

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ТА АПАРАТИ

УДК 621.313.322

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ТОРЦЕВОЇ ЗОНИ ОСЕРДЯ СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

О.Г. Кенцицький¹, докт. техн. наук, **В.А. Крамарський²**, канд. техн. наук, **К.О. Кобзар³**, канд. техн. наук, **Д.І. Хвалін^{4*}**, асп.

1, 2, 4 – Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03057, Україна

e-mail: denis_h@bigmir.net,

3 – Державне підприємство «Завод «Електроважмаш»,
пр. Московський, 299, Харків, 61089, Україна

Для низки варіантів конструкції торцевої зони осердя статора потужного турбогенератора за допомогою квазітривимірної математичної моделі отримано розподіл магнітної індукції і температури в елементах у режимі споживання реактивної потужності з урахуванням анізотропії та насичення осердя статора. За критерієм мінімуму нагрівання елементів конструкції проведено порівняльний аналіз ефективності варіантів. Бібл. 11, рис. 11, таблиця.

Ключові слова: турбогенератор, торцева зона, крайні пакети осердя статора, температура.

Забезпечення високого рівня експлуатаційної надійності, коефіцієнта корисної дії (ККД) та ремонтпридатності турбогенераторів (ТГ) на основі нових інженерних рішень є головними задачами важкого електромашинобудування. Значна кількість цих рішень спрямована на вдосконалення торцевої зони (ТЗ) статора, однієї з найважливіших проблемних зон конструкції машини, нагрівання якої обмежує можливості ТГ в експлуатаційних режимах, у тому числі у режимах із споживанням реактивної потужності. Це пояснюється як складністю конструкції ТЗ, так і наявністю в ній електричних, магнітних і теплових явищ, які ще недостатньо вивчені. Особливо гостро необхідність впровадження нових рішень стосується ТГ з повітряним охолодженням [1–3], для яких є характерним несприятливе поєднання низької спроможності відведення тепла та високої щільності повітря. Актуальність і невирішеність проблеми підтверджуються численними публікаціями та різноманітними технічними рішеннями, які застосовують провідні виробники ТГ у світі.

Багаточисленні теоретичні та експериментальні дослідження електромагнітних і теплових процесів в елементах конструкції ТЗ осердя статора потужних ТГ дали змогу прояснити особливості, обумовлені нерівномірним розподілом магнітних потоків, щільності вихрових струмів, питомих втрат і нагрівань, та отримати необхідну інформацію й передумови для розробки математичних моделей і методів розрахунку магнітного поля, втрат і розподілу температури. Сучасні методи і наявна обчислювальна техніка дають можливість математично більш достовірно моделювати процеси в складних технічних об'єктах і оцінювати ефективність нових технічних рішень.

Метою роботи є визначення температурного поля в елементах кінцевої частини ТГ для низки варіантів її конструктивного виконання і порівняльний аналіз їх ефективності.

Як об'єкт дослідження розглянуто серійний ТГ типу ТГВ-500 потужністю 500 МВт (ДП «Завод «Електроважмаш», м. Харків). Для порівняння ефективності різних варіантів конструкції ТЗ осердя статора в її основних елементах розраховане поле температури для режиму навантаження зі споживанням реактивної потужності ($\cos \varphi = - 0,95$).

На рис. 1 зображена конструкція ТЗ ТГ, де позначено: 1 – крайній пакет осердя статора; 2 – натискний палець; 3 – мідний екран; 4 – натискна плита; 5 – корпус підшипника; 6 – газонапрямний апарат; 7 – маслоущільнююче кільце; 8 – газорозподільний циліндр; 9 – обмотка статора; 10 – кронштейн для кріплення обмотки. Обмотки статора і ротора охолоджуються дистиллятом, осердя статора – воднем. В ТЗ осердя статора для захисту спинки крайнього пакета для підсилення екрануючої дії між натискною плитою і натискним пальцем встановлене плоске мідне кільце завтовшки 10 мм. Охолодження натискної плити здійснюється за допомогою охолоджуючих каналів, по яких циркулює вода.

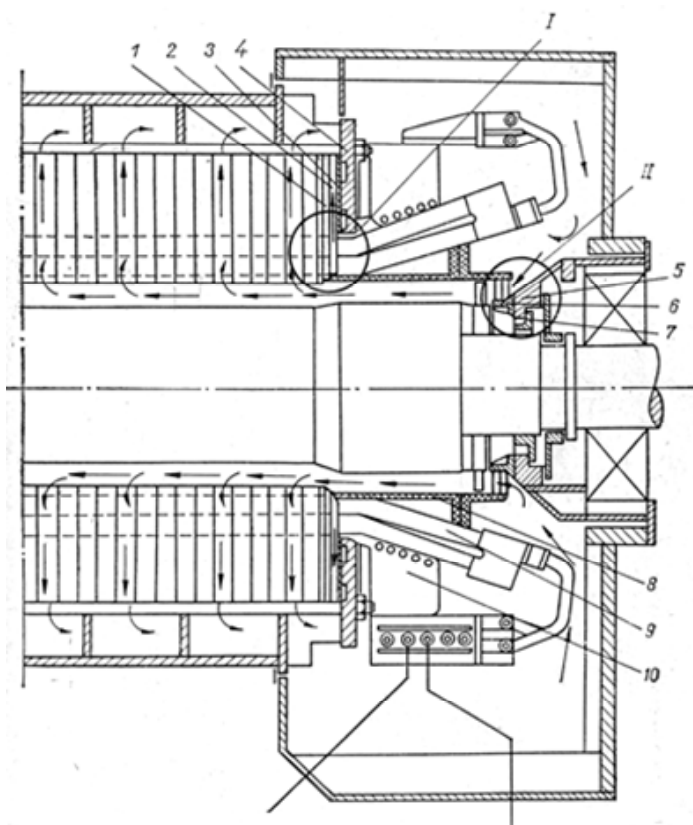


Рис. 1

Математична модель спільного розрахунку електромагнітного поля та нагрівань у ТЗ статора ТГ дає змогу математично строго враховувати режим роботи ТГ шляхом задання системи реально розподілених струмів лобових частин обмоток статора і ротора [4]. Квазітривимірна математична модель займає проміжне положення між дво- і тривимірними рішеннями і реалізована у програмному середовищі *Comsol Multiphysics* [5]. Вона побудована на чисельних розрахунках у поперечному та поздовжньому перетинах ТГ, взаємопов'язаних за допомогою комплексу граничних умов (ГУ). Розрахункова область охоплює всю ТЗ генератора, включаючи крайні та основні пакети осердя статора. При цьому враховуються реальна геометрія елементів ротора й статора, анізотропія та насичення осердя статора. Модель відповідає реальним розмірам ТГ в цілому, а також його окремих вузлів. Для кожного вузла задані фізичні параметри матеріалу, з якого він виготовлений. Для феромагнетиків побудовані відповідні криві намагнічування.

Спочатку розглядається двовимірний польова модель електромагнітного поля поперечного перерізу центральної зони ТГ. Рівняння для двовимірного магнітного поля відносно аксіальної складової векторного магнітного потенціалу (ВМП) A_z у розрахунковій області має вигляд

$$j\omega\sigma A + \nabla \times (\mu_0^{-1}\mu_r^{-1}\nabla \times A) = J_{z\text{стор}}^e e_z, \quad A = A_z e_z, \quad (1)$$

де ω – кутова частота; σ – питома електропровідність; ∇ – оператор Гамільтона; μ_0 – відносна проникність вакууму; μ_r – відносна магнітна проникність; $J_{z\text{стор}}^e$ – густина сторонніх струмів, що задана у перерізах обмоток статора та збудження; e_z – орт.

Рівняння (1) доповнюється однорідною ГУ першого роду, що відображає затухання поля за межами розрахункової області G на лінії зовнішньої поверхні ярма статора:

$$A_z|_G = 0. \quad (2)$$

В обмотці статора прийнято симетричну систему фазних струмів

$$\begin{cases} i_A = I_m \sin(\omega t + \beta) \\ i_B = I_m \sin(\omega t + \beta - 120^\circ) \\ i_C = I_m \sin(\omega t + \beta + 120^\circ), \end{cases} \quad (3)$$

де I_m – їх амплітуда; β – кутове зміщення осі, вздовж якої діє магніторушійна сила (МРС) трифазної обмотки статора по відношенню до поздовжньої осі ротора d .

Кут β визначається за формулою

$$\beta = 90^\circ + \theta + \varphi, \quad (4)$$

де θ – кут навантаження машини; φ – кут фазового зсуву між напругою та струмом статора.

Кут навантаження θ дорівнює [3]

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{I_s \cos \varphi}{(U_s/x_d) \pm I_s \sin \varphi}, \quad (5)$$

де I_s , U_s – фазні струм і напруга статора відповідно; x_d – головний індуктивний опір; знак «плюс» відповідає режиму перезбудження ТГ, «мінус» – недозбудження.

Величини струмів в обмотках статора та ротора й кута β задаються відповідно до режимів роботи генератора. На рис. 2 показаний миттєвий розподіл магнітної індукції (МІ) та ВМП у певний момент часу в центральній зоні (у даному випадку $t = 0,02$ с, що відповідає одному повному оберту ротора). Відтінками сірого кольору показані рівні МІ у теслах відповідно до приведеної шкали.

Маючи розподіл поля у центральній частині, можна моделювати магнітне поле у поздовжньому перетині ТГ. З врахуванням симетрії вздовж осевого та радіального напрямків (рис. 1) розрахункова область ТЗ обрана у вигляді половини перерізу ротора вздовж його осі та перетину зубця осердя статора у тангенціальному напрямку (по колу) [6]. Цей перетин співпадає з прямокутною координатною площиною і є площиною симетрії ротора (на рис. 2 вона проходить по радіусу OO_1).

Рівняння для двовимірного поля відносно складової ВМП A_z , яка є тангенціальною складовою у розрахунковій області, має вигляд (1). Необхідна структура силових ліній магнітного поля формується за допомогою комплексу ГУ для ВМП, що встановлюються для зовнішніх меж області [4].

На рис. 3 показано розподіл МІ та ВМП в ТЗ ТГ для режиму навантаження зі споживанням реактивної потужності ($\cos \varphi = -0,95$).

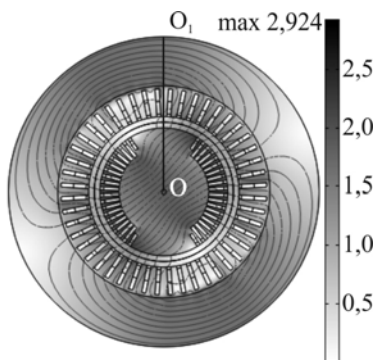


Рис. 2

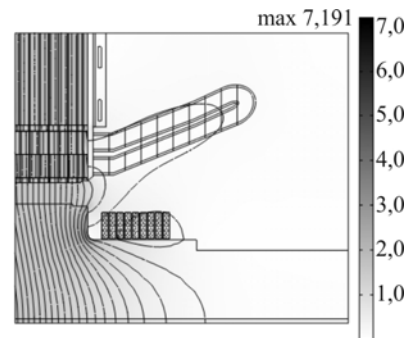


Рис. 3

Приймаючи отримані результати електромагнітного розрахунку як джерело виникнення вихрових струмів і тепловиділень, промодельюємо теплообмінні процеси у ТЗ ТГ. Рівняння для двовимірного температурного поля має вигляд

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla(-k \nabla T) = Q, \quad (6)$$

де ρ , C_p , k – коефіцієнти теплофізичних характеристик: густина, теплоємність при постійному тиску і теплопровідність відповідно; T – температура; Q – питомі об'ємні теплові втрати.

Коефіцієнти тепловіддачі торцевих поверхонь та вентиляційних каналів задані відповідно до рекомендацій [7, 8]. Температура холодного газу прийнята 40°C . Параметри охолодження незмінні для всіх варіантів ТЗ ТГ, що розглядаються.

Оскільки ефективність різних варіантів конструкції ТЗ визначається з порівняння максимальної та середньої температури осердя статора, надалі приводяться тільки результати теплового розрахунку.

Варіант 1. Базова (заводська) конструкція ТЗ ТГ. На рис. 4 показано розподіл температури для режиму навантаження зі споживанням реактивної потужності ($\cos \varphi = -0,95$) у розрахунковій області ТЗ ТГ базової конструкції (рис. 1), а на рис. 5 – розподіл нагрівань двох крайніх пакетів осердя статора, натискного пальця, мідного екрана та натискної плити.

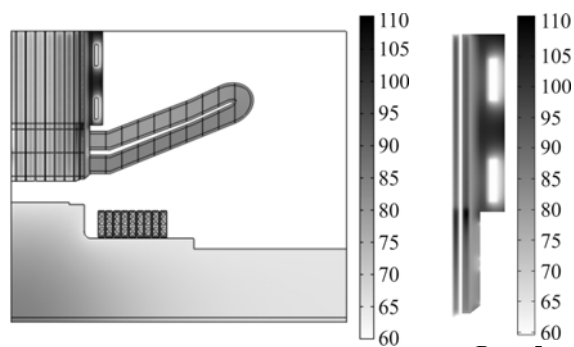


Рис. 4

Рис. 5

Максимальна температура в зубцевій зоні біля дна паза крайнього пакета осердя становить

111 °С, натискної плити – 108 °С, натискного пальця – 99 °С, що відповідає результатам натурних випробувань ТГ [7]. Максимальна температура в зубцевій зоні крайнього пакета біля дна паза пояснюється тим, що окрім радіального поля зубцева зона навантажена аксіальним потоком, створеним МРС лобових частин обмотки статора, розсіюванням лобових частин обмотки ротора, а також «витисканням» частини основного потоку із повітряного проміжку. До того ж причиною локальної концентрації аксіальної складової поля біля дна паза є ефект екранування поля натискною плитою (рис. 3).

Зрозуміло, що розподіл нагрівань натискної плити обумовлений наявністю каналів з охолоджуючою водою. Однак вони ефективні лише в локальній близькості і на нагрівання мідного екрана не впливають. З віддаленням від зубцевої зони крайніх пакетів з максимальною температурою в бік спинки осердя температура різко зменшується з причини екрануючої дії натискної плити та мідного екрана. Аксіальна складова МІ в зоні коронки зубців сягає 1,1...1,15 Тл (торець сходинки першого пакета), однак ця зона інтенсивно охолоджується газом, що циркулює в зазорі. Тому температура тут невисока.

З усього наведеного можна зробити висновок, що нагрівання елементів ТЗ ТГ є вкрай нерівномірним, що обумовлено аналогічним розподілом втрат та наявною схемою охолодження. Максимальні значення температури в окремих елементах більше середнього майже втричі.

Варіант 2. Глибокий скіс крайніх пакетів осердя статора. Деякими виробниками ТГ застосовується глибокий скіс крайніх пакетів осердя статора (наприклад, АТ «Силловые машины», Росія). Значне вкорочення зубців крайніх пакетів дає змогу знизити їх нагрівання, але недоліками такої конструкції є зменшення магнітної провідності повітряного проміжку машини в цій зоні й складності забезпечення пресуючого зусилля в зубцях. Крім того, в цьому випадку на лобові частини обмотки статора діють додаткові механічні сили електромагнітної природи.

З рис. 6 та 7 можна встановити, що максимальна температура в зоні біля дна паза крайнього пакета осердя статора становить 95 °С, натискної плити – 108 °С, натискного пальця – майже 117 °С. З причини вкорочення натискного пальця його торець навантажений магнітним потоком, створеним МРС лобових частин обмотки статора, частиною основного потоку, яка «витискається» із повітряного проміжку, а також потоком, що обтікає натискну плиту. Через те при такому виконанні ТЗ осердя статора доцільно змінювати конструкцію натискного пальця, наприклад робити його подовженим у бік зазору машини, як це реалізовано у ТГ типу ТВВ-1000 або запропоновано у роботі [9].

Варіант 3. Встановлення L-подібного екрана. Електромагнітний екран, який охоплює нижню кромку натискної плити з боку осердя і повітряного проміжку машини, використовується, наприклад, у ТГ ДП «Завод «Електроважмаш» (м. Харків). З рис. 8 та 9 видно, що максимальна температура в зоні біля дна паза крайнього пакета осердя стано-

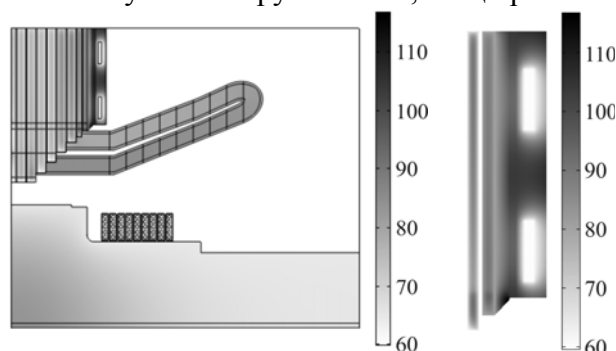


Рис. 6

Рис. 7

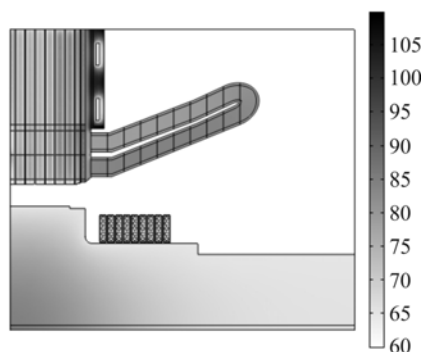


Рис. 8

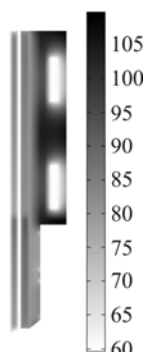


Рис. 9

вить 92 °С, натискної плити – 105 °С, натискного пальця – 95 °С. Висока ефективність L -подібного екрана пояснюється «витисканням» магнітних потоків із зони біля дна паза за рахунок ділянки екрана, яка охоплює нижню кромку натискної плити. За рахунок цього температура зубцевої зони статора біля дна паза зменшується, але при цьому має місце значне нагрівання саме цієї ділянки екрана.

Варіант 4. Застосування внутрішнього екранування крайніх пакетів осердя ста-

тора. Авторами роботи [10] запропоновано конструктивне рішення, суть якого полягає у розміщенні в крайньому пакеті осердя статора електропровідних екранів зубцево-пазової конфігурації, що набирається, як і залізо статора, з окремих сегментів та повторює геометрію сегментів заліза. Дослідження [11] підтверджують ефективність структурного внутрішнього

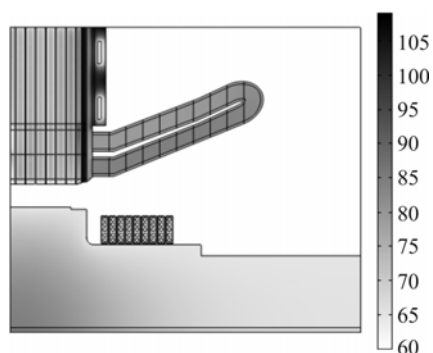


Рис. 10

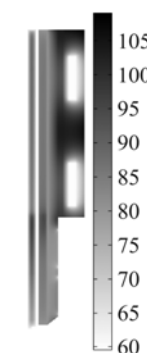


Рис. 11

електромагнітного екранування крайніх пакетів осердя статора, виконаного із застосуванням феромагнітних (залізо статора) і електропровідних елементів рівної товщини. Для будь-яких інших співвідношень товщин елементів екранування є менш ефективним. У даному випадку розглянуто варіант розташування в тілі крайнього пакета структурного екрана, в якому для підвищення механічної міцності осердя статора мідні елементи встановлено за феромагнітними. Товщина всіх

елементів становить 4 мм. Тобто у крайньому пакеті завтовшки 20 мм розміщено два мідних елемента і три феромагнітних. З рис. 10 і 11 видно, що максимальна температура при цьому в зубцевій зоні осердя статора біля дна паза крайнього пакета становить 95,7 °С, у натискній плиті – 108 °С, натискного пальця – 98 °С.

Ефективність структурного внутрішнього екрана пояснюється тим, що втрати в мід-

Абсолютна температура, $T_{\text{макс}} / T_{\text{сер}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	Варіант			
	1	2	3	4
Крайні пакети осердя статора	111/91	95/86	92/84	95,7/88
Натискна плита	108/88	108/87	105/85	108/88
Натискні пальці	99/85	116,7/89	95/80	98/83

ному екрані більш рівномірно розподіляються та підвищуються у верхній його частині, магнітні потоки (рис. 3) відхиляються у магнітні листи заліза і майже повністю замикаються в них.

Максимальні та середні абсолютні температури основних елементів кінцевої частини ТГ для різних варіантів конструкції зведені до таблиці.

З таблиці видно, що з розглянутих варіантів конструкції торцевої частини статора у варіанті 3 з електропровідним L -подібним екраном між натискною плитою і натискними пальцями максимальне перевищення температури основних елементів конструкції над холодним газом (40 °С) є найнижчим, а саме: крайнього пакета осердя 52 °С, натискної плити 75 °С, натискного пальця 55 °С. Застосування структурного екрана (варіант 4) дає змогу зменшити максимальну температуру крайнього пакета осердя статора, але при цьому збільшується середня температура з причини наявності мідних елементів. Структурний екран не впливає на нагрівання натискної плити та пальців.

Для ТГ з глибоким скосом крайніх пакетів осердя статора (варіант 2), який виконує функцію шунта [10, 11], застосування ефективних екранів дасть можливість зменшити розмір скосу, що значно підвищить міцність конструкції статора, збільшить коефіцієнт магнітного зв'язку обмоток.

Висновки. 1. Розроблена модель розрахунку розподілу МІ і температури в основних елементах торцевої частини статора ТГ дає змогу якісно і наглядно оцінювати ефективність різних варіантів конструкції з урахуванням всіх електромагнітних і теплофізичних характеристик. Точність розрахунків визначається переважно достовірністю цих характеристик.

2. Серед розглянутих варіантів конструкцій ТЗ осердя статора ТГ найбільш ефективною з точки зору мінімізації температури її основних елементів є конструкція з L -подібним електромагнітним екраном.

3. Пошук оптимальної конструкції кінцевої частини осердя статора ТГ доцільно проводити з використанням комбінації електропровідного L -подібного екрана та найбільш ефективних відомих і нових окремих технічних рішень, наприклад внутрішнього екранування крайніх пакетів.

1. Алексеев Б.А., Мамиконянц Л.Г., Поляков Ф.А., Шакарян Ю.Г. Проблемы электрических машин на сессии СИГРЭ. *Электричество*. 2009. № 3. С. 60–67.
2. Смородин В.И., Крамарский В.А., Кузьмин В.В., Черемисов И.Я. Концепция нетрадиционного исполнения торцевой зоны статора турбогенератора с полным воздушным исполнением. *Техническая электродинамика*. 1991. № 2. С. 47–50.
3. Carl-Ernst Stephan, Jurgen Baer, Hans Zimmerman, Dr. Gerhard Neidhofer, Dr. Rjland Egil. New air-cooled turbogenerator in the 300-MVA class. *ABB Review*, 1/1996. P. 20–28.
4. Кенсичкий О.Г., Хвалін Д.І. Електромагнітне поле у торцевій зоні турбогенератора при зміні реактивного навантаження. *Технічна электродинаміка*. 2018. №1. С. 62–68.
5. Comsol Multiphysics modeling and simulation software. <http://www.comsol.com/>
6. Fujita M., Ueda T., Tokumasu T. Eddy current analysis in the stator end structures of large capacity turbine generators. International Conference on *Electrical Machines and Systems*, November, 2009, Tokyo, Japan. P. 1–6.
7. Постников И.М., Станиславский Л.Я., Счастливый Г.Г. Электромагнитные и тепловые процессы в концевых частях мощных турбогенераторов. Киев: Наукова думка, 1971. 360 с.
8. Счастливый Г.Г., Федоренко Г.М., Выговский В.И. Турбо- и гидрогенераторы при переменных графиках нагрузки. Киев: Наукова думка, 1985. 208 с.
9. Патент 99571 Україна МПК H02K 5/04. Статор електричної машини. Крамарський В.А., Черемісов І.Я., Титко О.І., Грубой О.П., Пенський В.Ф., Мінко О.М. № у 2014 14220; заявл. 31.12.2014; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 11.
10. Патент 111154 Україна МПК H02K 3/42. Осердя статора електричної машини змінного струму. Титко О.І., Кобзар К.О., Хвалін Д.І. № у 2015 1257; заявл. 21.12.2015; опубл. 10.11.2016, Бюл. № 21.
11. Титко О.І., Мишастий М.Д., Воронін А.І., Хвалін Д.І. Експериментальні дослідження ефективності екранів зубцево-пазової конструкції статорів турбогенераторів. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. 2017. Вип. 46. С. 34–42.

УДК 621.313.322

О.Г. Кенсичкий¹, докт. техн. наук, **В.А. Крамарский**², канд. техн. наук, **К.А. Кобзарь**³, канд. техн. наук, **Д.И. Хвалин**⁴, асп.

1, 2, 4 – Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина,

3 – Государственное предприятие «Завод «Электротяжмаш»,
пр. Московский, 299, г. Харьков, 61089, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ТОРЦЕВОЙ ЗОНЫ СЕРДЕЧНИКА СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Для ряда вариантов конструкции торцевой зоны сердечника статора мощного турбогенератора с помощью квазитрёхмерной математической модели получено распределение магнитной индукции и температуры в элементах в режиме потребления реактивной мощности с учётом анизотропии и насыщения сердечника статора. По критерию минимума максимальной и средней температуры в элементах конструкции проведён сравнительный анализ эффективности этих вариантов. Библ. 11, рис. 11, таблица.

Ключевые слова: турбогенератор, торцевая зона, крайние пакеты сердечника статора, температура.

O.G. Kentsytskiy¹, V.A. Kramarskiy², K.O. Kobzar³, D.I. Hvalin⁴

1, 2, 4 – Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Peremohy, 56, Kyiv-57, 03057, Ukraine,

3 – State enterprise «Plant «Electrowazhmash»,
pr. Moskovskiy, 299, Kharkiv, 61089 Ukraine

STUDY OF EFFICIENCY THE DESIGN OF A STATOR CORE END ZONE OF TURBOGENERATOR

Taking into account the anisotropy and saturation stator core with help a quasi-three dimensional mathematical model for a number of variants the design of a stator core end zone of powerful turbogenerator on the conditions of reactive

power consumption the distribution of magnetic induction and temperature in elements is obtained. By the criterion of decreasing the maximum and average temperature in the construction elements a comparative analysis of efficiency for these variants is made. References 11, figures 11, table.

Key words: turbogenerator, end zone, stator core extreme packet, temperature.

1. Alekseev B.A., Mamikonyants L.G., Polyakov F.A., Shakaryan Yu.G. Electric machines problems on the SIGRE session. *Elektrichestvo*. 2009. № 3. P. 60–67. (Rus)
2. Smorodin V.I., Kramarskiy V.A., Kuzmin V.V., Cheremisov I.Ya. Untraditional execution conception of turbogenerator stator with complete air execution butt-end area. *Tekhnichna elektrodynamika*. 1991. № 2. P. 47–50. (Rus)
3. Stephan C.-E., Baer J., Zimmerman H., Neidhofer G., Egil R. New air-cooled turbogenerator in the 300-MVA class. *ABB Review*, 1/1996. P. 20–28.
4. Kentsytskiy O.H., Khvalin D.I. The End Zone Turbogenerator Electromagnetic Field for Changes the Reactive Load. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2018. № 1. P. 62–68. (Ukr)
5. *Comsol Multiphysics modeling and simulation software*. <http://www.comsol.com/>
6. Fujita M., Ueda T., Tokumasu T. Eddy current analysis in the stator end structures of large capacity turbine generators. *International Conference on Electrical Machines and Systems*, November, 2009, Tokyo, Japan. P. 1–6.
7. Postnikov I.M., Stanislavskiy L.Ya., Schastliviy G.G. Electromagnetic and thermal processes are in end parts of powerful turbogenerators. Kyev: Naukova dumka, 1971. 360 p. (Rus)
8. Schastliviy G.G., Fedorenko G.M., Vyigovskiy V.I. Turbo- and hydrogenerators at the variable load-graphs. Kyev: Naukova dumka, 1985. 208 p. (Rus)
9. Patent 99571 Ukraine IPK H02K 5/04. Electric machine stator / Kramarskiy V.A., Cheremisov I.Ia., Tytko O.I., Hruboi O.P., Penskiy V.F., Minko O.M. № u 2014 14220; declared 31.12.2014; published 10.06.2015, bulletin № 11. (Ukr)
10. Patent 111154 Ukraine IPK H02K 3/42. Alternating current electric machine stator core / Tytko O.I., bulletin K.O., Khvalin D.I. № u 2015 1257 declared 21.12.2015; published 10.11.2016, Бюл. № 21. (Ukr)
11. Tytko O.I., Myshastyi M.D., Voronin A.I., Khvalin D.I. Experimental researches of efficiency of screens tooth-slot turbogenerators stator constructions. *Pratsi Instytutu Elektrodynamiky NAN Ukrainy*. 2017. № 46. P. 34–42. (Ukr)

Надійшла 26.03.2018

Received 26.03.2018

УДК 621.3

АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБВІДНОЇ ПОЛЮСІВ РОТОРА ГІДРОГЕНЕРАТОРА ЗА ДАНИМИ СЕНСОРІВ ПОВІТРЯНОГО ЗАЗОРУ

Є.О. Зайцев, канд. техн. наук, **А.С. Левицький**, докт. техн. наук

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ, 03680, Україна
e-mail: ZaitsevIO@nas.gov.ua

Розроблено математичні моделі, що можуть бути використані для реалізації програмно-математичного забезпечення систем технічної діагностики гідрогенераторів при визначенні деяких механічних дефектів потужних генераторів. Розглянуто способи аналітичного визначення параметрів спотворення обвідної полюсів ротора гідрогенератора. Для визначення використано дані про величини повітряних зазорів між кожним полюсом ротора і розточенням осердя статора від системи сенсорів повітряного зазору, розміщених на розточенні осердя. Визначено математичні залежності, що характеризують спотворення обвідної полюсів ротора гідрогенератора. Запропоновано використання методу найменших квадратів для визначення центра обвідної полюсів ротора. Показано, що за цього методу визначення центра зменшується вплив розкиду радіальних розмірів полюсів ротора. Встановлено аналітичні залежності для визначення центра обвідної полюсів ротора як за умови наявності, так і за умови відсутності нерівномірності повітряного зазору між статором і ротором, спричиненої розкидом радіальних розмірів полюсів ротора. Аналітично встановлені параметри обвідної ротора можуть бути використані для побудови траєкторії (годограф) руху центра ротора та у процесі визначення ступеня ексцентриситету ротора. Бібл. 21.

Ключові слова: гідрогенератор, ротор, форма обвідної, вимірювання, годограф, метод найменших квадратів, обід, обвідна.