

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

В. Е. Вавилов¹, В. В. Айгузина², Е. Д. Пестерева³

¹s2_88@mail.ru, ²vtypy@mail.ru, ³lizpestereva@gmail.com

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. Представлен обзор методов проектирования перспективных электромеханических преобразователей энергии, выделены их основные недостатки. Показаны перспективы использования генетических алгоритмов для оптимального проектирования перспективных электромеханических преобразователей энергии.

Ключевые слова: генетические алгоритмы; методы проектирования; электромеханические преобразователи энергии; оптимальное проектирование.

Создание новых перспективных электромеханических преобразователей энергии (ЭМПЭ) с уникальными характеристиками (в том числе с минимальными массогабаритными показателями) и функциональными возможностями требует решения следующих задач:

– разработка новых конструктивных схем ЭМПЭ, методов их расчета и проектирования;

– разработка и применение новых материалов с недостижимыми ранее свойствами;

– использование методов и алгоритмов рационального выбора геометрических размеров активной зоны ЭМПЭ (исходя из цены, полноты использования свойств этих материалов, а также энергетических характеристик);

– прогнозирование дальнейшего перспективного развития ЭМПЭ и получение определенных параметров при определенных, возможно достижимых в будущем, свойствах материалов (например, во многих публикациях [1–3] говорится, что для повышения энергетических характеристик ЭМПЭ с высококоэрцитивными постоянными магнитами необходимы постоянные магниты с более высокими энергетическими характеристиками, но при этом не раскрывается, как должна измениться конструктивная схема ЭМПЭ и применяемые в ней другие активные материалы в связи с по-

вышением энергетических характеристик постоянных магнитов).

Обычно все эти задачи решаются различными, не связанными друг с другом, подходами. Изначально разрабатывается конструктивная схема ЭМПЭ, которая считается наиболее рациональной, по сравнению с другими конкурентными решениями исходя из каких-либо критериев (в основном используются критерии надежности, технологичности, цены, минимальных массогабаритных показателей при максимальной мощности, максимального КПД). После чего происходит расчет параметров данной конструктивной схемы ЭМПЭ по известным методикам, а также с применением современных программных продуктов и метода конечных элементов, при этом закладываются свойства используемых материалов.

В случае необходимости производят численную оптимизацию геометрических размеров ЭМПЭ и корректировку рассчитанных размеров. Такой подход обуславливает необходимость использования при создании новых перспективных ЭМПЭ значительных ресурсов, что приводит к неэффективному использованию всех свойств материалов, не позволяет на стадии разработки ЭМПЭ выявить наиболее оптимальный вариант их конструктивной схемы, а также не позволяет прогнозировать развитие ЭМПЭ и формулировать на основе это-

го прогноза требований к материалам, конструктивным узлам ЭМПЭ. Кроме того, традиционный подход не позволяет учитывать в полной мере многодисциплинарность процесса проектирования и создания ЭМПЭ – необходимо учитывать тепловые и механические взаимовлияния на электромагнитные характеристики ЭМПЭ.

Для решения проблем традиционных подходов к проектированию ЭМПЭ предлагаются различные методы оптимизации и оптимального проектирования ЭМПЭ, которые отражены в многочисленных публикациях.

Известны междисциплинарные методы проектирования, которые учитывают взаимное влияние электромагнитных, тепловых процессов, динамики ротора, стоимости и т.д. [4–7].

Однако конструкция известных способов имеет недостатки в связи с длительностью процесса проектирования, вероятностью выбора неоптимальных геометрических размеров. Расчет магнитных полей может выполняться методом конечных элементов с использованием специализированных программных комплексов, например, ANSYS, FEMM и т.д. Однако постановка задачи в этом случае требует значительных вычислительных ресурсов, а также значительных трудозатрат, связанных с подбором начальных условий и параметров.

В ряде работ представлено несколько методов для оптимального проектирования ЭМПЭ. В работе [8] представлен новый метод для разработки новых конструкций электрических машин, основанный на инструментах теории решения изобретательских задач. Для оптимального проектирования синхронной электрической машины с инкорпорированными постоянными магнитами, в [9] была предложена интеллектуальная меметика, использующая генетический алгоритм и управляемую MADS. В [10] используется многоцелевой метод проектирования, основанный на Taguchi-response метода (RSM).

Однако большая часть данных работ посвящена численной оптимизации конкретного ЭМПЭ по какому-либо параметру с использованием метода конечных элементов или других известных методов, однако

они не решают задачи оптимального проектирования ЭМПЭ в обобщенном виде.

Одним из основных методов, направленных на решение выявленной проблемы, является метод, предложенный Frederic Messine и его исследовательской командой, которые разработали метод оптимального проектирования ЭМПЭ (Interval Branch and Bound based Algorithms – IBBA), которые позволяют решать обратную задачу оптимального проектирования, т.е. подбор оптимальной конструкции ЭМПЭ под определенные размеры. В основе данного метода лежит интервальный анализ и методы комбинаторики [11–15]. Таким образом, метод основан на комбинации различных элементов конструктивных схем ЭМПЭ и их оптимизации.

При всех достоинствах данного метода, как отмечает сам Frederic Messine, он не всегда позволяет найти глобальное оптимальное решение при проектировании [13], а также не позволяет предсказывать конструктивную схему ЭМПЭ исходя из желаемых параметров и ее характеристик. Также алгоритм IBBA не позволяет прогнозирование развития ЭМПЭ при тех или иных свойствах и условиях. Кроме того, большинство решений, представленных с помощью IBBA, касаются лишь ЭМПЭ с высококоэрцитивными постоянными магнитами.

Поэтому необходимо создание нового алгоритма оптимального проектирования ЭМПЭ, который может быть использован при оптимальном проектировании и конструировании любых типов ЭМПЭ, предсказании и прогнозировании их свойств, а также позволит осуществлять конкурентное сравнение различных типов оптимальных ЭМПЭ (например, ЭМПЭ индукторного типа и ЭМПЭ с высококоэрцитивными постоянными магнитами).

Для достижения аналогичных целей в других отраслях науки, например в кристаллографии, двигателестроения, химии, широкое распространение получили методы проектирования изделий, основанные на эволюционных (генетических) алгоритмах [16–18]. Но при этом в электромеханике и электроэнергетике в настоящее время генетические алгоритмы используются только

для численной оптимизации какого-либо ЭМПЭ, а также для создания систем управления ЭМПЭ.

Так, в работе [19] решается задача выбора оптимальных размеров асинхронного двигателя из небольшого множества параметров с помощью генетического алгоритма, критерием оптимальности при этом является стоимость асинхронного двигателя. В [20] рассматривается численная оптимизация размеров синхронного двигателя с инкорпорированными постоянными магнитами с применением генетического алгоритма. В [21] решается задача оптимизации формы полюса ЭМПЭ с применением генетического алгоритма. В [22] рассматривается оптимизация параметров асинхронного двигателя с помощью генетического алгоритма. В [23] с помощью генетического алгоритма определяются параметры синхронного двигателя, критерием оптимальности является максимальный момент. Интерес представляет способ оптимизации размеров ЭМПЭ с помощью генетического алгоритма, реализованный в программном комплексе Ansoft Maxwell [24].

Таким образом, генетические алгоритмы используются в энергомашиностроении для выбора каких-либо численных параметров (для решения задач оптимизации), но не используется при оптимальном проектировании, а также при выборе конструктивной схемы ЭМПЭ, в том числе и типа ЭМПЭ (например, ЭМПЭ с высококоэрцитивными постоянными магнитами или ЭМПЭ с электромагнитным возбуждением), не используется для задач предсказания свойств ЭМПЭ. Из этого можно сделать вывод, что в подобной постановке задачи, поставленной в данной статье, эволюционные алгоритмы в электромеханике используются впервые.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhang P., Sizov G. Y., Ionel D. M., Demerdash N. A. O. Design Optimization of Spoke-Type Ferrite Magnet Machines by Combined design of Experiments and Differential Evolution Algorithms // *IEEE International Electric Machines Drives Conference (IEMDC)*. 2013. P. 892–898. [P. Zhang, G. Y. Sizov, D. M. Ionel, N. A. O. Demerdash, "Design Optimization of Spoke-Type Ferrite Magnet Machines by Combined design of Experiments and Differential Evolution Algorithms," in *IEEE International Electric Machines Drives Conference (IEMDC)*, 2013. P. 892–898.]
2. Duan Y., Ionel D. Nonlinear Scaling Rules For Brushless PM Synchronous Machines Based On Optimal Design Studies For A Wide Range Of Power Ratings // *IEEE Transactions On Industry Applications*. 2014. Vol. 50, no. 2. P. 1044–1052. [Y. Duan, D. Ionel, "Nonlinear Scaling Rules For Brushless PM Synchronous Machines Based On Optimal Design Studies For A Wide Range Of Power Ratings," in *IEEE Transactions On Industry Applications*, 2014. Vol. 50, no. 2. P. 1044–1052.]
3. Bianchi N., Bolognani S. Brushless DC Motor Design: an Optimisation Procedure Based on Genetic Algorithms // *Eighth International Conference on Electrical Machines and Drives*. 1997. No. 444. P. 16–20. [N. Bianchi, S. Bolognani, "Brushless DC Motor Design: an Optimisation Procedure Based on Genetic Algorithms," in *Eighth International Conference on Electrical Machines and Drives*, 1997. No. 444. P. 16–20.]
4. Bernard N., Martin F., Zaim M. E. H. Design Methodology of a Permanent Magnet Synchronous Machine for a Screwdriver Application // *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2012. Vol. 27, no. 3. P. 624–633. [N. Bernard, F. Martin, M. E. H. Zaim, "Design Methodology of a Permanent Magnet Synchronous Machine for a Screwdriver Application," in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2012. Vol. 27, no. 3. P. 624–633.]
5. Uzhegov N., Kurvinen E., Nerg J., Sapanen J. T., Shirinskii S. Multidisciplinary Design Process of a 6-Slot 2-Pole High-Speed Permanent-Magnet Synchronous Machine // *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 2016. Vol. 63, no. 2. P. 784–795. [N. Uzhegov, E. Kurvinen, J. Nerg, J. T. Sapanen, S. Shirinskii, "Multidisciplinary Design Process of a 6-Slot 2-Pole High-Speed Permanent-Magnet Synchronous Machine," in *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 2016. Vol. 63, no. 2. P. 784–795.]
6. Ismagilov F. R., Uzhegov N., Vavilov V. E., Bekuzin V. I., Ayguzina V. V. Multidisciplinary Design of Ultra-High-Speed Electrical Machines // *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2018. Vol. 33, no. 3. P. 1203–1212. [F. R. Ismagilov, N. Uzhegov, V. E. Vavilov, V. I. Bekuzin, V. V. Ayguzina, "Multidisciplinary Design of Ultra-High-Speed Electrical Machines," in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2018. Vol. 33, no. 3. P. 1203–1212.]
7. Ki-Chan Kim, Ju Lee, Hee Jun Kim, Dae-Hyun Koo. Multiobjective Optimal Design for Interior Permanent Magnet Synchronous Motor // *IEEE Transactions on Magnetics*, 2009. Vol.45, no.3. P. 1780–1783. [Ki-Chan Kim, Ju Lee, Hee Jun Kim, Dae-Hyun Koo, "Multiobjective Optimal Design for Interior Permanent Magnet Synchronous Motor," in *IEEE Transactions on Magnetics*, 2009. Vol.45, no.3. P. 1780–1783.]
8. Efimov-Soini N., Uzhegov N. The TRIZ-based tool for the electrical machine development // *Progress In Electromagnetics Research Symposium – Spring (PIERS)*, St. Petersburg, Russia, 17521130, 2017, P. 1–8. [N. Efimov-Soini, N. Uzhegov, "The TRIZ-based tool for the electrical machine development," in *Progress In Electromagnetics Research Symposium – Spring (PIERS)*, 2017. 17521130. P. 1–8.]
9. Aimeng Wang, Jiayu Guo. A novel hybrid genetic algorithm for optimal design of IPM machines for electric vehicle // *Open Physics*, 2017. Vol. 15, no. 1. P. 984–991. [Aimeng Wang, Jiayu Guo, "A novel hybrid genetic algorithm for optimal design of IPM machines for electric vehicle," in *Open Physics*, 2017. Vol. 15, no. 1. P. 984–991.]
10. Zhu J., Li S., Song D., Han Q., Wang J., Li G., Wang J. Multi-objective optimisation design of air-cored axial flux PM generator // *IET Electric Power Applications*, 2018. Vol. 12. P. 1390–1395. [J. Zhu, S. Li, D. Song, Q. Han, J. Wang, G. Li, J. Wang, "Multi-objective optimisation design of air-cored axial flux PM generator," in *IET Electric Power Applications*, 2018. Vol. 12. P. 1390–1395.]

11. **Hansen E.** Global Optimization using Interval Analysis. Marcel Dekker, Inc. 270 Madison Avenue, New York 100016, 1992. [E. Hansen, "Global Optimization using Interval Analysis," Marcel Dekker, Inc. 270 Madison Avenue, New York 100016, 1992.]

12. **Lefevre Y., Fontchastagner J., Messine F.** Building a CAD system for educational purpose based only on a mesh tool and a FE solver // *IEEE Transactions on Magnetics*. 2006. Vol. 42, no. 4. P. 1483–1486. [Y. Lefevre, J. Fontchastagner, F. Messine, "Building a CAD system for educational purpose based only on a mesh tool and a FE solver," in *IEEE Transactions on Magnetics*, 2006. Vol. 42, no. 4. P. 1483–1486.]

13. **Messine F.** Extension of Affine Arithmetic: Application to Unconstrained Global Optimisation // *Journal of Universal Computer Science*. 2002. No. 8. P. 992–1015. [F. Messine, "Extension of Affine Arithmetic: Application to Unconstrained Global Optimisation," in *Journal of Universal Computer Science*, 2002. No. 8. P. 992–1015.]

14. **Messine F.** Deterministic Global Optimization using Interval Constraint Propagation Techniques // *RAIRO Operations Research*. 2004. Vol. 38, no. 4. P. 277–293. [F. Messine, "Deterministic Global Optimization using Interval Constraint Propagation Techniques," in *RAIRO Operations Research*, 2004. Vol. 38, no. 4. P. 277–293.]

15. **Messine F.** A Deterministic Global Optimization Algorithm for Design Problems // *Essays and Surveys in Global Optimization*. Kluwer. 2005. P. 267–294. [F. Messine, "A Deterministic Global Optimization Algorithm for Design Problems," in *Essays and Surveys in Global Optimization*. Kluwer, 2005. P. 267–294.]

16. **Oganov A. R., Glass C. W.** Evolutionary crystal structure prediction as a tool in materials design // *Journal of Physics: Condensed Matter*. 2008. Vol. 20, no. 6. P. 1–6. [A. R. Oganov, C. W. Glass, "Evolutionary crystal structure prediction as a tool in materials design," in *Journal of Physics: Condensed Matter*, 2008. Vol. 20, no. 6. P. 1–6.]

17. **Belousov A. I., Sapozhnikov A. Y.** Synthesis of basic structural design of aircraft GTE based on genetic algorithms // *Russian Aeronautics*. 2015. Vol. 58, no. 2. P. 199–204. [A. I. Belousov, A. Y. Sapozhnikov, "Synthesis of basic structural design of aircraft GTE based on genetic algorithms," in *Russian Aeronautics*, 2015. Vol. 58, no. 2. P. 199–204.]

18. **Oganov A. R., Valle M.** How To Quantify Energy Landscapes Of Solids // *Journal of Chemical Physics*. 2009. Vol. 130, no. 10. P. 1–9. [A. R. Oganov, M. Valle, "How To Quantify Energy Landscapes Of Solids," in *Journal of Chemical Physics*, 2009. Vol. 130, no. 10. P. 1–9.]

19. **Krishnamoorthy A., Dharmalingam K.** Application of Genetic Algorithms in the Design Optimization of Three-Phase Induction Motor // *National Journal of Computer Applications*. 2009. Vol. 2, no. 4. P. 1–5. [A. Krishnamoorthy, K. Dharmalingam, "Application of Genetic Algorithms in the Design Optimization of Three-Phase Induction Motor," in *National Journal of Computer Applications*, 2009. Vol. 2, no. 4. P. 1–5.]

20. **Stipetic S., Miebach W., Zarko D.** Optimization in Design of Electric Machines: Methodology and Workflow // *International Aegean Conference on Electrical Machines & Power Electronics (ACEMP), 2015 Intl Conference on Optimization of Electrical & Electronic Equipment (OPTIM) & 2015 Intl Symposium on Advanced Electromechanical Motion Systems (ELECTROMOTION)*. Side, Turkey. 2015. P. 441–448. [S. Stipetic, W. Miebach, D. Zarko, "Optimization in Design of Electric Machines: Methodology and Workflow," in *International Aegean Conference on Electrical Machines & Power Electronics (ACEMP), 2015 Intl Conference on Optimization of Electrical & Electronic Equipment (OPTIM) & 2015 Intl Sympo-*

sium on Advanced Electromechanical Motion Systems (ELECTROMOTION). Side, Turkey, 2015. P. 441–448.]

21. **Uler G. F., Mohammed O. A., Chang-Seop Koh.** Design optimization of electrical machines using genetic algorithms // *IEEE Transactions on Magnetics*. 1995. Vol. 31, no. 3. P. 2008–2011. [G. F. Uler, O. A. Mohammed, Chang-Seop Koh, "Design optimization of electrical machines using genetic algorithms," in *IEEE Transactions on Magnetics*, 1995. Vol. 31, no. 3. P. 2008–2011.]

22. **Cho D. H., Jung H. K., Lee C. G.** Induction motor design for electric vehicle using a niching genetic algorithm // *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2001. Vol. 37, no. 4. P. 994–999. [D. H. Cho, H. K. Jung, C. G. Lee, "Induction motor design for electric vehicle using a niching genetic algorithm," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2001. Vol. 37, no. 4. P. 994–999.]

23. **Pillay P., Nolan R.** Application of Genetic Algorithms to Motor Parameter Determination for Transient Torque Calculations // *IEEE Transactions on Industry Applications*. 1997. Vol. 33, no. 5. P. 1273–1282. [P. Pillay, R. Nolan, "Application of Genetic Algorithms to Motor Parameter Determination for Transient Torque Calculations," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1997. Vol. 33, no. 5. P. 1273–1282.]

24. **Yao Duan, Dan M. Ionel.** New Method for Electrical Machine Design and Optimization // *ANSYS User Conference*. 2011. P. 1–22. [Yao Duan, Dan M. Ionel, "New Method for Electrical Machine Design and Optimization," in *ANSYS User Conference*, 2011. P. 1–22.]

ОБ АВТОРАХ

ВАВИЛОВ Вячеслав Евгеньевич, к.т.н, доцент кафедры электромеханики.

АЙГУЗИНА Валентина Владимировна, аспирант кафедры электромеханики.

ПЕСТЕРЕВА Елизавета Дмитриевна, студент кафедры авиационной теплотехники и теплоэнергетики.

METADATA

Title: Application of genetic algorithms in the design of perspective electromechanical energy converters

Authors: V. Ye. Vavilov¹, V. V. Ayguzina², E. D. Pestereva³

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia.

Email: ¹s2_88@mail.ru, ²vtypy@mail.ru,

³lizpestereva@gmail.com

Language: Russian.

Source: *Molodezhnyj Vestnik UGATU* (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (20), pp. 25–28, 2019. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: This paper presents an overview of the design methods of promising electromechanical energy converters. The prospects of using genetic algorithms for the optimal design of promising electromechanical energy converters are shown.

Key words: genetic algorithms, design methods, electromechanical energy converters, optimal design.

About authors:

VAVILOV Viacheslav Yevgenievich, Ph.D. in electrical engineering, assistant professor of the Department of Electromechanics.

AYGUZINA Valentina Vladimirovna, postgraduate student of the Department of Electromechanics.

PESTEREVA Elizaveta Dmitrievna, student of the Department of Aviation Heat Engineering and Heat Power Engineering.