]}$$

$$F_{нк} = l_n H_{нк} = 0,058 \cdot 74 = 4.304 \text{ А}$$

1.6.10. МДС стыка полюса с магнитом при КЗ.

$$S_{м1} = b_m \cdot L_m = 0,024 \cdot 0,263 = 6.308 \cdot 10^{-3}$$

$$B_{\delta ст.м.к} = \frac{0,5\Phi_{\partial к} + \Phi_{сн.к} + \Phi_{сн.к}}{S_m} = \frac{0,5 \cdot 1,955 \cdot 10^{-3} + 9,713 \cdot 10^{-4}}{6.308 \cdot 10^{-3}} = 0,189 \text{ Тл}$$

$$F_{\delta ст.м.к} = 0,8 B_{\delta ст.м.к} \delta_{ст.м} \cdot 10^6 = 0,8 \cdot 0,189 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \cdot 10^6 = 15.142 \text{ А}$$

1.6.11. Поток рассеяния магнита.

$$\begin{aligned} \Phi_{с.м.к} &= (F_{1к} + 2F_{ад.к} + 2F_{нк}) \lambda_{с.м} = \\ &= (119.953 + 2 \cdot 1,393 \cdot 10^3 + 2 \cdot 4.304) \cdot 2,639 \cdot 10^{-7} = \\ &= 7.689 \cdot 10^{-4} \text{ Вб} \end{aligned}$$

1.6.12. Расчетный поток рассеяния ротора при КЗ.

$$\Phi_{ск} = \Phi_{сн.к} + \Phi_{с.м.к} = 5.844 \cdot 10^{-4} + 7.689 \cdot 10^{-4} = 1,353 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$$

1.6.13. Поток магнита при КЗ.

$$\Phi_{мк} = \Phi_{\partial к} + \Phi_{с\partial} + \Phi_{ск} = 2.388 \cdot 10^{-3} + 1,194 \cdot 10^{-3} + 1.353 \cdot 10^{-3} = 4.935 \cdot 10^{-3} \text{ Вб.}$$

1.6.14. МДС магнита при КЗ.

$$F_{мк} = F_{1к} + 2F_{ак} + 2F_{нк} = 119.953 + 2 \cdot 1,393 \cdot 10^3 + 2 \cdot 4.304 = 2,914 \cdot 10^3 \text{ А}$$

1.7. Построение диаграммы магнита и внешней характеристики синхронного генератора.

В случае применения магнитов из редкоземельных материалов кривая размагничивания совпадает с прямой возврата. Её получают по двум точкам: по остаточному потоку Φ_r и коэрцитивной силе –МДС H_c . На диаграмму наносится точка ($\Phi_{м0}$), соответствующая расчетному потоку магнита. Также на диаграмму наносится точка потока холостого хода ($\Phi_{\delta o}$). Пересечение характеристики КЗ с прямой возврата определяет точку режима КЗ. Пересечение характеристики холостого хода с прямой возврата определит точку режима холостого хода. Если на диаграмме провести прямую

суммарного потока рассеяния Φ_s , то можем получить линию продольного потока Φ_d , как его еще называют, полезного потока. Построение диаграммы и внешней характеристики осуществляем по методике, изложенной в[4].

1.7.1. Для индуктора коллекторного типа.[4, с.189].

$$\Phi_z = 2B_r \cdot b_M \cdot L_M = 2 \cdot 1,35 \cdot 0,024 \cdot 0,263 = 0.017 \text{ Вб}$$

$$F_z = H_c \cdot h_M = 950 \cdot 0.01 \cdot 10^3 = 9.5 \cdot 10^3 \text{ А}$$

1.7.2. Данные для построения диаграммы.

$$\Phi_{\delta 0} = 0.016 \text{ Вб}$$

$$\Phi_{MO} = 8,164 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$$

$$F_{MO} = 806.545 \cdot 10^3 \text{ А}$$

$$F_k = 0,75 F_c = 7.125 \cdot 10^3 \text{ А}$$

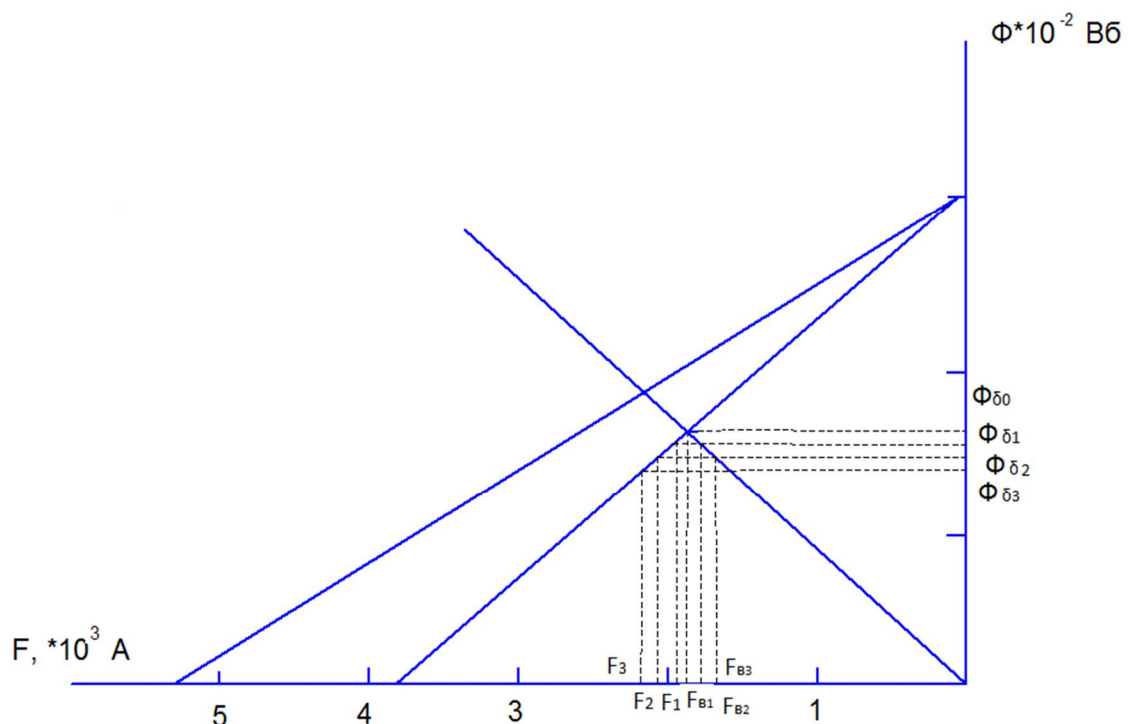


Рис.1.6 -Рабочая диаграмма магнита

Особенностью генераторов с возбуждением от постоянных магнитов является то, что с изменением тока нагрузки меняется состояние магнитов и значение полезного потока в воздушном зазоре машины. Поэтому внешние

характеристики строят с использованием рабочей диаграммы магнитов. Пользуясь диаграммой состояния магнитов индуктора, можно для любого режима работы генератора найти значения магнитного потока Φ_{δ} в воздушном зазоре и продольной составляющей реакции якоря F_{ad} . При увеличении тока нагрузки рабочая точка генератора смещается по линии влево – вниз (см. рис.1.6).

Зададимся несколькими рабочими точками, на указанной прямой, и определим соответствующие этим режимам значения тока нагрузки и напряжение генератора. Например, в первой точке соответствует значение потока в воздушном зазоре $\Phi_{\delta 1}$ и некоторое значение МДС F_1 , расходуемой на проведение этого потока по магнитной цепи генератора и преодоление размагничивающей продольной составляющей реакции якоря F_{ad} .

1.7.3. Находим данные, необходимые для построения внешней характеристики. (см. рис.1.6).

$$\Phi_{\delta 1} = 0,015 \text{ Вб} \rightarrow F_1 = 1,95 \cdot 10^3 \text{ А} \Rightarrow \text{точка 2}; F_{\delta 1} = 1,8 \cdot 10^3 \text{ А}, F_{ad 1} = 150 \text{ А}$$

$$\Phi_{\delta 2} = 0,013 \text{ Вб} \rightarrow F_2 = 2,02 \cdot 10^3 \text{ А} \Rightarrow \text{точка 3}; F_{\delta 2} = 1,5 \cdot 10^3 \text{ А}, F_{ad 2} = 520 \text{ А}$$

$$\Phi_{\delta 3} = 0,012 \text{ Вб} \rightarrow F_3 = 2,2 \cdot 10^3 \text{ А} \Rightarrow \text{точка 4}; F_{\delta 3} = 1,23 \cdot 10^3 \text{ А}, F_{ad 3} = 970 \text{ А}$$

1.7.4. Значения ЭДС генератора. [4]

$$U_1 = E_o = 146,07 \text{ В}$$

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{\Phi_{\delta 1}}{\Phi_{\delta o}} = 146,07 \cdot \frac{0,015}{0,016} = 137,862 \text{ В}$$

$$U_3 = U_2 \cdot \frac{\Phi_{\delta 2}}{\Phi_{\delta 1}} = 137,862 \cdot \frac{0,013}{0,016} = 112,767 \text{ В}$$

$$U_4 = U_2 \cdot \frac{\Phi_{\delta 3}}{\Phi_{\delta 2}} = 112,767 \cdot \frac{0,012}{0,016} = 85,144 \text{ В}$$

1.7.5. Величина тока при нагрузке.

$$I = \frac{F_{adi}}{S_1 \sin(\varphi)}, \text{ где}$$

$$S_1 = mk_o \left(\frac{w\phi}{p} \right) k_{ad} = 3 \cdot 0,95 \cdot \left(\frac{45}{3} \right) \cdot 0,82 = 33.948$$

$$tq(\varphi) = \frac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi)} = \frac{0,6}{0,8} = 0,75$$

1.7.5.1. Поправочные коэффициенты.

$$q_1 = \frac{X_q - r_a tq(\varphi)}{\left(S_1 \frac{E_2}{F_{ad1}} \right) - x_\sigma + r_a tq(\varphi)} = \frac{0,65 - 0,291 \cdot 0,75}{\left(33,9 \cdot \frac{146,07}{150} \right) - 0,12 + 0,291 \cdot 0,75} = 7.259 \cdot 10^{-3}$$

$$q_2 = \frac{X_q - r_a tq(\varphi)}{\left(S_1 \frac{E_3}{F_{ad2}} \right) - x_\sigma + r_a tq(\varphi)} = \frac{0,65 - 0,291 \cdot 0,75}{\left(33,9 \cdot \frac{112,767}{520} \right) - 0,12 + 0,291 \cdot 0,75} = 0,03$$

$$q_3 = \frac{X_q - r_a tq(\varphi)}{\left(S_1 \frac{E_4}{F_{ad3}} \right) - x_\sigma + r_a tq(\varphi)} = \frac{0,65 - 0,291 \cdot 0,75}{\left(33,9 \cdot \frac{85,144}{970} \right) - 0,12 + 0,291 \cdot 0,75} = 0,074$$

1.7.5.2. Фазовый угол между током и ЭДС.

$$\begin{aligned} \psi_{10} &= \left[\frac{tq\varphi(1+q_1)}{2} \right] + \sqrt{\frac{tq\varphi^2(1+q_1)^2}{4}} = \\ &= \left[\frac{0,75 \cdot (1+0,007)}{2} \right] + \sqrt{\frac{0,75^2 \cdot (1+0,007)^2}{4}} = 0,765; \arctg(0,765) = 37.414 \end{aligned}$$

$$\psi_{10} = 18,22^\circ; \quad \sin \psi_{10} = 0,608$$

$$\begin{aligned} \psi_{20} &= \left[\frac{tq\varphi(1+q_2)}{2} \right] + \sqrt{\frac{tq\varphi^2(1+q_2)^2}{4}} = \\ &= \left[\frac{0,75 \cdot (1+0,03)}{2} \right] + \sqrt{\frac{0,75^2 \cdot (1+0,03)^2}{4}} = 0,81; \arctg(0,81) = 39.022 \end{aligned}$$

$$\psi_{20} = 18,23^\circ; \quad \sin \psi_{20} = 0,63$$

$$\psi_{30} = \left[\frac{tq\varphi(1+q_3)}{2} \right] + \sqrt{\frac{tq\varphi^2(1+q_3)^2}{4}} =$$

$$= \left[\frac{0.75 \cdot (1+0,074)}{2} \right] + \sqrt{\frac{0.75^2 \cdot (1+0,075)^2}{4}} = 0,888; \arctg(0,888) = 41.619$$

$$\psi_{30} = 18,25^\circ; \quad \sin \psi_{30} = 0,664$$

1.7.5.3. Токи внешней характеристики.

$$I_1 = \frac{F_{ad1}}{S_1 \sin(\psi)} = \frac{150}{15.282 \cdot 0,608} = 16.155 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{F_{ad2}}{S_1 \sin(\psi)} = \frac{520}{15.282 \cdot 0.63} = 54.044 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{F_{ad3}}{S_1 \sin(\psi)} = \frac{970}{15.282 \cdot 0,664} = 95.567 \text{ A}$$

1.7.5.4. По данным расчета строим внешнюю характеристику магнито-электрического синхронного генератора $U=f(I)$ (рис.1.7).

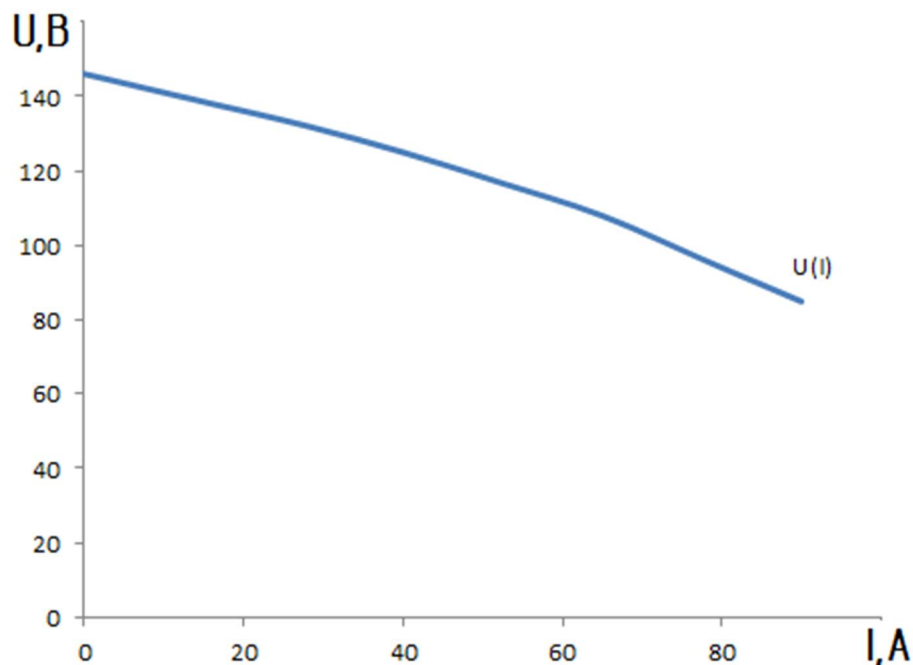


Рис.1.7 - Внешняя характеристика синхронного генератора

1.8. Определение массы, потерь и КПД генератора

При работе синхронного генератора часть подводимой мощности расходуется на нагрев проводников, перемагничивание сердечника, создание необходимого для охлаждения потока воздуха, трение вращающихся частей о воздух, трение в подшипниках и т.д. Эту часть мощности называют потерями, так как она как бы «теряется» при электромеханическом преобразовании энергии.

Потери в синхронных машинах подразделяются на потери в стали (основные и добавочные), электрические потери, вентиляционные, механические и добавочные потери при нагрузке.

Расчет производится по методике, изложенной в [4].

1.8.1. Масса меди обмотки якоря.

$$M_{оя} = m W_{\phi} l_{ср} q_a \gamma_m \text{ где}$$

$$\gamma_m - \text{плотность меди } \gamma_m = 8,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

q_a - площадь поперечного сечения провода обмотки фазы якоря.

$$q_a = 2,454 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$M_{оя} = 3 \cdot 45 \cdot 0,754 \cdot 2,454 \cdot 10^{-6} \cdot 8,3 \cdot 10^3 = 2,074 \text{ кг}$$

1.8.2. Масса зубцов якоря.

$$M_z = \left[\frac{\pi}{4} \left[\left(D_i + 2h_{n1} + 2h_k \right)^2 - D_i^2 \right] - Z_1 b_{11} h_{n1} \right] l_{\delta}^k \gamma_{ct},$$

где γ_{ct} - плотность стали $\gamma_m = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

$$M_z = \left[\frac{\pi}{4} \left[\left(0,156 + 2 \cdot 0,016 + 2 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \right)^2 - 0,156^2 \right] - 54 \cdot 0,058 \cdot 0,016 \right] \cdot 0,263 \cdot 0,95 \cdot 7,8 \cdot 10^3 \\ = 8,05 \text{ кг}$$

1.8.3. Масса спинки якоря.

$$\begin{aligned} M_{a1} &= \pi \left(D_i + 2h_{n1} + 2h_k + h_a \right) h_a l \delta k_c \gamma_{cm} = \\ &= \pi \left(0,156 + 2 \cdot 0,016 + 2 \cdot 1 \cdot 10^{-3} + 0,023 \right) \cdot 0,023 \cdot 0,263 \cdot 0,95 \cdot 7,8 \cdot 10^3 \\ &= 29.524 \text{ кг} \end{aligned}$$

1.8.4. Масса активных материалов статора.

$$M_1 = M_{оя} + M_z + M_{a1} = 2,074 + 8.05 + 29.524 = 39.648 \text{ кг}$$

1.8.5. Масса постоянных магнитов.

$$M_{nm} = 2pb_m h_m L_m \gamma_{nm} = 6 \cdot 0,043 \cdot 0,0055 \cdot 0,263 \cdot 7,5 \cdot 10^3 = 2.8 \text{ кг},$$

где γ_{nm} - плотность магнита ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$)

$$\gamma_{nm} = 7,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

1.8.6. Масса полюсов.

$$\begin{aligned} M_n &= \left(\frac{\pi}{4} \right) \left[D_p^2 - \left(D_p - 2b_m \right)^2 - 2ph_m b_m \right] L_m \gamma_{cm} = \\ &= \left(\frac{\pi}{4} \right) \left[0,154^2 - (0,154 - 0,024)^2 - 6 \cdot 0,01 \cdot 0,024 \right] \cdot 0,263 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 17.777 \text{ кг} \end{aligned}$$

1.8.7. Масса активных материалов ротора.

$$M_2 = M_{nm} + M_n = 2.8 + 17.777 = 20.616 \text{ кг}$$

1.8.8. Масса активных материалов генератора.

$$M_{ам} = M_1 + M_2 = 17.777 + 20.616 = 60.264 \text{ кг}$$

1.8.9. Полная масса генератора.

$$M_{\sigma} = \kappa_{кон} M_{ам} = 1,5 \cdot 60.264 = 90.397 \text{ кг},$$

где $\kappa_{кон} = 1.5$ - конструктивный коэффициент для генераторов с

возбуждением от постоянных магнитов.

Потери и КПД генератора определяют для номинального режима его работы.

1.8.10. Потери в меди обмотки якоря.

$$P_m = m I_{нф}^2 r_a = 3 \cdot 22.6^2 \cdot 0,291 = 446.919 \text{ Вт}$$

1.8.11. Потери в стали ярма якоря.

$$P_a = \rho_o \kappa_{\tau a} B_a^2 \left(\frac{f}{50}\right)^{\frac{1}{5}} M_{a1} = 1,6 \cdot 1,5 \cdot 1,4^2 \left(\frac{50}{50}\right) \cdot 29.524 = 138.8 \text{ Вт},$$

где $\rho_o = 1,6$ - удельные потери в стали при 50 Гц.

$\kappa_{\tau a} = 1.5$ - технологический коэффициент для спинки якоря,

учитывающий увеличение потерь.

1.8.12. Потери в зубцах якоря.

$$P_z = \rho_o \kappa_{\tau z} B_{z1}^2 \left(\frac{f}{50}\right)^{\frac{1}{5}} M_z = 1,6 \cdot 2 \cdot 1,6^2 \cdot \left(\frac{50}{50}\right)^{\frac{1}{5}} \cdot 8.05 = 65.943 \text{ Вт},$$

где $\rho_o = 1.6$ - удельные потери в стали при 50 Гц,

$\kappa_{\tau z} = 2$ - технологический коэффициент для зубца якоря,

учитывающий увеличение потерь.

1.8.13. Потери в стали.

$$P_{ст} = P_a + P_z = 138.8 + 65.943 = 204.825 \text{ Вт}$$

1.8.14. Механические потери.

$$P_{мех} = 0,02 \cdot P \cdot \cos \varphi = 0,02 \cdot 10000 \cdot 0,8 = 160 \text{ Вт}$$

1.8.15. Добавочные потери, обусловленные высшими гармониками магнитного поля, вихревыми токами.

$$P_{\partial} = 0,01 \cdot P \cdot \cos \varphi = 0,01 \cdot 10000 \cdot 0,8 = 80 \text{ Вт}$$

1.8.16. Суммарные потери.

$$\sum P = P_m + P_a + P_z + P_{мех} + P_{\partial} = 138.8 + 65.943 + 446.919 + 160 + 80 = 891.744 \text{ Вт}$$

1.8.17. Коэффициент полезного действия генератора.

$$\eta = \frac{P \cdot \cos(\varphi)}{P \cdot \cos(\varphi) + \sum P} = \frac{10000 \cdot 0,8}{10000 \cdot 0,8 + 891.744} = 91.813\%$$

2. Тепловой и вентиляционный расчет

На первоначальной стадии проектирования достаточно достоверную оценку теплового режима генератора даёт приближённый метод теплового расчёта, основанный на упрощённом представлении о характере тепловых связей между элементами электрической машины. В нём используются средние значения коэффициентов теплоотдачи с поверхности и теплопроводности изоляции, характерные для определённой конструкции и технологии производства генераторов данного типа.

Тепловой расчёт будем проводить только для статора. При расчёте используются потери, полученные для номинального режима, но потери в обмотке статора несколько увеличиваются по сравнению с расчётными. Предполагается, что обмотка может быть нагрета до предельно допустимой для принятого класса изоляции температуры.

Данный раздел работы рассчитывается по методике изложенной [3].

2.1. Электрические потери в обмотке статора в пазовой части

$$P'_{\text{э,п1}} = k_p \cdot P_m \cdot \frac{2 \cdot \ell_{\delta}}{\ell_{\text{сп1}}} = 1,15 \cdot 446,919 \cdot \frac{2 \cdot 0,263}{0,754} = 358,145 \text{ Вт},$$

где $k_p=1,15$ – коэффициент увеличения потерь.

2.2. Электрические потери в обмотке статора в лобовой части

$$P'_{\text{э,л1}} = k_p \cdot P_m \cdot \frac{2 \cdot \ell_{\text{л1}}}{\ell_{\text{сп1}}} = 1,15 \cdot 446,919 \cdot \frac{2 \cdot 0,114}{0,754} = 155,811 \text{ Вт}.$$

2.3. Превышение температуры внутренней поверхности сердечника статора над температурой воздуха внутри машины

$$\Delta\theta_{\text{нов1}} = K \cdot \frac{P'_{\text{э,п1}} + P_{\text{см}}}{\pi \cdot D_i \cdot \ell_{\delta} \cdot \alpha_1} = 0,16 \cdot \frac{358,145 + 204,825}{\pi \cdot 0,156 \cdot 0,263 \cdot 60} = 11,654 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

где $K=0,16$ – коэффициент, учитывающий, что часть потерь в сердечнике статора и в пазовой части обмотки передаётся через станину непосредственно в окружающую среду;

$\alpha_1=60 \text{ Вт/м}^2\cdot^\circ\text{С}$ – коэффициент теплоотдачи с поверхности сердечника статора.

2.4. Расчётный периметр поперечного сечения паза статора

$$\Pi_{n1} = 2 \cdot h_{нк} + b_{11} + b_{12} = 2 \cdot 0,016 + 0,0058 + 0,0043 = 0,042 \text{ м}.$$

2.5. Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки статора

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{из,n1} &= \frac{P'_{э,n1}}{Z_1 \cdot \Pi_{n1} \cdot \ell_{\delta}} \cdot \left(\frac{b_{из1}}{\lambda_{эkv}} + \frac{b_{11} + b_{12}}{16 \cdot \lambda'_{эkv}} \right) = \\ &= \frac{358.145}{54 \cdot 0,042 \cdot 0,263} \cdot \left(\frac{4 \cdot 10^{-4}}{0,16} + \frac{0,0058 + 0,0043}{16 \cdot 1,3} \right) = 1.809^\circ\text{С}, \end{aligned}$$

где $\lambda_{эkv}=0,16 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{С}$ – средняя эквивалентная теплопроводность пазовой изоляции;

$\lambda'_{эkv}=1.3 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{С}$ – среднее значение коэффициента теплопроводности внутренней изоляции катушек сыпной обмотки из эмалированных проводников с учётом не плотности прилегания проводников друг к другу при $d/d_{из}=0,931$.

2.6. Перепад температуры по толщине изоляции лобовых частей

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{из,l1} &= \frac{P'_{э,l1}}{2 \cdot Z_1 \cdot \Pi_{л1} \cdot \ell_l} \cdot \left(\frac{b_{из,l1}}{\lambda_{эkv}} + \frac{h_{n1}}{12 \cdot \lambda'_{эkv}} \right) = \\ &= \frac{155.811}{2 \cdot 54 \cdot 0,042 \cdot 0,114} \cdot \left(\frac{0,05 \cdot 10^{-3}}{0,16} + \frac{0,016}{12 \cdot 1,3} \right) = 0,401^\circ\text{С}, \end{aligned}$$

где $\Pi_{л1} \approx \Pi_{n1} = 0,042 \text{ м}$ – периметр условной поверхности охлаждения лобовой части одной катушки;

$b_{из,l1}=0,05 \text{ мм}$ – односторонняя толщина изоляции лобовой части катушки.

2.7. Превышение температуры наружной поверхности изоляции лобовых частей обмотки над температурой воздуха внутри машины.

$$\Delta\theta_{пов,l1} = \frac{K \cdot P'_{э,l1}}{2 \cdot \pi \cdot D_i \cdot \ell_{л1} \cdot \alpha_1} = \frac{0,16 \cdot 155.811}{2 \cdot \pi \cdot 0,156 \cdot 0,114 \cdot 60} = 3.7^\circ\text{С}$$

2.8. Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри машины

$$\Delta\theta'_1 = \frac{(\Delta\theta_{nov1} + \Delta\theta_{из, n1}) \cdot 2 \cdot \ell_{\delta}}{\ell_{cp1}} + \frac{(\Delta\theta_{из, л1} + \Delta\theta_{нов, л1}) \cdot 2 \cdot \ell_{л}}{\ell_{cp1}} =$$

$$= \frac{(11.657 + 1.809) \cdot 2 \cdot 0,114}{0,754} + \frac{(3.7 + 0,401) \cdot 2 \cdot 0,114}{0,754} = 5.33 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

2.9. Эквивалентная поверхность охлаждения корпуса

$$S_{кор} = (\pi \cdot D_a + 8 \cdot \Pi_p) \cdot (\ell_{\delta} + 2 \cdot \ell_{л}) = (\pi \cdot 0,233 + 8 \cdot 0,32) \cdot (0,263 + 2 \cdot 0,114) = 1.62 \text{ м}^2,$$

где $\Pi_p = 0,32 \text{ м}$ – условный периметр поперечного сечения рёбер станины[3].

2.10. Сумма потерь отводимых в воздух внутри двигателя.

$$\Sigma P'_B = \Sigma P' - (1 - K) \cdot (P'_{э, n1} + P_{см}) - 0,9 \cdot P_{мех} =$$

$$= 958.782 - (1 - 0,16) \cdot (358.145 + 204.825) - 0,9 \cdot 160 = 341.887 \text{ Вт},$$

$$\text{где } \Sigma P' = \Sigma P + (\kappa_p - 1) \cdot P_m = 891.744 + (1,15 - 1) \cdot 446.919 = 958.782 \text{ Вт}$$

2.11. Превышение температуры воздуха внутри машины над температурой окружающей среды

$$\Delta\theta_B = \frac{\Sigma P'_B}{S_{кор} \cdot \alpha_B} = \frac{341.887}{1.62 \cdot 9} = 23.475 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $\alpha_B = 9$ – коэффициент подогрева воздуха.

2.12. Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды.

$$\Delta\theta_1 = \Delta\theta'_1 + \Delta\theta_B = 5.33 + 23.475 = 28.475 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Полученное значение превышения температуры не превышает допускаемое превышение температуры для принятого класса изоляции (155°C).

Вентиляционный расчёт синхронного генератора, так же как и тепловой, на первоначальном этапе проектирования, может быть выполнен приближённым методом. Метод заключается в сопоставлении расхода

воздуха, необходимого для охлаждения генератора и расхода, который может быть получен при данной конструкции и размерах генератора.

2.13. Коэффициент, учитывающий изменение условий охлаждения подлине поверхности корпуса, обдуваемого наружным вентилятором

$$\kappa_m = m \cdot \sqrt{\frac{n}{100} \cdot D_a} = 1.8 \cdot \sqrt{\frac{1000}{100} \cdot 0.233} = 1.943,$$

где $m=1,8$ – коэффициент для генератора с $2p = 6$ при $h=132$ мм[2].

2.14 Требуемый для охлаждения расход воздуха.

$$Q_B = \frac{\kappa_m \cdot \Sigma P'_B}{1100 \cdot \Delta \theta_B} = \frac{1.943 \cdot 431.795}{1100 \cdot 25.951} = 0.029 \frac{m^3}{c}$$

2.15 Расход воздуха, обеспечиваемый наружным вентилятором.

$$Q'_B = 0.6 \cdot D_a^3 \cdot \frac{n}{100} = 0.6 \cdot 0.233^3 \cdot \frac{1000}{100} = 0.038 \frac{m^3}{c}$$

$Q'_B \succ Q_B$ необходимое условие для охлаждения машин выполнено.

Нагрев частей генератора находится в допустимых пределах. Вентилятор обеспечивает необходимый расход воздуха.

3. Механический расчет генератора

3.1 Расчет вала на прочность

Генератор 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.

Данный раздел работы рассчитывается по методике, изложенной. [2, с.244].

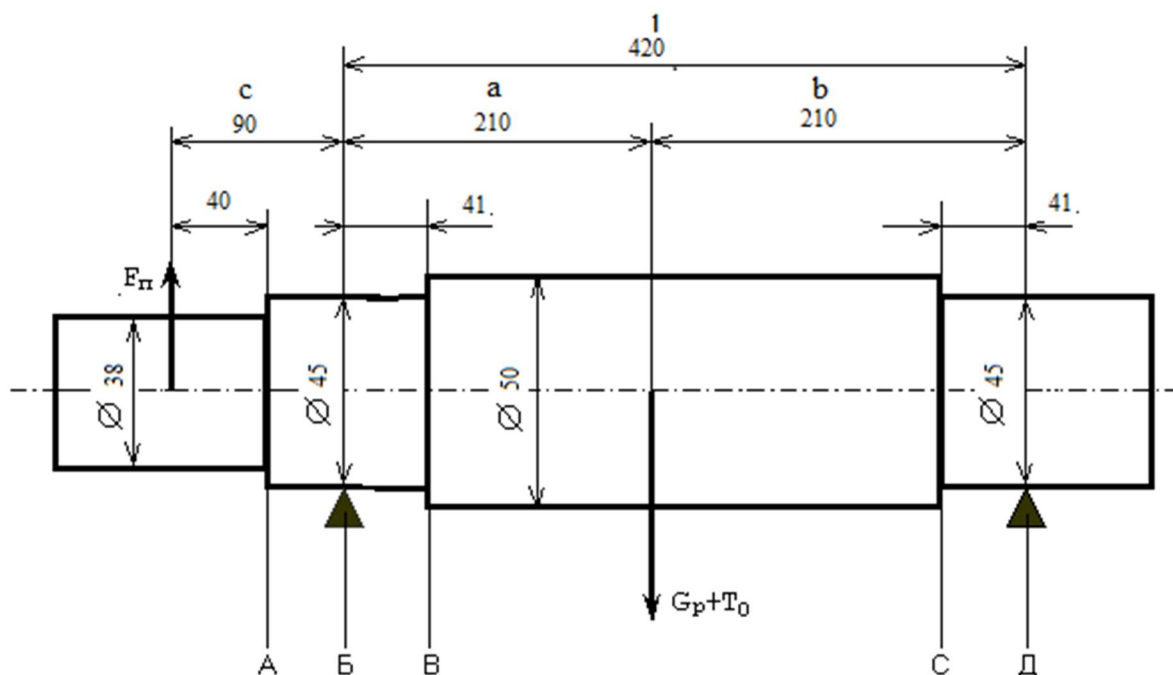


Рис.3.1 - Эскиз вала

3.1.1. Принимая ротор машины за сплошной цилиндр с плотностью 8300 кг/м³, его массу можно определить как

$$m_p = 6260 \cdot D_p^2 \cdot l_\delta = 6260 \cdot 0,154^2 \cdot 0,263 = 41,102 \text{ кг}$$

3.1.2. Сила тяжести ротора.[1, с.244].

$$G_p = 9,81 \cdot m_p = 9,81 \cdot 41,102 = 403,211 \text{ Н}$$

3.1.3. Определим поперечную силу, приложенную к выступающему концу вала.

$$F_n = k_n \cdot \frac{M_n \cdot 2}{D_1} = 0,3 \cdot \frac{87,6891 \cdot 2}{0,11} = 478,26 \text{ Н},$$

где $k_n = 0,3$ - коэффициент, $D_1 = 0,11 \text{ м}$ - диаметр по центрам пальцев муфты[2];

$$M_n = 9550 \cdot \frac{\eta P_2 \cdot 10^{-5}}{n_{\max}} = 9550 \cdot \frac{91,813 \cdot 10000 \cdot 10^{-5}}{1250} = 87,681 \text{ Нм} - \text{номинальный}$$

вращающий момент;

$n_{\max} = 1250 \text{ об/мин}$ - максимальная частота вращения ротора.

3.1.4. Вал разбиваем на три участка а, b, с – это расстояния от места приложения силы до ближайшей опоры, $a = 0,210 \text{ м}$, $b = 0,210 \text{ м}$, $c = 0,090 \text{ м}$.

Прогиб вала посередине сердечника под действием силы тяжести.

$$f_q = \frac{G_p}{3 \cdot E \cdot l^2} \cdot (S_A a^2 + S_B b^2) = \frac{403,211}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,069} \cdot (503 \cdot 0,210^2 + 530 \cdot 0,210^2) = 1,64 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

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

$$S_A = \sum \frac{x_i^3 - x_{i-1}^3}{J_i} = 503,24 \text{ м}^{-1} - \text{прогиб вала на участке а}; x_1 = 41 \text{ мм}, y_1 = 41$$

мм

$$S_B = \sum \frac{y_i^3 - y_{i-1}^3}{J_i} = 503,24 \text{ м}^{-1} - \text{прогиб вала на участке b};$$

$$x_2 = 50 \text{ мм}, y_2 = 50 \text{ мм}$$

3.1.5. Прогиб вала посередине магнитопровода ротора от поперечной силы муфты.

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

$$= \frac{478.26 \cdot 0,075}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,049^2} \left(\frac{3}{2} \cdot 0,049 \cdot 2,03 \cdot 10^4 - 530.24 \right) \cdot 0,21 + 530.24 \cdot 0,21 =$$

$$= 1,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

где $S_C = \sum \frac{y_i^2 - y_{i-1}^2}{J_i} = 2,03 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1}$ - прогиб вала на участке с,

$l = 420 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – расстояние между опорами;

3.1.6. Первоначальное смещение ротора.

$$e_0 = 0,1 \cdot \delta + f_q + f_n = 0,1 \cdot 0,001 + 1,64 \cdot 10^{-7} + 1,06 \cdot 10^{-6} = 1,012 \cdot 10^{-4} \text{ м},$$

3.1.7. Начальная сила одностороннего магнитного притяжения.

$$T_0 = 2,94 \cdot D_p \cdot l_\delta \cdot \frac{e_0}{\delta} \cdot 10^5 = 2,94 \cdot 0,403 \cdot 0,263 \cdot \frac{1,001 \cdot 10^{-4}}{0,001} \cdot 10^5 = 1205 \text{ Н}.$$

3.1.8. Прогиб вала от силы T_0 .

$$f_m = \frac{f_q \cdot T_0}{G_P} = \frac{1,64 \cdot 10^{-7} \cdot 1205}{403.211} = 4,905 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

3.1.9. Установившийся прогиб вала от одностороннего момента притяжения.

$$f_m = \frac{f_m}{1-m} = \frac{4,905 \cdot 10^{-7}}{1-4.846 \cdot 10^{-3}} = 4,929 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

где $m = f_m / e_0 = 4846$.

3.1.10. Суммарный прогиб посередине магнитопровода ротора.

$$f = f_m + f_G + f_n = 4,929 \cdot 10^{-7} \cdot 1,642 \cdot 10^{-7} \cdot 1,06 \cdot 10^{-6} = 1,717 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

3.1.11 Критическая частота вращения.

$$n_k = 30 \cdot \sqrt{\frac{1-m}{f_q}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1-4.846 \cdot 10^{-3}}{1,642 \cdot 10^{-7}}} = 7.386 \cdot 10^4 \text{ об / мин}$$

Подбор материала вала начинается с расчета на прочность. Исходя из воспринимаемых валом нагрузок, его размеров, намеченных предварительно, и допустимых напряжений, подбирают материал, который удовлетворяет предъявляемым требованиям. Материал вала электрической машины испытывает знакопеременные напряжения от изгиба в следствии вращения при постоянно направленных нагрузках.

Напряжение в сечении: А

3.1.12. Изгибающий момент в расчетном сечении.

$$M_{uA} = k \cdot F_n \cdot z = 2 \cdot 478.26 \cdot 0,040 = 38.261 \text{ Нм},$$

где $k=2$ - коэффициент нагрузки,

$z=0,04$ м – длинна резиновой полумуфты [2].

3.1.13. Момент сопротивления при изгибе.

$$W_A = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 0,038^3 = 5.487 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

где $d=0,038$ м -диаметр вала в сечении А.

3.1.14. Напряжение изгиба.

$$\begin{aligned} \sigma_{npA} &= \frac{1}{W_A} \cdot \sqrt{MuA^2 + (\kappa \cdot \alpha \cdot M_n)^2} = \\ &= \frac{1}{5.487 \cdot 10^{-6}} \cdot \sqrt{38.261^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 87.681)^2} = 2.65 \cdot 10^7 \text{ Па} \end{aligned}$$

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

до пускаемому напряжению при кручении;

3.1.15. Напряжение в сечении Б:

3.1.16. Изгибающий момент в расчетном сечении.

$$\begin{aligned} M_{uB} &= k \cdot F_n \cdot c \left(\frac{l-y_1}{l} \right) + (G_p + T) \cdot \frac{ay_1}{l} = \\ &= 2 \cdot 478 \cdot 0,09 \left(\frac{1-0,041}{0,263} \right) + (403.211 + 1211) \cdot \frac{0,21 \cdot 0,041}{0,263} = \\ &= 110.76 \text{ Нм}, \end{aligned}$$

где $c=0,09$ м - расстояние указано на эскизе вала (рис.10).

3.1.17. Момент сопротивления при изгибе.

$$W_B = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 0,045^3 = 9,113 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

где $d=0,045$ м - диаметр вала в сечении Б

3.1.18. Напряжение изгиба.

$$\sigma_{npB} = \frac{1}{w_B} \cdot \sqrt{Mu_B^2 + (\kappa \cdot \alpha \cdot M_n)^2} = \frac{1}{9,113 \cdot 10^{-6}} \cdot \sqrt{110,76^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 87,681)^2} = 1,17 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

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

Сопоставляя полученные данные видим, что наиболее нагруженным сечением является сечение А, для которого

$$\sigma_{npA} = 2,65 \cdot 10^7 \leq \sigma ,$$

где $\sigma = 2,52 \cdot 10^8 \text{ Па}$ - предел текучести для стали 45.

Условие прочности выполняется. Следовательно, вал заданными размерами можно использовать в данной электрической машине.

3.2. Выбор подшипников

Для подбора подшипников электрической машине, прежде всего, определяют реакции опор (рис.3.2).

Для расчета примем данные:

$$G_p = 403,211 \text{ Н}; \quad c = 0,09 \text{ м}; \quad T_o = 1205 \text{ Н}; \quad l = 0,42 \text{ м};$$

$$F_n = 478 \text{ Н}; \quad b = a = 0,21 \text{ м};$$

При определении радиальных нагрузок на подшипники исходим из наихудшего случая.

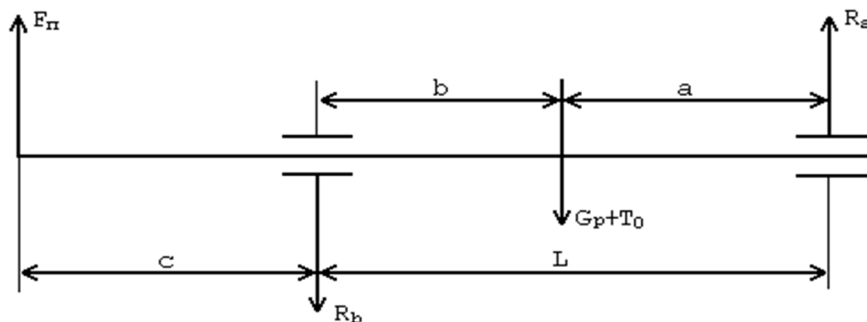


Рис.3.2 - К определению радиальных реакций подшипников R_a и R_b .

3.2.1. Радиальные нагрузки для опоры А.

$$R_a = F_n \frac{c}{l} + \left(G_p + T_o \right) \frac{b}{l} = 478 \cdot \frac{0,09}{0,42} + (403 + 1205) \frac{0,21}{0,42} = 906,419 \text{ Н}$$

3.2.2. Коэффициент учитывающий характер нагрузки.

$k_n = 1,5$ (при нагрузках с умеренными толчками).

3.2.3. Приведенная динамическая нагрузка.

$$Q_A = k_n \cdot R_A = 1,5 \cdot 906,419 = 1360 \text{ Н}$$

$L_D = 18000 \text{ ч}$ – срок службы подшипника в часах.

3.2.4. Динамическая грузоподъемность шарикоподшипника.

$$C_A = \frac{Q_A}{25,6} \left(L_D \cdot n \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{1360}{25,6} (18000 \cdot 1000)^{\frac{1}{3}} = 1,392 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

При диаметре шейки вала 45 мм выбираем шарикоподшипник лёгкой серии 207, $C = 19700 \text{ (Н)}$.

3.2.5. Радиальные нагрузки для опоры В.

$$R_v = F_n \frac{c+l}{l} + \left(G_p + T_o \right) \frac{a}{l} = 478 \frac{0,09+0,42}{0,42} + (403+1205) \frac{0,21}{0,42} = 1385 \text{ Н}$$

3.2.6. Приведенная динамическая нагрузка.

$$Q_B = k_n \cdot R_B = 1,5 \cdot 1385 = 2077 \text{ Н}$$

$L_D = 18000 \text{ ч}$ – срок службы подшипника в часах.

3.2.7. Динамическая грузоподъемность шарикоподшипника.

$$C_B = \frac{Q_B}{25,6} \left(L_D \cdot n \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{2077}{25,6} (18000 \cdot 1000)^{\frac{1}{3}} = 2,126 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

При диаметре шейки вала 45 мм выбираем шарикоподшипник лёгкой серии 209, $C = 25200 \text{ (Н)}$.

4. Специальная часть.

4.1. Мостовой, управляемый выпрямитель

В последнее время все более часто генератор постоянного тока заменяют синхронным генератором, на выходе которого включен полупроводниковый выпрямитель. Замена генератора постоянного тока синхронным дает возможность выполнить его более быстроходным, что в свою очередь позволяет существенно уменьшить габариты и массу машины. Это объясняется тем, что в машинах постоянного тока для обеспечения удовлетворительной коммутации приходится ограничивать окружную скорость коллектора, а следовательно, и ротора. Кроме того, эксплуатация синхронного генератора, в котором отсутствует коллектор, существенно проще, а надежность выше, чем у генератора постоянного тока.

В настоящей ВКР рассматриваются вопросы проектирования дизельного синхронного генератора с постоянными магнитами на основе Nd-Fe-B, мощностью 10кВт. Такие электростанции служат для аварийного питания (подземного участка, подстанций систем автоматики и релейной защиты и т.д.) Также они могут применяться в аварийных системах предприятий, больниц и других объектов, где необходимо обеспечение постоянного электропитания.

В настоящее время разработано и применяется значительное количество схем для преобразования переменного тока в стабилизированный постоянный.

Выпрямление переменного тока осуществляется практически только на малых дизель генераторах мощностью не более 1 – 10 кВт. В этом случае не требуется постоянная частота вращения ротора и накопителем энергии является высоковольтная аккумуляторная батарея, напряжением 220В или (в нашем случае) две батареи, напряжением 110В, соединённых последовательно.

В данной выпускной квалификационной работе мы используем :

- переменный ток на выходе с генератора для аварийного освещения подземного участка.
- постоянный ток для подзарядки высоковольтных никель-кадмиевых аккумуляторных батарей. (для систем автоматики). Имеющий следующие параметры. ($I_H=5$, $U_{\text{вых}}=220$).

Выбран метод стабилизации выходного напряжения управляемым выпрямителем. Выпрямитель состоит из шести тиристоров, собранных по мостовой схеме (рис.4.1). Напряжение с выпрямителя поступает на группу аккумуляторных батарей и заряжает их. Также аккумуляторные батареи сглаживают пульсации напряжения выпрямителя. Далее с аккумуляторной батареи напряжение поступает к какому-либо приёмнику постоянного тока.

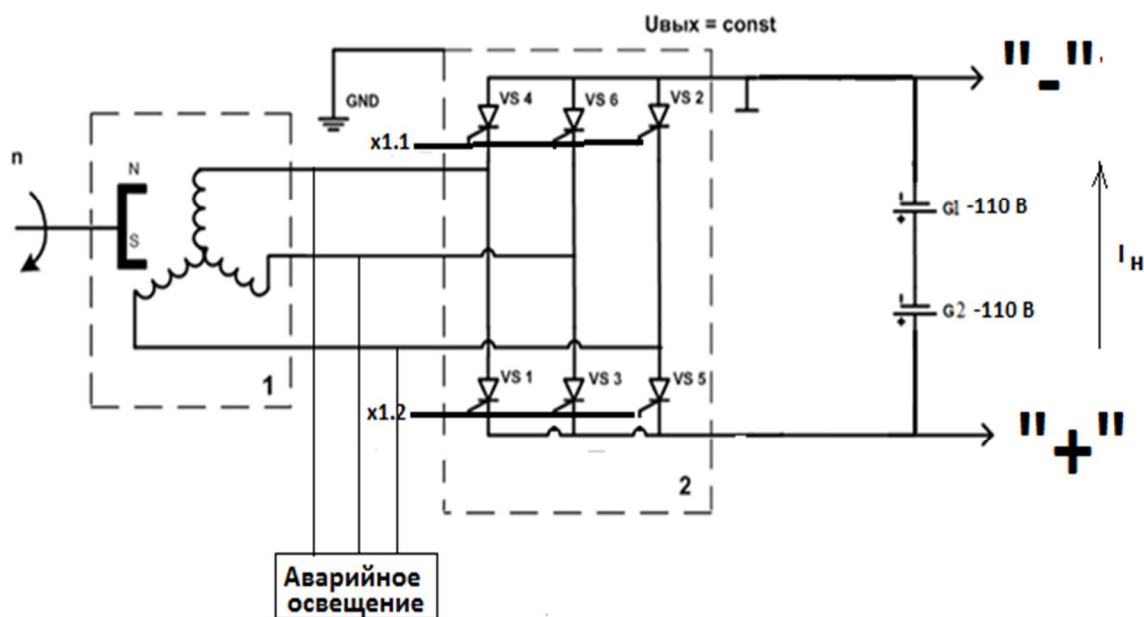


Рис.4.1- Электрическая принципиальная схема блока выпрямления: 1) магнитоэлектрический синхронный генератор 2) управляемый выпрямитель

Особенность работы выпрямителя заключается в задержке на угол α момента отпирания очередных тиристоров, относительно точек естественного отпирания. Это обусловлено задержкой на угол α моментов подачи отпирющих импульсов на тиристоры от системы управления. Угол

α – угол между началом положительной полуволны входного напряжения и моментом включения тиристора (рис.4.2).

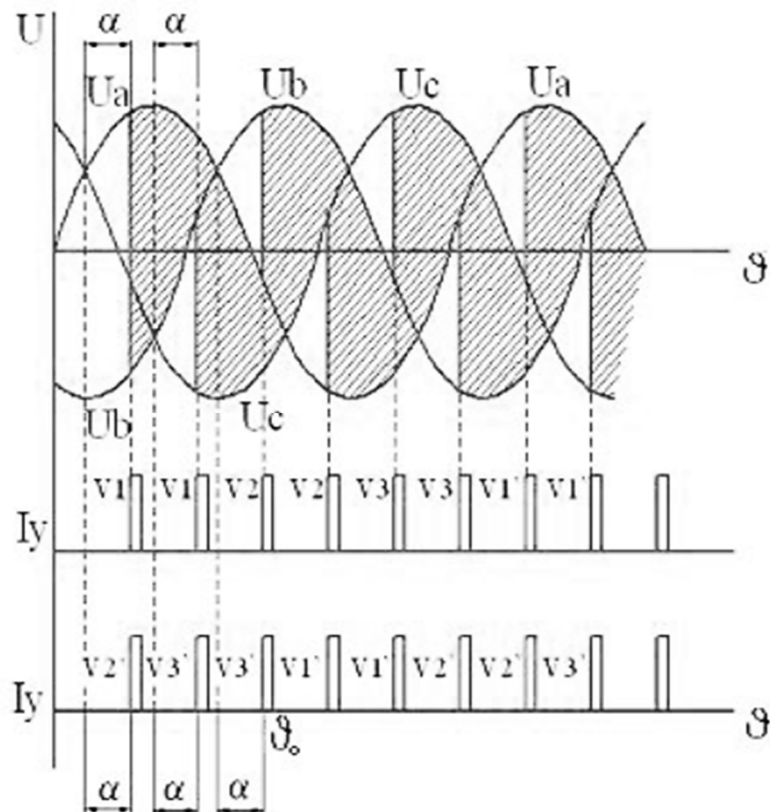


Рис.4.2 - Фазные напряжения при угле управления α

На рисунке 4.3 представлена зависимость выходного напряжения U_d от угла управления α . Из данного рисунка видно что при угле $\alpha=0^\circ$ напряжение на выходе имеет максимальное значение. При $\alpha=60^\circ$ выходное напряжение примерно равно половине максимально возможного. Также при увеличении угла управления увеличиваются пульсации выходного напряжения.

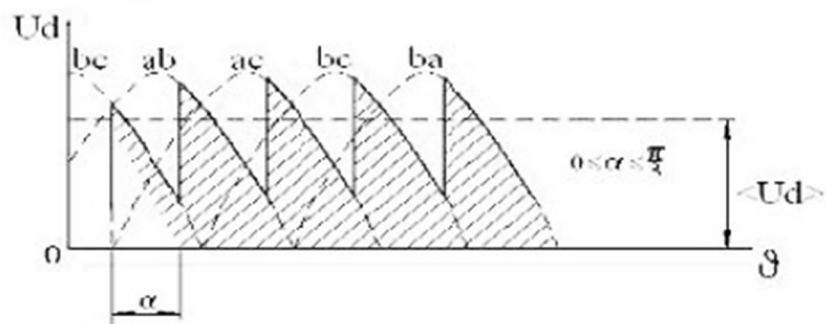


Рис.4.3 - Выходное напряжение трехфазного мостового выпрямителя при угле управления α

4.2. От генератора переменного тока к постоянному.

Для того чтобы совершить переход от переменного тока к постоянному, необходимо рассчитать синхронный генератор на вентильную нагрузку. Т.е. необходимо определить номинальный ток и напряжение выхода вентиля.

Параметры генераторов характеризуется коэффициентами преобразования: κ_u и κ_i

Для мостовой, двухполупериодной схемы выпрямителя принимаем $\kappa_u = 0,43$ и $\kappa_i = 0,82$, тогда выпрямленный ток и напряжение равны:

Принимаем что основная нагрузка от генератора идет на освещение, а остальное на заряд наших аккумуляторов рис. 4.1

$$I_n = \frac{I_\phi}{\kappa_i} = \frac{5}{0,82} = 6,33 \text{ А};$$

Тогда напряжение выпрямленное будет по формуле:

$$U_n = \frac{U_\phi}{\kappa_u} = \frac{132,8}{0,54} = 246 \text{ В};$$

Мощность генератора, которая тратится на заряд:

$$P_n = I_n \cdot U_n = 6,33 \cdot 246 = 1557 \text{ Вт};$$

Как и было написано ранее основная мощность генератора идет на освещение.

4.3 Выбор тиристоров для управляемого выпрямителя

Тиристоры выбираются по среднему значению тока через вентиль с учетом увеличения тока генератора в переходных режимах и максимальному значению обратного напряжения.

$$I_{cp} = \frac{K_{zm} I_n}{3K_{охл}};$$

где K_{zm} – коэффициент запаса по току $K_{кз} = 2,25$;

$K_{охл}$ – коэффициент, учитывающий интенсивность охлаждения тиристора с стандартным радиатором $K_{охл} = 1$

$$I_{cp} = \frac{2,25 \cdot 6,33}{3 \cdot 1} = 4,74 \text{ А}$$

Максимальная величина обратного напряжения:

$$U_{обр. max} = K_{zu} K_{U.обр} U_{до},$$

где $K_{zu} = 1,5 - 1,8$ – коэффициент запаса по напряжению;

Для трехфазной мостовой схемы $K_{U.обр} = 1,05$;

$$U_{до} \approx K_c K_a K_R U_f = 1,075 \cdot 1,075 \cdot 1,05 \cdot 271 = 328,8 В$$

$$U_{обр. max} = K_{zu} K_{U.обр} U_{до} = 1,6 \cdot 1,05 \cdot 328,8 = 552,4 В$$

При выборе тиристоров должно соблюдаться условие:

$$I_{доп.} \geq I_{ср.}, U_{обр. доп.} \geq U_{обр. max}.$$

По каталогу выберем тиристор КУ 228У III, с учетом того что возможны импульсные выбросы. Номинальные данные представлены в таблице 4.1

Таблица 4.1 - Параметры тиристора КУ 218 Д

$I_{дон} A$	$U_{обр. доп} B$	$U_{унр.} B$	$t_{вкл} 10^{-6} сек$
30	400	2	2

4.4 Построение внешней характеристики синхронного генератора работающего на выпрямитель

Если исходить из того, что при изменении частоты вращения ротора отношение $\frac{E_c}{X_c} = const$, то углы коммутации γ определяются только током нагрузки. $I_n = const$, в этом случае наклон внешней характеристики вентильного генератора определяется только падением напряжения, т.е., $\Delta U \equiv n$. Все выше изложенное учтено в дальнейших расчетах.

За базовый синхронный генератор примем генератор, рассчитанный в электромагнитном расчете.

Данные генератора:

$$U_{\phi n} = 132,8 В; \quad X_d = 0,228 \text{ Ом};$$

$$I_{\phi n} = 22,6 А; \quad X_q = 0,445 \text{ Ом}.$$

Определим индуктивное сопротивление коммутирующего контура:

$$X_2 = \sqrt{X_d X_q} = \sqrt{0,228 \cdot 0,445} = 0,319 \text{ Ом}$$

$$X_z = \frac{X_d + X_2}{2} = \frac{0,228 + 0,319}{2} = 0,273 \text{ Ом}$$

По внешней характеристике генератора (рис.1.7) зададимся значениями напряжений и найдём их амплитуду E_m :

$$E_{1m} = \sqrt{2} \cdot 102 = 187,8B;$$

$$E_{2m} = \sqrt{2} \cdot 100 = 184,3B;$$

$$E_{3m} = \sqrt{2} \cdot 97 = 182,4B;$$

Уточним угол коммутации выпрямителя при $\alpha = \pi/3$:

$$\gamma_1 = \arccos \left(\cos(\pi/3) - \frac{2I_{1n}X_z}{\sqrt{3}E_m} \right) - \frac{\pi}{3} = \arccos \left(\cos(60^\circ) - \frac{1 \cdot 0,574}{\sqrt{3} \cdot 187,8} \right) - 60^\circ = 0,24^\circ$$

$$\gamma_2 = \arccos \left(\cos(\pi/3) - \frac{2I_{1n}X_z}{\sqrt{3}E_m} \right) - \frac{\pi}{3} = \arccos \left(\cos(60^\circ) - \frac{3 \cdot 0,574}{\sqrt{3} \cdot 184,3} \right) - 60^\circ = 0,65^\circ$$

$$\gamma_3 = \arccos \left(\cos(\pi/3) - \frac{2I_{1n}X_z}{\sqrt{3}E_m} \right) - \frac{\pi}{3} = \arccos \left(\cos(60^\circ) - \frac{5 \cdot 0,574}{\sqrt{3} \cdot 182,4} \right) - 60^\circ = 1,314^\circ$$

Определим коэффициент $K_u = f(\gamma)$:

$$K_{u1} = \frac{2\pi}{3\sqrt{6}[\cos \alpha + \cos(\alpha + \gamma)]} = \frac{2\pi}{3\sqrt{6}[\cos 60^\circ + \cos(60^\circ + 0,24^\circ)]} = 0,86$$

$$K_{u1} = \frac{2\pi}{3\sqrt{6}[\cos \alpha + \cos(\alpha + \gamma)]} = \frac{2\pi}{3\sqrt{6}[\cos 60^\circ + \cos(60^\circ + 0,65^\circ)]} = 0,863$$

$$K_{u1} = \frac{2\pi}{3\sqrt{6}[\cos \alpha + \cos(\alpha + \gamma)]} = \frac{2\pi}{3\sqrt{6}[\cos 60^\circ + \cos(60^\circ + 1,314^\circ)]} = 0,87$$

Определим напряжение после тиристоров:

$$U_{1n} = \frac{E_{1m}}{K_{u1}} = \frac{188}{0,86} = 218,6 \text{ , В}$$

$$U_{2n} = \frac{E_{2m}}{K_{u2}} = \frac{184}{0,863} = 213 \text{ , В}$$

$$U_{3n} = \frac{E_{3m}}{K_{u3}} = \frac{182}{0,87} = 209 \text{ , В}$$

Определим коэффициент $K_I = f(\gamma)$:

$$K_{I1} = \sqrt{\frac{2}{3} - \frac{\gamma_1}{3\pi}} = \sqrt{\frac{2}{3} - \frac{0,24}{3\pi}} = 0,8;$$

$$K_{I2} = \sqrt{\frac{2}{3} - \frac{\gamma_2}{3\pi}} = \sqrt{\frac{2}{3} - \frac{0,65}{3\pi}} = 0,77;$$

$$K_{I3} = \sqrt{\frac{2}{3} - \frac{\gamma_3}{3\pi}} = \sqrt{\frac{2}{3} - \frac{1,314}{3\pi}} = 0,72;$$

Выберем значения постоянного тока до номинального предела и найдём фазный ток от этих значений при рассчитанном коэффициенте :

$$I_{1н} = 1A; \quad I_{1нф} = K_{I1} \cdot I_{1н} = 0,8 \cdot 1 = 0,8A.$$

$$I_{2н} = 3A; \quad I_{2нф} = K_{I2} \cdot I_{2н} = 0,77 \cdot 3 = 2,31A.$$

$$I_{3н} = 6A; \quad I_{3нф} = K_{I3} \cdot I_{3н} = 0,72 \cdot 5 = 4,32A.$$

Построим внешнюю характеристику генератора $U_n = f(I_n)$ при условии $\alpha = 60$ (рис.4.4). При работе генератора на зарядку аккумуляторов.

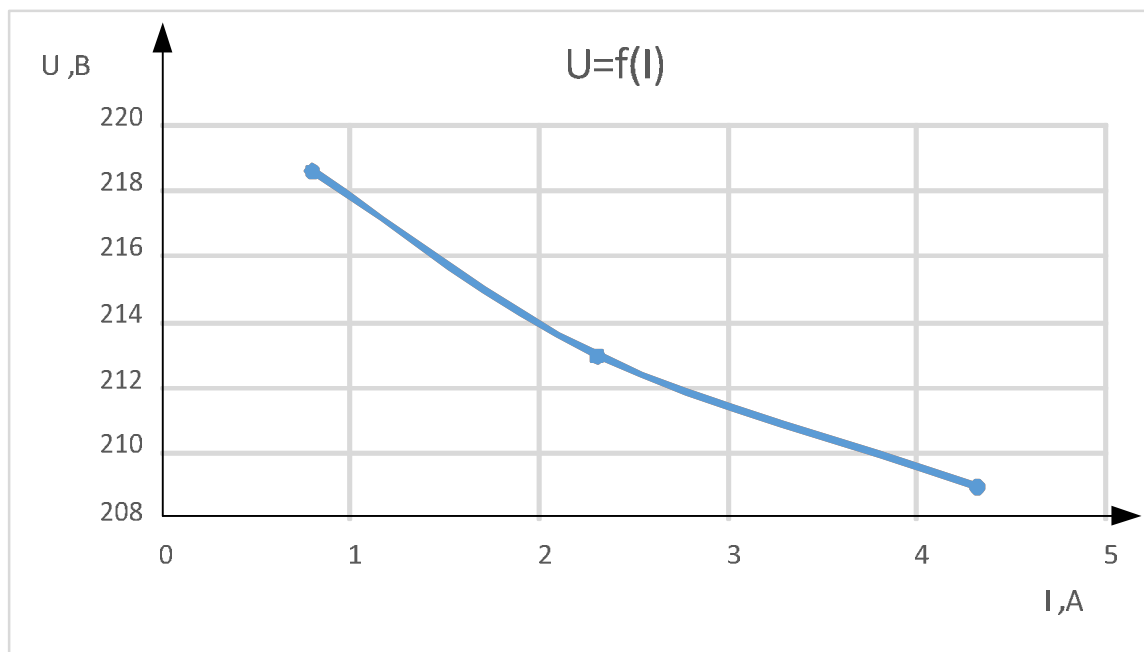


Рис.4.4 - Внешняя характеристика генератора

По характеристике мы наблюдаем что генератор у нас не загружен, так как для зарядки никель-кадмиевых аккумуляторных батарей требуется 6,3 А.

5. Технология общей сборки синхронного генератора на постоянных магнитах

Электротехническая промышленность является материальной основой электрификации страны, автоматизации и механизации производственных процессов. Машиностроение, поставляющее новую технику всем отраслям народного хозяйства, определяет технический прогресс страны. Повышение качества, технического уровня, надежности, долговечности технических изделий – важный фактор роста интенсивности производства. Эффективность производства, его технический прогресс, качество выпускаемой продукции во многом зависят от опережающего развития нового оборудования, машин, станков и аппаратов, от внедрения методов технико-экономического анализа, обеспечивающего решение технических вопросов и экономическую эффективность технологических и конструкторских разработок.

Производство электрических машин в последние годы характеризуется значительным повышением механизации и автоматизации технологических процессов. Основные промышленные серии машин производятся на специализированных предприятиях с широким использованием автоматических установок и линий. Различными проектно-технологическими институтами были разработаны типовые технологические процессы и специальное технологическое оборудование, что позволяет резко сократить время технологической подготовки производства и трудоемкость выпускаемых изделий. Освоен ряд новых материалов, позволяющих механизировать технологические процессы. В настоящее время перед технологами стоят задачи не только улучшения технологии и технологического оборудования, позволяющих совершенствовать конструкцию машин, а также повышение эффективности производства и получения наиболее экономичных изделий.

Задачей данной части работы является проектирование технологического процесса сборки синхронного генератора на постоянных магнитах.

Выполняется с целью демонстрации навыков по технологии изготовления электрических машин: размерному анализу конструкции электрической машины, составлению схемы сборки, маршрутной и операционной технологии сборки, техническому нормированию сборочных операций, разработке планировок.

Необходимо выполнить следующие задачи:

- Провести оценку технологичности конструкции генератора;
- Составить схему сборки и разработать маршрутную технологию сборки генератора;
- Выбрать оборудование, оснастку и подъемно-транспортные средства для изготовления обмотки ротора;
- Провести нормирование сборочных работ;
- Определить требуемое количество оборудования, исходя из годовой программы выпуска двигателей 6000 штук.

5.1 Анализ конструкции генератора на технологичность

Технологичностью конструкции изделия называют совокупность свойств изделия, определяющих возможность достижения минимальных затрат средств, труда, материалов и времени при технологической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации и ремонте по сравнению с однотипными конструкциями того же назначения при заданном уровне качества и принятых условиях изготовления, эксплуатации и ремонте.

Оценки технологичности конструкции могут быть количественными и качественными. Количественные показатели установлены в единой системе технологической подготовки производства (ЕСТПП), поэтому в работе технологичность изделия оценим качественно, руководствуясь общими принципами технологичности сборочных единиц, справочной литературой и личным опытом.

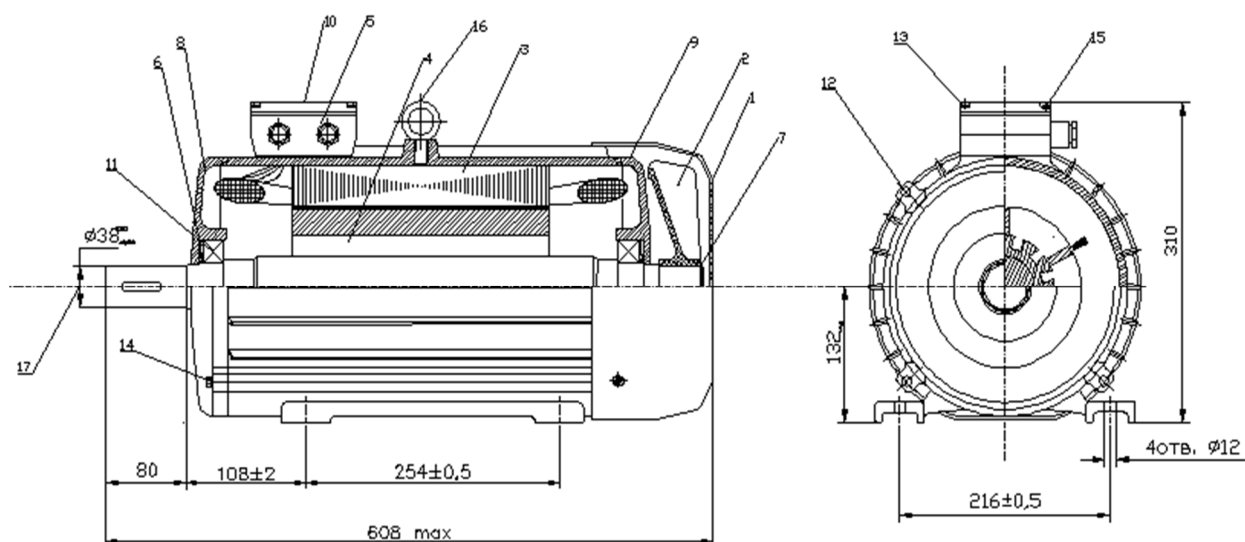


Рис.5.1-Генератор к анализу конструкции на технологичность

Генератор(рис.5.1) состоит из двух самостоятельных узлов: статор (поз.3) и ротор (поз.4). Каждый из узлов содержит не более 12 составных частей. Это позволяет обеспечить возможность их параллельной сборки, автономного контроля, испытания и замены.

При общей сборке генератора отсутствуют шпоночные, шплинтовые и другие соединения, которые трудно осуществить автоматически и исключён трудный доступ инструмента для соединения деталей и сборочных единиц. Сопрягаемые поверхности в целом только подшипники на валу (поз.11) и щиты подшипниковые (поз.8 и 9) со статором и с подшипниками.

В конструкции генератора исключена необходимость проведения промежуточной разборки и повторной сборки его составных частей. Из стандартных составных частей в двигателе только метизы (болты, винты, шайбы) и подшипники.

Конструкция генератора позволяет выполнить общую сборку по методу полной взаимозаменяемости.

Базовая деталь статор. Для обеспечения устойчивости и необходимой точности установки станина наибольшая по габаритам деталь, не деформирующаяся под действием сборочных усилий, имеет развитые базовые опорные поверхности и позволяет проводить сборку в основном без изменения её положения.

В общей сборке генератора нет подгоночных работ, доработки и доводки деталей в процессе сборки, индивидуальной регулировки их взаимного расположения.

Данная оценка говорит, что генератор вполне технологичен для серийного производства.

Для разборки генератора при его обслуживании и ремонте предусмотрены в зоне болтов, крепящих подшипниковые щиты к станине, зазоры, позволяющие отжать щит с помощью отвертки или монтажки. Так же фланцевая форма переднего подшипникового щита позволяет снять её слабым постукиванием молотка.

5.2 Расчет размерных цепей методом полной взаимозаменяемости

Размерной цепью называют совокупность взаимосвязанных размеров, образующих замкнутый контур и определяющих взаимное положение поверхностей (или осей поверхностей) одной или нескольких деталей.

Каждый из размеров, образующих размерную цепь, называют звеном. Любая размерная цепь имеет одно замыкающее звено и одно или несколько составляющих. Замыкающим звеном размерной цепи называют звено, исходное при постановке задачи расчета размерной цепи, или полученное в результате ее решения. Составляющие звенья могут быть увеличивающими или уменьшающими. Увеличивающим называют звено, при увеличении которого (при прочих постоянных) замыкающее звено увеличивается, а уменьшающим – звено, при увеличении которого замыкающее звено уменьшается.

Решение задачи расчета размерных цепей при разработке технологического процесса сборки выполняется с целью определения базовых размеров на деталях, выявления не указанных на чертежах зазоров в многозвенных цепях, проверки возможности сборки и отсутствия задеваний вращающихся и неподвижных элементов, снижения точности задания размеров составных частей, определения размеров компенсирующего звена и пр..

Полная взаимозаменяемость — это свойство независимо изготовленных с заданной точностью деталей и сборочных единиц обеспечивать возможность беспригонной сборки или замене при ремонте сопрягаемых деталей и сборочных единиц при соблюдении предъявляемых к изделию требований.

Сущность метода полной взаимозаменяемости состоит в том, что точность замыкающего звена обеспечивается у всех без исключения изделий без какого-либо подбора звеньев или их пригонки. При этом допуски составляющих звеньев рассчитываются по методу минимума-максимума, при котором учитываются только предельные отклонения составляющих звеньев.

В данной части дипломного проекта рассчитаем прямую задачу для замыкающих звеньев: X_1 — осевой зазор между вентилятором и щитом подшипниковым (тепловой зазор) и X_2 — между лобовой частью обмотки и подшипниковым щитом (рис.4.2). В прямой задаче следует установить допуски и предельные отклонения всех составляющих звеньев по параметрам замыкающего звена с использованием регулировочного звена.

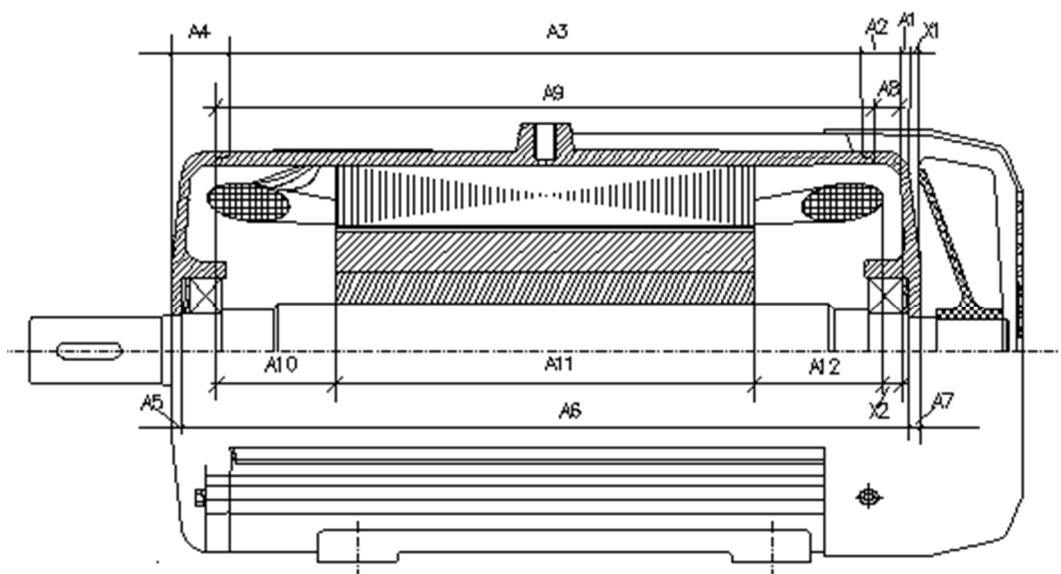


Рис.5.2-Размерные цепи генератора

Исходные данные:

$X1=5\pm1$ мм – замыкающее звено первой размерной цепи;

$X2=10^{+2}$ мм – замыкающее звено второй размерной цепи.

Размеры составляющих звеньев возьмём из сборочного чертежа с учётом масштаба изображения.

1) Для замыкающего звена $X1$ начертим схему размерных цепей (рис.5.3).

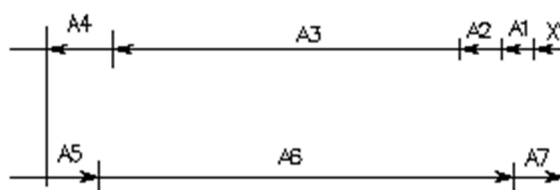


Рис.5.3-Схема размерных цепей для замыкающего звена $X1$

$A5, A6, A7$ – увеличивающие звенья;

$A1, A2, A3, A4$ – уменьшающие звенья.

Уравнение первой размерной цепи:

$$X1 = A5 + A6 + A7 - A1 - A2 - A3 - A4 = 7 + 442 + 7 - 6 - 25 - 385 - 35 = 5 \text{ мм};$$

Средний размер составляющих звеньев первой размерной цепи:

$$A_{cp1} = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6 + A7) / 7 = (6 + 25 + 385 + 35 + 7 + 442 + 7) / 7 = 129,6 \text{ мм}.$$

Допуск на замыкающее звено первой размерной цепи: $IT_{X1} = 1 - (-1) = 2 \text{ мм}.$

Величина среднего допуска первой размерной цепи: $IT_{cp1} = 2/7 = 0,3 \text{ мм}.$

Используя средний размер составляющих звеньев и величину среднего допуска найдем квалитет для каждого звена (табл.1.8 [7]) и составим таблицу 5.1, заполняя её результатами расчётов, допусков и отклонений для первой размерной цепи. Допуск на размер составляющих звеньев находится в пределах 12-го квалитета.

Звено $A6$ назначим регулирующим звеном.

Допуск на регулирующее звено $A6$ равен:

$$IT\Delta X1-(IT\Delta 1+IT\Delta 2+IT\Delta 3+IT\Delta 4+IT\Delta 5+IT\Delta 6+IT\Delta 7)=$$

$$=2-(0,14+0,25+0,57+0,25+0,15+0,15)=0,49\text{мм.}$$

Среднее отклонение равно:

$$\Delta A6=\Delta A1 +\Delta A2+\Delta A3 +\Delta A4+\Delta A5 -\Delta A7+\Delta X1=$$

$$=0+(-0,125)+(-0,285)+(-0,125)+(-0,075)-0,075+0= -0,6850\text{мм.}$$

Таблица 5.1 – Размеры, допуски и отклонения первой размерной цепи

Звено	Пред.размер	Допуск	Среднее откл.	Средний размер
A1	$6\pm 0,07$	0,14	0	6
A2	$25_{-0,25}$	0,25	-0,125	24,875
A3	$385_{-0,57}$	0,57	-0,285	384,715
A4	$35_{-0,25}$	0,25	-0,125	34,875
A5	$7^{+0,15}$	0,15	0,075	7,075
A6	$442_{-0,93}^{-0,44}$	0,49	-0,685	441,315
A7	$7^{+0,15}$	0,15	0	6

Номинальный размер:

$$A6^{\max}=A6+ \Delta A6+ IT A6 /2=442-0,685+0,49/2=441,56\text{мм.}$$

$$A6^{\min}= A6+ \Delta A6-IT A6 /2=442-0,685-0,49/2=441,07\text{мм.}$$

Предельный размер составляющего звена $A6= 442_{-0,93}^{-0,44}$ мм.

Произведём проверку цепи $\Delta X1$:

$$\Delta X1^{\max}=(A5^{\max}+A6^{\max}+A7^{\max})-(A1^{\min}+A2^{\min}+A3^{\min}+A4^{\min})=$$

$$=(7,15+441,56+7,15)-(5,93+24,75+384,43+34,75)=6\text{мм.}$$

$$\Delta X1^{\min}=(A5^{\min}+A6^{\min}+A7^{\min})-(A1^{\max}+A2^{\max}+A3^{\max}+A4^{\max})=$$

$$=(7+441,07+7)-(6,07+25+385+35)= 4\text{мм.}$$

Расчетное значение замыкающего звена удовлетворяет заданному допуску звена $\Delta X1=5\pm 1\text{мм.}$

2) Для замыкающего звена $X2$ начертим схему размерных цепей (рис.4.4).

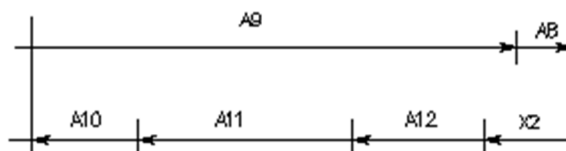


Рис.5.4-Схема размерных цепей для замыкающего звена X2

A8,A9– увеличивающие звенья;

A10, A11,A12– уменьшающие звенья.

Уравнение второй размерной цепи:

$$X2= A8+A9-A10-A11-A12=12+402-70-254-80=10\text{мм};$$

Средний размер составляющих звеньев второй размерной цепи:

$$A_{\text{ср}}=(A8+A9+A10+A11+A12)/5=(12+402+70+254+80)/5=163,6\text{мм}.$$

Допуск на замыкающее звено второй размерной цепи: $ITX2= 2-0=2\text{мм}.$

Величина среднего допуска второй размерной цепи: $IT_{\text{ср}2}=2/5=0,4\text{мм}.$

Допуск на размер составляющих звеньев находится в пределах 12-го качества. Назначим данный допуск оставшимся звеньям этой цепи и так же составим таблицу 5.2 с учётом размеров, допусков и отклонений.

Таблица 5.2– Размеры, допуски и отклонения второй размерной цепи

Звено	Пред.размер	Допуск	Среднее откл.	Средний размер
A8	12±0,09	0,18	0	12
A9	402 ^{+1,35} _{+0,65}	0,7	1	403
A10	70±0,15	0,3	0	70
A11	254±0,26	0,52	0	254
A12	80±0,15	0,3	0	80

Назначим регулирующим звеном A9.

Допуск на регулирующее звено A9 равен:

$$IT_{A9}= ITX2-(IT_{A8}+IT_{A10}+IT_{A11} +IT_{A12})= \\ =2-(0,18+0,3+0,52+0,3)=0,7\text{мм}.$$

Среднее отклонение равно:

$$\Delta A9=-\Delta A10+ \Delta A11+\Delta A12-\Delta A8+\Delta X2= 0+0+0-0 +1=1\text{мм}.$$

Номинальный размер:

$$A9^{\text{max}}=A9+ \Delta A9+ IT_{A9}/2=402+1+0,7/2=403,35\text{мм};$$

$$A9^{\text{min}}= A9+\Delta A9- IT_{A9}/2=402+1-0,7/2=402,65\text{мм}.$$

Предельный размер составляющего звена A5= 402^{+1,35}_{+0,65} мм.

Произведём проверку:

$$X2^{\max} = (A8^{\max} + A9^{\max}) - (A10^{\min} + A11^{\min} + A12^{\min}) =$$

$$= (12,09 + 403,35) - (69,85 + 253,74 + 79,85) = 12 \text{ мм.}$$

$$X2^{\min} = (A8^{\min} + A9^{\min}) - (A10^{\max} + A11^{\max} + A12^{\max}) =$$

$$= (11,91 + 402,65) - (70,15 + 254,26 + 80,15) = 10 \text{ мм.}$$

Расчёт соответствует исходному значению $X2 = 10^{+2} \text{ мм.}$

5.3. Выбор оборудования и инструментов

Содержание операции определяют тип, основные размеры и технологическую характеристику сборочного оборудования, технологической оснастки (приспособлений, рабочего и измерительного инструмента) и подъемно-транспортных средств. При серийном производстве технологическое оборудование и оснастку применяют универсального, переналаживаемого типа. В массовом производстве преимущественно применяют специальное оборудование и оснастку. Тип, основные размеры и грузоподъемность подъемно-транспортных средств определяют по установленной организационной форме сборки, размерной характеристике изделия и его массе.

К технологическому оборудованию, предназначенному непосредственно для выполнения работ по осуществлению подвижных или неподвижных сопряжений деталей, их регулировке и контролю в процессе узловой и общей сборки обычно относят прессы, оборудование для балансировки, мойки, нагрева, клеймения, заправки смазками, сборочные стенды. Для выполнения пригоночных работ могут быть применены различные виды металлорежущего оборудования.

Приспособления, применяемые при сборке, по степени специализации разделяют на универсальные и специальные; по степени автоматизации – на ручные, механизированные, полуавтоматические и автоматические; по типу привода – на механические, пневматические, гидравлические и пневмо-гидравлические; по назначению – на установочно-зажимные, для точной и быстрой фиксации сопрягаемых деталей, для предварительного деформирования упругих элементов, для захвата, подъема и перемещения

деталей и сборочных единиц. По виду выполняемых работ их разделяют на приспособления для запрессовки, клепки, развальцовки, свинчивания, гибки, пайки и др.

Инструменты, применяемые при сборке делят на ручной слесарно-сборочный инструмент и ручные машины для слесарно-пригоночных и сборочных работ. К ручному инструменту относят различного назначения и конструкции гаечные ключи, шпильковерты, щипцы, кусачки, плоско и круглогубцы, слесарные молотки, напильники, керны, зубила. Основным средством механизации слесарно-пригоночных работ являются ручные машины, повышающие производительность труда в 3-10 раз по сравнению с ручным инструментом. Ручные машины (механизированный инструмент) - группа технологических машин со встроенными генераторами, масса которых (обычно 1,5-10 кг) полностью или частично воспринимается руками оператора, управляющего машиной. Для приведения в движение рабочего органа в ручных машинах используют пневматические, электрические и реже гидравлические приводы. По назначению различают ручные машины общего применения (сверлильные, шлифовальные и полировальные, фрезерные), для слесарно-доводочных работ (развальцовочные, развертывающие, зенковальные, опиловочные, ножницы, кромкорезы, шаберы, пилы по металлу, зачистные и рубильные молотки), для сборочных работ (резьбозавертывающие, резьбонарезные, клепальные молотки, скобо-забивные).

Выбор оборудования

Для сборки узлов изделия в целом применяем верстак. Для испытания генератора на механическую прочность и работу в режимах холостого хода и короткого замыкания используем комплексный испытательный стенд КСПАД. Для проверки электрической прочности применим мегаомметр ЭС0202/1Г. Для нагрева подшипников применим индукционную установку Ид-100. Для продувки сборочных единиц и деталей применим автомат для продувки СМ-32.

Выбор инструмента

Для повышения производительности применим механизированный инструмент.

Для наворачивания гаек используем электрогайковёрт ИЭ 3113, наибольший диаметр резьбы 15мм, момент затяжки 125Н×м, масса 3,8кг, габаритные размеры 363×70×243 мм, питание от сети 220 В.

Для наворачивания винтов используем электровинтовёрт ИЭ 3606, наибольший диаметр резьбы 6мм, момент затяжки 15Н×м, габаритные размеры 320×70×130 мм, питание от сети 220 В.

Ротор и статор собирают отдельно друг от друга и затем они поступают на участок общей сборки.

Выбор подъемно-транспортных средств

Для транспортировки деталей, сборочных единиц и готовых изделий применим механизированную линию.

Для хранения используем ящик 300×200мм. Для подъёма, перемещения, опускания используем кран-балку Q=1т.

5.4. Расчет норм времени, программы выпуска, загрузки оборудования и построение графика загрузки оборудования.

Технически обоснованной нормой времени называют регламентированное время выполнения технологической операции в определенных организационно-технических условиях, наиболее благоприятных для данного производства.

Штучным временем называют отношение времени выполнения технологической операции к числу изделий одновременно собираемых на одном рабочем месте.

При расчетно-аналитическом методе технически обоснованную норму времени устанавливают на каждую сборочную операцию.

Штучное время равно

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{об} + T_{п},$$

где T_o – основное(технологическое) время (см. нормативы в[10]);

T_v – вспомогательное время (см. нормативы в[10]);

$T_{об}=0,05T_{оп}$ –время организационного обслуживания рабочего места;

$T_{п}=0,03T_{оп}$ – время перерывов для удовлетворения естественных надобностей и отдыха рабочего.

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

$$T_{оп} = T_o + T_v .$$

Основное время учитывает изменение состояния продукта производства в процессе сборки. Оно затрачивается на выполнение соединений, регулирование, пригонку сопрягаемых деталей, подбор и размерную сортировку деталей, подготовку деталей к сборке. При слесарных работах и сборке основное время нормируют по соответствующим нормативам.

Вспомогательное время учитывает действия, которые сопровождают и обеспечивают выполнение основной работы. Оно включает время на установку, закрепление и снятие собираемой части изделия, управление механизмом и оборудования, а также на контроль выдерживаемых при сборке размеров. Вспомогательное время находят суммированием элементов времени на выполнение перечисленных действий по всем переходам операции, устанавливаемых по нормативам вспомогательного времени. Как и основное, вспомогательное время может быть ручным, машинно-ручным и машинным.

Время организационного обслуживания рабочего места учитывает затраты времени на подготовку рабочего места к началу работы, замены инструмента в процессе работы, уборку рабочего места в конце смены, смазку и чистку сборочного оборудования и приспособлений и т.п.. Его определяют в процентах от оперативного времени по нормативам (обычно в пределах 0,6-8%).

Время перерывов в работе на отдых и личные надобности определяют по нормативам, в процентном отношении к оперативному времени (в среднем 2,5%).

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

$$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{пз}/п$$

где $T_{пз}=0,02T_{оп}$ – подготовительно заключительное время;

$п=N \times k/12=4500 \times 1,03/12=387$ шт/мес. – число изделий в партии;

$N=4500$ шт/год – годовая программа выпуска;

$k=1,03$ – коэффициент, учитывающий брак.

Подготовительно заключительным называют время, которое затрагивает сборщик на ознакомление с чертежом изделия, подготовку и наладку оборудования, приспособлений и инструментов, снятие и сдачу инструментов и приспособлений после выполненной работы и сдачу собранных изделий.

Согласно изложенному, приведём пример для операции на продувочном автомате (операция №5).

$T_o=0,08$ мин. [10] – продуть детали и узлы сухим сжатым воздухом;

$T_v=0,06$ мин [10] – осмотреть визуально брак, включить – выключить автомат;

$$T_{оп} = T_o + T_v = 0,08 + 0,06 = 0,14 \text{ мин}$$

$T_{об}=0,05T_{оп}=0,05 \cdot 0,14=0,01$ мин [10] – убрать мусор, протереть станок от пыли и замазученности.

$T_{п}=0,03T_{оп}=0,03 \cdot 0,14=0,004$ мин [10] – время перерывов для удовлетворения естественных надобностей и отдыха.

$T_{пз}=0,02T_{оп}=0,02 \cdot 0,14=0,003$ мин [10] – ознакомиться с чертежом, сдать готовое изделие далее.

$T_{шт}=T_o+T_v+T_{об}+T_{п}=0,08+0,06+0,01+0,004=0,15$ мин [10] – штучное время.

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n} = 0,15 + \frac{0,003}{515} = 0,15_{мин}$$

Аналогично рассчитаем другие операции и отобразим нормы времени по операциям в таблице 5.3.

Таблица 5.3

Переход	№ опер	То.	Тв.	Топ.	Тоб.	Тп.	Тпз.	Тшт.	Тшт. к.
Продувка Автомат для продувки	5	0,08	0,06	0,14	0,01	0,00 ₄	0,00 ₃	0,15	0,15
Установка для нагрева	10	1,00	0,12	1,12	0,06	0,03	0,02	1,21	1,21
Собрать генератор в сборе Верстак	15	15,50	0,20	15,7 ₀	0,79	0,47	0,31	16,9 ₆	16,96
Испытания генератора Испытательный стенд	20	20,00	0,30	20,3 ₀	1,02	0,61	0,41	21,9 ₂	21,92
Контрольная	30	10,00	0,20	10,2 ₀	0,02	0,01	10,0 ₀	10,2 ₃	10,25

Для определения количества оборудования необходимо знать объем выпуска изделий – 4500шт/год, нормы времени (табл.3.3), а эффективный годовой фонд времени работы одного станка при 40 – часовой рабочей неделе с двумя выходными можно рассчитать по формуле

$$F_d = ((365 - V_d - P_d) \times 8) - P_{pd}) \times Z \times K_p =$$

$$= ((365 - 104 - 14) \times 8) - 6) \times 1 \times 0,96 = 1891 \text{ часов,}$$

где $V_d=104$ – Количество выходных дней в году;

$P_d=14$ – количество праздничных дней в году;

$P_{pd}=6$ – количество предпраздничных дней в году;

$K_p=0,96$ – коэффициент, учитывающий время станка в ремонте;

$Z=1$ – количество смен работы оборудования;

Расчётное число каждого из видов сборочного оборудования равно:

$$C_p = (T_{штк} \times N) / (60 \times F_d) ;$$

Автомат для продувки (продувка):

$$C_{рв} = (0,15 \times 4500) / (60 \times 1891) = 0,006, \text{принимаем: } C_{прв} = 1;$$

Установка индукционного нагрева (нагрев подшипников):

$$C_{рв} = (1,21 \times 4500) / (60 \times 1891) = 0,048, \text{принимаем: } C_{прв} = 1;$$

Для верстака (собрать генератор):

$$C_{рв} = (16,96 \times 4500) / (60 \times 1891) = 0,673, \text{принимаем: } C_{прв} = 1;$$

Для испытательного стенда (испытание генератора):

$$C_{рп} = (21,92 \times 4500) / (60 \times 1891) = 0,869, \text{принимаем: } C_{прв} = 1;$$

Контроль установочно-присоединительных размеров:

$$C_{рп} = (10,25 \times 4500) / (60 \times 1891) = 0,406, \text{принимаем: } C_{прв} = 1;$$

Таким образом коэффициент загрузки :

$$K_z = (C_p / C_{пр}) \times 100$$

Автомат для продувки:

$$K_{зв} = (0,006 / 1) \times 100 = 0,6 \%$$

Установка индукционного нагрева:

$$K_{зв} = (0,048 / 1) \times 100 = 4,8 \%$$

Для верстака (сборка генератора):

$$K_{зв} = (0,673 / 1) \times 100 = 67,3 \%$$

Для испытательного стенда:

$$K_{зв} = (0,869 / 1) \times 100 = 86,9 \%$$

Для контроля:

$$K_{зв} = (0,406 / 1) \times 100 = 40,6 \%$$

Построим график загрузки оборудования (рис.5.5).

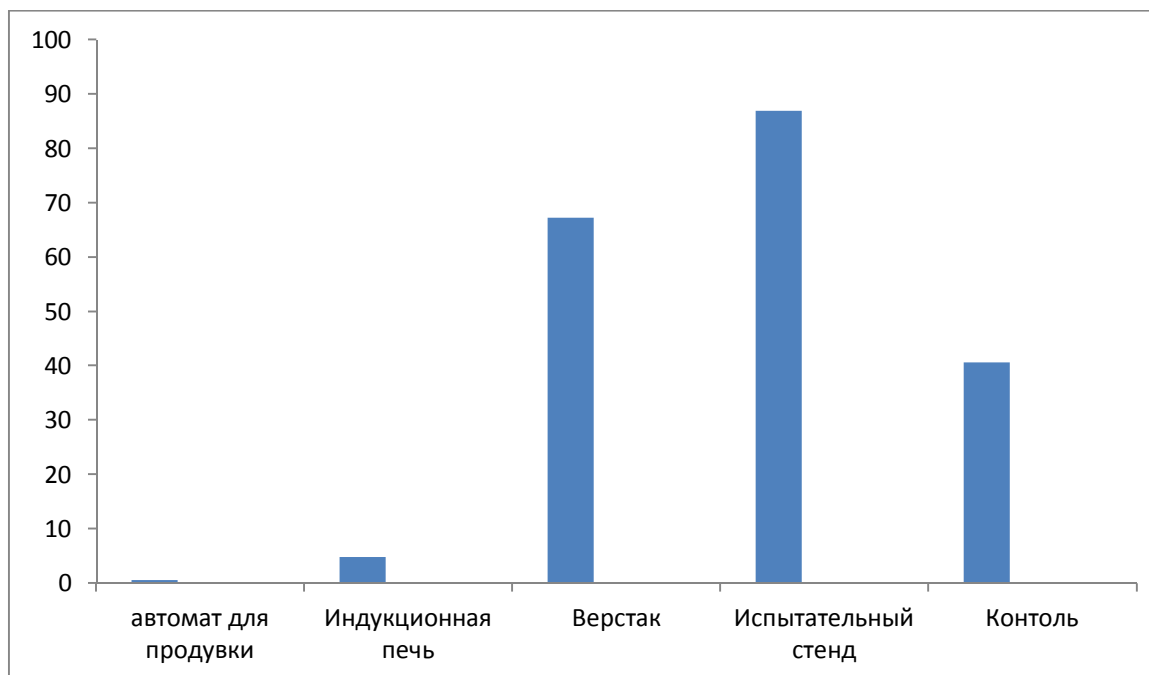


Рис.5.5-График загрузки оборудования

В данном случае самым загруженным оборудованием является верстак, на котором собирается генератор в количестве 1 штуки.

Из формулы $C_p = (T_{штк} \times N) / (60 + F_g)$ выразим N , подставив C_p вместо C_p .

$$N = (60 \times F_d \times C_p) / T_{штк} = (60 \times 1891 \times 1) / 21,92 = 5176 \text{ шт/год.}$$

Т.к. $5176 > 4500$, то программа выпуска выполняется.

5.5. Разработка маршрутной технологии

Последовательность сборки в основном определяется конструкцией изделия, компоновкой деталей и методами достижения требуемой точности и может быть представлена в виде технологической схемы сборки.

Схема сборки, являясь первым этапом разработки технологического процесса, в наглядной форме отражает маршрут сборки изделия и его составных частей. Технологическую схему сборки составляют на основе сборочных чертежей изделия. На схеме каждый элемент изделия обозначают прямоугольником, в котором указывают наименование составной части, обозначение (или позицию на чертеже) и количество.

Схема сборки позволяет отразить маршрут сборки изделия, выделить составные части изделия, которые можно собрать отдельно (организовать

параллельную сборку составных частей); оценить предварительно трудоемкость сборки отдельных составных частей; иногда выявить конструктивные неувязки; выявить и сравнить варианты технологического процесса. Схема общей сборки проектированного асинхронного генератора на рисунке 4.5. Здесь все основные сборочные единицы генератора (статор, ротор) уже собраны и схема показывает в какой последовательности их нужно соединить.

В качестве базовой детали принимаем статор (поз.1), т.к. зафиксировав его в приспособлении, легко с обеих сторон производить сборку. Просовываем в внутрь статора ротор в сборе с щитом подшипниковым, т.е. на ротор одет щит подшипниковый (поз.8) и подшипники (поз.11), предварительно нагретые (горячая запрессовка). Потом одеваем на статор подшипниковый щит (поз.9), просовываем через крепёжные отверстия болты с шайбами и стягиваем щиты на статоре гайками. Во избежание заклинивания, вследствие кривой посадки по вине сборщика или бракованных деталей, следует прокрутить вал в разные стороны по несколько раз. После, ставим шпонку, надеваем колпак на передний конец вала и отправляем на приёмо-сдаточные испытания.

На основании выше сказанного заполним маршрутные карты (Приложение 1).

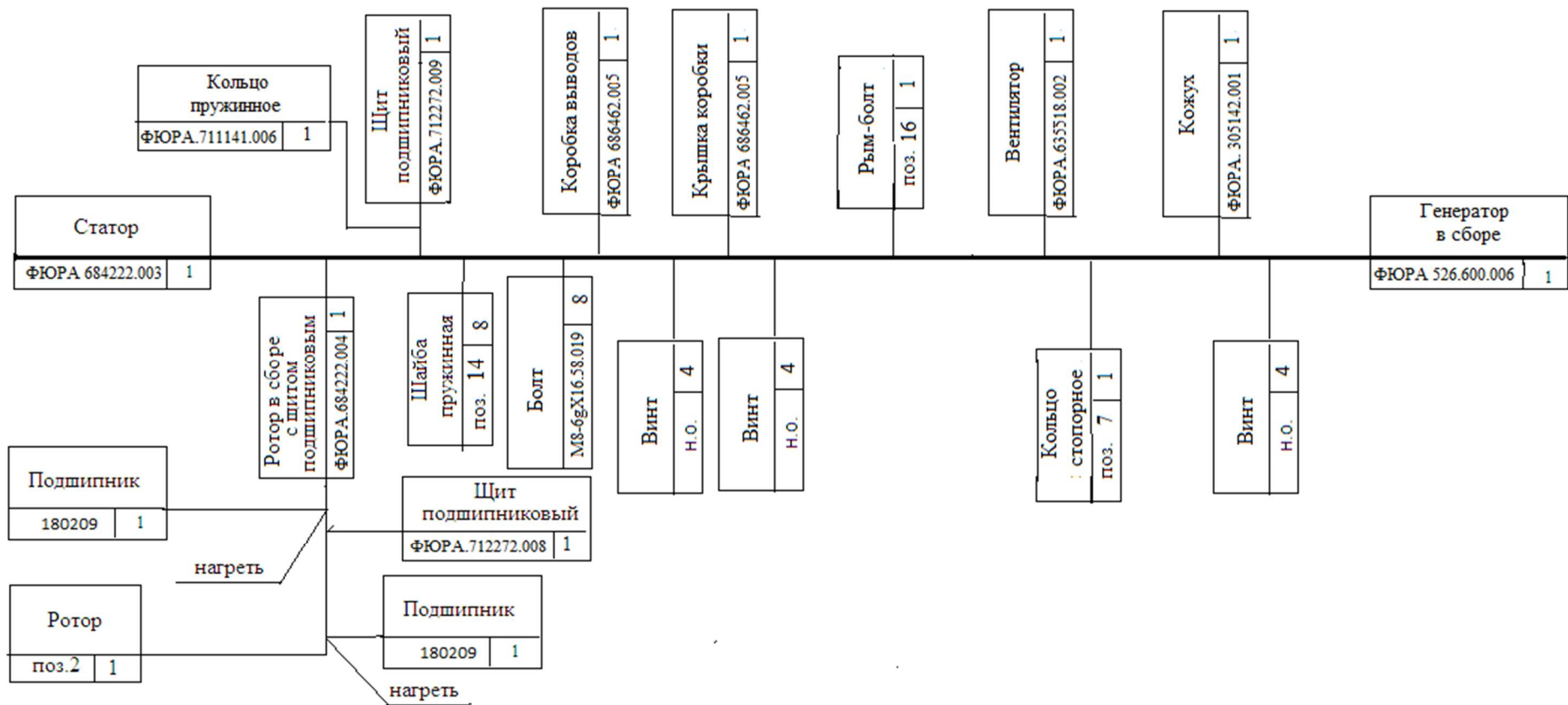


Рис.5.6-Схема сборки генератора

6. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсаэффективности

6.1. Смета затрат на проектирование

В проектировании данного электродвигателя принимали участие два инженерных работника: научный руководитель (НР) и инженер (И).

Распределение работы между работниками, проектирующими сводим, в таблицу 1

Таблица 6.1 – План разработки выполнения этапов проекта.

№ п/п	Перечень выполняемых работ	Исполнители	Продолж. (дней)
1	Определение целей и задач. Составление и утверждение ТЗ.	НР И	1
2	Подбор и изучение материалов по теме.	И	2
3	Проектирование модели.	И	4
4	Электромагнитный расчет синхронного генератора.	И	12
5	Проверка полученных результатов	НР И	3
6	Подготовка и составление схем, чертежей	И	4
7	Расчет технологической части проекта	И	3
8	Расчет экономической составляющей проекта.	И	3
9	Составление раздела по социальной ответственности	И	2
10	Оформление расчетно-пояснительной записки	И	1
11	Проверка расчетно-пояснительной записки и чертежей	НР И	2
Занятости исполнителей		НР	6
		И	37
Длительность работы, дней			37

По данным таблицы 1 построим график занятости исполнителей.

Таблица 6.2 – График занятости исполнителей

Исполнители	Дни для выполнения проекта																																					В %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
НР	■																		■	■	■															■	■	16
И	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	100

6.2. Смета затрат на подготовку проекта

Суммарные издержки на проектирование определяем по выражению:

$$\sum I_{\text{проекта}} = I_{\text{з.пл}} + I_{\text{соц}} + I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{накл}},$$

где $I_{\text{з.пл}}$ - издержки на заработную плату;

$I_{\text{соц}}$ - издержки на социальные отчисления;

$I_{\text{мат}}$ - материальные издержки;

$I_{\text{ам}}$ - амортизационные издержки;

$I_{\text{пр}}$ - прочие издержки;

$I_{\text{накл}}$ - накладные расходы.

Издержки на заработную плату представлены в таблице 3.

Таблица 6.3 – Единая тарифная сетка с учетом занимаемой должности

Должность	Оклад	Допл	Коэф. за отпуск	Р. К.	Зп. за месяц	Ср.зп. за один день	Кол-во дн. раб.	ФЗП
Научный руководитель	23300	2200	1,1	1,3	36128,75	1720,417	6	10322,5
Инженер	14500		1,1	1,3	20735	987,381	37	36533,1
Итого					77363	3684		41 185,65

$$I_{\text{з.пл.}} = \frac{(3 \cdot k_1 + D) \cdot k_2}{21} \cdot X \quad \text{или} \quad I_{\text{з.пл.}} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2)}{21} \cdot X$$

где: 3 – оклад;

D – доплата за интенсивность труда

k_1 - коэффициент за отпуск (1,1);

k_2 - районный коэффициент (1,3);

21 - количество рабочих дней в месяце;

X - количество рабочих дней, затраченных на проект (3 дня).

Зарплата.

Расчет для научного руководителя

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 + D) \cdot k_2}{21} \cdot X = \frac{(23300 \cdot 1,1 + 2200) \cdot 1,3}{21} \cdot 6 = 10322,5 \text{ (руб.)}$$

Расчет для инженера

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2)}{21} \cdot X = \frac{14500 \cdot 1,1 \cdot 1,3}{21} \cdot 37 = 36533,1 \text{ (руб.)}$$

Тогда:

$$I_{з.пл\Sigma} = \sum I_{з.пл} = 10322,5 + 36533,1 = 46855,6 \text{ (руб.)}$$

6.3. Отчисления на социальные нужды.

В статью расходов «отчисления на социальные нужды» закладывается обязательные отчисления по установленным законодательством нормам. Органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования, от элемента «затраты на оплату труда». Размер отчислений на социальные нужды составляет 30% от ФЗП.

$$I_{соц} = 0,3 \cdot I_{з.пл\Sigma} = 0,3 \cdot 46855,6 = 10683,6 \text{ (руб.)}$$

6.4. Материальные затраты на канцелярские товары.

Материальные затраты на канцелярские товары примем в размере 1000 руб. (в условиях цен на канцелярские товары в настоящее время).

$$I_{mat} = 1000 \text{ (руб.)}$$

6.5. Амортизация вычислительной техники.

Основной объем работ по разработке проекта был выполнен на персональном компьютере первоначальной стоимостью 30 000 рублей.

Произведём расчёт амортизации стоимости ПК

$$I_{ам} = \frac{T_u}{T_{кал}} \cdot \Phi_{кт} \cdot H_{\phi} = \frac{37}{365} \cdot 30000 \cdot \frac{1}{7} = 434,44 \text{ (руб)}$$

где T_u - количество отработанных дней на ПК;

$T_{кал}$ - количество календарных дней в году;

$\Phi_{кт}$ - первоначальная стоимость ПК;

$H_{\phi} = \frac{1}{T_{сл}}$ - срок полной амортизации.

6.6. Прочие неучтенные затраты.

Прочие неучтенные прямые затраты включают в себя все расходы связанные с налоговыми сборами (не предусмотренными в предыдущих статьях), отчисления внебюджетные фонды, платежи по страхованию, оплата услуг связи, представительские расходы, затраты на ремонт и прочее. Принимаем размер прочих затрат как 10% от суммы расходов на материальные затраты, услуги сторонних организаций, амортизации оборудования, затрат на оплату труда, отчисления на социальные нужды.

$$\begin{aligned} I_{np} &= 0,1 \cdot (I_{з.пл} + I_{соц} + I_{мат} + I_{ам}) = \\ &= 0,1 \cdot (46855,6 + 14056,68 + 1000 + 434,44) = 6234,67 (\text{руб}) \end{aligned}$$

6.7. Накладные расходы.

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Примем их за 200% от ФЗП.

$$I_{накл} = 2 \cdot 46855,6 = 93711,19 (\text{руб})$$

6.8. Себестоимость проекта

$$\begin{aligned} \sum I_{проекта} &= I_{з.пл} + I_{соц} + I_{мат} + I_{ам} + I_{np} + I_{накл} = \\ &= 46855,6 + 14056,68 + 1000 + 434,44 + 6234,67 + 93711,19 = 162292,58 (\text{руб}) \end{aligned}$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 4.

Таблица 6.4 – Смета затрат на подготовку проекта

№ п/п	Наименование	Обозначение	Сумма, руб.
1	Заработная плата	$I_{з.пл} \Sigma$	46855,60
2	Социальные отчисления	$I_{соц}$	14056,68
3	Материальные затраты	$I_{мат}$	1000,00
4	Амортизационные отчисления	$I_{ам}$	434,44
5	Прочие издержки	I_{np}	6234,67
6	Накладные расходы	$I_{накл}$	93711,19
7	Себестоимость проекта	$\sum I_{проекта}$	162292,58

6.9. Оценка технического уровня

Промышленная продукция, которая по показателям технического уровня и качества превосходит лучшие отечественные и зарубежные достижения или соответствует им, определяет технический прогресс, обеспечивает значительное повышение производительности труда, экономию материалов, топлива и электроэнергии, экологически безопасна, удовлетворяет потребности населения страны, и конкурентоспособна на внешнем рынке. Эта продукция должна характеризоваться стабильностью показателей технического уровня и качества, основанной на строгом соблюдении технологической дисциплины и высокой культуре производства. На продукцию высшей категории качества изготовителем должны обеспечиваться повышенные гарантии надежности, безопасности и других важнейших показателей качества.

Промышленная продукция, которая по показателям технического уровня и качества соответствует современным требованиям стандартов (технических условий), экологически безопасна, удовлетворяет потребности народного хозяйства и населения страны, характеризуется стабильностью показателей технического уровня и качества, основанной на строгом соблюдении технологической дисциплины и высокой культуре производства.

Промышленная продукция, которая по показателям технического уровня и качества не соответствует современным требованиям народного хозяйства и населения страны, морально устарела и подлежит модернизации или снятию с производства.

Общей схемой количественного анализа конкурентоспособности, которая может применяться на любом этапе существования изделий, является следующая:

1. Выбор базового образца, аналогичного по назначению и условиям эксплуатации с оцениваемой продукцией.
2. Определение перечня нормативных, технических и экономических параметров, подлежащих исследованию (показать в таблице).

3. Сравнение (по каждой из групп параметров) имеющихся параметров с соответствующими параметрами потребности, необходимыми для заказчика (потребителя). Инструментом сравнения является единичный показатель, представляющий собой отношение величины параметра рассматриваемого изделия к величине этого же параметра, необходимого покупателю.

4. Подсчет группового показателя на основе единичных показателей. Групповой показатель выражает различие между анализируемыми изделиями по всем группам параметров в целом.

Общими и методологическими принципами при соблюдении данной схемы анализа являются учет предельности отдельных элементов потребности, с тем, чтобы при нахождении образца на предельном уровне потребности не делался вывод о большей конкурентоспособности анализируемого изделия с более высокими, чем у образца аналогичными параметрами; необходимость придания количественной оценки тем параметрам, которые не имеют естественной физической меры (например, комфортность изделия), с использованием экспертных методов; необходимость построения весовой базы для технических параметров на основе всесторонних рыночных исследований.

Любое проектирование в идеале должно начинаться с выявления потребностей потенциальных покупателей. После такого анализа становится возможным вычислить единичный параметрический показатель.

$$q = \frac{p}{p_{100}} p$$

где q - параметрический показатель;

P - величина параметра реального изделия;

P_{100} - величина параметра гипотетического изделия, удовлетворяющего потребность на 100%;

p - вероятность достижения величины параметра; вводится для получения более точного результата с учетом элемента случайности, что позволяет снизить риск осуществления проекта.

Каждому параметрическому показателю по отношению к изделию в целом (т.е. обобщенному удовлетворению потребности) соответствует некий

вес d_i , разный для каждого показателя. После вычисления всех единичных показателей становится реальностью вычисление обобщенного (группового показателя), характеризующего соответствие изделия потребности в нем (полезный эффект товара)

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i d_i$$

где Q - групповой технический показатель (по техническим параметрам); q_i - единичный параметрический показатель по i -му параметру;

d_i - вес i -го параметра; n - число параметров, подлежащих рассмотрению.

Показатель конкурентоспособности нашего изделия по отношению к изделию другой фирмы k_w будет равен

$$k_{TP} = \frac{Q_H}{Q_K}$$

где k_{TP} - показатель конкурентоспособности нового изделия по отношению к конкурирующему по техническим параметрам;

Q_H, Q_K ~ соответствующие групповые технические показатели нового и конкурирующего изделия.

Данные для оценки конкурентоспособности разрабатываемого новшества привести в таблице.

Таблица 6.5 – Матрица предпочтений

№ п/п	Наименование	1	2	3	4	5	6	сумма	d_{ij}
1	Мощность	0,5	1	1,5	1	0,5	1	5,5	0,167
2	Масса	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	4	0,121
3	Частота вращения	1	1,5	0,5	0,5	1	1	5,5	0,167
4	Коэффициент полезного действия	1	1,5	1,5	1	1	1	7	0,212
5	Коэффициент мощности $\cos\varphi$	1,5	1	1	0,5	1	1	6	0,182
6	Степень защиты	0,5	0,5	1	1	1	1	5	0,152

Таблица 6.6 – Оценка технического уровня новшества.

Характеристики	Вес показателя	Новшество		Конкурент		Гипотетический образец	
	d _i	P _i	q _i	P _i	q _i	P ₁₀₀	q ₁₀₀
Номинальная мощность, кВт	0,167	10	0,909	10,5	0,955	11	1
Масса, кг	0,121	71	0,986	75	0,933	70	1
Частота вращения, Об/мин	0,167	1000	0,833	1100	0,917	1200	1
Коэффициент полезного действия, %	0,212	78	0,918	75	0,882	85	1
Коэффициент мощности Cosφ, %	0,182	75	0,938	72	0,900	80	1
Степень защиты	0,152	68	0,850	60	0,750	80	1
Итого			0,904		0,889		1

$$K_{\text{ТП}} = 0,904/0,889 = 1,016$$

В итоге по оценке конкурентоспособности новшества видно, что коэффициент конкурентоспособности с учётом его технического уровня равен 1,016

7. Социальная ответственность.

В данном разделе мы рассмотрим безопасность и технологического процесса сборки синхронного генератора. Для осуществления этого технологического процесса применяется следующее оборудование: транспортная система, ручные инструменты. Технологический процесс сборки включает в себя следующие виды работ: продувку деталей, работу с транспортными приспособлениями и т.д. Целью данного раздела является выявление опасных и вредных факторов и мероприятий по предотвращению их воздействия на организм человека.

Работа человека на производстве нередко приводит к получению различных травм и заболеваний. С целью предотвращения или уменьшения последствий опасных и вредных факторов существует наука об охране труда.

Изучение и решение проблем, связанных с обеспечением здоровых и безопасных условий, в которых протекает труд человека – одна из наиболее важных задач. Задачей данного раздела является выявление опасностей, которые могут возникнуть на производстве. Существует ряд факторов, которые могут привести к опасности для здоровья во время проведения работ на предприятии.

Безопасность жизнедеятельности человека определяется характером труда, его организацией, взаимоотношением, существующим в трудовых коллективах, организацией рабочих мест, наличием опасных и вредных факторов в среде обитания.

Изучение и выявление возможных причин производственных несчастных случаев, профессиональных заболеваний, аварий, взрывов, пожаров и разработка мероприятий и требований, направленных на устранение этих причин позволяют создать безопасные и благоприятные условия для труда человека.

7.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов.

Анализ опасных и вредных факторов и их устранение позволяют сделать труд более безопасным, комфортным и более производительным, что является

главной задачей охраны труда. Как известно безопасных и безвредных производств не существует.

Необходимо рассмотреть все операции, производимые на производстве и применяемое оборудование для их выполнения, после чего проанализировать все вредные и опасные факторы, возникающие при этом.

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием некоторых опасных и вредных факторов (ГОСТ 12.0.002-80 «ССБТ. Основные понятия. Термины и определения»), которые классифицируются по группам элементов:(ГОСТ 12.0.003-74 «ССБТ. Опасные и вредные факторы. Классификация»).

Физические подразделяются на опасные и вредные.

Опасные:

- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- повышенная напряженность электрического поля;
- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования и т.д.

Вредные:

- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень вибрации;
- повышенная или пониженная влажность воздуха;
- повышенная или пониженная подвижность воздуха;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- отсутствие или недостаток естественного света;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенная яркость света.

7.2. Производственная санитария.

Комплекс мер по соблюдению норм производственной санитарии призван обеспечивать нормальные условия труда на рабочем месте. Условия труда определяются, с одной стороны трудовым процессом, а с другой - санитарно-гигиенической обстановкой, в которой выполняется трудовой процесс. Санитарно-гигиеническая обстановка, определяющая условия труда, характеризуется метеорологическими параметрами, действием вредных и ядовитых веществ, наличием шумов, вибраций, излучений и т.д.

Рабочее место по своему объему и площади должно быть таким, чтобы обеспечить условия для производительности труда и здоровья работающих. В цеху требуется иметь, на одного работающего, объем помещения не менее 15м^3 и площадь не менее 4.5м^2 . Высота производственных помещений должна быть не менее 3.2м.

Стены и потолки необходимо сооружать из малотеплопроводных материалов, не задерживающих осаждение пыли. Полы должны быть теплыми, эластичными, ровными и нескользкими.

7.3. Микроклимат

Важную роль для здоровья человека играет состояние окружающей среды, метеорологические условия или микроклимат на производстве. Микроклимат определяют следующие параметры:

- температура воздуха в помещении, $^{\circ}\text{C}$;
- относительная влажность воздуха, %;
- подвижность воздуха, м/с;
- тепловое излучение, Вт/м.

Эти параметры отдельно и в комплексе влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

Температура воздуха является одним из ведущих факторов, определяющих метеорологические условия. Температура воздуха в помещении зависит, в основном от производственного процесса, при осуществлении которого, выделяется тепло. Необходимо обеспечивать оптимальный

микроклимат для обеспечения теплового равновесия между организмом человека и окружающей средой.

Оптимальная температура воздуха в холодный период года составляет $+(22-24)^{\circ}\text{C}$, в летний период не более $+25^{\circ}\text{C}$. Для поддержания данной температуры воздуха в холодный период времени предусмотрены батареи центрального отопления.

Влажность воздуха влияет на теплообмен в организме человека, затрудняя или облегчая теплообмен организма с окружающей средой. Оптимальная норма относительной влажности должна составлять (40-60)%, что соответствует условиям метеорологического комфорта при покое или легкой физической работе. Для поддержания влажности помещение регулярно проветривается, имеется вентиляция.

Движение воздуха внутри помещения происходит при непрерывном движении (нагреве) воздушных масс в пространстве и действием вентиляции.

Работа в производственном цеху относится к средней тяжести – Па.

Таблица 7.1 - допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах в цеху сборки

Период года	Категория работ	Оптимальная температура $^{\circ}\text{C}$	Допустимая температура $^{\circ}\text{C}$	Оптимальная влажность %	Допустимая влажность %	Скорость движения воздуха оптимальная м/с	Скорость движения воздуха допустимая м/с
Холодный	Средней тяжести и Па	17-19	21–23	40–60	15–75	0,1	0,3
Теплый	Средней тяжести и Па	18-20	22–27	40–60	15–75	0,1	0,4

Вентиляция - это организованный и регулируемый воздухообмен, обеспечивающий удаление из помещения воздуха, загрязненного газами,

парами, пылью, а также улучшающий метеорологические условия в помещении.

По способу подачи в помещение свежего воздуха и удалении загрязненного, системы вентиляции делят на естественную, механическую и смешанную. Воздухообмен на производстве осуществляется как правило за счет механической вентиляции.

7.4. Шум и вибрация.

В группу вредных производственных физических факторов входят шум и вибрация, возникающие в результате колебаний твердых и упругих тел. Шум на производстве - это ещё одна проблема, которая наносит большой экономический и социальный ущерб. Шум не благоприятно воздействует на организм человека, технические и физиологические нарушения, снижает работоспособность и создаёт предпосылки для общих профессиональных заболеваний и производственного травматизма.

Колебания любого твердого тела, жидкости, газа характеризуются амплитудой (величина отклонения от точки своего равновесия), частотой (количество отклонений в единицу времени. 1 Гц — одно отклонение в 1 секунду) и скоростью продвижения колебательной волны в физической или биологической среде (теле).

По частоте все колебания делятся на три диапазона:

- а) инфразвуковые — до 16 Гц;
- б) звуковые (воспринимаются органом слуха как звук) — от 16 до 20000 Гц;
- в) ультразвуковые — свыше 20000 Гц.

Работая с вибрирующими механизмами, инструментами (особенно пневматическими), рабочие подвергаются воздействию не только вибрации, но и высокочастотного шума большой интенсивности, что ускоряет и усугубляет развитие и полисимптоматичность вибрационной болезни.

Вибрация значительное влияние оказывает на вестибулярный аппарат. Экспериментальные данные показали, что вибрация может оказывать на

организм различное действие. В некоторых случаях возможно благотворное влияние — стимулирующее действие на функции различных органов и систем, но в основном это достаточно вредный фактор и вредность его определяется следующими моментами:

I. Почти все вибрирующие инструменты, машины не дают правильных колебаний, к которым может приспособиться организм, а дают колебания с постоянно меняющейся амплитудой, частотой и ускорением.

II. Биологическая реакция организма зависит от физической характеристики вибрации: чем больше частота, тем больше повреждающее действие. Различают вибрации:

- а) низкочастотную — до 16 Гц;
- б) среднечастотную — от 16 до 30 Гц;
- в) высокочастотную — свыше 35 Гц.

Выраженную вибрационную болезнь вызывают колебания от 35 до 250 Гц. Но это не означает, что нижележащие частоты безвредны. Они могут вызывать определенные клинические явления.

III. Степень чувствительности человека к воздействию вибрации зависит от положения тела в пространстве. Очень вредное влияние на организм оказывает вертикальная вибрация (в положении стоя).

IV. Сила неблагоприятного воздействия вибрации зависит от взаимодействия человека с вибрирующим предметом. Для характеристики силы повреждающего действия большое значение имеет сила обратного удара (например, на ладонь, удерживающую инструмент). Чем больше амплитуда, чем тяжелее инструмент, тем сильнее возвратный удар, тем выраженное травматизация.

V. Неблагоприятное воздействие вибрации на организм в значительной степени зависит от внешних условий. Особенно отрицательное значение оказывает низкая температура внешней среды и высокая влажность.

Вибрация (сотрясение) работающей машины, платформы, инструмента может передаваться на тело человека через нижние конечности, все тело одновременно (сидя), верхние конечности.

Благодаря напряжению мышц происходит гашение вибрации. Чем сильнее напряжение мышц, тем сильнее они гасят вибрацию. Если к телу человека в этот момент подключить виброграф, то можно получить запись колебаний различных участков (зон) организма.

Работа с вибрирующими приборами, аппаратами, как правило, связана с довольно большим напряжением мышц — длительное статическое напряжение, что приводит к резкой анемизации всех тканей (нарушение трофики). Возникающие колебательные движения в тканях приводят к перемещению тканевых структур относительно друг друга, что является мощным раздражителем для воспринимающих рецепторов.

7.5. Освещение.

Правильно выполненная система освещения играет существенную роль в снижении производственного травматизма, уменьшая потенциальную опасность многих производственных факторов, создает нормальные условия работы и повышает общую работоспособность организма. Увеличение освещенности от 100 до 1000 лк при напряженной зрительной работе обуславливает повышение производительности труда на 10-20%, уменьшение брака на 20%, снижение количества несчастных случаев на 30%.

На практике пользуются двумя видами освещения - естественным, которое создается солнечным диском и диффузионным светом небесного излучения и искусственным, осуществляемым электрическими лампами. Естественное освещение положительно влияет не только на зрение, но также тонизирует организм человека в целом и оказывает благоприятное психологическое воздействие.

Производственное освещение в цеху характеризуется количественными и качественными показателями. Качественными показателями, определяющими условия зрительной работы, являются фон, контраст объекта с фоном,

видимость, цилиндрическая освещенность, показатель ослепленности, показатель дискомфорта и коэффициент пульсации освещенности.

При долговременной работе недостаточная освещенность рабочей зоны приводит к ослаблению зрительной активности и ухудшению зрения работающего.

Освещенность на рабочем месте должна быть такой, чтобы работающий мог без напряжения зрения выполнять свою работу. Утомляемость органов зрения зависит от ряда причин:

- недостаточность освещенности;
- повышенная освещенность;
- неправильное направление света.

Наименьший размер объекта различения составляет 1,5–5 мм, что соответствует пятому разряду зрительной работы, при этом освещенность рабочего места должна быть не менее 200 лк.

Проведём расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

По нормам освещенности СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и СНиП 23-05-95 работа сборщика относится к пятому разряду зрительной работы. Для этого разряда рекомендуется освещенность в диапазоне 300–500 лк.

Основной задачей светотехнических расчётов для искусственного освещения является определение требуемой мощности электрической осветительной установки для создания заданной освещённости. Необходимо спроектировать общее равномерное освещение помещения.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 0,8$ м. Требуется создать минимальную освещенность $E=300$ лк. Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, закрытыми шторами $\rho_C=70\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{II}=70\%$.

Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Для общего освещения, как правило, применяются газоразрядные лампы как энергетически более экономичные и обладающие большим сроком службы. Наиболее распространёнными являются люминесцентные лампы. Выбираем светильники типа ШОД-2-40, т.к. этот тип обладает самым высоким КПД 85% по сравнению с остальными типами светильников, пригоден к эксплуатации в нормальных помещениях с хорошим отражением потолка и стен, также допускает эксплуатацию при умеренной влажности и запылённости. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1228 мм, ширина – 284 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda = 1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,3$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,8 - 0,8 - 0,3 = 2,7 \text{ (м)}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,7 = 3 \text{ (м)}$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{3}{3} = 1 \text{ (м)}$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 2 светильника длиной 1,228 м, при этом разрывы между светильниками в ряду составят 1,54 м, расстояние между рядами 0,93 м. На рисунке 8 изображён в масштабе план помещения и размещения на нём светильников. Учитывая, что в

каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $n = 8$.

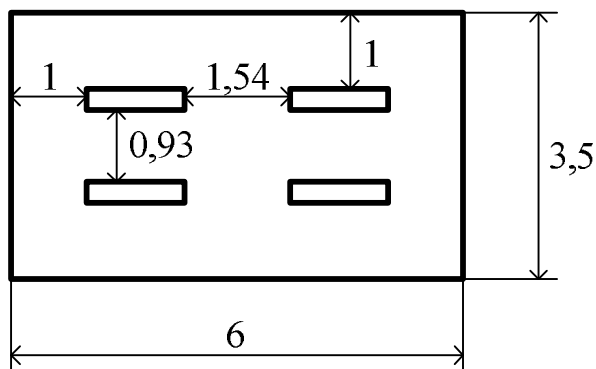


Рисунок 7.1– План помещения и размещения светильников

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{6 \cdot 3,5}{2,7 \cdot (6 + 3,5)} = 0,8.$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ШОД с люминесцентными лампами при $\rho_{\Pi} = \rho_{\text{с}} = 70\%$ и индексе помещения $i = 0,8$ равен $\eta = 0,42$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\Pi} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 6 \cdot 3,5 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,42} = 3094 \text{ (лм)}$$

Выбираем лампу холодного белого света ЛХБ мощностью $P_{\text{ЛХБ}} = 40$ Вт, световой поток которой равен $\Phi_{\text{ЛХБ}} = 3100$ Лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛХБ}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{ЛХБ}}} \cdot 100\% \leq 20\% \quad (322)$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛХБ}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{ЛХБ}}} \cdot 100\% = \frac{3100 - 3094}{3100} \cdot 100\% = 0,202\%$$

Получаем $-10\% \leq 0,202\% \leq 20\%$, следовательно, необходимый поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Электрическую мощность осветительной установки определяется по формуле:

$$P = P_{\text{ЛХБ}} \cdot n = 40 \cdot 8 = 320 (\text{Вт})$$

7.6. Пожарная безопасность.

Пожарная безопасность является одним из важнейших разделов охраны труда на производстве. Существенную роль в профилактике и предотвращении пожаров играет правильный выбор режима работы электрооборудования с учётом класса по пожароопасности, применения молниеотводов. Все производственные помещения по пожароопасности разделяются на пять основных категорий. В процессе получения изделия на линии видимые признаки, обуславливающие возникновения пожара, следовательно, данное производство согласно [Технический регламент о требованиях пожарной безопасности] можно отнести к категории Д (производство, в котором негорючие вещества и материалы находящиеся в холодном состоянии). Однако, в данном технологическом процессе пожар может возникнуть из-за токов короткого замыкания, вызывающих высокую температуру нагревания проводников, что приводит к их выплавлению из изоляционного материала. В этом отношении опасны недопустимые электрические перегрузки проводов и обмоток электрических машин. В местах плохого контакта соединения проводников вследствие большого переходного сопротивления выделяется большое количество тепла. Это приводит к повышению температуры и воспламенения изоляции. Были установлены общие требования пожарной безопасности к объектам различного назначения всех отраслей народного хозяйства при строительстве и эксплуатации. Пожарная безопасность должна обеспечиваться:

- системой предотвращения пожара;
- системой противопожарной защиты;
- организационно–техническими мероприятиями.

Системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, обеспечивающих сохранность материальных ценностей, следует применять при

наличии экономической эффективности от их внедрения. Экономическая эффективность должна рассчитываться с учётом вероятности возникновения пожара и возможного ущерба от него. Предотвращение пожара должно достигаться предотвращением образования горючей среды. Это должно обеспечиваться минимально возможным применением горючих материалов. Содержание газов, паров, взвесей и легко воспламеняющихся жидкостей должно быть по возможности вне пределов воспламенения.

Автоматические установки пожаротушения и установки пожарной сигнализации, введённые в объект, должны удовлетворять требованиям проектной документации и отраслевым стандартам.

Огнетушители различных видов относятся к классу переносных средств пожаротушения. Огнетушители, годные к эксплуатации, должны иметь бирку и маркировку и должны быть окрашены в красный цвет. Зарядка и перезарядка всех типов огнетушителей должна выполняться в соответствии с инструкциями по эксплуатации. Огнетушители должны располагаться в заметных и легко доступных местах, где исключено попадание солнечных лучей. Определим количество первичных средств пожаротушения:

Таблица 7.2 – Количество первичных средств пожаротушения

Цех	S _{цеха} , м ²	Огнетушители		Ящик с песком, м ²
		ОУ-5	ОП-5	
Цех сборки	21	2	2	1

Пожарный ручной инструмент и инвентарь, размещенный на объекте, подлежит периодическому обслуживанию, включающему следующее:

- Очистка от пыли, грязи и коррозии;
- Восстановление соответствующей окраски.

Ящики с песком должны быть укомплектованы лопатой и иметь вместимость до 3 м³.

На рабочем месте каждый станок должен быть оснащен защищенной аппаратурой. Должна быть предусмотрена блокировка и защита на случай короткого замыкания и перегрузок, обеспечения возможности снятия напряжения всего оборудования с помощью расположенных вне помещения

рубильников. В производственных помещениях должна обеспечиваться возможность эвакуации людей и оборудования в случае пожара.

7.7. Электробезопасность.

Электробезопасность – это система организационных, технических мероприятий, а также средств защиты от поражений человека электрическим током. Организационные мероприятия включают в себя выбор рациональных режимов работы персонала по обслуживанию электроустановок, ограничение мест и времени пребывания персонала в зоне воздействия электрического тока.

Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока проявляется в виде электротравм и профзаболеваний. Основными потребителями электроэнергии являются электродвигатели.

Действующими нормативными документами являются:

ГОСТ 12.1.019 – 79 "Электробезопасность. Общие требования".

ГОСТ 12.1.038 – 82 "Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжения прикосновений и токов".

Напряжение прикосновения и токи, протекающие через тело человека, не должны превышать значения, указанные в таблицах.

Таблица 7.3 - напряжение прикосновения и токи при нормальных режимах работы электроустановок.

Род тока	Напряжение	Сила тока
50 Гц переменный	Не более 2В	Не более 0,3 мА

Таблица 7.4 - напряжение прикосновения и токи при аварийных режимах работы электроустановок напряжением до 1000 В и частотой 50 Гц

Продолжительность воздействия, сек	Нормируемая величина	
	Напряжение, В	Сила тока, мА
0,01–0,08	220	220
0,1	200	200
0,2	100	100
0,3	70	70
0,4	55	55
0,5	50	50
0,6	40	40
0,7	35	35
0,8	30	30
0,9	27	27

Для предотвращения поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, следует использовать защитное заземление. В качестве индивидуальных средств защиты от электрического тока применяются экранирующие комплекты (костюмы, перчатки, обувь), коврики, подставки, контактные выводы и перемычки, проводники с зажимами и т.д. К коллективным методам защиты относятся плакаты, ограждения и знаки безопасности.

Производственный цех относится к третьему классу помещения по электроопасности, т.е. это помещение без повышенной опасности.

7.8. Чрезвычайная ситуация.

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Авария - это непреднамеренный выход из строя машин, механизмов, устройств, коммуникаций, линий связи, продуктопроводов вследствие нарушения технологии производства, правил эксплуатации, мер безопасности, ошибок, допущенных при проектировании, строительстве, изготовлении, или низкой трудовой дисциплины.

Действующими правилами безопасности предусматривается обязательно заблаговременное составление на промышленных предприятиях планов предотвращения аварий. Это объясняется тем, что аварии, как правило, развиваются стремительно и поэтому не всегда представляется возможной быстрая разработка эффективных мероприятий по спасению людей и ликвидации последствий аварии.

В планах устанавливаются конкретные обязанности должностных лиц предприятия на время аварийной ситуации. Планы находятся у диспетчера,

главного инженера предприятия и командира соответствующего подразделения спасательной службы. Состояние противоаварийной профилактики на всех объектах контролируется Ростехнадзором и его местными органами. Происшедшие на предприятиях аварии, которые сопровождались травмами и гибелью людей, расследуются в соответствии с "Инструкцией о расследовании и учёте несчастных случаев на подконтрольных Ростехнадзору предприятиях и объектах. Основные задачи расследования — выявление причин и условий возникновения аварии, разработка мер по недопущению их в дальнейшем. Ответственность лиц, чьи действия или поступки вызвали аварию, определяется законами РФ.

Причины чрезвычайных ситуаций на объекте

- стихийных бедствий, вызываемых катаклизмами природы (землетрясение, ураганы, горные обвалы, наводнения, лесные пожары, снегозаносы и т. а);

- воздействия внешних природных факторов, приводящих к старению или коррозии материалов, конструкций, сооружений и снижению их физико-механических свойств;

- проектно-производственных дефектов сооружений и конструкций при изыскании и проектировании, низкокачественное выполнение строительных работ, плохого качества строительных материалов и конструкций, нарушения правил техники безопасности при ведении строительных и монтажных работ;

- воздействия технологических процессов промышленного производства на материалы сооружений (нагрузки, превышающие допустимые, высокие температуры, вибрации, действие окислителей, парогазовой и жидкой агрессивных сред, минеральных масел, эмульсий и дисперсии);

- нарушения правил эксплуатации сооружений и технологических процессов производства (вызывающие взрывы котлов, химических веществ, угольной пыли и метана в шахтах, пыли на элеваторах, муки на мельничных комбинатах, сахарной пудры на сахарных заводах, древесной пыли на деревообрабатывающих предприятиях и т. п.).

Основные направления по повышению устойчивости функционирования территорий и объектов в чрезвычайных ситуациях

- выявление источников ЧС;

- прогнозирование последствий возможных ЧС; уменьшение количества источников ЧС; совершенствование основных фондов и производственных процессов; разработку (уточнение) и соблюдение требований и норм безаварийности производств; эффективный контроль за состоянием основных производственных фондов (ОПФ) и режимов производства; проведение регулярного технического обслуживания и ремонта ОПФ; повышение квалификации персонала в области безаварийности производств.

Защита производственного персонала (населения) и подготовка системы его жизнеобеспечения. В случае невозможности полностью исключить риск возникновения ЧС, необходимо обеспечить защиту производственного персонала путем: своевременного оповещения персонала об аварии и (или) стихийном бедствии (угрозе) (создание объектовой системы оповещения; поддержание систем оповещения в постоянной готовности); создания и подготовки сил и средств для защиты персонала в условиях ЧС (создание объектовых формирований для проведения СидНР; обеспечение формирований необходимой техникой и имуществом; подготовка к обеспечению их продуктами питания и предметами первой необходимости в условиях ЧС; обучение действиям в условиях ЧС; поддержание формирований в необходимой степени готовности); обучения персонала способам защиты в условиях ЧС (изучение поражающих факторов ЧС; изучение способов защиты от ЧС; проведение тренировок и учений); подготовки к оказанию первой медицинской помощи (накопление медицинских средств защиты и подготовки к их рациональному использованию); подготовки системы жизнеобеспечения к работе в условиях ЧС (организация коммунального - бытового обслуживания персонала в условиях ЧС; защита продовольствия, водоисточников и систем водоснабжения от порчи, заражения (загрязнения); создание резервных источников хозяйственного и питьевого водоснабжения; подготовка временных

(стационарных и передвижных) средств очистки воды; определение режимов деятельности людей в зависимости от степени радиоактивного и химического заражения; организация дозиметрического и химического контроля; подготовка технических средств к проведению работ по обеззараживанию территорий, сооружений, оборудования, транспорта, сырья и материалов; подготовка техники и инвентаря к проведению работ в холодное время года; подготовка мест и создание условий для нормального отдыха людей, занятых ликвидацией последствий ЧС; организация информационного обеспечения персонала в условиях ЧС; морально психологическая подготовка персонала к действиям в ЧС).

7.9. Охрана окружающей среды.

Защита окружающей среды - это комплексная проблема, требующая усилия учёных многих специальностей. Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий, является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Это требует решения целого комплекса сложных технологических и конструктивных задач, основанных на исследовании новейших научно-технологических достижений.

Важными направлениями следует считать совершенствование технологических процессов и разработку нового оборудования с меньшим уровнем выбросов в окружающую среду, замену и по возможности широкое применение дополнительных методов и средств защиты окружающей среды.

В качестве дополнительных средств защиты применяют системы для очистки газовых выбросов, сточных вод от примесей, глушителей шума, виброизоляторы технологического оборудования. Важную роль в защите окружающей среды отводится мероприятиям по рациональному размещению источников загрязнения: оптимальное расположение промышленных предприятий с учетом местности; установление санитарно-защитных норм вокруг промышленных предприятий.

Заключение.

В данной работе был спроектирован синхронный генератор с постоянными магнитами на основе неодимовых магнитах Nd-Fe-B. В качестве базовой модели выбрана конструкция синхронного генератора ГС-10 общего назначения.

Электромагнитный расчёт позволил определить полную массу генератора равной $M_{\sigma}=90\text{кг}$, коэффициент полезного действия составил $\eta=91.8\%$ со следующими установочно-присоединительными размерами:

- высота оси вращения $h=132\text{мм}$;
- диаметр конца вала $d_1=38\text{мм}$;
- длина выступающего конца вала $l_1=80\text{мм}$;
- расстояние между уступом на валу, в который будет упираться муфта при монтаже, и осью ближайшего монтажного отверстия в лапе станины $l_{31}=108\text{мм}$;

Тепловой расчёт показал, что среднее превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды составляет $\Delta\theta_1=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, что приемлемо для выбранного класса изоляции $F (155^{\circ}\text{C})$.

Расход воздуха, обеспечиваемый наружным вентилятором $Q'_e = 0.038\text{ м}^3/\text{мин}$, рассчитанный в вентиляционном расчёте превышает расход воздуха, требуемый для охлаждения $Q_e=0.029\text{ м}^3/\text{мин}$. Условие $Q_e < Q'_e$ выполняется.

В механическом расчёте был спроектирован и рассчитан вал для генератора. Было определено наиболее нагруженном сечение $\sigma_{npA}=2.65\cdot 10^7\text{ Па}$ что является меньшей чем предела текучести для стали 45 $\sigma=2.5\cdot 10^8\text{ Па}$. При диаметре шейки вала $d_2=45\text{мм}$ был выбран подшипник лёгкой серии 209 по [2].

В специальной части приведен расчет для выбора тиристоров для выпрямителя, а в дальнейшем был выбран тиристор марки КУ218Д. Привели схему выпрямления для подзарядки никель- кадмиевых аккумуляторных батарей, при этом основная нагрузка идет на аварийное освещение.

В технологической части разработан технологический процесс сборки синхронного генератора на постоянных магнитах.

Исследован маршрут технологии, рассчитано необходимое количество оборудования при заданной программе выпуска $N=4500$ шт./год. Для проверки электрической прочности применим мегаомметр ЭС0202/1Г.

В разделе «Социальная ответственность» проведён анализ опасных и вредных факторов, возникающих в процессе сборки генератора. Рассмотрены вопросы техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности. Проведён расчёт освещения светильниками ПВЛ с мощностью лампы 2x40Вт для участка.

В целом спроектированный синхронный генератор с постоянными магнитами удовлетворяет требованиям, определённым заданием и готов для производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.А. Балагуров, Ф.Ф. Галтеев Электрические генераторы с постоянными магнитами.-М.: Энергоатомиздат, 1988.-280. ил.
- 2.Проектирование электрических машин: учебник для бакалавров / под ред. /И. П. Копылов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2015.-767 с. – Серия :Бакалавр. Углубленный курс.
3. О.Д. Гольдберг, Я.С. Гурин, И.С. Свириденко. Проектирование электрических машин. Издание второе, переработанное. Москва «Высшая школа». 2001
4. Неисчерпаемая энергия.кн. 1. Ветроэлектрогенераторы/ В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. Учебник-Харьков. Нац. аэрокосм. ин-т «Харьковский авиастр. ин-т», Севастополь 2003.-400с.
5. Неисчерпаемая энергия.кн. 2. Ветроэлектрогенераторы/ В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. Учебник-Харьков. Нац. аэрокосм. ин-т «Харьковский авиастр. ин-т», Севастополь 2004.–519с.
6. Балагуров В.А. Проектирование специальных электрических машин переменного тока. М.:Высшая школа,1982.-272 с.
7. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.
8. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
9. Допуски и посадки. Справочник: в 2-х ч. Ч. 1. / В.Д. Мягков [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1982. – 543 с.
10. Обработка металлов резанием. Справочник технолога/ А.А. Панов [и др.]; под общ.ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с.
- 11.Федосова В.Д. Расчет искусственного освещения. Метод. указания. – Томск: Изд-во ТПУ, 1991. – 23 с.
12. Правила устройства электроустановок. 6-е изд. с изм. и дополн. – СПб, 1999. – 123 с.

13. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): Учеб.пос. для вузов //П. П. Кукин, В.Л. Лапшин, Е. А. Подгорных и др. – М.: Высш. шк. 1999.–318 с.
14. ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
15. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. Обучение работающих безопасности труда.
16. ГОСТ 12.1.003–83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
17. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01. 07. 92).
18. ГОСТ 12.1.005–88 (с изм. №1 от 2000 г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01.89).
19. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
20. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
21. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. М.: Минздрав России, 1997.
22. СН 2.2.4/2.1.8.556–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 1997.
23. НПБ 105-03 "Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности"(утв. приказом МЧС РФ от 18 июня 2003 г. N 314)
24. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
25. <http://ru.aliexpress.com/w/wholesale-permanent-magnet-generator.html>
26. <http://electrotransport.ru/ussr/index>
27. Волкова Л. Методика проведения SWOT-анализа
http://m-arket.narod.ru/S_StrAn/SWOT.html.

28.Криницына З.В. Ресурсоэффективность отрасли: Учебное пособие /З.В.Криницына. – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2013. – 182 с.

29. Шепеленко Г.И. Экономика, организация и планирование производства на предприятии: Учебное пособие / Г. И. Шепеленко.—2-е изд., доп. и перераб.—Ростов-на-Дону: МарТ, 2000.—544 с.—ISBN 5-241-00014-3.

30. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие /Криницына З.В., Видяев И.Г.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

Приложение 1

Дубл.			
Взам.			
Подп.			

			7
--	--	--	---

	ИНЭО			

Комплект документов
на технологический процесс
сборки двигателя

ТЛ		1
----	--	---

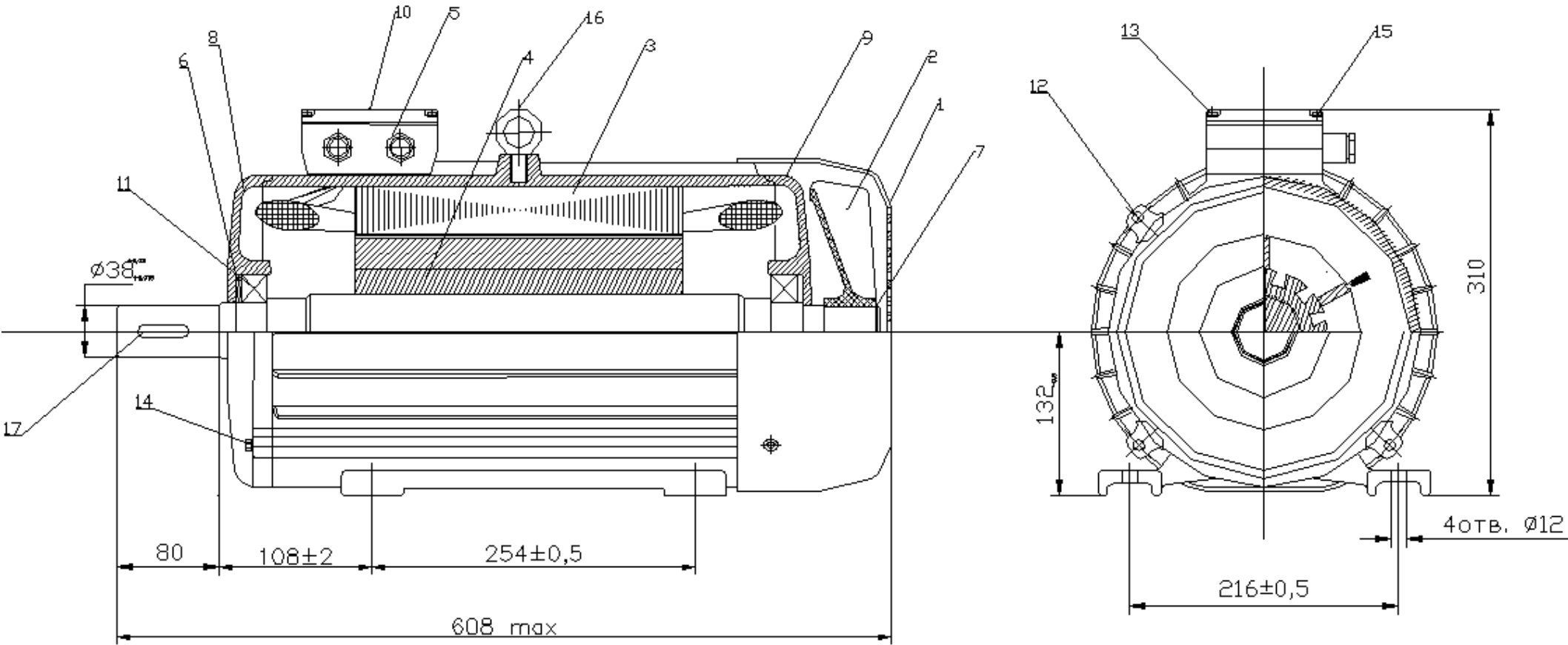
Разр.	Сазанов Е.С		
Подп.	Баранов П.Р		

Двигатель асинхронный с короткозамкнутым ротором

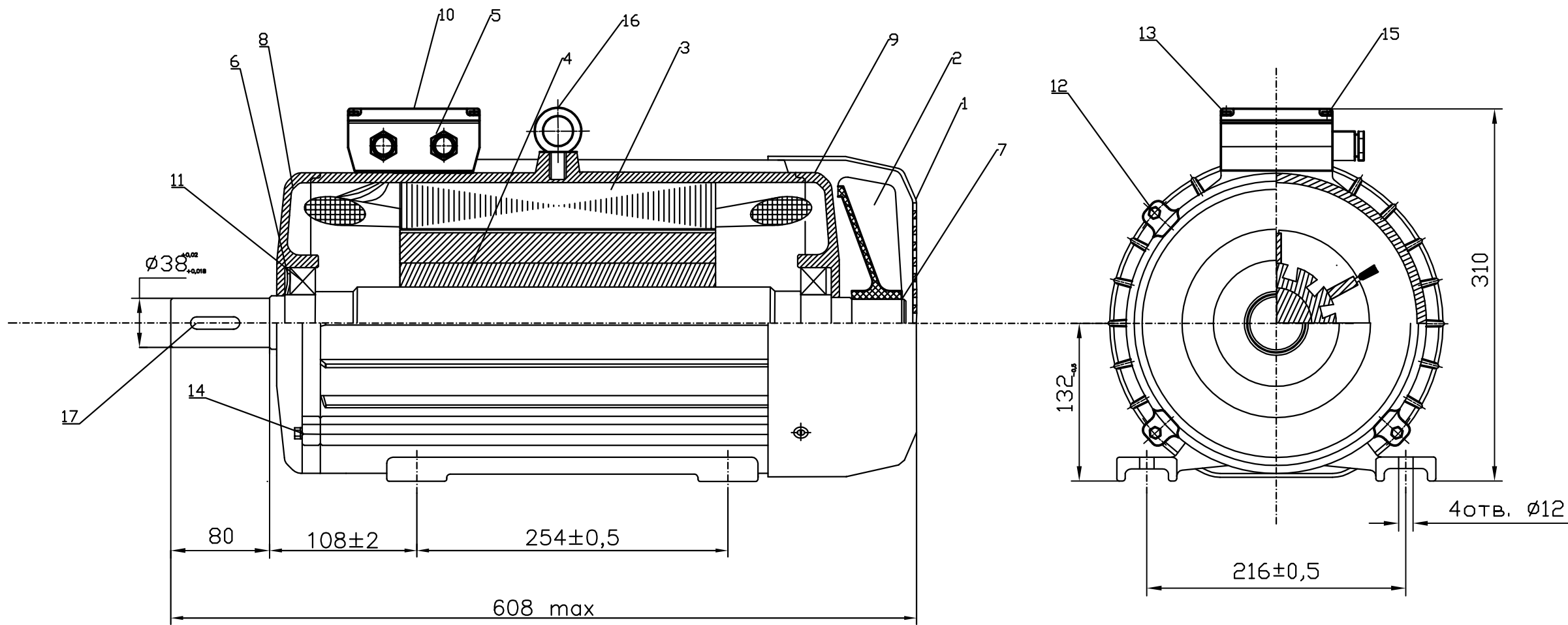
ФЮРА526.600.006

7

ИНЭО	ФЮРА526.600.006			



КЭ	Карта эскизов	7
----	---------------	---



- 1. Неуказанные предельные отклонения на габаритные, установочные и присоединительные размеры по ГОСТ8592-79.
- 2. При сборке генератора жировые канавки подшипниковых щитов поз.8,9 и кольцо пружинное поз.6 покрыть смазкой ЛЗ-31 ТУ38.1011144-88.
- 3. Подшипники поз.11 перед сборкой нагреть до 80° С.

					ФЮРА 526.600.006 СБ			
Изм.	Лист	N докум.	Подп.	Дата	Генератор синхронный магнитоэлектрический	Лит.	Масса	Масштаб
								1:4
						Лист 1		Листов 1
						ТПУ ИнЭО гр. К-7103		
Разраб.		Сазанов						
Пров.		Гарганеев						
Т. контр.		Баранов						
Н. контр.								
Утвер.		Гарганеев						

[illegible]

[illegible]