

## **РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ МАСИ ТА ВАРТОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СИСТЕМИ З ВИТИМ МАГНІТОПРОВОДОМ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЕКВІВАЛЕНТНОСТІ**

*А.А. Ставинський, д.т.н. професор;*

*О.С. Садовий, кандидат технічних наук.*

*Миколаївський національний аграрний університет*

*Визначено, що метод ММ з ЦФ який має універсальні геометричні та електромагнітну керовані змінні є найкращим з точки зору універсальності для визначення параметрів технічного рівня.*

*Ключові слова: математична модель, критерії оптимізації, цільова функція, коефіцієнти укладання, коефіцієнти випучення, центрального кута стрижня.*

Розробка проектних математичних моделей (ММ) з приватними та інтегральними критеріями оптимізації, що містять універсальні (однакові для кожної конструкції) відносні керовані змінні (КЗ) [2,3], відповідає метод ММ з цілковими функціями (ЦФ), що містять оптимізаційні складові з універсальними геометричними та електромагнітними змінними [8].

$$F_{kii} = K_{\text{цii}} \left( \sqrt[4]{\Pi_{\text{ид}}} \right)^3 \cdot \Pi_{kii}^*, \quad (1)$$

де  $\Pi_{\text{ид}}$  – показник вихідних даних і електромагнітного навантаження (ЕМН);  $K_{\text{цii}}$  – складова питомих показників використаних матеріалів  $K \geq 3$ ;  $\Pi_{kii}^*$  – безрозмірна оптимізаційна складова, що характеризує кожну з  $ii$ -го ЦФ, основними з яких є функції маси  $F_{1ii}$ , вартості  $F_{2ii}$  і втрат активної потужності  $F_{3ii}$   $ii$ -го варіанту електромагнітної системи (ЕМС).

Екстремуми  $\Pi_{kii}^*$  безрозмірних складових цільової функції (1) є показники технічного рівня індукційного статичного пристрою. Кожна з  $\Pi_{kii}^*$  залежить від коефіцієнта заповнення обмотувального вікна провідним матеріалом котушок обмоток (класу напруги)  $K_{30}$  і двох ідентичних і прийнятних для будь-яких з існуючих і можливих варіантів електромагнітної системи керованих змінних (КЗ) – відношення  $a_m$  зовнішнього діаметра  $D_{1ii}$  і внутрішнього діаметру  $D_{2ii}$  розрахункових кіл магнітопроводу кожного  $ii$ -го варіанту ЕМС, відносини  $\lambda_{0ii}$  висоти  $h_{0ii}$  та ширини  $b_{0ii}$  обмотувального вікна і додаткового (КЗ) центрального кута стрижня  $\alpha_c$  [4,5]:

$$\Pi_{1(2)ii} = f(K_{30}, a_m, \lambda_0, \alpha_c); \quad (2)$$

$$a_m = \frac{D_{1ii}}{D_{2ii}}; \quad (3)$$

$$\lambda_0 = \frac{h_{0ii}}{b_{0ii}}, \quad (4)$$

Складова  $K_{\text{цii}}$  цільової функції (1) включає, в залежності від критерію оптимізації, співвідношення питомих площин матеріалів (обмотувальної міді і ЕТС) ( $\text{кг}/\text{м}^3$ )  $\gamma_o/\gamma_c = 8,9/7,65$  і їх вартостей  $C_o/C_c = 3,0 \dots 5,5$ , коефіцієнти укладання  $K_y = 1,13$  і випучення  $K_b = 1,15$  витків котушок при пропитці [2], контурного коефіцієнта,  $K_k = 1$ . Розрахунки виконані при різних  $K_{30} = 0,2 \dots 0,3$  і співвідношеннях питомих вартостей активних матеріалів в діапазоні  $C_c/C_o = 3,0 \dots 5,5$ .

На основі цього було розроблені математичні моделі маси та вартості виткої ЕМС конструктивна схема якої зображена на рис. 1.

Маса  $m_{afb}$  та вартість  $C_{afb}$  активних матеріалів ЕМС, визначаються за виведеними рівняннями:

$$m_{afb} = \gamma_c \left( \sqrt[4]{\Pi_{ид}} \right)^3 \Pi_{1fb}^* ; \quad (5)$$

$$C_{afb} = \gamma_c \left( \sqrt[4]{\Pi_{ид}} \right)^3 \Pi_{2fb}^* ; \quad (6)$$

де  $\Pi_{1fb}^*$  та  $\Pi_{2fb}^*$  відносні показники маси та вартості планарних ЕМС, з прямокутними стрижнями витих магнітопроводів:

$$\begin{aligned} \Pi_{1fb}^* = & \left( \sqrt[4]{8 / \left( K_{30} K_{3c} \lambda_0 \sin(\alpha_c) \left( a_m - \sin(\alpha_c/2) \right) \right)^2} \right)^3 \times \\ & \times \left( K_{3c} 0,5 \sin \alpha (a_m - \sin(\alpha_c/2)) (\lambda_0 + 1) + \pi \sin(\alpha_c/2) + \frac{\gamma_o}{\gamma_c} K_B K_y K_{30} \times \right. \\ & \left. \times 0,5 \lambda_0 (a_m - \sin(\alpha_c/2))^2 (\sin(\alpha_c/2) + \cos(\alpha_c/2)) + \pi (a_m - \sin(\alpha_c/2)) / 8 \right); \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi_{2fb}^* = & \left( \sqrt[4]{8 / \left( K_{30} K_{3c} \lambda_0 \sin(\alpha_c) \left( a_m - \sin(\alpha_c/2) \right) \right)^2} \right)^3 \times \\ & \times \left( K_{3c} 0,5 \sin \alpha_c (a_m - \sin(\alpha_c/2)) (\lambda_0 + 1) + \pi \sin(\alpha_c/2) + \frac{C_o \gamma_o}{C_c \gamma_c} K_B K_y K_{30} \times \right. \\ & \left. \times 0,5 (a_m - \sin(\alpha_c/2))^2 (\sin(\alpha_c/2) + \cos(\alpha_c/2)) + \pi (a_m - \sin(\alpha_c/2)) / 8 \right); \quad (8) \end{aligned}$$

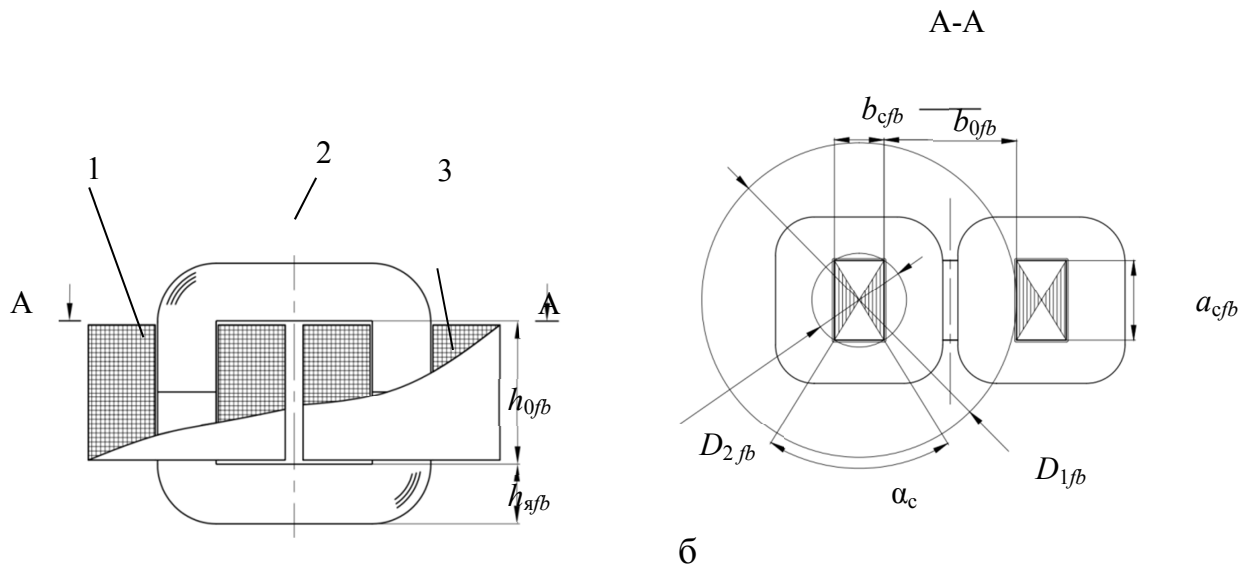


Рис. 1 – Конструктивна схема (а) і розрахункові діаметри (б) планарної електромагнітної системи з прямокутним обмотковим вікном та перерізами стрижнів витого магнітопроводу: 1 – стрижень; 2 – ярмо; 3 – обмотка.

Екстремуми (мінімуми)  $\Pi_{1fb}^*$  показників (7), що отримані для трьох значень  $K_{30}$  наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Екстремальні значення керованих змінних та показників маси планарної витой стрижневої електромагнітної системи з прямокутним перерізом стрижнів

Показник маси	Коефіцієнт заповнення обмоткового вікна, в.о.	Екстремальні значення керованих змінних			Значення показника маси ЕМС, в.о.
		$a_{m, \text{в.о.}}$	$\lambda_{0, \text{в.о.}}$	$\alpha_c$ , град.	
$\Pi_{1fb}^*$	0,2	2,232	2,087	0,876	21,986
	0,25	2,046	2,094	0,879	20,591
	0,3	1,909	2,099	0,880	19,561

Екстремуми (мінімуми)  $\Pi_{2fb}^*$  показників (8), що отримані для трьох значень  $K_{30}$  наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Екстремальні значення керованих змінних та показників вартості планарної витой стрижневої електромагнітної системи з прямокутним перерізом стрижнів

Показник вартості, в.о.	Коефіцієнт заповнення обмоткового вікна, в.о.	Співвідношення вартостей обмоткової міді і електротехнічної сталі, в.о.				
		3,5	4	4,5	5	5,5
$\Pi_{2fb}^*$	0,2	40,52 1	43,49 9	46,34 9	49,09 1	51,741
	0,25	38,61 3	41,52 6	44,31 7	47,00 5	49,604
	0,3	37,20 4	40,06 9	43,81 7	45,46 4	48,026

Висновок: Виконано аналіз розрахунково-оптимізаційних методів проектування однофазних статичних ЕМС. Визначено, що метод ММ з ЦФ який має універсальні геометричні та електромагнітну керовані змінні є найкращим з точки зору універсальності для визначення параметрів технічного рівня, та в роботі прийнятий як базовий метод.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ермолин Н. П. Расчет трансформаторов малой мощности. Ленинград: Энергия, 1970. 190 с.
2. James H. Harlow Electric Power Transformer Engineering, 3<sup>rd</sup> ed. US CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, 2012. 693p.
3. Кислицын А. Л. Трансформаторы: Учебное пособие по курсу «Электромеханика». Ульяновск: УлГТУ, 2001. 76 с.
4. Ставинский А. А. Проблема и направления дальнейшей эволюции устройств электромеханики. *Електротехніка і електромеханіка*. 2004. №1. С. 57–61.
5. Белопольский И. И., Каретникова Е. И., Пикалова Л. Г. Расчет трансформаторов и дросселей малой мощности. Москва.: Альянс, 2013. 400с.
6. Садовый А.С. Варианты структур и конструктивные особенности однофазных статических индукционных устройств. *MOTROL.Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2014, Vol.16, No. 2. С 231-235.(«*Index Copernicus*»).