ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РФ

ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра: «Электрооборудование и энергосбережение»

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

по дисциплине «Электрические машины»

для специальности 140610

«Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

**Тема:** Расчет асинхронного электродвигателя

Выполнил

Группа

Руководитель Загрядцкий В.И.

Орел, 2007

# Главные размеры

Количество пар полюсов



Высота вращения оси

h=180мм

Вращающий момент на валу



По значению h определяю предельно допустимые значения Dн1 max, припуски на штамповку :



Dн1 max=322мм

=7мм



Двигатель с h=180мм выполняется с литой станиной.

Внутренний диаметр сердечника статора



Коэффициент *kн=0,945*

Определяю предварительно и



=0,87, =0,82



Расчетная мощность



Вт



Расчетная длина сердечника



- обмоточный коэффициент



и - электромагнитные нагрузки



Выбираю форму паза – трапецеидальная полузакрытая, тип обмотки – двухслойная из проводов круглого поперечного сечения.



Определяю длину сердечника при отсутствии радиальных вентиляционных каналов



, , <,



условие выполняется

# Сердечник статора

Собирается из отдельных отштампованных листов электротехнической стали толщиной 0.5мм, имеющих изоляционные покрытия для уменьшения потерь в стали от вихревых токов.

Применяю холоднокатаную изотропную электротехническую сталь марки 2013.

Использую изолирование листов оксидированием.

Коэффициент заполнения стали



Количество пазов на полюс и фазу



Количество пазов сердечника статора



**Сердечник ротора**

Собирается из отдельных отштампованных листов электротехнической стали толщиной 0.5мм, имеющих изоляционные покрытия для уменьшения потерь в стали от вихревых токов.

Применяю холоднокатаную изотропную электротехническую сталь марки 2013.

Использую изолирование листов оксидированием.

Коэффициент заполнения стали



Для уменьшения влияния моментов высших гармоник на пусковые и виброакустические характеристики машины ротор имеет скос пазов на одно зубцовое деление статора ; при этом .



Воздушный зазор между статором и ротором:



Наружный диаметр сердечника ротора



Внутренний диаметр листов ротора



Долина сердечника ротора



Количество пазов выбирается в зависимости от и наличия скоса пазов



# Обмотка статора

Принимаю обмотку из круглого провода, двухслойную укладываемую в трапецеидальные полузакрытые пазы, марки ПЭТ-155

Обмотка шестизонная; каждая зона равна 60 эл. град.

Коэффициент распределения



Укороченный шаг обмотки по пазам



Коэффициент укорочения



Обмоточный коэффициент



Предварительно значение магнитного потока



Предварительно количество витков в обмотке фазы



Предварительно количество эффективных проводников в пазу



Количество параллельных ветвей обмотки статора



Уточненное значение количества витков в обмотке фазы



Уточненное значение магнитного потока



Уточненное значение индукции в воздушном зазоре



Предварительное значение номинального фазного тока



Уточненная линейная нагрузка статора



Среднее значение магнитной индукции в спинке статора



Зубцовое деление по внутреннему диаметру статора



Значение магнитной индукции в зубцах статора



Ширина зубца



Припуски на сборку сердечника статора и ротора по ширине и высоте составляют 0.2мм.



Определяю размеры трапецеидальных пазов (рис 1)

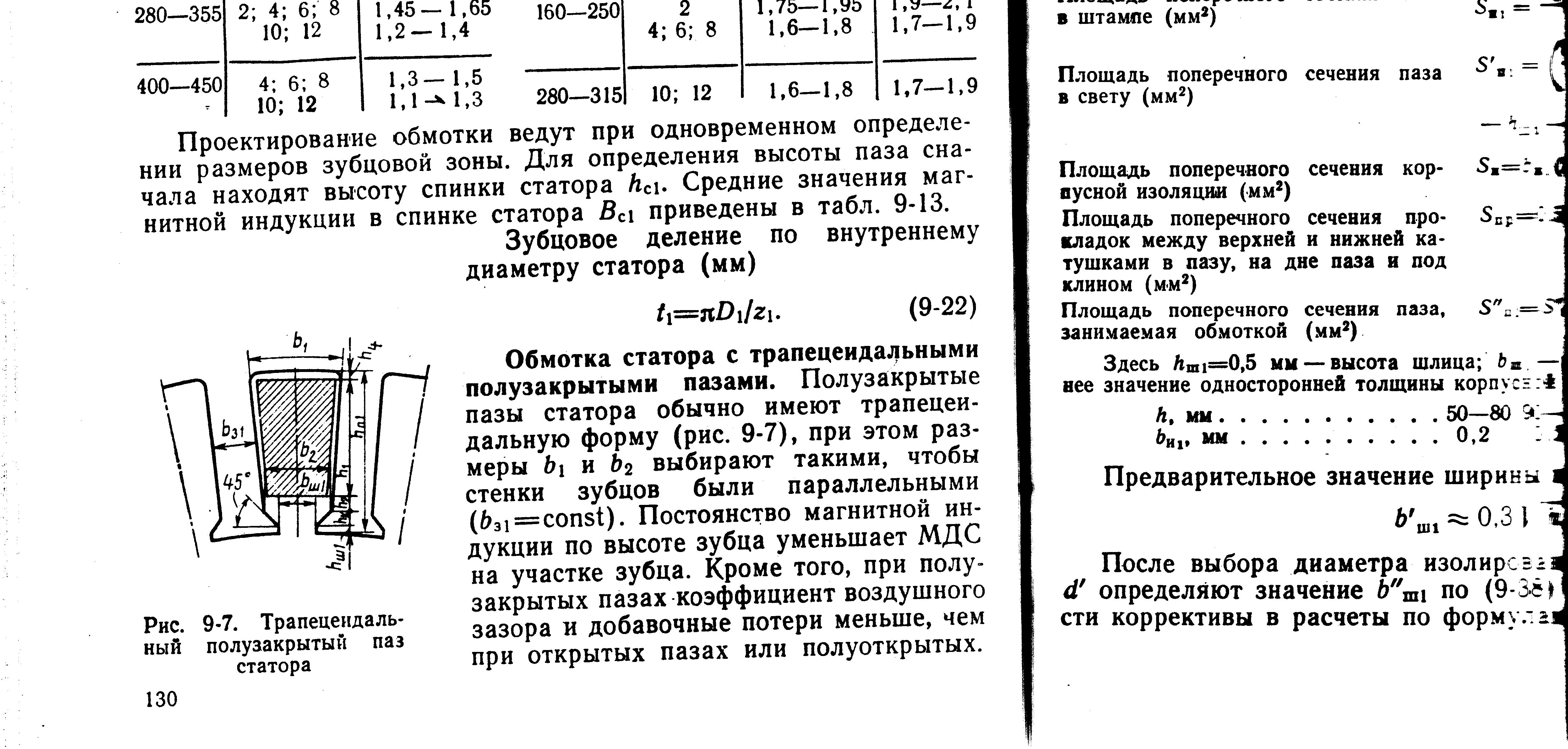


Рис. 1. Трапецеидальный полузакрытый паз статора.

Высота спинки статора



Высота паза



Большая ширина паза



Ширина шлица



Высота шлица



Меньшая ширина паза



Проверка правильности определения *b1* и *b2* исходя из требования *bз1=const*



Условие выполняется

Площадь поперечного сечения паза в штампе



Площадь поперечного сечения паза в свету



Среднее значение односторонней толщины корпусной изоляции



Площадь поперечного сечения корпусной изоляции



Площадь поперечного сечения прокладок между верхней и нижней катушками в пазу, на дне паза и под клином



Площадь поперечного сечения паза, занимаемая обмоткой



Коэффициент заполнения паза



Принимаю *с=3*

Диаметр элементарного изолированного провода



По таблице определяю ближайший стандартный диаметр *dI*, соответствующий ему диаметр неизолированного провода *d* и площадь поперечного сечения *S.*

*dI=1,585мм*

*d=1,5мм*

*S=1,767мм*

Уточняю коэффициент заполнения паза



Уточняю ширину шлица



Плотность тока в обмотке статора



Уровень удельной тепловой нагрузки



Из рисунка



- верно



# Размеры элементов обмотки

Среднее зубцовое деление статора



Средняя ширина катушки обмотки статора



Средняя длина одной лобовой части катушки



Средняя длина витка обмотки



Длина вылета лобовой части обмотки



**Обмотка короткозамкнутого ротора**

Определяю размеры овальных закрытых пазов ротора:

Высота паза

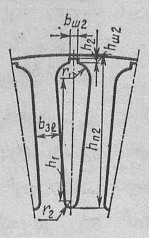


Рис 2 Овальный закрытый паз короткозамкнутого ротора

Расчетная высота спинки ротора



Магнитная индукция в спинке ротора



Зубцовое деление по наружному диаметру ротора



Магнитная индукция в зубцах ротора



Ширина зубца



Меньший радиус паза



Для полузакрытого паза



Больший радиус паза



Расстояние между центрами радиусов



Проверка правильности определения и исходя из условия



Площадь поперечного сечения, равная площади поперечного сечения паза в штампе



**Короткозамыкающее кольцо обмотки ротора**

Определяю размеры короткозамыкающего кольца с литой конструкцией клетки: Поперечное сечение кольца



Высота кольца



Длина кольца



Средний диаметр кольца



Вылет лобовой части обмотки



Коэффициент, учитывающий изгиб стержня



Длина лобовой части стержня



**Расчет магнитной цепи**

В электрических машинах с симметричной магнитной цепью, а к таким относятся асинхронные двигатели, можно ограничиться расчетом МДС на полюс.

Магнитная цепь асинхронного двигателя состоит из следующих пяти однородных участков, соединенных последовательно: воздушный зазор между ротором и статором, зубцы статора, зубцы ротора, спинка статора, спинка ротора.

**МДС для воздушного зазора**

Коэффициент, учитывающий увеличение магнитного сопротивления воздушного зазора вследствие зубчатого строения статора



Коэффициент, учитывающий увеличение магнитного сопротивления воздушного зазора вследствие зубчатого строения ротора



Коэффициент, учитывающий уменьшение магнитного сопротивления воздушного зазора при наличии радиальных каналов на статоре или на роторе

, так как отсутствуют радиальные каналы.



Общий коэффициент воздушного зазора



МДС для воздушного зазора



**МДС для зубцов при трапецеидальных полузакрытых пазах статора**

Напряженность магнитного поля



Средняя длина пути магнитного потока



МДС для зубцов



**МДС для зубцов при овальных закрытых пазах ротора**

Напряженность магнитного поля



Средняя длина пути магнитного потока



МДС для зубцов



**МДС для спинки статора**

Напряженность магнитного поля



Средняя длина пути магнитного потока



МДС для спинки статора



**МДС для спинки ротора**

Напряженность магнитного поля



Средняя длина пути магнитного потока



МДС для спинки ротора



**Параметры магнитной цепи**

Суммарная ЭДС магнитной цепи на один полюс



Коэффициент насыщения магнитной цепи



Намагничивающий ток



Намагничивающий ток, в относительных единицах



ЭДС холостого хода



Главное индуктивное сопротивление



Главное индуктивное сопротивление в относительных единицах



# Активные и индуктивные сопротивления обмоток

**Сопротивление обмотки статора**

Удельная электрическая проводимость меди при 20оС



Активное сопротивление обмотки фазы при 20оС



Активное сопротивление обмотки фазы при 20оС в относительных единицах



Проверка правильности определения в относительных единицах



Коэффициенты, учитывающие укорочение шага



Размеры частей обмоток и паза

==0,4



Размер обмотки



Коэффициент проводимости рассеяния



Коэффициент, учитывающий влияния открытия пазов статора на проводимость дифференциального рассеяния



Коэффициент дифференциального рассеяния статора



Коэффициент, учитывающий демпфирующую реакцию токов



Коэффициент проводимости дифференциального рассеяния



Полюсное деление



Коэффициент проводимости рассеяния лобовых частей обмотки



Коэффициент проводимости рассеяния обмотки статора



Индуктивное сопротивление обмотки фазы статора



Индуктивное сопротивление обмотки фазы статора в относительных единицах



Проверка правильности определения в относительных единицах



**Сопротивление обмотки короткозамкнутого ротора**

Удельная электрическая проводимость алюминия при 20оС



Активное сопротивление стержня клетки при 20оС



Коэффициент приведения тока кольца к току стержня



Сопротивление короткозамыкающих колец, приведенное к току стержня при 20оС



Центральный угол скоса пазов



Коэффициент скоса пазов ротора



Коэффициент приведения сопротивления обмотки ротора к обмотке статора



Активное сопротивление обмотки ротора при 20оС, приведенное к обмотке статора



Активное сопротивление обмотки ротора при 20оС, приведенное к обмотке статора в относительных единицах



Ток стержня ротора для рабочего режима



Коэффициент проводимости рассеяния



Количество пазов ротора на полюс и фазу



Коэффициент дифференциального рассеяния ротора



Коэффициент проводимости дифференциального рассеяния



Коэффициент проводимости рассеяния короткозамыкающих колец литой клетки



Относительный скос пазов ротора, в долях зубцового деления ротора



Коэффициент проводимости рассеяния скоса пазов



Коэффициент проводимости рассеяния обмотки ротора



Индуктивное сопротивление обмотки ротора



Индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора



Индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора в относительных единицах



# Сопротивление обмоток преобразованной схемы замещения двигателя (с вынесенными на зажимы намагничивающим контуром)

Коэффициент рассеяния статора



Коэффициент



Коэффициент сопротивления статора



Преобразованные сопротивления обмоток



Пересчет магнитной системы не требуется, так как

, а



**Расчет режима холостого хода**

Реактивная составляющая тока статора при синхронном вращении



Электрические потери в обмотке статора при синхронном вращении

Вт



Расчетная масса стали зубцов статора при трапецеидальных пазах

кг



Магнитные потери в зубцах статора

Вт



Масса стали спинки статора

кг



Магнитные потери в спинке статора

Вт



Суммарные магнитные потери в сердечнике статора, включающие добавочные потери в стали

Вт



Коэффициент



Механические потери

Вт



Активная составляющая тока холостого хода



Ток холостого хода



Коэффициент мощности при холостом ходе



**Расчет номинального режима работы**

Активное сопротивление короткого замыкания



Индуктивное сопротивление короткого замыкания



Полное сопротивление короткого замыкания



Добавочные потери при номинальной нагрузке

Вт



Механическая мощность двигателя

Вт



Эквивалентное сопротивление схемы замещения



Полное сопротивление схемы замещения



Проверка правильности расчетов и



Скольжение в относительных единицах



Активная составляющая тока статора при синхронном вращении



Ток ротора



Ток статора:

активная составляющая



реактивная составляющая



Фазный



Коэффициент мощности



Линейная нагрузка статора



Плотность тока в обмотке статора



Линейная нагрузка ротора



Ток в стержне короткозамкнутого ротора



Плотность тока в стержне короткозамкнутого ротора



Ток в короткозамкнутом кольце



Электрические потери в обмотке статора и ротора соответственно

Вт



Вт



Суммарные потери в электродвигателе

Вт



Подводимая мощность

Вт



Коэффициент полезного действия

%



Проверка

подводимая мощность

Вт



Номинальная отдаваемая мощность

Вт



# Построение графиков рабочих характеристик произведем в MathCad

**Расчёт рабочих характеристик**



Рис.3 Зависимость I1=f(P2)



Рис.4 Зависимость n=f(P2)



Рис.5 Зависимость cos(u)=f(P2)



Рис.6 Зависимость Sn=f(P2)



Рис.7 Рабочие характеристики двигателя

# Максимальный момент

Переменная часть коэффициента статора



Составляющая коэффициента проводимости рассеяния статора, зависящая от насыщения



Переменная часть коэффициента ротора



Составляющая коэффициента проводимости рассеяния ротора, зависящая от насыщения



Индуктивное сопротивление рассеяния двигателя, зависящая от насыщения



Индуктивное сопротивление рассеяния двигателя, не зависящая от насыщения



Ток ротора, соответствующий максимальному моменту



Полное сопротивление схемы замещения:

при максимальном моменте



при бесконечно большом скольжении



Эквивалентное сопротивление схемы замещения при максимальном моменте



Кратность максимального момента



Скольжение при максимальном моменте в относительных единицах



**Начальный пусковой ток и начальный пусковой момент**

Определяю активные и индуктивные сопротивления соответствующие пусковому режиму:

Высота стержня клетки ротора



Приведенная высота стержня ротора



Коэффициент



Расчетная глубина проникновения тока в стержень



Ширина стержня на расчетной глубине проникновения тока



Площадь поперечного сечения стержня при расчетной глубине проникновения тока



Коэффициент вытеснения тока



Активное сопротивление стержня клетки при 20оС для пускового режима



Активное сопротивление обмотки ротора при 20оС приведенное к обмотке статора, для пускового режима



Коэффициент



Коэффициент проводимости рассеяния паза ротора при пуске



Коэффициент проводимости рассеяния обмотки ротора при пуске



Индуктивное сопротивление рассеяния двигатель, зависящее от насыщения



Индуктивное сопротивление рассеяния двигатель, не зависящее от насыщения



Активное сопротивление короткого замыкания при пуске



Ток ротора при пуске двигателя



Полное сопротивление схемы замещения при пуске (с учетом вытеснения тока и насыщения путей потоков рассеяния)



Индуктивное сопротивление схемы замещения при пуске



Активная составляющая тока статора при пуске



Реактивная составляющая тока статора при пуске



Фазный ток статора при пуске



Кратность начального пускового тока



Активное сопротивление ротора при пуске, приведенное к статору, при расчетной рабочей температуре и Т-образной схеме замещения



Кратность начального пускового момента



**Тепловой расчет обмотки статора**

Коэффициент



Потери в обмотке статора, при максимальной допускаемой температуре

Вт



Условная внутренняя поверхность охлаждения активной части статора



Условный периметр поперечного сечения



Число ребер

принимаю



Высота ребра



Условная поверхность охлаждения:

Пазов



лобовых частей обмотки



двигателей с охлаждающими ребрами на станине



Удельный тепловой поток от потерь в активной части обмотки и от потерь в стали, отнесенных к внутренней поверхности охлаждения активной части статора



Удельный тепловой поток от потерь в активной части обмотки отнесенных к поверхности охлаждения пазов



Удельный тепловой поток от потерь в лобовых частях обмотки, отнесенных к поверхности охлаждения лобовых частей обмотки



Окружная скорость ротора



Коэффициент теплоотдачи поверхности статора



Превышение температуры внутренней поверхности активной части статора над температурой воздуха внутри машины



Односторонняя толщина изоляции в пазу статора



Эквивалентный коэффициент теплопроводности изоляции в пазу включающий воздушные прослойки



Эквивалентный коэффициент теплопроводности внутренней изоляции катушки



Перепад температуры в изоляции паза и катушек из круглых проводов



Превышение температуры наружной поверхности лобовых частей обмотки над температурой воздуха внутри двигателя



Перепад температуры в изоляции лобовых частей катушек



Среднее превышение температуры обмотки над температурой воздуха внутри двигателя



Потери в двигателе передаваемые воздуху, внутри двигателя



Коэффициент подогрева воздуха



Среднее повышение температуры воздуха внутри двигателя над температурой наружного воздуха с охлаждающими ребрами на станине



Среднее превышение температуры обмотки над температурой наружного воздуха



**Вентиляционный расчет**

Расстояние от нижней части корпуса машины до опорной плоскости лап



Наружный диаметр корпуса



Коэффициент, учитывающий изменение теплоотдачи по длине корпуса двигателя



Необходимый расход воздуха



Расход воздуха, который может быть обеспечен наружным вентилятором



Напор воздуха, развиваемый наружным вентилятором



Проверка:

- верно



**Таблица сравнения данных разработанного электродвигателя с двигателем марки 4А180М8У3 выпускаемого Ярославским электромашиностроительным заводом**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Сравниваемые  данные | Разработанный  электродвигатель | Марки  4А180М8У3 |
| Мощность, кВт | 15 | 15 |
| КПД, % | 88 | 87 |
| cos φ | 82,7 | 82 |
|  | 5,105 | 5,5 |
|  | 1,144 | 1,2 |
|  | 1,604 | 2,0 |

# Список литературы

1. Гольдберг О.Д, Гурин Я.С, Свириденко И.С. «Проектирование электрических машин». Москва: «Высшая школа» 2001г.
2. Алиев И.И. «Справочник по электротехнике и электрооборудованию». Ростов-на-Дону: «Феникс» 2003г.
3. А.Э. Кравчик «Асинхронные двигатели серии 4А» Справочник. Энергоиздат. 1982г.