

Корисна модель належить до області електроенергетики та електромашинобудування, зокрема до конструкції обмоток статорів електричних генераторів змінного струму, що встановлені на теплових та атомних електричних станціях, до турбогенераторів. Обмотка статора електричної машини розміщується в пазах осердя статора і є одним з основних елементів конструкції будь-якої електричної машини змінного струму. Конструкція та тип обмотки статора залежить та визначає електромагнітні та електромеханічні параметри турбогенераторів: номінальні напругу та струм обмотки статора, коефіцієнт корисної дії (ККД), лінійне навантаження, індукцію в повітряному зазорі та інші показники, що впливають на економічні показники, ефективність, надійність та строк експлуатації турбогенератора [1].

Найбільш близьким аналогом корисної моделі за технічною суттю та результатом, що досягається, є обмотка статора турбогенератора (патент СРСР № 1658283 "Полюй проводник для обмоток электрических машин", 23.06.1991. <https://patents.su/7-1658283-polyjj-provodnik-dlya-obmotok-ehlektricheskikh-mashi-n.html>), в якій серед звичайних струмонесучих стрижнів є порожнисті провідники з фігурним перерізом порожнини, в якій циркулює вода для відводу тепла від обмотки статора. На внутрішній поверхні цих порожнистих провідників для збільшення площини контакту з охолоджуючою водою зроблено кільцевий рельєф з періодичними потовщеннями та впадинами на стінках для інтенсифікації охолодження обмотки статора турбогенератора.

Найбільш істотними недоліками аналога є наступні:

1. У зв'язку з тим, що рельєф має поперечний напрямок гофр, які створено для збільшення поверхні відбору тепла водою від провідника, суттєво збільшується гідравлічний опір проходженню води по порожнині стрижнів обмотки статора. Це викликає необхідність збільшення потужності насосної системи, що прокачує воду по провідникам обмотки статора; а для довгих провідників потужних машин це унеможливує організувати ефективне охолодження обмотки статора. Наприклад, використання такої конструкції немає сенсу використовувати для турбогенераторів потужністю більше 500 МВт [2].

2. Зміна товщини стінок каналів порожнистих провідників впливає на надійність каналів, по яким циркулює охолоджуюча вода, і не дозволяє збільшувати швидкість проходження води по каналам охолодження. Це необхідно для підвищення потужності генераторів при виконанні їх модернізації з підвищенням потужності без зміни габаритів [3].

3. Через деякий час напруцювання електричної машини потрібна чистка внутрішніх поверхонь охолоджуючих каналів стрижнів від бруду та відкладень для збереження розрахункового перерізу каналу проходження води в порожнистих провідниках. Поперечний рельєф виступів відносно напрямку руху води значно збільшує відкладення і ускладнює процедуру очистки каналів, значно збільшує час виконання таких робіт, час простою турбогенератора, викликає значне недовироблення ним електроенергії, знижує надійність через додаткові розборки турбогенератора: від'єднання захисних або підшипникових щитів, виведення ротора, від'єднання системи охолодження кожного стрижня обмотки статора тощо [4-6].

Перераховані вище недоліки знижують загальну надійність та ефективність турбогенераторів та конкурентоспроможність на світовому ринку.

В основу корисної моделі поставлена задача інтенсифікації охолодження стрижнів обмотки статора електричної машини за рахунок зниження внутрішнього гідравлічного опору проходженню води по каналах порожнистих провідників шляхом відмови від поперечного руху води відносно рельєфу, що створений для розвитку поверхні тепловідводу. Збереження площі тепловідводу з забезпеченням, в разі необхідності, підвищення потужності турбогенератора шляхом підвищення швидкості проходження охолоджуючої води, що досягається встановленням діагональної пластини в середині порожнистого каналу провідника обмотки статора. Такий профіль каналу охолодження також буде сприяти значному зменшенню відкладень та забрудненню внутрішнього перерізу порожнини провідника обмотки статора.

Поставлена задача вирішується тим, що в обмотці статора електричної машини змінного струму, що складається зі стрижнів, що містять сукупність порожнистих провідників електричного струму, у квадратній порожнині яких циркулює вода, згідно з корисною моделлю, в порожнині каналів провідників, які виконані з гладкими стінками і складаються із декількох послідовних фрагментів, встановлено діагональну пластину, закріплену методом точкового зварювання зі сторони зовнішньої поверхні провідника таким чином, щоб у внутрішній порожнині кожного зі складальних фрагментів провідника, з яких складається загальний канал на всю довжину осердя статора, було утворено два трикутних канали, з поворотом діагональної пластини в кожному наступному фрагменті каналу на 180 градусів.

Канал проходження води, порожнистий провідник, складається з декількох частин з довжиною, що визначається загальною осьовою довжиною осердя статора турбогенератора та технологічними можливостями заводу-виробника (800-1000) мм. Фрагменти зварюються стиковими швами, які надійні, бо не відчувають значних навантажень, тому що теплове розширення відбувається тільки в аксіальному напрямку; в радіальному напрямку розширення обмежується розмірами пазів осердя

статора. Тому обмотка з порожнистими каналами розширюється разом з осердям статора лише в осьовому напрямку, і зварні шви відчувають тільки нормальні навантаження, до яких стикові шви мають високу стійкість; тангенційних навантажень немає. Водопровідний канал порожнистого провідника має квадратний переріз. Додаткова поверхня відводу тепла від провідників обмотки статора до охолоджуючої води забезпечується встановленням діагональної пластини у внутрішню порожнину порожнистого провідника таким чином, що у внутрішній порожнині кожного фрагменту каналу провідника утворюються два трикутних канали. В кожному послідовному фрагменті охолоджуючого каналу порожнистого провідника поперечна діагональ повертається на 180 градусів: в першому фрагменті з лівого нижнього кута перерізу до правого верхнього кута, а в подальшому фрагменті каналу, що складає загальний канал охолодження, з правого нижнього кута перерізу до лівого верхнього кута; і таким же чином далі, так щоб утворювалось два трикутних канали в середині порожнини провідника. Діагональна пластина кріпиться в середині порожнини каналу провідника методом точкового зварювання зі сторони зовнішньої поверхні провідника. Довжина складових елементів порожнистого каналу забезпечується технологічною можливістю виконання конструкції. Виконання електричних провідників із встановленою діагональною пластиною у внутрішній порожнині каналу охолодження дає змогу відмовитися від поперечного, відносно напрямку руху води, рельєфу внутрішньої поверхні порожнини, що забезпечує збільшення площі теплообміну струмопровідного стрижня з охолоджуючою водою; спрощення геометрії перерізу каналу проходження води знижує вплив поперечних гофрів для осадження бруду та елементів накипу. За допомогою такого рельєфу, позмінного повороту діагоналі в порожнині провідника, йде додаткове перемішування охолоджуючої води для вирівнювання охолодження по довжині всього каналу охолодження. Гладкі поверхні порожнини каналів і діагональної пластини знижують гідравлічний опір проходженню води через канали стрижнів обмотки статора. На відміну від найбільш близького аналога це дає змогу суттєво підвищити рівень теплообмінної здатності обмотки статора з водою без використання додаткових заходів з інтенсифікації теплообміну, або забезпечує застосування кращої системи охолодження обмотки статора електричної машини. Крім того, на відміну від найбільш близького аналога, геометрія теплообмінних каналів не створює додаткових умов для утворення відкладень у порожнистих провідниках від охолоджуючої води, запобігає забрудненню каналів, тобто зниженню їх робочого перерізу [7-8].

Конструкція пояснюється наступними кресленнями, де на фіг. 1 зображено загальний вигляд електричної машини із місцевим вирізом; на фіг. 2 показано виносний елемент А з фіг. 1, на якому зображено осердя статора, лобову частину обмотки статора та стрижні обмотки статора; на фіг. 3 зображено переріз Б-Б з фіг. 2, на якому показано поперечний перетин осердя та стрижнів обмотки статора; на фіг. 4 зображено виносний елемент В з фіг. 2, на якому показано сукупність порожнистих провідників із встановленою діагональною пластиною, та показано позмінне розташування фрагментів порожнистих провідників відносно напрямку розміщення діагональної пластини.

На фіг. 1 зображено загальний вигляд електричної машини з місцевим вирізом, на якому видно статор 1 та ротор 2. На фіг. 2 показано виносний елемент А з фіг. 1, на якому зображено осердя статора 3, лобову частину обмотки статора 4 та стрижні обмотки статора 5. На фіг. 3 показано поперечний переріз осердя 3 та стрижнів обмотки статора 5, які складаються (у даному випадку) із трьох порожнистих провідників електричного струму 6. На фіг. 4 (аксонометрія, з місцевим вирізом) зображено сукупність порожнистих провідників 6 із встановленою діагональною пластиною 7, при цьому розміщення фрагментів 8 та 9 порожнистих провідників 6 відбувається позмінно відносно встановленої діагональної пластини 7, за принципом з гори до низу - з низу до гори, і так далі. Закріплення діагональної пластини в охолоджуючому каналі порожнині провідника відбувається за допомогою точкового зварювання 10.

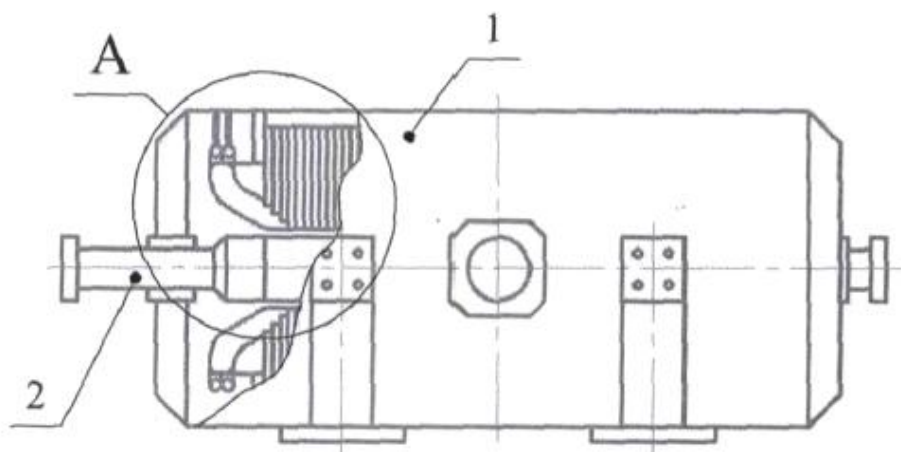
Обмотка статора електричної машини здійснює роботу наступним чином: електрична машина, що складається зі статора 1 і ротора 2, перетворює механічну енергію парових або газових турбін в електричну енергію, яка у вигляді електричного струму, що циркулює по провідникам обмотки статора (лобова частина 4 та стрижні обмотки 5), по шинопроводам йде до блочного трансформатора і далі - в електричну мережу. Процес перетворення механічної енергії в електричну супроводжується втратами енергії, які виділяються у вигляді тепла і які необхідно виводити з машини для забезпечення її роботи. Електричні втрати, що по закону Джоуля-Ленца залежать від активного опору обмотки та сили струму обмотки статора у другому ступені, виділяються в обмотці статора. В осерді статора є магнітні втрати, які виділяються через проходження по осердю змінного магнітного потоку машини. Для відводу втрат в конструкції електричної машини передбачено водяне охолодження обмотки статора та газове охолодження осердя статора.

Таким чином, в запропонованій конструкції каналів охолодження обмотки статора електричної машини (турбогенератора) реалізується інтенсифікація відводу тепла (втрат) від струмопровідних елементів за рахунок збільшення площини контакту поверхонь стрижня з охолоджуючою водою; через відсутність рельєфу, який має поперекову геометрію відносно руху води, знижується гідравлічний опір проходженню води та ступеня забруднення і часу накопичення відкладень в порожнинах каналів в

стрижнях обмотки статора, що збільшує час між ремонтами та обслуговуванням обмотки статора.

Джерела інформації:

1. Юхимчук В.Д. Технологія виробництва електричних машин: підручник. - Харків: Тім Пабліш Груп, 2014. - 750 с. URL: <https://surl.li/eelknr>
2. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Харків: Видавництво "Форт", 2017. - 760 с. URL: <https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/pue.pdf>
3. Куценко Ю.М. Електричні машини і апарати: навчальний посібник/Куценко Ю.М., Яковлев В.Ф., Смуригін В.М., Ковальов О.В. Київ: Аграрна освіта, 2013. - 449 с. URL: https://document.kdu.edu.ua/info_zab/14_l_1593.pdf
4. Левицький А.С., Зайцев Є.О., Кобзар К.О., Титко В.О. Методи та засоби контролю стану спресованості осердя статора потужних турбогенераторів. - Київ, Наукова думка, 2023. 140 с. URL: <https://doi.org/10.15407/978-966-00-1846-4>
5. ДСТУ EN 60204-1:2015 Безпечність машин електрообладнання машин, частина 1. Загальні вимоги (EN60204-1:2006; A1:2009; AC:2010, IDT).
6. Губаревич О.В. Надійність і діагностика електрообладнання: Підручник/О.В. Губаревич. - Сєверодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. - 248 с. URL: <https://dspace.snu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/4ece8a52-cf76-4d20-b8c1-0ff333979540/content>
7. Kumar S. Ratna. Lecture Notes on Electrical Machines-1. - 2019-2020. II B. Tech II Semester. - Electrical and Electronics Engineering. JB Institute of Engineering and Technology. - 142 p. [Electronic resource]. URL: <https://www.jbiet.edu.in/pdf/EE-Coursematerial/electrical-machines-I-notes.pdf>.
8. Chaplin R.A. Fundamentals of Electric Power Generation. Thermal Power Plants/University of New Brunswick, Canada. - Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). Vol. III. - 2019. [Electronic resource]. URL: <https://www.eolss.net/sample-chapters/c08/E3-10-03-09.pdf>



Фіг. 1

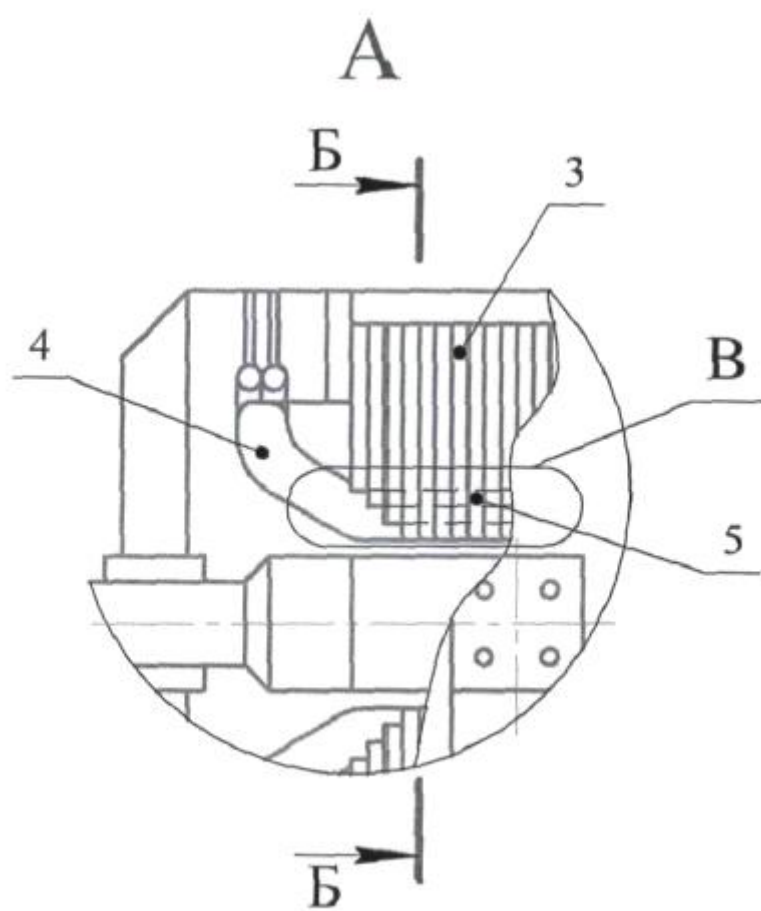


Fig. 2

Б-Б

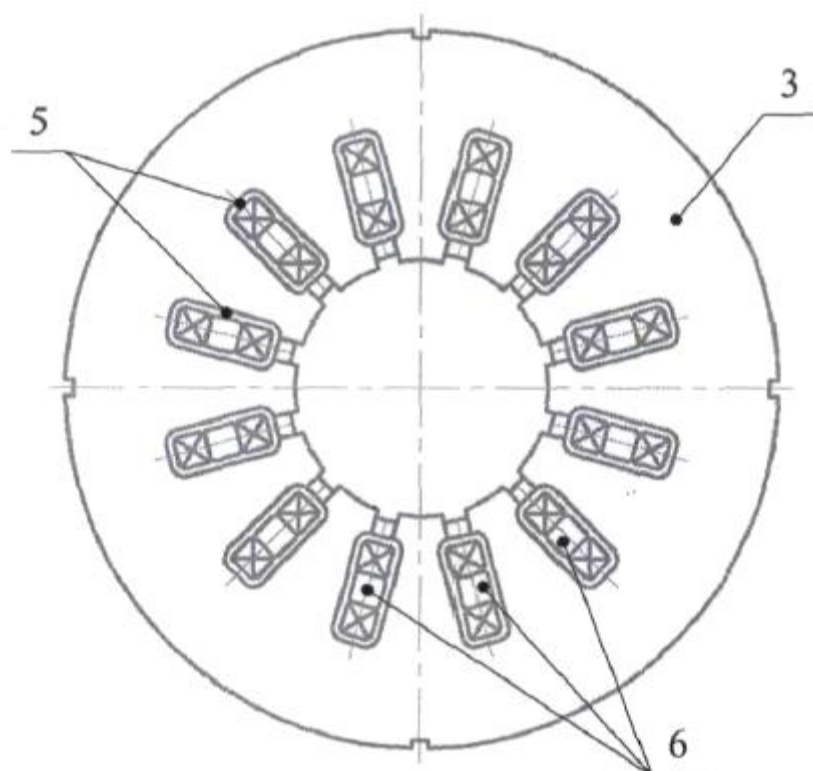


Fig. 3

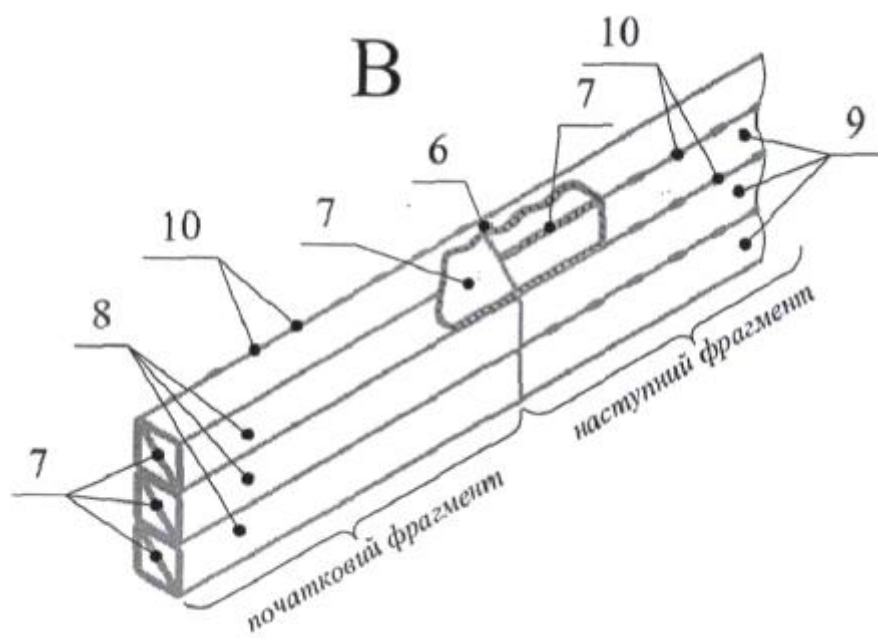


Fig. 4