

## УДОСКОНАЛЕННЯ ПОТУЖНИХ ТЯГОВИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ КОМПЛЕКСНОГО МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Ю.М. Васьковський, Д.С. Нестеренко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

**Вступ.** У даний час для приводу локомотивів потягів широко використовуються потужні частотно керовані тягові асинхронні двигуни (ТАД). Досвід створення таких двигунів свідчить, що для розробки оптимальної конструкції необхідне всебічне врахування взаємопов'язаних фізичних процесів різної природи – електромагнітних, теплових та вентиляційних. Це врахування на етапі проектування ТАД може бути здійснене за допомогою коло-польових мультифізичних математичних моделей.

**Мета роботи.** Метою роботи є розробка комплексної мультифізичної математичної моделі, яка враховує сукупність взаємопов'язаних електромагнітних і тепло-вентиляційних процесів у потужному тяговому асинхронному двигуні потужністю 1200 кВт, який виготовляється серійно [3] і призначений для приводу електровоза ДС-3 із частотною системою керування, розробленою фірмою Siemens. За результатами комплексного математичного моделювання пропонуються технічні рішення щодо удосконалення конструкції зазначеного ТАД.

**Матеріал і результати досліджень.** Моделювання електромагнітного та теплового полів виконується в декартових координатах у поперечному перерізі активної зони ТАД. Вентиляційні процеси аналізуються з використанням схем заміщення вентиляційної системи.

Електромагнітне поле для сталих гармонічних процесів відносно комплексної амплітуди векторного магнітного потенціалу  $A_z$  описується наступним диференціальним рівнянням [1]:

$$\frac{\partial^2 \dot{A}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \dot{A}_z}{\partial y^2} - j\omega_1 s \mu \gamma(T) \dot{A}_z = -\mu(T) J_{zcm} \dot{\quad} \quad (1)$$

де:  $\omega_1 = 2\pi f_1$  – кутова частота струму статора;  $s$  – ковзання ротора;  $\mu$  – магнітна проникність;  $\gamma(T)$  – електропровідність яка залежить від температури;  $J_{zcm}$  – густина сторонніх струмів в пазах обмотки статора, яка задається у відповідності до схеми обмотки.

На зовнішній границі осердя ярма статора задаються однорідні граничні умови першого роду.

Теплове поле ТАД описується стаціонарним диференціальним рівнянням теплопровідності [1,2]:

$$\lambda(T) \left[ \frac{\partial^2 T(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x, y)}{\partial y^2} \right] = -Q(x, y), \quad (2)$$

де:  $\lambda(T)$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м · град.

На зовнішніх границях розрахункової області і у аксіальних вентиляційних каналах статора і ротора задаються граничні умови третього роду:

$$\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial n} = -\alpha(v)(T - T_{0x}), \quad (3)$$

де:  $\alpha(v)$  – коефіцієнт тепловіддачі від охолоджуваної поверхні до холодоагенту (повітря), який залежить від швидкості  $v$  руху повітря відносно поверхні. Ве-

личина  $v$  розраховується з використанням схем заміщення вентиляційної системи.

Об'ємна густина теплових втрат в стрижнях ротора, що входить в праву частину рівняння (2), розраховується за формулою:

$$Q_2(x, y) = \left| \dot{J}_z(x, y) \right|^2 / \gamma(T), \quad (4)$$

де: густина струму  $\dot{J}_z$  визначається за результатами розв'язку рівняння (1). Теплові втрати в обмотці статора розраховуються для заданих величин опору і струму статора.

Взаємний зв'язок фізичних процесів різної природи враховується в моделі: а) температурною залежністю електропровідності стрижнів ротора, яка впливає на величину індукованих струмів ротора; б) залежністю теплових втрат по формулі (4); в) залежністю коефіцієнта  $\alpha(v)$  від швидкості повітря, який в свою чергу визначається параметрами вентиляційної системи (кількістю і розмірами вентиляційних каналів, площею охолоджуваної поверхні ярма статора, характеристиками вентилятора тощо).

Для чисельної реалізації зазначеної мультифізичної моделі використовувався програмний пакет COMSOL MULTIPHYSICS.

За результатами комплексного моделювання запропоновано технічні рішення щодо удосконалення конструкції ТАД. Зокрема: зменшити на 5% діаметр ярма статора ТАД (з 850 мм до 810мм) і зменшити діаметр аксіальних вентиляційних каналів з 20 мм до 15 мм. Це дозволило не тільки покращити питомі характеристики двигуна – його питома потужність зросла на 11%, але й зменшити на 15% максимальну температуру обмотки статора та покращити використання магнітопроводу статора.

У порівнянні з серійною конструкцією ТАД за рахунок оптимізації параметрів вентиляційної системи забезпечено зниження і рівномірний розподіл температури уздовж кола статора.

**Висновки.** Розроблено мультифізичну математичну модель взаємопов'язаних фізичних процесів різної природи – електромагнітних, теплових, вентиляційних. Зазначена модель застосована для удосконалення конструкції серійного ТАД потужністю 1200 кВт і розроблено рекомендації щодо покращення його експлуатаційних показників.

### Список літератури

- [1] Васьковський, Ю.М. Польовий аналіз електричних машин: Київ: НТУУ «КПІ», 2007. 191 с.
- [2] Podoltsev A. D., Kucheryavaya L. N. Multiphysics modeling in electrical engineering : monograph. Kyiv : Ukrainian national academy of sciences institute of electrodynamics, 2015. 305 p.
- [3] Тягові електродвигуни. Режим доступу: <https://prom-ocean.com.ua/elektrodvigateli-ua/tyagovye-elektrodvigateli-ua> (дата звернення: 15.01.2024).