

*В.П. ШАЙДА*, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ";  
*М.Р. ВЕРЖАНОВСКАЯ*, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ"

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ГЛАВНОГО ПОЛЮСА ДПТ ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ПРИВОДА ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ТЕПЛОВОЗА**

В статье рассмотрены вопросы влияния геометрии наконечника главного полюса ДПТ на энергетические параметры магнитной системы. Проведенные исследования доказали эффективность предложенной формы полюсного наконечника.

**Ключевые слова:** двигатель постоянного тока, форма полюсного наконечника, рабочий магнитный поток.

**Введение.** В научной литературе [1-3], посвященной проектированию машин постоянного тока (МПТ), одним из самых сложных участков магнитной цепи и, главное, разнообразным по форме, является наконечник главного полюса (в дальнейшем просто наконечник).

Вопрос выбора геометрии наконечника при проектировании МПТ является очень важным, т.к. она оказывает значительное влияние на основные параметры магнитной системы и характеристики самой МПТ.

Рассматривая геометрию наконечника, можно выделить две поверхности, одна из них обращена к якорию, а вторая к станине и катушке обмотки возбуждения. Традиционно [2] рассматривают геометрию только той части наконечника, которая обращена к якорию и которая влияет на величину эквивалентного воздушного зазора или же более часто используют термин – вид (форму) воздушного зазора. Естественно, что она оказывает влияние на величины полного, рабочего магнитных потоков, коэффициент рассеяния и ряд других параметров МПТ.

В то же время геометрия той части наконечника, которая обращена к станине и катушке обмотки возбуждения определяется исходя лишь из технологических и конструктивных требований, связанных с необходимостью крепления катушки обмотки возбуждения, т.е. ее влияние на параметры магнитной системы в известных методиках проектирования не учитывается. В работе [4] уже изучалось влияние геометрии части наконечника обращенного к станине, однако в работе рассматривались МПТ со станиной прямоугольной формы, станины

© В.П. Шайда, М.Р. Вержановская, 2013

круглой формы не рассматривались. К тому же выступ наконечника, необходимый для крепления катушки обмотки возбуждения не изменялся.

До настоящего времени вопрос исследования геометрии части наконечника, обращенного к станине круглой формы, не вызывал интереса.

Однако при проектировании двигателя постоянного тока типа ПНЖ132-10, предназначенного для привода вентилятора обдува тормозных резисторов тепловоза ТЭМ-103, в СКБ ПАО "Электромашина" (г. Харьков) столкнулись с проблемой размещения обмоток в магнитной системе. Двигатель постоянного тока типа ПНЖ132-10 показан на рис. 1.

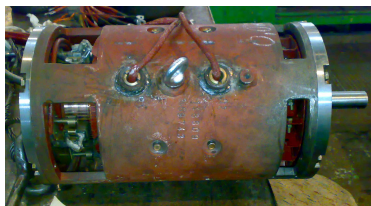


Рис. 1 – Двигатель постоянного тока типа ПНЖ132-10.

Как видно из рис. 1, двигатель имеет станину круглой формы, что ограничивает место для размещения обмотки возбуждения, по сравнению со станиной прямоугольной формы. К тому же спроектированный двигатель имеет последовательное возбуждение, что не позволяет выполнять скосы в катушке возбуждения, как в двигателях независимого или параллельного возбуждения. Поэтому использование традиционной формы выступа для крепления катушки обмотки возбуждения приводит к тому, что катушка не помещается, это хорошо видно на рис. 2, а (выноска А).

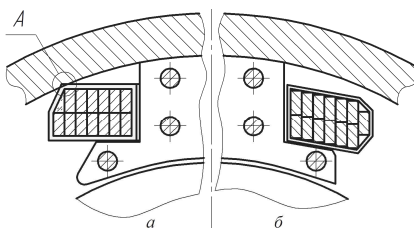


Рис. 2 – Конструкция главного полюса: а – с выступом традиционной формы; б – с подрезанным выступом.

Естественно, что конструкторов СКБ ПАО "Электромашина" подобная ситуация не устраивала, поэтому они предложили выполнить скосы наконечника главного полюса и произвести формовку катушки возбуждения, как это показано на рис. 2, б.

В результате внедрения предложенных решений удалось поместить катушку обмотки возбуждения в существующей магнитной системе, а изготовленный двигатель удовлетворил требованиям заказчика.

Ввиду лимита времени на изготовление двигателя разработчиками не был исследован вопрос – как повлияли скосы, выполненные на полюсном наконечнике, на энергетические параметры магнитной системы и в частности на величину рабочего магнитного потока. Кроме того, известно, что в малых машинах применяется геометрическая форма исполнения наконечника – по радиусу, полюс такой с таким наконечником показан на рис. 3. Использование полюса с наконечником такой формы позволило бы более эффективно разместить катушку обмотки возбуждения и исключило бы операцию дополнительной фрезеровки наконечников для получения скоса.

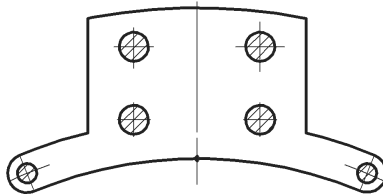


Рис. 3 – Главный полюс с наконечником, выполненным по радиусу.

Проблемы размещения катушек магнитной системы достаточно часто возникают в МПТ с высотой оси вращения до 160 мм, которые выполняются со станиной круглой формы. Поэтому автора статьи решили исследовать влияние геометрии полюсного наконечника, а именно той части, которая обращена к катушке обмотки возбуждения, на энергетические параметры магнитной системы. В качестве исследуемого объекта решено было использовать двигатель типа ПНЖ132-10.

**Проведение исследований.** Основные процессы в МПТ осуществляются посредством магнитного поля, поэтому использование расчетов магнитного поля для исследования и проектирования машин является наиболее перспективным путем. Для проведения изысканий решено было рассчитать магнитное поле в поперечном сечении исследуемого двигателя, для каждого варианта формы наконечника, в ре-

жиме нагрузки. Расчеты магнитного поля проводились в программе FEMM [5], которая позволяет выполнять расчеты плоскопараллельного или плоскомеридианного электромагнитного поля, построить его картину, определить цепные и полевые параметры. Программа FEMM для расчетов магнитного поля использует метод конечных элементов, она относится к классу бесплатных (открытых) программ, и в силу этого широко распространена за рубежом и в странах СНГ.

Порядок расчета магнитного поля двигателя в программе FEMM формализован и заключается в выполнении следующих этапов:

- 1) создание исходного файла и выбор типа решаемой задачи;
- 2) создание геометрической модели двигателя;
- 3) ввод свойств блоков;
- 4) ввод граничных условий;
- 5) ввод цепных свойств;
- 6) идентификация свойств блоков, цепей и граничных условий;
- 7) построение сетки конечных элементов и расчет модели;
- 8) построение картины магнитного поля двигателя;
- 9) анализ расчетных данных.

Для выполнения расчета магнитного поля двигателя необходимо сначала создать его геометрическую модель. Геометрическую модель исследуемого двигателя создаем в графическом редакторе "КОМПАС" на основании проведенного электромагнитного расчета, а затем импортируем в FEMM. Для удобства работы с картиной магнитного поля в геометрическую модель добавлена дополнительная окружность, которая размещена посередине воздушного зазора. Кроме того, в главном полюсе искусственно разделены сердечник и наконечник, для удобства задания различной плотности треугольников конечно-элементной сетки.

Далее задаем магнитные свойства участков магнитной цепи двигателя. Магнитные свойства блока воздушный зазор исходно заданы в библиотеке свойств программы FEMM, для остальных участков цепи вводим соответствующие кривые намагничивания: главный полюс – сталь марки 3411; станина и добавочный полюс – сталь марки Ст.3; зубец и спинка якоря – сталь марки 2211.

Для каждой обмотки задается свое значение МДС, которое берется из электромагнитного расчета. Однако величина МДС корректируется с учетом реального коэффициента заполнения, который определяется как отношение площади поперечного сечения голых проводников обмотки к площади поперечного сечения занимаемого обмоткой. Зна-

чения коэффициента заполнения для каждой обмотки двигателя приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения реального коэффициента заполнения для обмоток

Назначение обмотки	Обмотка якоря	Обмотка возбуждения	Обмотка добавочных полюсов
Величина реального коэффициента заполнения	0,601	0,562	0,638

При расчете используется полное сечение двигателя, поэтому задаем такие граничные условия – по наружному контуру станины и наружной поверхности вала векторный магнитный потенциал  $A = 0$ , граничные условия Дирихле.

Каждый блок идентифицируем, т.е. предоставляем соответствующие магнитные свойства, поверхностям – граничные условия и задаем МДС в катушках обмоток. При этом учитываем, что в пазах якоря, или в их частях, которые попадают в зону коммутации, ток равен нулю.

Расчетная модель двигателя, имеющего наконечник главного полюса выполненный по радиусу, показана на рис. 4.

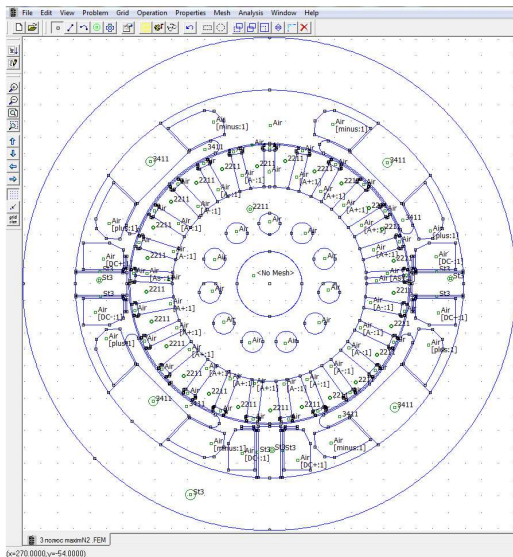


Рис. 4 – Расчетная модель двигателя, подготовленная программе FEMM.

С учетом практики расчетов магнитных полей в электрических машинах, в наиболее насыщенных областях задавалось большее количество треугольников [6]. В результате программой FEMM была сгенерирована конечно-элементная структура, которая имеет 23989 узлов и 46537 треугольников.

Картина магнитного поля двигателя в режиме нагрузки показана на рис. 5.

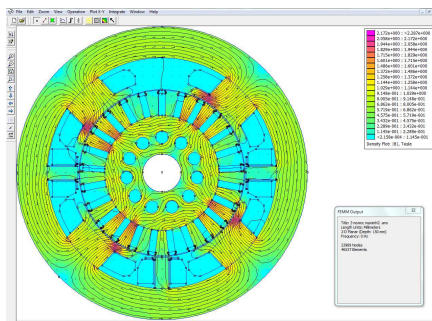


Рис. 5 – Картина магнитного поля двигателя в режиме нагрузки.

Аналогичным образом было рассчитано магнитное поле двигателя с наконечником, имеющим скосы (заводской вариант), конечно-элементная сетка данной модели имеет 23884 узлов и 46327 треугольников. Картина магнитного поля двигателя с наконечником, имеющим скосы (заводской вариант), показана на рис. 6.

**Анализ результатов расчета магнитного поля.** По результатам расчета магнитного поля двигателя для каждого рассматриваемого варианта определялись: суммарный магнитный поток, рабочий магнитный поток, т.е. магнитный поток, который попадает в якорь двигателя и коэффициент магнитного рассеяния.

Для определения рабочего магнитного потока задавался путь от середины одного дополнительного полюса к середине другого на одном полюсном делении, как это показано на рис. 7.

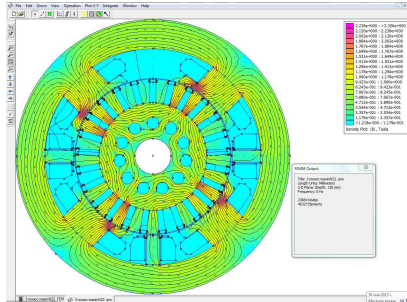


Рис. 6 – Картина магнитного поля двигателя, со скосами на наконечнике главного полюса, в режиме нагрузки.

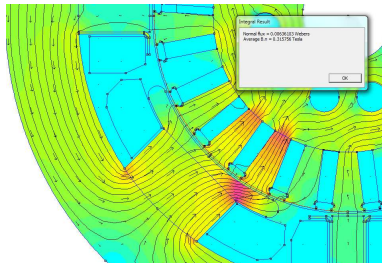


Рис. 7 – Задание контура, для определения рабочего магнитного потока.

Величина коэффициента магнитного рассеяния определялась по формуле

$$\sigma = \frac{\Phi_{\Sigma}}{\Phi_{\text{раб}}}.$$

Значения определяемых параметров для каждого варианта сведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты расчета энергетических параметров магнитной системы для каждого исследуемого варианта полюсного наконечника

Энергетические параметры	Значения параметров	
	Полюсный наконечник со скосами	Полюсный наконечник выполнен по радиусу
Суммарный магнитный поток, Вб	0,00594	0,00636
Рабочий магнитный поток, Вб	0,00618	0,00661
Коэффициент магнитного рассеяния	1,042	1,039

## **Выводы.**

1. Предложенный вариант наконечника, с выполнением наружной его поверхности по радиусу, лучше заводского варианта наконечника со скосами, так как дает увеличение рабочего магнитного потока на 7 %.

2. Даже не проводя расчетов магнитного поля, можно уверенно сказать, что выполнение скосов на полюсном наконечнике приводит к уменьшению магнитного потока по сравнению с классическим исполнением наконечника, так как уменьшается общее количество железа наконечника.

3. Внедрение главного полюса, с наконечником выполненным по радиусу, сдерживается тем, что необходимо изготовление нового полюсного штампа.

**Список літератури:** 1. *Морозов А.Г.* Расчет электрических машин постоянного тока. – М.: Высш. шк., 1972. – 224 с. 2. *Гольдберг О.Д., Гурин Я.С., Свириденко И.С.* Проектирование электрических машин: Учеб. для втузов / Под ред. О.Д. Гольдберга. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 430 с. 3. *Рабинович И.Н., Шубов И.Г.* Проектирование электрических машин постоянного тока. – Л.: Энергия, 1967. – 504 с. 4. *Шайда В.П., Егоров Б.А., Мирошниченко А.Г.* Исследование геометрии наконечника главного полюса в машинах постоянного тока средней мощности общепромышленного назначения. // Вестник Национального технического университета "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". - 2003. – № 9, т. 4. – С. 101-108. 5. *Meeker D.* Finite Element Method Magnetics. Version 4.2. User's Manual, September 26, 2006 // <http://femm.berlios.de>, 2005. 6. *Мильх В.И.* Расчетно-экспериментальное тестирование программы FEMM и преодоление проблем ее использования для расчета магнитных полей электрических машин / *В.И. Мильх, И.В. Поляков, Н.В. Полякова, Е.И. Штангеев* // Електротехніка і електромеханіка. – 2004. – № 3. – С. 38-43.

*Надійшла до редколегії 30.05.2013*



Шайда Виктор Петрович, канд. техн. наук, доцент каф. электрические машин, НТУ "ХПИ"  
E-mail: [viktorshayda08@rambler.ru](mailto:viktorshayda08@rambler.ru)





Вержановская Мария Ростиславовна, канд. техн. наук, доцент каф. промышленной и биомедицинской электроники, НТУ "ХПИ"

УДК 621.313.2

**Моделювання геометрії головного полюса двигуна постійного струму призначеного для приводу допоміжних агрегатів тепловоза / Шайда В.П., Вержановская М.Р. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПИ", 2013. – № 35 (1008). – С. 49-57. Бібліогр.: 6 назв.**

У статті розглянуті питання впливу геометрії наконечника головного полюса ДПТ на енергетичні параметри магнітної системи. Проведені дослідження довели ефективність запропонованої форми полюсного наконечника.

**Ключові слова:** двигун постійного струму, форма полюсного наконечника, робочий магнітний потік.

In the paper the influence questions of main pole tip geometry of a DC motor on the power parameters of the magnetic system are considered. The investigations are proved the efficiency of the offered shape of the pole tip.

**Keywords:** DC motor, shape of pole tip, working magnetic flux.