

УДК 621.313

Заблодский Н. Н., докт. техн. наук,
Плюгин В. Е., канд. техн. наук,
Гетя А. Н.,
Дещенко А. Л.

ОБОБЩЕННЫЙ МЕТОД ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

***Аннотация:** Представлена методика объектно-ориентированного проектирования электромеханических преобразователей энергии, базирующаяся на принципах иерархии и наследования. Даны рекомендации по формированию объектно-ориентированных моделей. Приведены этапы объектно-ориентированного проектирования на примере асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.*

***Ключевые слова:** объектно-ориентированный, класс, объект, наследование, иерархия, проектирование, моделирование, методика, электромеханический преобразователь, асинхронный двигатель, алгоритм.*

Заблодський М. М., докт. техн. наук,
Плюгін В. Є., канд. техн. наук,
Гетя А. М.,
Дещенко О. Л.

УЗАГАЛЬНЕНИЙ МЕТОД ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕНЕРГІЇ

***Анотація:** Представлена методика об'єктно-орієнтованого проектування електромеханічних перетворювачів енергії, що базується на принципах ієрархії і спадкоємства. Дані рекомендації по формуванню об'єктно-орієнтованих моделей. Приведені етапи об'єктно-орієнтованого проектування на прикладі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.*

***Ключові слова :** об'єктно-орієнтований, клас, об'єкт, спадкоємство, ієрархія, проектування, моделювання, методика, електромеханічний перетворювач, асинхронний двигун, алгоритм.*

Zablodskii N. N., ScD,
Plugin V. E., PhD,
Hetia A. M.,
Deshchenko O. L.

GENERALIZED METHOD OF THE ELECTROMECHANICAL CONVERTERS OF ENERGY OBJECT-ORIENTED DESIGN

***Abstract:** The object-oriented design methodology of electromechanical converters of energy based on principles of hierarchy and inheritance is presented. Recommendations on forming of the object-oriented models are given. The stages over of the object-oriented design on the example of induction motor with a squirrel-cage rotor are brought.*

***Key words:** object - oriented, class, object, inheritance, hierarchy, design, modelling, methodology, electromechanical converter, induction motor, algorithm.*

Введение. Разработка и модернизация электромеханических преобразователей энергии (ЭМПЭ) с высокими технико-экономическими показателями является приоритетной задачей современных электромашиностроительных предприятий. Приоритетной проблемой является не только выполнение проектно-конструкторских работ в максимально короткие сроки, но и гарантирование высокого качества новых изделий, а также экономия ресурсов на этапах

проектирования и производства. Важной задачей, в связи с этим, является разработка методики проектирования ЭМПЭ, основанной на принципах объектно-ориентированных технологий, что позволит не только существенно сократить сроки проектно-конструкторских работ и подготовки технической документации, но также усовершенствовать процесс создания ЭМПЭ путем переноса проектных методик из заранее подготовленной базы знаний на новую

комбинацию узлов ЭМПЭ без проведения дополнительных проектных работ.

В связи с этим, тема настоящей работы, направленной на решение проблемы повышения технико-экономических показателей электромеханических преобразователей энергии и сокращение сроков их разработки, является актуальной для теории и практики электромашиностроения.

Цель работы. Целью работы является разработка методики объектно-ориентированного проектирования, позволяющей улучшить технико-экономические показатели электрических машин, уменьшить сроки и затраты на проектирование и на модификацию машины.

Анализ существующих методов проектирования. Анализ научно-технической литературы как отечественных, так и зарубежных авторов позволяет выделить сформировавшиеся в настоящее время способы проектирования ЭМПЭ [1–4].

Известен способ проектирования ЭМПЭ, основанный на использовании расчетного формуляра с формулами, в которых представлены сосредоточенные параметры машины, причем проектирование выполняется по последовательной (каскадной) схеме [1]. Однако такой способ проектирования неэффективен при рекурсивных расчетах, вследствие чего становится практически невозможной организация оптимизационных алгоритмов.

Известен способ проектирования ЭМПЭ, состоящий в последовательном использовании заранее написанных подпрограмм, каждая из которых рассчитывает один из этапов проекта [2]. Данный способ проектирования позволяет выполнять оптимизацию электрических машин по одному или нескольким критериям оптимальности. Однако, указанный способ проектирования также является индивидуальным для отдельного типа электрической машины, Последовательная схема организации проекта затрудняет модификацию проекта и его повторное использование.

Известен способ проектирования электрических машин, в котором реализован расчет ЭМПЭ, данные которого уточняются после выполнения расчета распределения электромагнитного поля [3]. Однако, такой спо-

соб проектирования имеет те же недостатки, что и предыдущий способ, в котором полученные в результате расчета данные уточняются после выполнения расчета электромагнитных переходных процессов.

Известен способ проектирования электрических машин, основанный на применении программного обеспечения [4]. Данный способ проектирования позволяет рассчитать распределение электромагнитного поля и электромагнитные переходных процессов. Однако, такой способ проектирования ограничен типами электрических машин, предусмотренных программным обеспечением. При этом нет возможности вносить изменения в заложенные в программное обеспечение расчетные формулы.

Характеристика метода объектно-ориентированного проектирования. Применение принципов ООП в структурной организации электрических машин дает возможность сократить сроки разработки новых проектов и модификации существующих благодаря объединению данных проекта в классы, содержащие параметры электрической машины и расчетные блоки отдельных этапов проектирования [5–7].

Отсутствие жестких связей между отдельными этапами проекта в ООП исключает проблему согласования входных и выходных параметров между расчетными блоками.

Представление классов электрических машин в виде диаграмм на языке UML (рис. 1) позволяет автоматически генерировать расчетные модели на основе уравнений электромагнитного поля, математические модели электромагнитных переходных процессов, инженерные методики проектирования. Пользуясь классовым шаблоном и выбирая заданные модификаторы, переходят к объекту конкретного электромеханического преобразователя с заложенными в него уравнениями математической модели. Кроме того, реализована возможность синтеза математических моделей и проектирования электрических машин, находящиеся на стадии разработки.

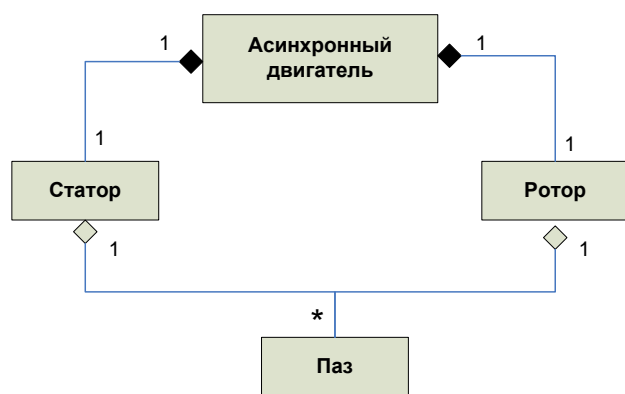


Рис. 1 –Пример упрощенной UML-диаграммы классов АД

Наличие объектно-ориентированной модели исключает необходимость выполнения подготовительных операций при переходе от теоретических исследований к практической реализации модели в численном виде [8]. Реализация наследования в ООП позволяет объединить в одном проекте электромагнитные, тепловые, механические, виброакустические расчеты, расчеты надежности, экономические расчеты, связанные с выбранной классовой структурой электрической машины.

Этапы методики объектно-ориентированного проектирования. Методика проектирования, на примере АД с КЗР, реализуется следующим образом.

1. На этапе постановки технического задания формируют исходные данные к проекту, которые используют для инициализации классов статора и ротора обобщенной ЭМ и АД [6].

2. Формируют алгоритм ООП, включающий [7]:

- этап создания объекта проектирования;
- базовую функцию расчета геометрических размеров;
- функцию расчета геометрических размеров статора и ротора, являющихся наследниками базовой функции расчета геометрии;
- функцию расчета рабочих, пусковых характеристик, моделирования ЭМ в динамических режимах, полевой расчет;
- функцию расчета тепловых и механических параметров;
- функцию оптимизации;

- блок генерирования проектно-конструкторской документации.

3. Формируют классы проекта, состоящие из базового класса обобщенной электрической машины и классов-потомков, расширяющих функциональные возможности базового класса и отличающиеся особенностями проектируемой ЭМ [7]. На текущем этапе выделяют параметры ЭМ и группируют их в соответствующих классах, выполняют заполнение расчетных блоков формулами для определения параметров, определяемых назначением расчетного блока.

4. На этапе ввода исходных данных выполняют первоначальную инициализацию в компьютерной программе, составленной на языке ООП в соответствии с UML диаграммой классов [6].

5. На этапе расчета геометрических размеров, осуществляют выбор числа пазов статора, входящего отдельным объектом в класс АД, унаследованного от базового класса, его внутреннего и внешнего диаметров при заданных исходных данных. Аналогично осуществляют расчет ротора, класс которого, также, как и класс статора, входит отдельным объектом в класс АД. Выполняют расчет геометрии ротора с учетом типа паза [6, 7].

6. Выполняют расчет магнитной цепи. Расчет осуществляют из абстрактного расчетного блока главного класса АД, в котором определяют последовательность вызова расчетных блоков цепи статора, затем цепи ротора [6].

7. Выполняют расчет активных и индуктивных сопротивлений одной полиморфной командой, вызывающей из класса АД расчетные блоки определения параметров статора, а затем ротора [6].

8. Выполняют расчет потерь АД путем вызова соответствующих расчетных блоков.

9. Выполняют расчет характеристик.

10. Выполняют тепловой расчет. В ходе теплового расчета, сформированного на основании структуры АД по классовой диаграмме, определяют превышение температуры обмотки статора по эквивалентным тепловым схемам, узлы которой наследуют уже известные параметры классов АД.

11. Выполняют расчет механической прочности и надежности.

12. Осуществляют оптимизацию с применением выбранного метода оптимизации: ДПМ или ГА [8].

13. Выполняют математическое моделирование ЭМ, состоящее из синтеза математической модели на основе сосредоточенных параметров и распределенных параметров. В первом случае выполняют расчет моделирование электромагнитных переходных процессов [9], во втором – распределение электромагнитного поля [10].

Синтез математической модели в виде сосредоточенных параметров АД с КЗР сопровождаются формированием таблицы модификаторов (табл. 1), которые являются коэффициентами или слагаемыми, изменяющими матрицу параметров базовой ММ, составленной для обобщенной ЭМ.

Выполняют синтез математической модели в виде распределенных параметров. Используя полученные геометрические размеры спроектированной ЭМ, параметры системы питания, свойства материалов, с помощью табл. 1, UML диаграммы классов, диаграммы состояний формируют ММ распределения электромагнитного поля для АД с КЗР.

14. На этапе формирования документации с помощью компьютерной программы выполняют экспорт полученных результатов в текстовые файлы отчета.

Выводы. В предлагаемой методике проектирования ЭМПЭ реализован объектно-ориентированный подход в организации данных и расчетных процедур, задействованы объектно-ориентированные алгоритмы оптимизации, что позволяет выполнять комплексное проектирование ЭМПЭ, включающее в себя проектирование базовой машины, ее оптимизацию, расчет электромагнитных переходных процессов, расчет распределения электромагнитного поля, максимально приближает формальное представление проекта к объектно-ориентированным языкам программирования, что повышает эффективность проектирования, сокращает временные и материальные затраты на проектирование, упрощает модификацию проекта, дает воз-

можность повторного использования существующих разработок в новых проектах.

Список использованной литературы

1. Проектирование электрических машин [Текст]: учебник для вузов / под ред. И.П. Копылова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 767 с.
2. Sen S.K. Principles Of Electrical Machine Design With Computer Programs / S.K. Sen. – Oxford: IBN Publishing Company Pvt. Limited, 2006. – 415 p.
3. Беляев Е.Ф. Дискретно-полевые модели электрических машин [Текст] / Е.Ф. Беляев, Н.В. Шулаков. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2009. – 457 с.
4. Boldea I. New electric machines: steady state, transients, and design with MATLAB / I. Boldea, L. Tutelea. – US: CRC Press, 2009. – 775 p.
5. Weisfeld M. The Object-Oriented Thought Process / Matt Weisfeld. – London: Addison-Wesley Professional, 2013. – 336 p.
6. Плюгин В.Е. Теоретические основы объектно-ориентированного расчета и проектирования электромеханических устройств: монография [Текст] / В.Е. Плюгин. – Алчевск: Ладо, 2014. – 200 с.
7. Zablodskii N.N. Using object-oriented design principles in electric machines development / N.N. Zablodskii, V.E. Pliugin, A.N. Petrenko // *Electrical Engineering & Electromechanics*, Kharkiv. – 2016. – no. 1. – p. 17–20.
8. Zablodskij N. Induction Motor Optimal Design by Use of Cartesian Product / N. Zablodskij, V. Pliugin, J. Lettl, K. Buhr // “*Transactions on electrical engineering*”. – 2013. – No. 2. – P. 54 – 58.
9. Pliugin V. Analysis of the Electromagnetic Field of Electric Machines Based on Object-oriented Design Principles / V. Pliugin, L. Shilkova, J. Letl, K. Buhr, R. Fajtl // *PIERS* 2015, Prague. – 2015. – P. 2522 - 2527.
10. Pliugin V. Using of object-oriented design principles in mathematic modeling of electric machines / V. Pliugin, V. Milykh, A. Polivanchuk N. Zablodskij // *TECA*, Lublin-Rzeszow. – Vol. 15, No. 2. – 2015. – P. 25 – 32.

Получено

30.04.2016.

References

1. Kopylov I.P. Proektirovanie jelektricheskikh mashin [Design of electrical machines], (2011), Moscow, *Jurajt Publ.*, 767 p. (In Russian).
2. Sen S.K. Principles Of Electrical Machine Design With Computer Programs / S.K. Sen. – Oxford: *IBH Publishing Company Pvt. Limited*, 2006. – 415 p. (In English).
3. Beljaev E.F. Diskretno-polevye modeli jelektricheskikh mashin [Discrete field models of electrical machines] / E.F. Beljaev, N.V. Shulakov. – Perm': *Perm'. gos. tehn. un-t*, 2009. – 457 p. (In Russian).
4. Boldea I. New electric machines: steady state, transients, and design with MATLAB / I. Boldea, L. Tutelea. – US: *CRC Press*, 2009. – 775 p. (In English).
5. Weisfeld M. The Object-Oriented Thought Process / Matt Weisfeld. – London: *Addison-Wesley Professional*, 2013. – 336 p. (In English).
6. Pliugin V.E. Teoreticheskie osnovy ob'ektno-orientirovannogo rascheta i proektirovaniya jelektromehanicheskikh ustrojstv [Theoretical basis of electromechanical devices object-oriented calculation and design]. V.E. Pliugin. – Alchevsk: *Lado*, 2014. – 200 p. (In Russian).
7. Zablodskii N.N. Using object-oriented design principles in electric machines development / N.N. Zablodskii, V.E. Pliugin, A.N. Petrenko // *Electrical Engineering & Electromechanics*, Kharkiv. – 2016. – no. 1. – p. 17–20. (In English).
8. Zablodskij N. Induction Motor Optimal Design by Use of Cartesian Product / N. Zablodskij, V. Pliugin, J. Lettl, K. Buhr // *Transactions on electrical engineering*. – 2013. – No. 2. – P. 54 – 58. (In English).
9. Pliugin V. Analysis of the Electromagnetic Field of Electric Machines Based on Object-oriented Design Principles / V. Pliugin, L. Shilkova, J. Letl, K. Buhr, R. Fajtl // *PIERS* 2015, Prague. – 2015. – P. 2522 - 2527. (In English).
10. Pliugin V. Using of object-oriented design principles in mathematic modeling of electric machines / V. Pliugin, V. Milykh, A. Polivanchuk N. Zablodskij // *TECA*, Lublin

Rzeszow. – Vol. 15, No. 2. – 2015. – P. 25 – 32. (In English).



Заблодский Николай Николаевич, д. т. н., проф., проф. каф. эл. машин и обслуживания электрооборудования, Нац. ун-т биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, 03041, ул. Героев Обороны, 15, тел. +38 044 527 8242, E-mail: zablodskiyinn@gmail.com



Плюгин Владислав Евгеньевич, к. т. н., доцент, доцент каф. электрических машин НТУ «ХПИ», г. Харьков, 61002, ул. Кирпичева, 21.тел. +38 099-213-07-48E-mail: vlad.plyugin@gmail.com



Гетя Андрей Николаевич, зам. генерального директора ООО «СКБ «Укрэлектромаш», г. Харьков, 61001, ул. Искринская, 37. тел. +38 (057) 766-00-74 E-mail: info@ukrskb.com.ua



Дещенко Алексей Леонидович, нач. расчетного отдела ООО «СКБ «Укрэлектромаш», г. Харьков, 61001, ул. Искринская, 37. тел. +38 (057) 766-00-74 E-mail: info@ukrskb.com.ua