

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ТА АПАРАТИ

УДК 621.313.322

DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2024.68.106>**ЩОДО ВІДНОВЛЕННЯ ПАРКУ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ УКРАЇНИ**

О.Г. Кенсицький^{1*}, докт. техн. наук, **Крамарський^{1**}**, канд. техн. наук, **К.О. Кобзар²**, канд. техн. наук

1 – Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Берестейський, 56, Київ, 03057, Україна,
e-mail: kensitsky@ukr.net, kramarsky_ied@ukr.net

2 – АТ «Українські енергетичні машини»,
пр. Героїв Харкова, 199, Харків, 61037, Україна
e-mail: kk7@ukr.net

Розглянуто поточний стан енергетичної системи України та основні питання відновлення і модернізації генеруючого устаткування електростанцій країни у новоснний період. Запропоновано відновлювати генерацію на новому рівні із залученням передових досягнень світового та вітчизняного електромашинобудування. При відновленні зруйнованих енергоблоків мають використовуватися турбогенератори з покращеними експлуатаційними характеристиками. Насамперед мова йде про машини із повним повітряним охолодженням із розширеними можливостями маневреності (зокрема й асинхронізовані). Розглянуто основні переваги таких турбогенераторів і визначено елементи і вузли конструкції, технічний стан яких є визначальним фактором забезпечення їхньої надійної експлуатації. Бібл. 14, рис. 6, таблиця.

Ключові слова: турбогенератор, технічний стан, надійність, торцева зона статора.

Із початком повномасштабного вторгнення (лютий 2022 р.) критична інфраструктура країни, зокрема енергетична, зазнала значних руйнувань. Якщо у 2022–2023 рр. об'єктом ворожих атак головним чином були високовольтні розподільчі мережі та підстанції, то з початком 2024 року удари були зосереджені на генерації. Руйнувань зазнали енергоблоки теплових та гідравлічних електростанцій. За наявною інформацією різного ступеня ушкоджень зазнали всі теплові електростанції країни, унаслідок чого більшість із них зупинені. Зруйновано понад 60% енергоблоків [1–5].

Після закінчення бойових дій одним із пріоритетних завдань відбудови країни має бути відновлення її Об'єднаної енергосистеми, насамперед генерації. Адже саме енергоблоки теплових і гідравлічних електростанцій відіграють вирішальну роль у забезпеченні енергосистеми маневреними потужностями, без чого її експлуатація неможлива.

Переважаюча більшість теплових електростанцій в Україні були збудовані у 60-70х роках минулого століття, і на сьогодні 90% турбогенераторів, що експлуатуються у складі їхніх енергоблоків, виробили свій розрахунковий ресурс. За таких умов відновлювати генерацію в початковій конфігурації обладнання енергоблоків недоцільно та вже й неможливо. Теплові електростанції необхідно відбудовувати на принципово новому рівні із залученням передових досягнень світового та вітчизняного електромашинобудування.

Останнім часом у світі спостерігається тенденція зниження попиту на турбогенератори одиничної потужності понад 500 МВт. Виключенням є країни, що розвиваються, в яких будуються енергоблоки атомних електростанцій потужністю 600-1200 МВт. Накопичений у світі досвід проектування турбогенераторів великої потужності створив передумови для удосконалення конструкції машин із повітряним і повітряно-водяним охолодженням у діапазоні



потужностей до 300 МВт при 3000 об./хв. [6, 7] (до цього часу цей діапазон охоплював потужності лише до 100 МВт). Це стало можливим завдяки застосуванню ефективних схем безпосереднього охолодження, термореактивної корпусної ізоляції обмотки статора з підвищеною механічною й електричною міцністю, нових видів ізоляції ротора, електротехнічної сталі із зменшеними питомими втратами, сучасних конструктивних матеріалів. Прикладами таких розробок є турбогенератори потужністю 500 МВА, 50 Гц із повітряним охолодженням фірми *Alstom Power* і потужністю 620 МВА, 50 Гц фірми *Toshiba*.

Подальше підвищення одиничної потужності машин із повітряним охолодженням обмежується нагрівом обмоток, при цьому деяке підвищення потужності на 20–25% у тих же габаритах може бути досягнуте завдяки підвищенню тиску та швидкості циркуляції повітря в корпусі генератора.

На початок вторгнення у складі енергоблоків теплових електростанцій в Україні експлуатувалися понад 90 турбогенераторів потужністю 200 та 300 МВт (75% загальної кількості). І при відновленні зруйнованих, а, можливо, і створенні нових енергоблоків мають використовуватися турбогенератори із покращеними експлуатаційними характеристиками, з урахуванням характеру навантаження, географічного розташування станції, наявності електричних зв'язків тощо. Насамперед мова йде про машини із повним повітряним охолодженням з розширеними можливостями маневреності (зокрема щодо реактивної потужності).

Тут має бути використаний досвід вітчизняних електромашинобудівників щодо створення генеруючого устаткування світового рівня. Фахівцями АТ «Українські енергетичні машини» розроблена серія турбогенераторів ТА з повітряним охолодженням одиничною потужністю від 150 до 400 МВА. Турбогенератори з повним повітряним охолодженням мають низку переваг порівняно з машинами з водневим та воднево-водяним охолодженням, які визначають технічну та економічну доцільність їхнього використання в енергоустановках із підвищеними вимогами щодо надійності та екологічної сумісності, розширення діапазону припустимих навантажень, зниження експлуатаційних витрат [8, 9].

Головними з них є:

- підвищений коефіцієнт готовності 0,997–0,998 порівняно з 0,95–0,995 у турбогенераторів із безпосереднім рідинним та водневим охолодженням;
- спрощені умови експлуатації та ремонту, що скорочують терміни та вартість ремонтних робіт;
- підвищений рівень вибухо- та пожежобезпеки;
- спрощення конструкції, що обумовлює скорочення терміну проектування та вартості виготовлення турбогенераторів;
- полегшення процедури контролю і діагностики технічного стану турбогенератора;
- відсутність допоміжних систем рідинного охолодження обмотки та водневого охолодження осердя статора, а також систем маслозабезпечення ущільнень.

Не менш актуальним завданням при відновленні генерації є створення турбогенераторів із розширеними маневреними характеристиками, зокрема щодо реактивної потужності. Безперечно, тут має бути використаний досвід українських електромашинобудівників щодо створення перших у світі асинхронізованих турбогенераторів. Українськими електромашинобудівниками створена серія турбогенераторів ТАП із повним повітряним охолодженням поздовжньо-поперечного збудження.

Основною перевагою таких машин на додаток до наведених вище є розширений діапазон регулювання по реактивній потужності. На рис. 1 наведено діаграму припустимих навантажень турбогенератора ТАП-220-2, спроектованого на заміну турбогенераторів ТВВ-220-2А енергоблоків № 1 і № 2 Рівненської АЕС.

З рисунку видно, що діапазон регулювання реактивної потужності турбогенератора ТАП-220-2 охоплює від +200 до -250 Мвар. Для наочності пунктирною лінією наведено обмеження в зоні споживання реактивної потужності для турбогенератора ТВВ-220-2А, що сьогодні знаходяться в експлуатації. Тобто можливість споживання реактивної потужності турбогенератором ТАП-220-2 у режимі глибокого недозбудження вдвічі перевищує аналогічний показник турбогенератора ТВВ-220-2А.

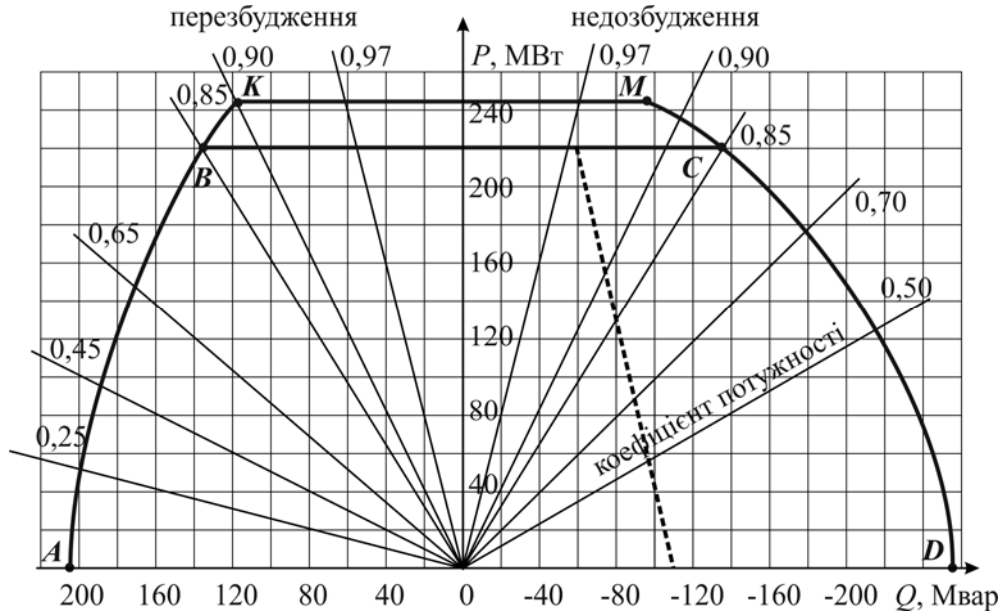


Рис. 1. Діаграма припустимих навантажень турбогенератора ТАП-220-2

У таблиці для порівняння наведено технічні параметри обох турбогенераторів.

При впровадженні в експлуатацію нових типів турбогенераторів додаткова увага має бути приділена таким негативним явищам, що є характерними для цих машин:

- розпушування і перегріву пакетів сталі в торцевій зоні осердя статора;
- послаблення пресування осердя, стирання ізоляції обмотки статора;
- послаблення кріплення стержнів у пазовій і лобовій частині, підвищені вібрації голів лобових частин обмотки статора;
- перегріву, ушкодження ізоляції, деформація витків обмотки ротора та інше.

№ п/п	Параметри	Тип турбогенератора	
		ТАП-220-2	ТВВ-220-2АУЗ
1	Повна номінальна потужність, МВА	259	259
2	Номінальна напруга статора, кВ	15,75	15,75
3	Номінальна потужність, МВт	220	220
4	Номінальний Cos φ	0,85	0,85
5	Номінальний струм статора, А	9487	9487
6	ККД, %	98,7	98,6
7	Лінійне навантаження статора, А/см	1116	1495
8	Кількість обмоток збудження	2	1
9	Охолодження:		
	обмотка статора	опосередковане повітрям	безпосереднє дистиллятом
	осердя статора	безпосереднє повітрям	безпосереднє воднем
	обмотка ротора	безпосереднє повітрям	безпосереднє воднем
	Тиск холодоагенту в корпусі, МПа	0,1	0,3
11	Маса ротора, т	65,0	41,8
12	Маса загальна, т	299	269
13	Коефіцієнт готовності, %	99,85	99,50

Відмінністю турбогенераторів із повним повітряним охолодженням порівняно з машинами традиційної конструкції є підвищені теплові навантаження, особливо в торцевій зоні статора. У зв'язку з чим виникає необхідність удосконалення конструкції торцевої зони статора, яка б забезпечувала необхідну навантажувальну здатність машини.

У традиційних конструкціях основним шляхом вирішення проблеми торцевої зони статора є виконання значного скосу крайніх пакетів осердя, застосування нових конструктивних матеріалів, нових ефективних методів і засобів захисту деталей і вузлів від потоків розсіювання електромагнітного поля, інтенсифікації охолодження. Із перелічених засобів для зниження аксіальних потоків розсіювання в торцевій зоні статора найбільший ефективним є застосування електромагнітних екранів.

Для оцінки ефективності нових екрануючих пристроїв проведено розрахункові та експериментальні дослідження магнітного поля та втрат у крайніх пакетах осердя статора турбогенератора, осьової складової магнітної індукції B_z , щільності вихрових струмів і нагріву крайніх пакетів, натискного фланця, самого електропровідного екрану для декількох варіантів його конструктивного виконання.

Експериментальні дослідження ефективності електромагнітних екранів різного конструктивного виконання проведені на масштабній фізичній моделі кінцевої зони статора турбогенератора, виготовленій відповідно до умов просторово-часової та магнітної подібності [10]. Досліджено декілька варіантів конструктивного виконання електропровідного екрану, основні з яких показано на рис. 2. Як вихідний варіант розглядається конструкція з електропровідним екраном у вигляді плоского мідного кільця, розташованого між натискним фланцем та активним залізом статора (варіант 1 на рис. 2).

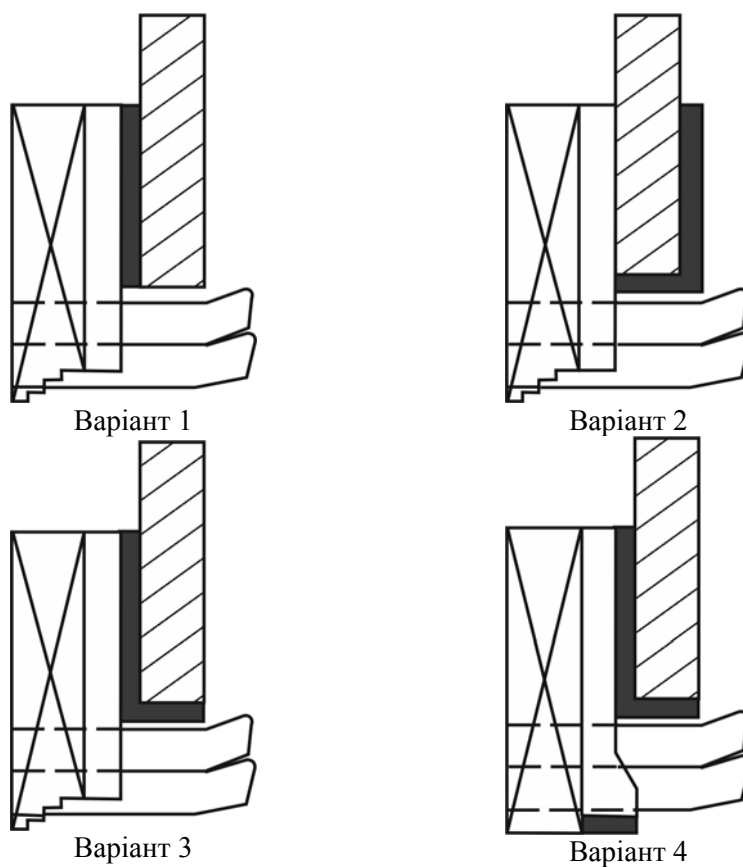


Рис. 2. Варіанти конструктивного виконання електропровідного екрану

У варіанті 2 електропровідний екран розташований на поверхні натискного фланця зі сторони лобової частини обмотки статора (кільцева частина) і має відігнуту циліндричну частину, яка закриває внутрішній край натискного фланця.

У варіанті 3 кільцева частина електропровідного екрана встановлена між натискним фланцем та активним залізом статора, а відігнута циліндрична частина виконана аналогічно варіанту 2.

Варіант 4 є комбінованим електропровідним екраном, в якому до третьої конструкції екрана додається електропровідне кільце (мідь), яке замикає натискні пальці з боку повітряного проміжку між статором і ротором.

Якщо варіанти 1, 2 і 3 електропровідного екрана призначені для зменшення втрат та нагрівів в області дна пазів крайніх пакетів, то варіант 4 повністю захищає крайній пакет осердя статора, включно із зубцевою зоною. Ефективність екранування зони дна пазу крайнього пакету при такому конструктивному виконанні досягається шляхом збільшення поверхні електропровідного екрана та віддалення області концентрації струмів в екрані від зони дна паза крайніх пакетів осердя статора.

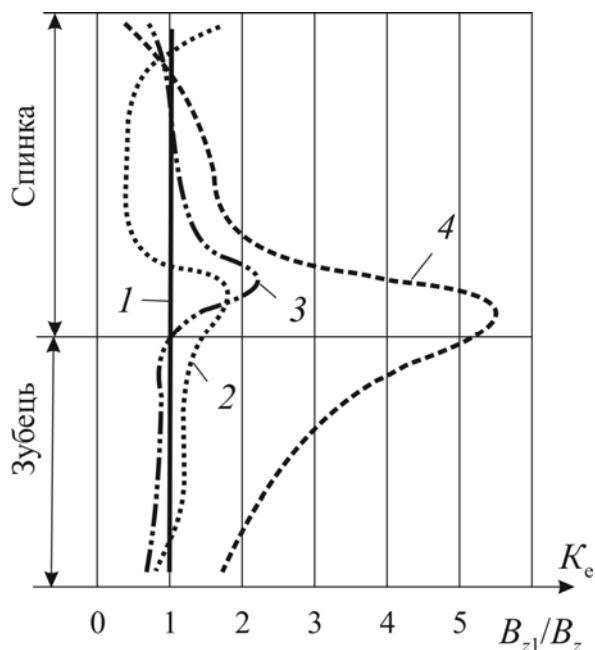


Рис. 3. Експериментально отримані коефіцієнти екранування для чотирьох варіантів конструктивного виконання електропровідного екрана

Основним критерієм ефективності електропровідного екрану є ступінь зменшення осьової компоненти магнітної індукції B_z на поверхні крайніх пакетів осердя. Якщо осьову компоненту магнітної індукції B_z на поверхні крайніх пакетів осердя статора у вихідному варіанті 1 прийняти за базову, то відношення осьової компоненти магнітної індукції у базовому варіанті B_{z1} до осьової компоненти B_z у варіантах 2, 3, 4 дає значення коефіцієнта екранування K_e . На рис. 3 показано експериментально отримані на масштабній фізичній моделі коефіцієнти екранування для всіх 4 варіантів конструктивного виконання електропровідного екрана. Для варіанта 3 в зоні дна паза $K_e = 2,3$, хоча в зубцевій зоні ефективність екранування трохи нижча ніж у варіанті 1 ($K_e = 0,9 - 0,95$). Варіант 4 в зубцевій зоні крайніх пакетів має $K_e = 1,7 - 4,5$, а в області дна паза – $K_e = 5,5$.

Конструкція електропровідного екрана відповідно до варіанту 3 пройшла ретельну експериментальну перевірку на серійних турбогенераторах ТГВ-200-2М в умовах експлуатації.

На рис. 4 показано розподіл температури у першому крайньому пакеті осердя статора для двох турбогенераторів, один з яких виготовлений без електропровідного екрана, інший – з електропровідним екраном за варіантом 3. Дані наведено з одним активним навантаженням $P = 175$ МВт і $\cos \varphi = \text{var}$. Окрім того, криві 1 відповідають $\cos \varphi = 0,88$ (перезбудження), криві 2 – $\cos \varphi = 1,0$, криві 3 – $\cos \varphi = 0,98$ (недозбудження).

Дієвим засобом боротьби з тангенціальними нерівномірністю осьового компонента магнітної індукції B_z у зубцевій зоні крайнього пакета осердя статора є виконання в зубцях шліців спеціальної конфігурації. Оскільки магнітний потік розсіювання паза має максимальне значення в зоні коронки зубця, а в нижній частині паза майже дорівнює нулю, то виконання косих шліців, нижній край зміщений в напрямку обертання поля, дає змогу вирівняти в зубцях щільність вихрових струмів по тангенціальній координаті та зменшити додаткові втрати. Проведені розрахунки щільності вихрових струмів та втрат для сегмента статора з двома косими шліцами в зубцях показали, що оптимальне зміщення основи шліца в напрямку обертання поля має ділити ширину корони зубця у відношенні 0,15/0,35/0,5. Втрати в зубцях за такої умови зменшуються на 10%.

Проведений на математичній моделі варіантний аналіз конструкції торцевої зони осердя статора потужного турбогенератора дав змогу обґрунтувати конструкцію крайніх пакетів. На торцевій поверхні осердя статора висота зубців має становити половину висоти

зубців пакетів центральної зони, а до сьомого пакету їхня висота має збільшуватися до висоти зубців основних пакетів. Саме така конструкція крайніх пакетів має бути закладена у конструкцію торцевої зони статора турбогенератора з повним повітряним охолодженням.

Під час створення турбогенераторів із повним повітряним охолодженням мають бути застосовані нові технічні рішення щодо систем екранування крайніх пакетів осердя статора.

Відповідно до [11] традиційна система екранування за допомогою електромагнітного екрану 1, розташованого між натискною плитою 2 і пальцями 3 (рис. 5), доповнюється екрануючим короткозамкнутим кільцем 4, встановленим на торцевих поверхнях пальців із боку зазору.

Саме кільце в аксіальному напрямку розділене на кілька кілець, кожне з яких електрично з'єднане з одним із пальців, розташованих на одному зубці, а палець виконаний подовженим в радіальному напрямку за верхній стержень обмотки. Пальці на зубцях осердя чергуються по колу, з'єднані електрично з різними кільцями. За необхідності обмеження величини циркуляційних струмів короткозамкнуті кільця можуть бути виконані у вигляді сегментів, які електрично не пов'язані між собою. Зазначена конструкція дає змогу покращити екранування торцевої зони сердечника від осьової складової індукції, що забезпечує підвищення надійності електричної машини завдяки зниженню електромагнітних та теплових навантажень на крайні пакети осердя статора та зниженню втрат в елементах екрану.

Запропонована нова конструкція електромагнітного екрану [12], в якій зубчастий електромагнітний екран 1 між натискною плитою і натискними пальцями (рис. 6) має подовжені зубці між стержнями обмотки, а кінцева частина зубців на рівні розточування статора загнута в напрямку лобових частин обмотки. Для виключення перетоку тепла від електромагнітного екрану до натискних пальців і крайнього пакета осердя зубці електромагнітного екрану виконані таким чином, що не торкаються натискних пальців. Для інтенсифікації охолодження екрану в його зубцях виконані вентиляційні отвори 2.

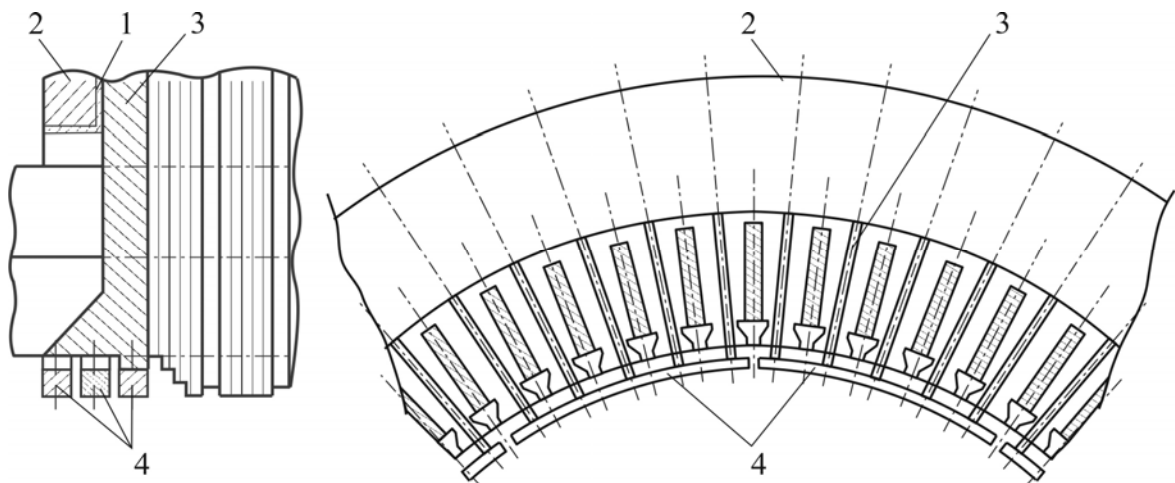


Рис. 5. Система екранування з екрануючим короткозамкнутим кільцем

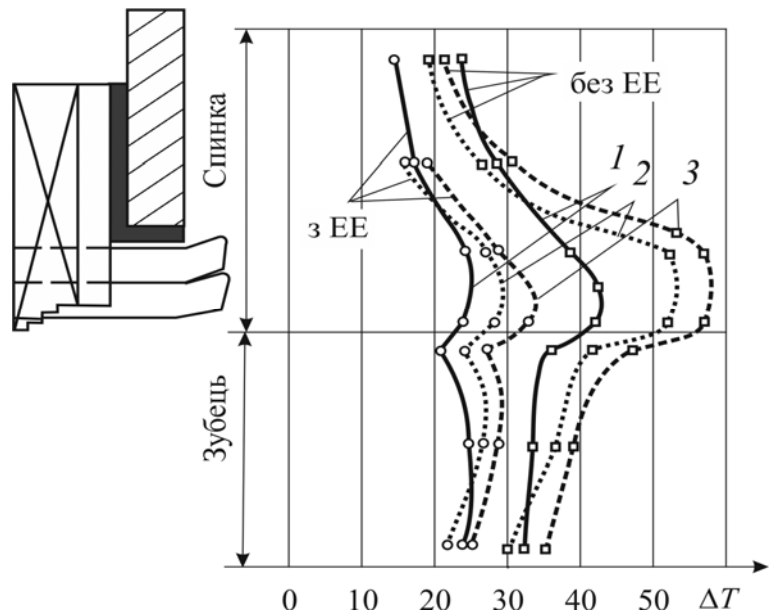


Рис. 4. Розподіл температури у першому крайньому пакеті осердя статора для двох турбогенераторів

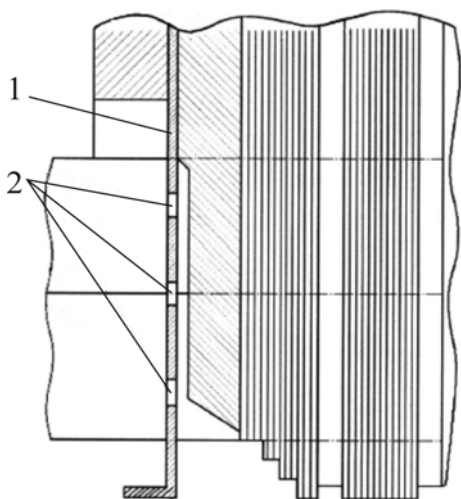


Рис. 6. Конструкція електромагнітного екрана

Технічне рішення [13] спрямоване на вдосконалення кріплення стержнів обмотки статора на виході з осердя завдяки фіксації крайніх ущільнюючих клинів, зменшенню довжини консольної ділянки лобових частин обмотки і, відповідно, зменшенню амплітуди їхніх коливань [14], підвищенню механічної стійкості статора турбогенератора в цілому.

Висновки. 1. Відновлювати генерацію енергосистеми країни необхідно на принципово новому рівні із залученням передових досягнень світового та вітчизняного електромашинобудування. Насамперед мова йде про турбогенератори з повним повітряним охолодженням із розширеними можливостями маневреності (зокрема й асинхронізовані).

2. Під час створення нових турбогенераторів мають бути впроваджені ефективні технічні рішення щодо підвищення надійності та навантажувальної здатності машин в експлуатації. Насамперед це стосується

забезпечення припустимого рівня нагрівів елементів торцевої зони та механічної стійкості осердя статора в цілому.

1. Тарасовський Ю. Всі енергоблоки Бурштинської та Ладижинської ТЕС пошкоджені внаслідок атаки Росії – ДТЕК. *Forbes Ukraine*. URL: <https://forbes.ua/news/vsi-energlobloki-burshtinskoj-ta-ladzhinskoj-tes-poshkodzhenni-vnaslidok-ataki-rosii-dtek-28032024-20178> (дата звернення: 24.04.2024).
2. Музиченко О. Знищення Трипільської ТЕС: що відомо про терміни відновлення та чи можливо це взагалі. *TSN.UA*. URL: <https://tsn.ua/ukrayina/znischennya-tripilskoyi-tes-scho-vidomo-pro-termini-vidnovlennya-i-chi-mozhливо-ce-vzagali-2555473.html> (дата звернення: 24.04.2024).
3. Орлюк М. Знищені всі енергоблоки: «Центренерго» заявило про руйнування Зміївської ТЕС на Харківщині. *БІЗНЕС ЦЕНЗОР*. URL: https://biz.censor.net/news/3481821/znyscheni_vsi_energlobloky_tsentrenergo_zayavlyo_pro_ruyinuvannya_zmivivskoyi_tes_na_harkivschyni (дата звернення: 24.04.2024).
4. На ДніпроГЕС пошкоджене обладнання електростанції – Кудрицький. *Укрінформ*. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3843201-na-dniproges-poskodzene-obladnanna-elektrostantsii-kudrickij.html> (дата звернення: 24.04.2024).
5. Зануда А. Таких точних ударів раніше не було. Ситуація в енергетиці гірша за першу воєнну зиму: до чого готуватися. *BBC News Україна*. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/articles/c25r401v12po> (дата звернення: 24.04.2024).
6. Air Cooled Turbogenerators. URL: <https://www.ansaldoenergia.com/fileadmin/Brochure/AnsaldoEnergia-AirCooledturbogenerators-20220731.pdf> (дата звернення: 30.04.2024).
7. SGen-1000A generator series. URL: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product/sgen-100a.html> (дата звернення: 30.04.2024).
8. Зозулін Ю.В., Антонов О.С., Бичік В.М., Боричевський А.М. та ін. Створення нових типів та модернізація діючих турбогенераторів для теплових електричних станцій. Харків: ПФ «Колегіум», 2011. 228 с.
9. Кенсицький О.Г., Ключников А.А., Федоренко Г.М. Безопасность, надежность и эффективность эксплуатации электротехнического и электроэнергетического оборудования блоков АЭС. Чернобыль (Киев, обл.): Ин-т проблем безопасности АЭС, 2009. 240 с.
10. Веников В.А., Иванов-Смоленский А.В. Физическое моделирование электрических систем. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1956. 359 с.
11. Смородін В.І., Крамарський В.А., Черемісов І.Я., Кузьмін В.В. та ін. Статор електричної машини. Патент України № 303, 1993.
12. Крамарський В.А., Хвалін Д.І., Кобзар К.О. Статор електричної машини. Патент України № 148091, 2021.
13. Крамарський В.А., Черемісов І.Я., Грубой О.П., Титко О.І. та ін. Статор електричної машини. Патент України № 99571, 2015.
14. Кучинський К.А., Крамарський В.А. Розрахункова оцінка вібропереміщень і ізоляції лобової частини обмотки статора потужного турбогенератора. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. 2022. Вип. 63. С. 45–51. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2022.63.045>

1 – Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
ave. Beresteiskyi, 56, Kyiv, 03057, Ukraine
e-mail: kensitsky@ukr.net, kramarsky_ied@ukr.net
2 – JSC Ukrainian energy machines,
pr. Heroiv Kharkova, 199, Kharkiv, 61037, Ukraine
e-mail: kk7@ukr.net

The current state of the electric power system of Ukraine is considered. The basic principles of restoration and modernization of the generating equipment of the country's power plants in the postwar period are formulated. It is proposed to restore generation at a fundamentally new level with the involvement of advanced achievements of the world and domestic electrical engineering. When restoring destroyed power units, turbine generators with improved performance characteristics should be used selectively, taking into account the nature of the load, the geographical location of the plant, the availability of electrical connections, etc. First of all, we are talking about fully air-cooled machines with enhanced maneuverability (including asynchronous ones). The main advantages of such turbogenerators are named and the elements and components of the structure are identified, the technical condition of which is generally a determining factor in ensuring reliable operation. Examples of technical solutions to improve stator reliability are given. Ref. 14, fig. 6, table.

Keywords: turbogenerator, technical condition, reliability, stator end zone.

1. Tarasovskiy Yu. All power units of Burshtyn and Ladyzhyn TPP were damaged as a result of the Russian attack – DTEK. *Forbes Ukraine*. URL: <https://forbes.ua/news/vsi-energobloki-burshtinskoi-ta-ladzhinskoi-tes-poshkodzhenni-vnaslidok-ataki-rosii-dtek-28032024-20178> (Accessed: 24.04.2024). (Ukr)
2. Muzychenko O. Destruction of the Trypillia TPP: what is known about the terms of restoration and whether it is possible at all. *TSN.UA*. URL: <https://tsn.ua/ukrayina/znischennya-tripilskoyi-tes-scho-vidomo-pro-termini-vidnovlennya-i-chi-mozhlivo-ce-vzagali-2555473.html> (Accessed: 24.04.2024). (Ukr)
3. Orliuk M. All power units were destroyed: Centernergo announced the destruction of the Zmiiv TPP in Kharkiv region. *BIZNES TSENZOR*. URL: https://biz.censor.net/news/3481821/znyscheni_vsi_energobloky_tsentrnergo_zavyvylo_pro_ruyinuvannya_zmiivskoyi_tes_na_harkivschyni (Accessed: 24.04.2024). (Ukr)
4. The equipment of the power plant was damaged at the Dnipro HPP – Kudrytskyi. *Ukrinform*. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3843201-na-dniproges-poskodzene-obladnanna-elektrostantsii-kudrickij.html> (Accessed: 24.04.2024). (Ukr)
5. Zanuda A. There were no such accurate strikes before. The situation in the energy sector is worse than the first winter of the war: what to prepare for. *BBC News Україна*. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/articles/c25r401v12po> (Accessed: 24.04.2024). (Ukr)
6. Air Cooled Turbogenerators. URL: <https://www.ansaldoenergia.com/fileadmin/Brochure/AnsaldoEnergia-AirCooledturbogenerators-20220731.pdf> (Accessed 30.04.2024)
7. SGen-1000A generator series. URL: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product/sgen-100a.html> (Accessed: 30.04.2024)
8. Zozulin Y.V., Antonov O.Y., Bychik V.M., Borychevskiy A.M., and others. Creation of new types and modernization of operating turbogenerators for the thermal electric stations. Kharkiv: PF Kolehium, 2011. 228 p. (Ukr)
9. Kensytskyi O.H., Kliuchnykov A.A., Fedorenko G.M. Safety, reliability and efficiency of exploitation of electrical engineering and electroenergy equipment of blocks NPP. Chornobyl: Institute for safety problems of nuclear power plants, 2009. 240 p. (Rus)
10. Venikov V.A., Ivanov-Smolenskiy A.V. Physical modeling of electrical systems. M.-L.: Gosenergoizdat, 1956. 359 p. (Rus)
11. Smorodin V.I., Kramarskiy V.A., Cheremisov I.Ia., Kuzmyn V.V., and others. Stator for an electric machine. Patent UA No 303, 1993. (Ukr)
12. Kramarskiy V.A., Khvalin D.I., Kobzar K.O. Stator for an electric machine. Patent UA No 148091, 2021. (Ukr)
13. Kramarskiy V.A., Cheremisov I.Ia., Hruboi O.P., Tytko O.I., and others. Stator for an electrical machine. Patent UA No 99571, 2015. (Ukr)
14. Kuchynskiy K.A., Kramarskiy V.A. Calculated assessment of vibration movements and isolation of the frontal part of the stator winding of a powerful turbogenerator. *Pratsi Instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy*. 2022. Вип. 63. Pp. 45–51. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2022.63.045> (Ukr)

Надійшла: 11.06.2024
Прийнята: 08.08.2024

Submitted: 11.06.2024
Accepted: 08.08.2024