

УДК 621.313.33

**Процына З. П.**

### ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИИ ВЕНТИЛЬНО-РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

***Аннотация.** Рассмотрена система автоматизированного анализа и синтеза вентильно-реактивных двигателей «SRM-CAD». Представлено описание одной из подсистем – параметризации геометрии вентильно-реактивного двигателя. Рассмотрены существующие подходы к параметризации геометрии и возможности которые она предоставляет.*

***Ключевые слова.** Вентильно-реактивный двигатель, проектирование, САПР, параметризация геометрии, SRM-CAD, электромеханический преобразователь.*

**Процына З. П.**

### ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ГЕОМЕТРІЇ ВЕНТИЛЬНО-РЕАКТИВНОГО ДВИГУНА

***Анотація.** Розглянута система автоматизованого аналізу та синтезу вентильно-реактивного двигуна «SRM-CAD». Представлено опис однієї з підсистем для параметризації геометрії вентильно-реактивного двигуна. Розглянуто аналіз існуючих підходів до параметризації геометрії і можливості, які вона надає.*

***Ключові слова.** Вентильно-реактивний двигун, проектування, САПР, параметризація геометрії, SRM-CAD, електромеханічний перетворювач.*

**Protsyna Z. P.**

### PARAMETERIZATION OF THE GEOMETRY OF SRM

***Abstract.** Considered system of computer-aided analysis and synthesis of switched reluctance motors «SRM-CAD». Presented a description of one of the subsystems to parameterize the geometry of switched reluctance motors. Considered analysis of existing approaches to the parameterization of the geometry and the opportunities it provides.*

***Keywords.** Switched reluctance motors, SRM, CAD, parameterization of geometry, SRM-CAD.*

**Введение.** В последние годы вентильно-реактивные двигатели (ВРД) приобретают все большую популярность, им присущи следующие качества: простая конструкция электромеханического преобразователя (ЭМП), высокая надежность, возможность встраивания в технологическое оборудование.

**Система автоматизированного проектирования ВРД.** Для облегчения задачи проектирования ВРД создана система автоматизированного синтеза ВРД – «SRM-CAD» [1, 2]. Данная система позволяет выполнить полный цикл проектирования от предварительного расчета до анализа магнитных и тепловых полей, расчета динамических и квазиустановившихся режимов работы, при необходимости внутренними средствами SRM-CAD решается оптимизационная задача. Функциональная схема системы автоматизированного синтеза ВРД приведена на рис. 1. Работа подсистем расчета динамических и квазиустановившихся режимов работы описана в [1], подсистемы

оптимизации в [3]. В данной работе рассмотрим подсистему параметризации геометрии для расчета магнитных и тепловых полей.

**Параметрическое моделирование.** Параметризация – это процесс, в результате которого создается модель с минимальным набором параметров. Изменяя их, проектировщик получает нужную ему модель объекта [4]. При проектировании конструктор постепенно абстрагируется от исходных примитивов и получает модель, максимально соответствующую его представлениям. Хорошо параметризованная модель, кроме минимального набора связей, обладает возможностью “работы” в широком диапазоне изменяемых параметров [5].

Обычно процесс проектирования достаточно сложных системных объектов имеет итерационный характер. В этом случае наибольший объем работы вызывает не само проектирование, а непосредственно внесение изменений и исправлений. Значительно упростить решение таких задач позволяют средства параметрического моделирования.

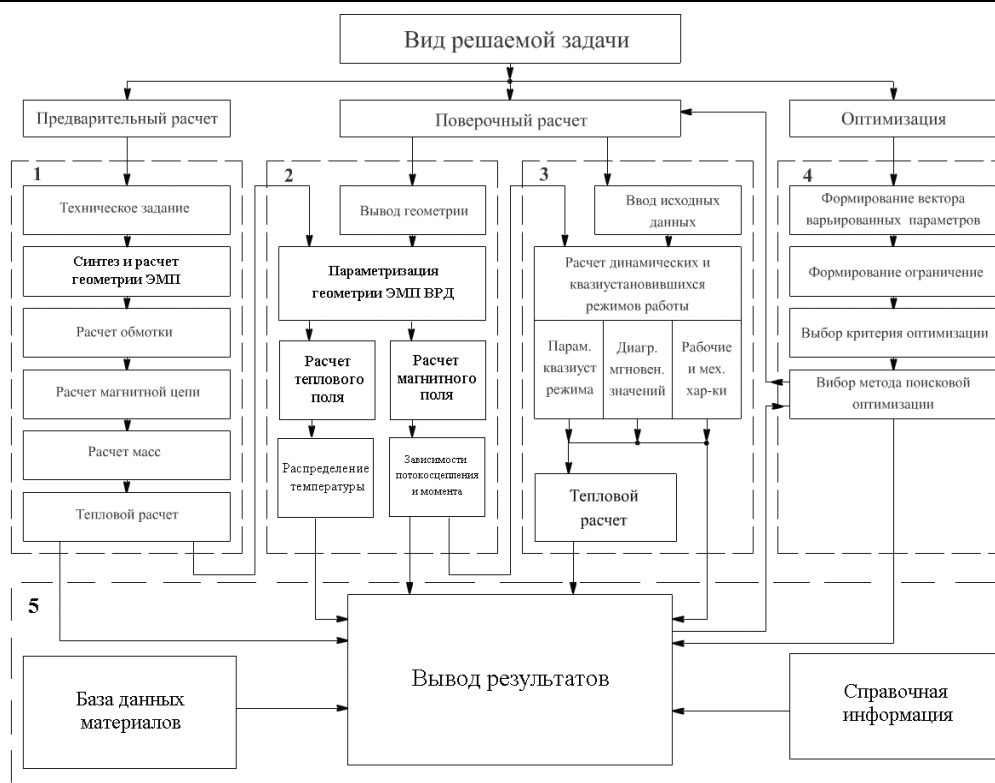


Рис. 1. Функциональная схема системы SRM-CAD

Где цифрами обозначены следующие подсистемы:

1. предварительного расчета;
2. параметризации геометрии для расчета магнитных и тепловых полей;
3. расчета динамических и квазиустановившихся режимов работы;
4. оптимизации;
5. информационная.

При использовании параметрического моделирования в ходе построения модели объекта накапливаются сведения о геометрических параметрах элементов модели и соотношений между ними, а также формируется протокол (история) создания геометрии, это в свою очередь позволяет простым изменением параметров или геометрических соотношений легко модифицировать и пересоздавать модель. Параметризация, как методология автоматизированной разработки, это основа для быстрого выполнения проектно-конструкторских работ. Использование технологий параметрического конструирования позволяет, при необходимости, легко изменять форму модели. Поэтому проектировщик имеет возможность быстро и эффективно

получать альтернативные конструкции или пересмотреть концепцию изделия в целом.

Также параметрическое моделирование широко применяется в системах автоматизированного проектирования тяжелого, а также среднего класса: SolidWorks, КОМПАС 3D, Euclid, CATIA, T-Flex CAD и пр.

Существует три подхода к созданию параметризированной геометрии модели изделия [6]:

- параметрическое конструирование с полным набором связей;
- ассоциативная геометрия;
- объектно-ориентированное конструирование при помощи базовых операций добавления/удаления материалов.

**Подсистема параметризации геометрии ВРД.** Для иллюстрации использования системы SRM-CAD при проектировании, рассмотрим процесс создания ВРД. Получив техническое задание, пользователь системы автоматизированного синтеза SRM-CAD, применяя подсистему предварительного расчета, определяет основные размеры и энергетические характеристики проектируемого ВРД.

Так как подсистема предварительного расчета базируется на использовании схемы замещения магнитной цепи и эквивалентных тепловых схем (см. рис. 1), то полученные результаты необходимо уточнить с использованием полевых моделей высокой степени детализации, а также учесть те или иные конструкционные ограничения. Используемое для этой цели программное обеспечение FEMM версии 4.2, предоставляет возможность получить распределение магнитных и

тепловых полей, а также определить величину момента действующего на ротор ВРД для реальной геометрии ЭМП. В качестве исходных данных для программы FEMM задается геометрическая модель ЭМП ВРД, также указываются свойства материалов и граничные условия. Пример геометрической модели четырехфазного ЭМП ВРД конструкции 8/6 вместе с диалоговыми окнами задания граничных условий для полевой модели показан на рис. 2.

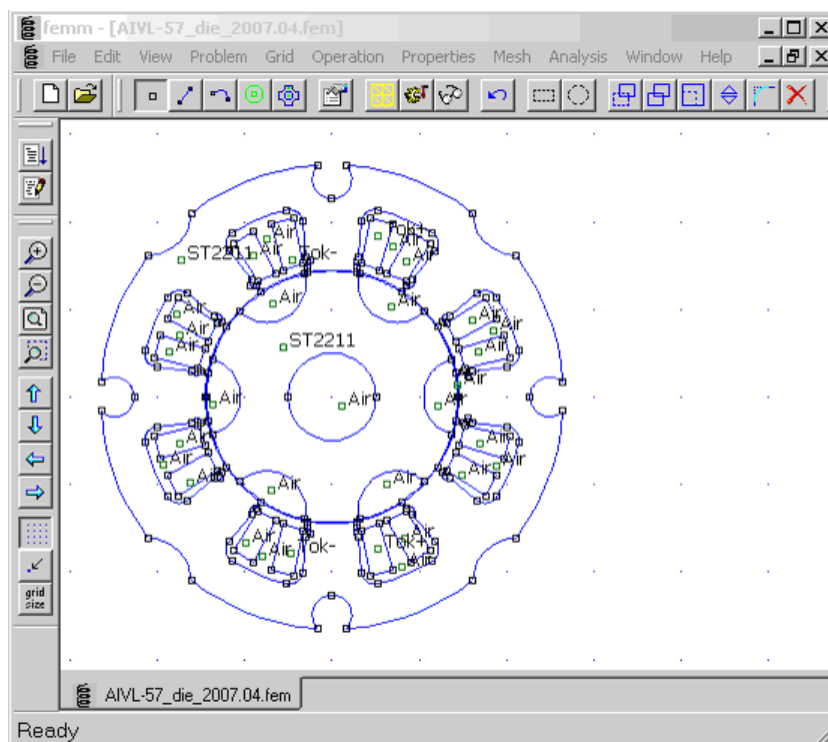


Рис. 2. Модель ЭМП ВРД в программе FEMM

При проведении многократных расчетов в процессе структурного либо параметрического синтеза приходится проводить перебор различных сочетаний геометрических размеров и структур. Для каждого варианта ЭМП ВРД нужно заново создавать модель. Этот процесс отнимает много времени разработчика, особенно если таких моделей тысячи. Именно эту проблему и решает технология параметризации геометрии.

В системе автоматизированного синтеза ВРД SRM-CAD применена параметризация с полным набором связей. Параметрическое конструирование с полным набором связей или “жесткая” параметризация – это интеллектуальное моделирование, когда геометрия и конструкторские цели заложены в

определении модели. При этом известны все необходимые связи, однозначно определяющие тем самым геометрическую форму модели изделия. В этом случае изменение значения какого-нибудь параметра, или переопределение связей, влечет за собою автоматическое изменение геометрии модели и не потребует от конструктора выполнения каких-нибудь действий по модификации геометрической модели.

Кроме “классических” конструкций ЭМП ВРД подсистема параметризации геометрии может создавать модели ЭМП с несколькими воздушными зазорами (расщепленным воздушным зазором). В качестве примера, различные варианты геометрии ЭМП ВРД приведены на рис. 3.

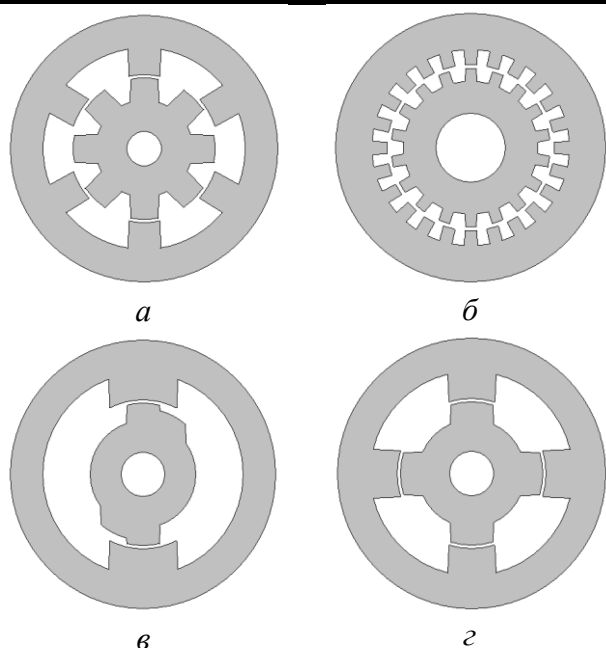


Рис. 3. Варианты ЭМП, реализуемые в подсистеме геометрической параметризации системы SRM-CAD

На рисунке 3,а представлен четырехфазный ЭМП ВРД “классической” конструкции с соотношением числа полюсов статора к ротору 8/6. На рис. 3,б показан пример четырехфазного ЭМП, конструкции 24/18. На рисунках 3,в и 3,г приведены однофазные ЭМП с расщепленным воздушным зазором конструкции 2/2 и с равномерным воздушным зазором конструкции 4/4, соответственно.

Интерфейс ввода исходных данных в подсистему параметризации геометрии и отображения результатов для четырехфазного ЭМП ВРД с числом полюсов статора к ротору 8/6 показан на рис. 4.

Используя полученную геометрическую модель можно выполнить расчет магнитных и тепловых полей методом конечных элементов в автоматизированном режиме. Система SRM-CAD автоматически сгенерирует необходимые файлы, запустит процесс расчета и получит результаты.

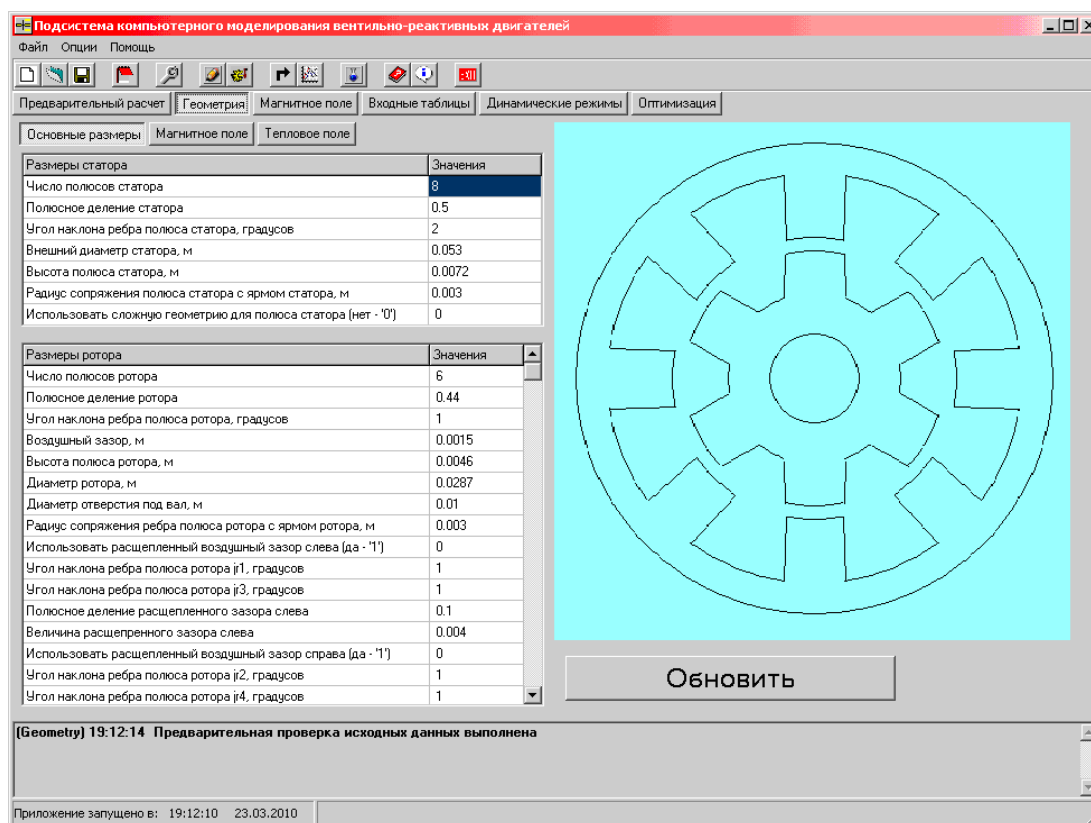


Рис. 4. Окно подсистемы параметризации геометрии ЭМП ВРД

Результатами расчета полевых моделей являются электромагнитные моменты и значения потокосцепления для заданных значений угла поворота ротора и тока в катушках статора. В дальнейшем, на базе этих данных

можно выполнить расчет динамических и квазиустановившихся режимов работы ВРД [5] используя соответствующую подсистему программы SRM-CAD. Также можно опре-

делить механические и рабочие характеристики ВРД.

Также существует возможность передать полученную в результате параметризации геометрическую модель ЭМП ВРД в систему создания конструкторской документации.

**Выводы.** Используя параметризацию в процессе проектирования можно оперативно создавать геометрию ЭМП ВРД и осуществлять ее редактирование. Параметризация позволяет автоматизировать процесс создания геометрии ЭМП ВРД, а в комплексе с другими подсистемами дает возможность выполнить оптимизацию структуры ЭМП ВРД и параметров системы управления на базе полевой математической модели высокой точности, в рамках системы автоматизированного синтеза ВРД SRM-CAD [3].

### Список литературы

1. Рымша В.В., Радимов И.Н., Процына З.П. Подсистема компьютерного моделирования вентильно-реактивных электродвигателей // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2006. – № 2 (25). – С. 437–442.

2. Свидетельство о регистрации авторского права № 30929. Компьютерная программа “Система автоматизированного анализа и синтеза вентильно-реактивных двигателей SRM-CAD” / М.В. Гулый, О.Е. Малеваний, З.П. Процына, И.Н. Радимов, В.В. Рымша. Государственный департамент интеллектуальной собственности, 10.11.2009 г.

3. Процына З.П. Оптимизация углов включения и выключения фаз вентильно-реактивного двигателя // Вестник Национального технического университета “ХПИ”. – 2009. – №7. – С. 118-125.

4. Копорущкин П.А., Партин А.С. Алгоритм расчета параметризованных геометрических объектов // Электронный журнал “Исследовано в России” <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/018.pdf>

5. Жигулин В. О том, как твердое тело может быть слишком твердым, или Взгляд

на параметризацию сбoku // источник: <http://www.sapr.ru/Article.aspx?id=6646>

6. Борисов С.А., Смолянинов В.В., Терентьев М.Н. Способы создания параметризованной геометрической модели // Access mode: <http://www.cosmos.rcnet.ru/articles/param.html>

Поступила 20.05.2016

### References

1. Rimsha V.V., Radimov I.N., Protsyana Z.P. System of computer-aided analysis and synthesis of switched reluctance motors // Vestnik Hersonskogo nacional'nogo tehničkog universiteta. – 2006. – № 2 (25). – S. 437–442.

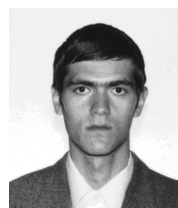
2. The certificate of registration of copyright № 30929. The computer program “System of computer-aided analysis and synthesis of switched reluctance motors SRM-CAD” / M.V. Gulyj, O.E. Malevanij, Z.P. Protsyana, I.N. Radimov, V.V. Rimsha. The state Department of intellectual property, 11.10.2009.

3. Protsyana Z.P. Optimization of the angles of the ON and OFF phases of the switched reluctance motors // Vestnik Nacional'nogo tehničkog universiteta “HPI”. – 2009. – №7. – S. 118-125.

4. Koporushkin P.A., Partin A.S. Algoritm rascheta parametrizovannyh geometricheskikh obektov // Jelektronnyj zhurnal “Issledovano v Rossii” <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/018.pdf>

5. Zhigulin V. O tom, kak tverdoe telo mozhet byt' slishkom tverdym, ili Vzglyad na parametrizaciju sboku // source: <http://www.sapr.ru/Article.aspx?id=6646>

6. Borisov S.A., Smoljaninov V.V., Terent'ev M.N. Sposoby sozdaniya parametrizovanoj geometricheskoj modeli // source: <http://www.cosmos.rcnet.ru/articles/param.html>



Процына Зиновий Павлович,  
e-mail: [procina.z@gmail.com](mailto:procina.z@gmail.com)