

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ТА АПАРАТИ

УДК 621.313.322

DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2019.53.035>

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООБМІНУ В АКсіАЛЬНИХ КАНАЛАХ ЗУБЦІВ ОСЕРДЯ СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

К.А. Кучинський*, докт. техн. наук, В.А. Крамарський, канд. техн. наук,
А.В. Худяков

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03057, Україна,
e-mail: kuchynskyy1962@gmail.com

Представлено результати експериментального дослідження на фізичній моделі аеродинаміки і теплообміну в аксіальних вентиляційних каналах зубців осердя статора турбогенератора з повітряним охолодженням. Показано переваги криволінійних осьових каналів у порівнянні з прямими каналами за рахунок зменшення аеродинамічного спротиву. Бібл. 6, рис. 5.

Ключові слова: турбогенератор, осердя статора, коефіцієнт тепловіддачі, аеродинамічний спротив, вентиляційні канали.

Підвищення вимог до надійності експлуатації генеруючого обладнання на електростанціях спонукає сучасне електромашинобудування до пошуку його вдосконалення. Оптимізація охолодження турбогенераторів як гранично навантажених електричних машин також залишається актуальною проблемою. Особливо це стосується турбогенераторів з повним повітряним охолодженням [1, 2]. Необхідні нові, нетрадиційні технічні рішення, які дозволять без надмірного ускладнення конструкції збільшити ефективність охолодження активних частин генератора.

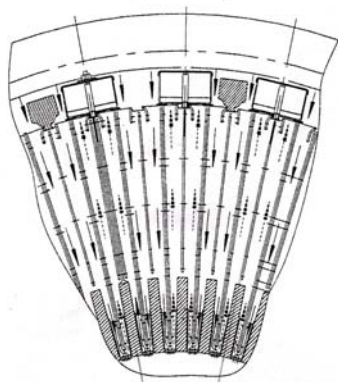


Рис. 1

Кожне з останніх технічних рішень у цьому напрямку внесло свій, можливо і невеликий вклад у вирішення проблеми, але в сумі вони дали змогу суттєво підвищити надійність і потужність турбогенераторів. У традиційних системах газового охолодження осердя статора турбогенераторів газ рухається по радіальним каналам між пакетами осердя або осьовим каналам в пакетах осердя [3]. Їх розвитком стала багатопоточна незалежна система повітряного охолодження статора з U-подібними каналами між пакетами активної сталі (рис. 1). Холодне повітря із зони нагнітання проходить між пакетами спочатку в напрямку зубців, біля коронки зубців повертає і виходить у протилежному напрямку.

Останнім значним досягненням стало створення радіально-аксіальної системи повітряного охолодження пазової частини статора як результат логічного розвитку багатопоточної незалежної системи охолодження осердя [4]. Основна відмінність цієї системи полягає в тому, що потік холодного охолоджуючого повітря омиває кожний шихтований

пакет осердя в радіальному напрямку, починаючи зі спинки, далі проходить через аксіальні канали в зубцях пакета, після чого виходить з осердя в радіальному напрямку по іншу сторону пакета (рис. 2). Це призводить до значного зменшення температурного перепаду по товщині пакета за рахунок того, що зменшується тепловий опір, і значна частина теплового потоку відводиться з поверхні аксіальних каналів повз ізоляційні проміжки між листами сталі. Але за такої конструкції зростає аеродинамічний спротив проходженню повітря через вентиляційні канали осердя.

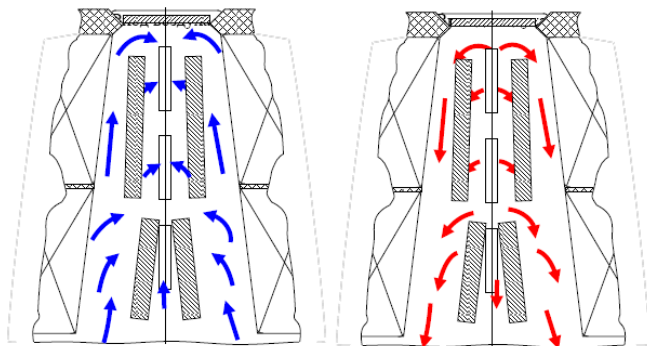


Рис. 2

Метою експериментальних досліджень на фізичній моделі тепловіддачі і аеродинамічного спротиву в аксіальних каналах зубців осердя статора з незалежним повітряним охолодженням було порівняння ефективності прямих і криволінійних каналів. На моделі одного зубцевого ділення було відтворено конфігурацію і геометричні розміри вентиляційних каналів між пакетами осердя статора турбогенератора потужністю 120 МВт. Вентиляційні канали в зубцях досліджено в двох варіантах: прямолінійні аксіальні і криволінійні канали. Поверхня каналів була гладкою. Схему руху потоків повітря в зубцевій зоні осердя з незалежним

охолодженням показано на рис. 3, а, б, де 1 – пакети осердя статора, 2 – радіальні вентиляційні канали, 3 – аксіальні вентиляційні канали.

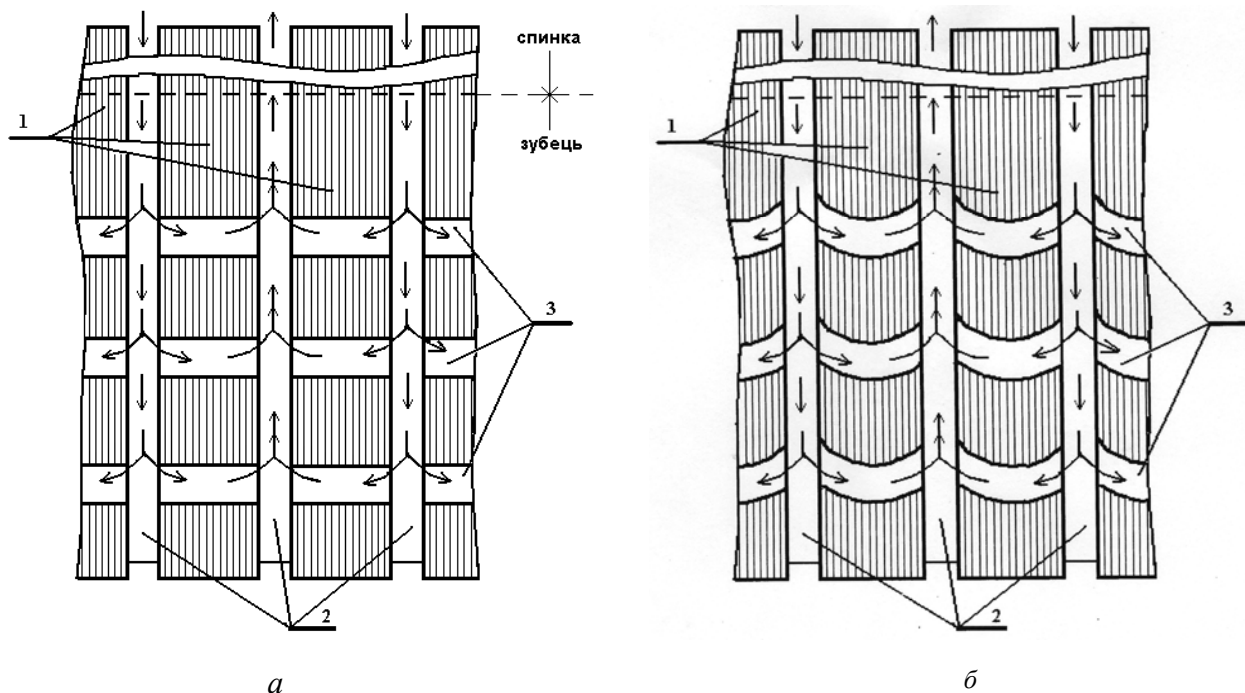


Рис. 3

На рис. 4 зображено аеродинамічний спротив тракту «спинка осердя – аксіальні канали в зубцях – спинка осердя» в залежності від витрат повітря. По горизонтальній координаті відкладено витрати повітря через одне зубцеве ділення (х – прямий канал, ● – криволінійний канал).

Позитивний ефект полягає в тому, що за робочих витрат повітря аеродинамічний спротив тракту з криволінійними каналами в зубцях приблизно на 10 % менший, ніж аеродинамічний спротив цього тракту з прямими аксіальними каналами.

У ході дослідження тепловіддачі теплові потоки з поверхні аксіальних каналів у зубцях створювались через нагрівачі під поверхнею каналів, а середня температура поверхні вимірювалась термомпарами. На рис. 5 приведено результати досліджень середнього коефіцієнта тепловіддачі в аксіальних каналах осердя статора в практичному діапазоні витрат повітря через вентиляційні канали. По горизонтальній координаті відкладено витрати повітря через одне зубцеве ділення (x – прямий канал, ● – криволінійний канал).

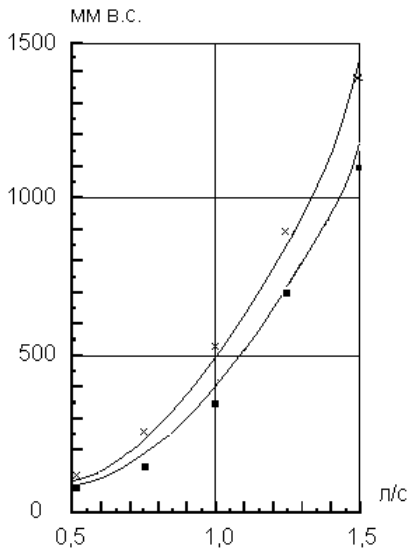


Рис. 4

Висновок. Загальний позитивний ефект застосування криволінійних аксіальних каналів у зубцях осердя статора турбогенератора з повітряним охолодженням полягає у відчутному зменшенні вентиляційних втрат у процесі прокачування повітря. Хоча дотепер виконання криволінійних осьових каналів у зубцях осердя залишається технологічно складним і дорогим завданням, в умовах неминучої автоматизації процесу вирізки сегментів осердя і збирання осердя статора реалізація цього технічного рішення стане цілком прийнятною.

Видно, що в разі зростання витрат повітря коефіцієнт тепловіддачі в прямих аксіальних каналах більше зростає в порівнянні з коефіцієнтом тепловіддачі в криволінійних аксіальних каналах.

Це пояснюється зростанням ефекту турбулізації потоку повітря на вході й виході з аксіальних каналів. Отримані величини коефіцієнтів тепловіддачі узгоджуються з результатами досліджень, приведених у [5]. З поверхні аксіальних каналів знімається приблизно 30 % від теплових втрат у зубці [6]. Порівняльні теплові розрахунки показують, що зменшення коефіцієнта тепловіддачі в криволінійних каналах призведе до збільшення максимальної температури в тілі зубця за однакових витрат повітря не більше, ніж на 2 – 4 градуса в номінальному режимі навантаження турбогенератора.

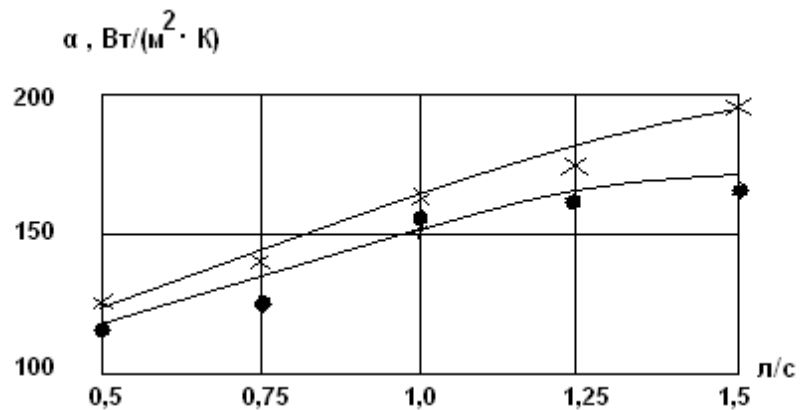


Рис. 5

Фінансується за держбюджетною темою «Наукове обґрунтування та розробка методів і засобів підвищення безвідмовності потужного генеруючого обладнання ТЕС, ГЕС і АЕС» (шифр «БЕЗВИДМОВНІСТЬ-2»), що виконується за Постановою Бюро ВФТПЕ від 29.05.2018 р., протокол № 9. Державний реєстраційний номер роботи 0119U001213.

1. Joho R., Baumgatter J., Hinkel T., Stephan C.-E., Jung M. Type Tested Air-cooled Generator in the 500 MVA Range. CIGRE Session. 2000. Pp. 11 – 101.
2. Алексеев Б.А., Мамиконянц Л.Г., Поляков Ф.А., Шакарян Ю.Г. Проблемы электрических машин на сессии СИГРЭ. *Электричество*. 2009. № 3. С. 5 – 9.
3. Титов В.В., Хуторецкий Г.М., Загородная Г.А. и др. Турбогенераторы. Расчет и конструкция. Л.: Энергия, 1967. 896 с.
4. Дубровин Ю.Н., Кади-Оглы И.А., Карташова Т.Н., Шаров В.И. Развитие системы воздушного охлаждения турбогенераторов серии ТЗФ. *Электросила*. 2003. № 42. С. 44 – 50.

5. Рязанов В.Г., Чекановская З.Е. Коэффициент теплоотдачи в аксиальных каналах шихтованного сердечника. *Электротехника*. 1972. № 9. С. 17 – 18.
6. Антонюк О.В., Гуревич Э.И., Карташова Т.Н. Современная проблематика и перспективы развития газового охлаждения турбогенераторов. *Электрические станции*. 2014. № 5. С. 41 – 47.

УДК 621.313.322

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В АКСИАЛЬНЫХ КАНАЛАХ ЗУБЦОВ СЕРДЕЧНИКА СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

К.А. Кучинский, докт. техн. наук, **В.А. Крамарский**, канд. техн. наук, **А.В. Худяков**

Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03057, Украина

Представлены результаты экспериментального исследования на физической модели аэродинамики и теплообмена в аксиальных вентиляционных каналах зубцов сердечника статора турбогенератора с воздушным охлаждением. Показаны преимущества криволинейных каналов в сравнении с прямыми каналами за счет уменьшения аэродинамического сопротивления. Библиография 6, рис. 5.

Ключевые слова: турбогенератор, сердечник статора, коэффициент теплоотдачи, аэродинамическое сопротивление, вентиляционные каналы.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF HEAT EXCHANGE IN AXIAL CHANNELS OF TEETH OF THE CORE OF THE STATOR OF A TURBOGENERATOR

K.A. Kuchynskyi, V.A. Kramarsky, **A.V. Khudyakov**

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
pr. Peremohy., 56, Kyiv-57, 03057, Ukraine

Results of experimental studies on physical model of aerodynamics and heat exchange in axial ventilating channels of teeth of the core of the stator of a turbogenerator with air cooling are presented. Advantages of curvilinear channels in comparison with direct channels due to reduction of aerodynamic resistance are shown. References 6, figures 5.

Key words: turbogenerator, stator core, heat-transfer coefficient, aerodynamic resistance, ventilation ducts.

1. Joho R., Baumgathner J., Hinkel T., Stephan C.-E., Jung Type Tested Air-cooled Generator in the 500 MVA Range . M. CIGRE Session 2000. Pp. 11 – 101.
2. Alekseev B.A., Mamikonyants L.G., Polyakov F.A., Shakaryan Yu.G. Problems of electrical machines at a session SIGRE . Electricity. 2009. No 3. Pp. 5 – 9.
3. Titov V.V., Hutoretsky G.M., Zagorolnaja G.A. etc. Turbogenerators. L.: Energy, 1967. 896 p.
4. Dubrovin Yu.N., Kadi Oglou I.A., Kartashova T. N., Sharov V.I. Development of a system of air-cooling turbogenerators of the TZF series. In book: Collection "Electric power". 2003. No 42. Pp. 44 – 50.
5. Ryzanov V.G., Z.E. Chekanovskaya. Coefficient of heat transfer in axial channels of the sheet core. Electrical equipment. No 9. 1972. Pp. 17 – 18.
6. Antonyuk O.V., Gurevich E.I., Kartashova T. N. Modern problems and prospects of development of gas-cooling turbogenerators. Power plants. No 5. 2014. Pp. 41 – 47.

Надійшла 06.06.2019
Received 06.06.2019