

УДК 621.313

Яримбаш Д.С.<sup>1</sup>, Яримбаш С.Т.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> д-р. техн. наук, проф. ЗНТУ

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. ЗНТУ

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Системи електромагнітного перетворення енергії набули досить широкого поширення в промисловості та енергетиці. До них можна віднести силові трансформатори, електричні машини, електротехнологічні установки тощо. До їх переваг можна віднести надійність та ефективність роботи, можливість виконувати технологічні операції з досить високою точністю та з мінімальними витратами енергії. Але висока конкуренція та сталий ріст тарифів на енергоресурси потребує покращення параметрів та характеристик існуючих систем електромагнітного перетворення енергії. Для цього необхідно підвищити точність їх розрахунку.

Тому актуальними є питання моделювання процесів що відбуваються при електромагнітному перетворенні енергії з урахуванням конструктивних особливостей та електрофізичних властивостей матеріалів.

В роботі пропонується підхід до моделювання та визначення параметрів систем електромагнітного перетворення енергії на базі системи індукційного нагріву. Ця система складається з масивного феромагнітного осердя з пазами, пазової ізоляції, стрижнів обмотки та зовнішнього феромагнітного кожуху.

Нестационарне електромагнітне поле в системі індукційного нагріву можна описати нелінійними рівняннями для векторного магнітного потенціалу  $\mathbf{A}$ :

$$\sigma(\overline{T_i}) \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \nabla \times \left( \frac{1}{\mu_0 \cdot \mu(\overline{B, T_i})} \cdot \nabla \times \mathbf{A} \right) = 0, \quad (1)$$

де  $\sigma$  – питома електрична провідність;

$\mu_0$  – магнітна проникність вакууму;

$\mu$  – відносна магнітна проникність.

Температурний режим роботи системи індукційного нагріву описується рівнянням виду:

$$c_i M_i \frac{d\bar{T}_i}{dt} = P_i(\bar{T}_i, U_i) - \alpha_{ik} \Delta T_{ik} F_k - \alpha_{ia} \Delta T_{ia} F_i, \quad (2)$$

де  $c_i$  – питома адитивна теплоємність;

$M_i$  – маса;

$P_i$  – активна потужність;

$\alpha_{ik}, \Delta T_{ik}, F_k$  – коефіцієнт теплообміну, перепад температур і поверхня теплообміну між системою та об'єктом;

$\alpha_{ia}, \Delta T_{ia}, F_i$  – коефіцієнт теплообміну, перепад температур і поверхня теплообміну між системою та теплоізоляцією.

Рівняння (1) замикаються граничними умовами магнітної ізоляції на зовнішніх границях системи, умовами сполучення на границях середовищ з різними властивостями та однорідними начальними умовами Коші. Для чисельної реалізації моделі (1) з урахуванням (2) в плоскопаралельному наближенні застосовується метод скінченних елементів в структурі засобів ПЗ FEMM.

При обробці результатів моделювання використовуються співвідношення, що виконують апроксимацію залежності діючої напруги на обмотці, активної і повної потужності, що дозволяють визначати активний, повний, індуктивний опір системи та коефіцієнт потужності з урахуванням температури системи  $\bar{T}_i$  та діючого значення струму в обмотці  $I_i$ .

Порівняння експериментальних даних і результатів розрахунків показує високу точність моделювання: 0,9% - для активної потужності системи, 1,2% - для діючого значення напруги на обмотці, 2,1% - для коефіцієнта потужності в інтервалі зміни відносного навантаження 0,8..1,05 і температур 20..160°C.