

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ ФОРМЫ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ МЕТОДОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО
ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

Т.Т. ЗАНГИЕВ, А.Н. СТРЕКОЗОВ

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;
электронная почта: strekozov_an@mail.ru*

В статье рассматривается метод оптимизации электромагнитных механизмов значительно расширяющий его применение для многих переменных задачи. Задача оптимизации обычно распадается на две стадии. В одной из них производят выбор системы в множестве структур, решая задачу структурной оптимизации, в другой выбирают параметры в пределах конкретной структуры, решая задачу параметрической оптимизации. Задача структурной оптимизации связана с синтезом, а правила выбора плохо формализуются, и решение задачи целиком зависит от опыта и интуиции исследователя. Если же множество структур N разбивается на фиксированные классы, различные по математическим моделям, то для решения задачи оптимизации систем может быть предложен следующий алгоритм: решаем задачу параметрической оптимизации для выбранной конструктивной формы электромагнита, при чем известное правило выбора конструкции на основе конструктивного фактора по Ротерсу справедливо лишь для электромагнитных механизмов постоянного тока с минимальной удельной массой, продолжительным режимом работы и превышением температуры обмотки до семидесяти градусов Цельсия. При проектировании электромагнитов с другими техническими требованиями, например, минимальной стоимости, минимальной потребляемой мощности или использующих комплексные критерии качества, применение конструктивного фактора будет неоправдано.

Техническими условиями на проектирование ЭММ задаются: величина начальной силы электромагнитного притяжения при заданном ходе якоря, относительная продолжительность включения ПВ%, допустимая температура перегрева, материал магнитопровода и необходимо создать проект ЭММ, обеспечивающий экстремум выбранного критерия качества. Для этого формулируются уравнения связи исходных параметров с параметрами ЭММ – задача параметрической оптимизации. В геометрическом программировании не нужно переделывать модель ограничений при смене целевой функции. Достаточно иметь базу данных различных целевых функций.

В целевой функции при проведении параметрической оптимизации методом геометрического программирования фиксируются значения параметров: силы электромагнитного притяжения, рабочего воздушного зазора, максимального значения магнитной индукции в магнитопроводе, температура обмотки, коэффициент режима работы, обусловленные техническим заданием и определяются оптимальные значения параметров: радиус якоря, длина и ширина окна обмотки и выбирается конструктивная форма оптимальная по выбранному критерию качества.

Ключевые слова: оптимизация электромагнитных механизмов, конструктивная форма электромагнита, параметрическая оптимизация, геометрическое программирование, позином, целевая функция.

Проектированию электромагнитных механизмов (ЭММ) предшествует постановка задачи оптимизации, в результате решения которой выбирается

система, удовлетворяющая заданным техническим требованиям и выбранному критерию оптимальности.

Существует множество методов оптимизации ЭММ, но в этом случае мы задаем конкретную конструкцию, составляем модель этой конструкции и получаем параметры конструкции по тому или иному критерию оптимальности. При этом исследователь заранее выбирает конструкцию. Однако особо интересно решение следующей задачи оптимизации. Отметим, что процесс решения обычно распадается на две стадии Ризкин [1,25]. В одной из них производят выбор системы в множестве структур, решая задачу структурной оптимизации, в другой выбирают параметры в пределах конкретной структуры, решая задачу параметрической оптимизации. Задача структурной оптимизации связана с синтезом, а правила выбора плохо формализуются, и решение задачи целиком зависит от опыта и интуиции исследователя. Если же множество структур N разбивается на фиксированные классы, различные по математическим моделям, то для решения задачи оптимизации систем может быть предложен следующий алгоритм:

Для каждого i -го класса структур формулируется задача параметрической оптимизации:

Найти значения параметров $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$, доставляющих минимум выбранной функции цели:

$$Q_i = Q_i\{X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, \dots, X_{in}\}$$

При выполнении технических ограничений

$$q_{ij}(X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, \dots, X_{in}) \geq 0, j = 1, 2, 3, \dots, m.$$

В результате решения i -му классу структур ставится в соответствие оптимальное значение Q_i^* целевой функции. Это позволяет свести задачу выбора структуры к параметрической, где в качестве параметра выбран индекс класса i

$$Q_i^* = \{ \min_{i \in N} Q_i^* \}.$$

Как показывает анализ [2, 145] при проектировании электромагнитных систем и, в частности, электромагнитов постоянного тока (ЭПТ), в основном решается задача параметрической оптимизации для выбранной конструктивной формы электромагнита. Известное правило выбора конструкции на основе конструктивного фактора Ротерс [3,267] справедливо лишь для ЭПТ с минимальной удельной массой, продолжительным режимом работы и превышением температуры обмотки до семидесяти градусов Цельсия. При проектировании электромагнитов с другими техническими требованиями, например, минимальной стоимости, минимальной потребляемой мощности или использующих комплексные критерии качества, применение конструктивного фактора будет неоправдано. Поэтому рассмотрим реализацию предложенного алгоритма по выбору оптимальной конструктивной формы на примере ЭПТ.

Пусть имеются несколько классов структур от одного до трех. Для ЭММ в принципе есть правила выбора конструкции на основе конструктивного фактора, но он настроен на один критерий оптимизации. Тогда как при других критериях или при комплексном критерии это невозможно. Мы предлагаем следующий алгоритм:

ЭММ должен иметь некоторое усилие P при заданной величине рабочего воздушного зазора, при этом нужно следить, чтобы выдерживалась допустимая температура перегрева, в зависимости от класса обмотки и допустимая индукция B в магнитопроводе, в зависимости от применяемого материала.

И так, техническими условиями на проектирование ЭПТ задаются: величина начальной силы электромагнитного притяжения P при заданном ходе якоря δ , относительная продолжительность включения ПВ%, допустимая температура перегрева τ , материал магнитопровода. Для этих условий необходимо создать проект ЭММ, обеспечивающий экстремум выбранного критерия качества. Для этого формулируются уравнения связи исходных параметров с параметрами ЭММ – задача параметрической оптимизации. Так как в геометрическом программировании не нужно переделывать модель

ограничений при смене целевой функции. Достаточно иметь базу данных целевых функций на любой вкус.

Поэтому при решении задачи оптимизации рекомендуется использовать метод геометрического программирования (ГП) Даффин [4,126], основная особенность которого состоит в том, что целевые функции, описывающие критерии качества ЭММ и технические ограничения, выражаются в виде обобщенных положительных полиномов (позиномов) от регулируемых параметров. В такой постановке задачу оптимизации, заключающуюся в минимизации нелинейных целевых функций при нелинейных ограничениях, удастся свести к двойственной задаче нелинейного программирования, заключающейся в максимизации логарифмических целевых функций при линейных ограничениях на переменные. При этом минимальное значение прямой функции равно максимальному значению двойственной функции.

Метод ГП обеспечивает возможность применения геометрической программы для решения разнообразных задач геометрического программирования без дополнительных изменений в ней. Это дает возможность проведения масштабных исследований разнообразных конструктивных форм и надежно определять экстремум. Однако, применение метода ГП вызывает необходимость формулировки уравнений связи, описывающих математическую модель рассматриваемой конструкции в специальном виде, в виде позиномов. Пример прямой геометрической программы приведем для двух важнейших классов конструкций: цилиндрического электромагнита с внешним притягивающимся якорем и цилиндрического электромагнита с втягивающимся якорем [см. рис. 1, 2]:

ВИДЫ КОНСТРУКТИВНЫХ ФОРМ

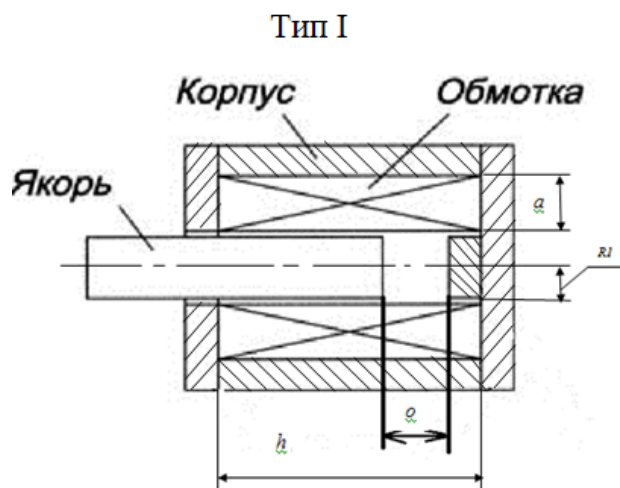


Рис. 1

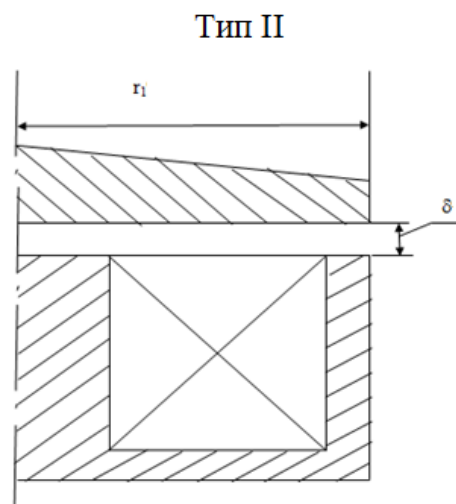


Рис. 2

Рассматриваем три уравнения для обоих типов:

Уравнение электромагнитной силы P_δ имеют вид:

Для электромагнита первого типа

$$P_I = B_\delta^2 \cdot \frac{\pi r^2}{2 \cdot \mu_0},$$

где μ_0 – магнитная проницаемость вакуума;

r - радиус внутреннего полюса (см. рис. 1,2);

δ - рабочий воздушный зазор.

Для электромагнита второго типа

$$P_{II} = \left(\frac{\mu_0 F}{r_1^2} \left(\frac{r_1^2}{\delta} + \frac{h(2 \cdot r_1 + a)}{2 \cdot a} \right) \right)^2 / (2 \cdot \mu_0),$$

Уравнение теплового режима для обоих типов электромагнитов, выведенное на основании закона Ньютона Таев [6,128] имеет вид:

$$\rho \cdot F^2 \cdot (K_{\text{зап}} \cdot K_{\text{П}} \cdot h \cdot a) = 2 \cdot \tau \cdot K_T \cdot (h + a),$$

где ρ - удельное электрическое сопротивление обмоточного провода;

$K_{\text{зап}}$ – коэффициент заполнения обмоточного пространства;

$K_{\text{П}} = \frac{1}{\text{ПВ}} \%$ – коэффициент режима работа электромагнита;

h, a – размеры окна обмотки (см. рис. 1);

τ – допустимый перегрев обмотки;

K_T – коэффициент теплоотдачи.

Уравнение магнитной цепи, выражающее величину магнитной индукции в магнитопроводе:

Для электромагнита первого типа

$$B_{max} = \frac{\mu_0 \cdot F}{2 \cdot r_1^2} \left(\frac{r_1^2}{\delta} + \frac{h(2 \cdot r_1 + a)}{a} \right),$$

где B_{max} - максимальное значение индукции в магнитопроводе для электромагнита первого типа.

Для электромагнита второго типа

$$B_{max} = \frac{\mu_0 \cdot F}{r_1^2} \left(\frac{r_1^2}{\delta} + \frac{h(2 \cdot r_1 + a)}{2 \cdot a} \right), \quad (1)$$

Найти минимальное значение целевой функции $Q_{ц}$ из выражения:

$$Q_{ц} = Q_1(P, \delta, B_{MAX}, \tau, K_{\pi}, r_1, h, a, F), \quad (2)$$

при ограничениях:

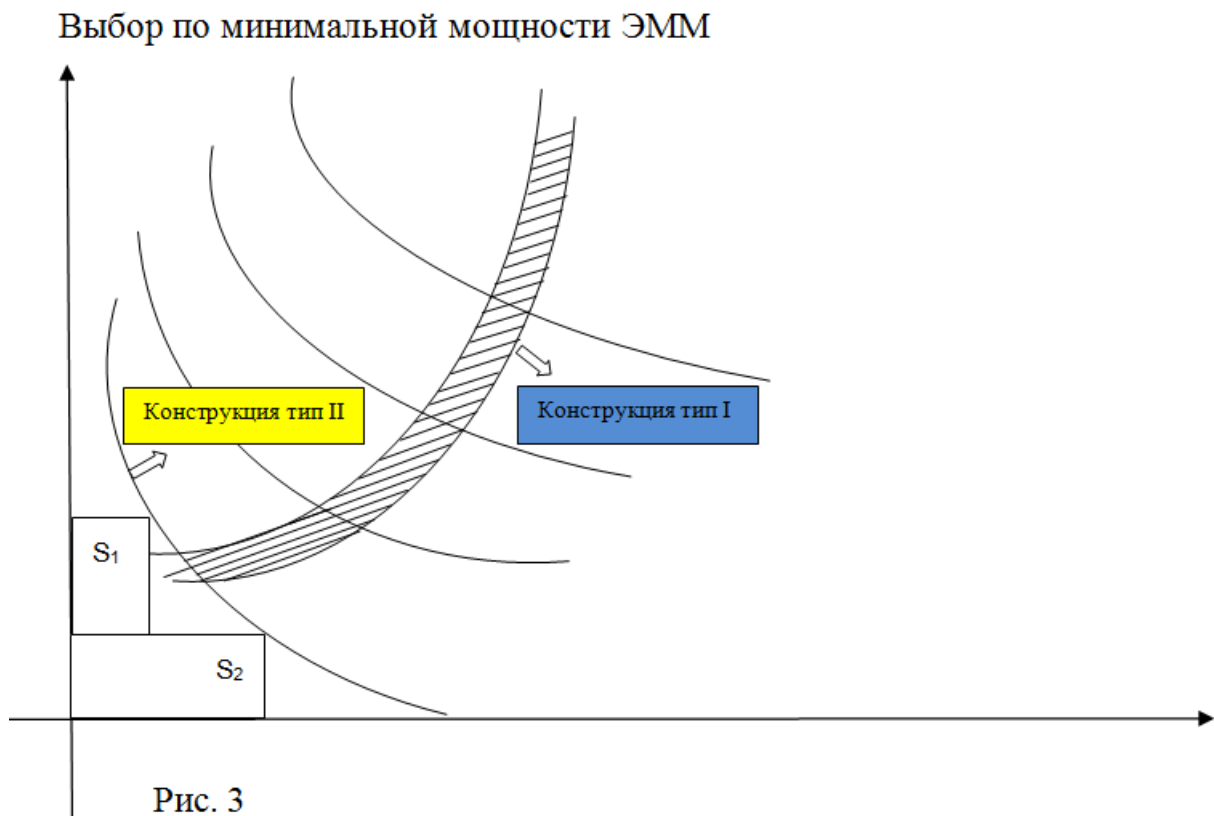
$$\text{по силе} - 4 \cdot P \cdot \delta^2 (\mu_0 \cdot \pi)^{-1} \cdot r_1^{-2} \cdot F^{-2} \leq 1$$

$$\text{по теплу} - \rho \cdot F^2 \cdot (2 \cdot K_{зап} \cdot K_T \cdot \tau)^{-1} \cdot (h \cdot a)^{-1.5} \leq 1$$

$$\text{по} \frac{\mu_0 \cdot F}{B_{max}} \left(\frac{1}{2 \cdot \delta} + \frac{2 \cdot h}{r_1 \cdot a} + \frac{h}{r_1^2} \right) \leq 1,$$

Аналогично формулируется геометрическая программа для второго типа электромагнита.

В целевой функции (1) при проведении параметрической оптимизации фиксируются значения параметров $P, d, B_{max}, \delta, K_{\pi}$, обусловленные техническим заданием и определяются оптимальные значения параметров r_1, h, a, F и функции цели $Q_{ц}$. Затем по величине F выбирается конструктивная форма оптимальная по выбранному критерию качества (см. рис.3).



ЛИТЕРАТУРА

1. Ризкин Й.Х. Машинный анализ и проектирование технических систем. - М.: Наука, 1985. - 160 с.
2. Никитенко А.Г. Проектирование оптимальных электромагнитных механизмов. - М.: Энергия, 1974. - 136 с.
3. Ротерс Г, Электромагнитные механизмы. - М. - Л.: Госэнергоиздат, 1949. - 522 с.
4. Даффин Р., Петерсон Э., Зенер К. Геометрическое программирование. - М.: Мир, 1972. - 311 с.
5. Таев И.С. Основы теории электрических аппаратов. - М.: Высшая школа, 1970, 600 с.

REFERENCES

6. 1. JH Rizkin Automatic analysis and design of technical systems. - M.: Nauka, 1985 - 160 p.

7. 2. AG Nikitenko Designing optimal electromagnetic mechanisms. - M.: Energy, 1974. - 136 p.
8. 3. Roters T, electromagnetic mechanism. - M - L.: Gosenergoizdat, 1949. - 522 p.
9. 4. Duffin, R., E. Peterson, C. Zener Geometric Programming. - M.: Mir, 1972. - 311 p.
10. 5. IS Taev Fundamentals of the theory of electrical machines. - M.: Higher School, 1970, 600 p.

*SELECTION OF THE OPTIMAL FORM OF ELECTROMAGNETIC
KOSTRUKTIVNOY AUTOMATIC GEOMETRIC PROGRAMMING*

T.T. ZANGIEV, A.N. STREKOZOV

*Kuban State Technological University
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072,
e-mail: strekozov_an@mail.ru*

The article discusses a method of optimization of electromagnetic mechanisms significantly expands its application to the problem of many variables. The optimization problem is usually decomposed into two stages. In one of them produce a choice of a variety of structures in solving the problem of structural optimization, in other selected parameters within a particular structure, solving the problem of parametric optimization. The challenge of structural optimization is related to the synthesis and selection rules poorly formalized, and solution of the problem depends entirely on the experience and intuition of the researcher. If the same set of structures N is divided into fixed classes, different mathematical models, then to solve the problem of optimizing systems can be offered the following algorithm: The problem of parametric optimization for selected structural shape of the electromagnet, with those well-known rule of design choice based on constructive factor Roters true only for electromagnetic mechanisms DC with a minimum specific gravity, continuous operating mode and temperature rise of the winding up to seventy degrees Celsius. In the design of electromagnets with other technical requirements, such as minimum cost, minimum power consumption or use complex quality criteria, the application of structural factor is not justified.

Design specifications are given EMM: initial value of the electromagnetic force of attraction for a given course of anchors, the relative duration of the load factor% allowable superheat, the magnetic material and the need to create a project EMM providing extremum chosen criterion of quality. For this equation formulated initial communication parameters with the parameters of EMM - parametric optimization problem. In geometric programming model is not necessary to alter the restrictions by changing the objective function. Enough to have a database of various objective functions.

In the objective function during the parametric optimization by geometric programming parameters are fixed: the electromagnetic force of attraction, working air gap, the maximum value of the magnetic induction in the magnetic circuit, the temperature of the winding ratio modes due to technical requirements and determined the optimal values of the parameters: the radius of the armature, and the length window width of the winding and selected the optimal structural form of the selected quality criteria.

Keywords: optimization of electromagnetic mechanisms, constructive form of an electromagnet, parametric optimization, geometric programming, Posin, the objective function.