

**А. С. Левицький<sup>1</sup>**  
**Є. О. Зайцев<sup>1</sup>**  
**М. В. Панчик<sup>1</sup>**

## **ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ СКЛАДАННЯ ОСЕРДЯ СТАТОРА ПОТУЖНОГО ТУРБОГЕНЕРАТОРА**

<sup>1</sup>Інститут електродинаміки Національної академії наук України, Київ

*Розроблено пристрій для системи контролю, яка призначена для автоматизованого виявлення місць розташування і величини дефектів в осерді статора турбогенераторів (ТГ) з активною потужністю від 100 МВт під час їх складання на заводі-виробнику. В процесі виготовлення осердя збирається і пресується у вертикальному положенні окремими частинами. Кожний етап складання потребує контролю якості. Контроль реалізується через виявлення місць з ослабленою монолітністю. Наявні методи контролю, зокрема й автоматизовані, не дозволяють виконати якісний контроль. З використанням запропонованої системи, принцип роботи якої базується на запропонованій та розробленій технології, дозволяє в автоматизованому режимі виявляти місця в осерді статора з ослабленою монолітністю. При цьому проводяться вимірювання питомого тиску пресування в певних точках торцевої поверхні осердя, де встановлюються спеціальні контрольні проби з матеріалу, що легко деформується. Пристрій реалізовано у вигляді кільця, яке встановлюється на торцеву поверхню осердя. В кільці розміщено N комірок з контрольними пробями. Під час пресування товщина проб зменшується і максимальне зменшення товщини проби, зумовлене відповідно найбільшим питомим тиском, відповідає найменшому дефекту, і навпаки. Запропоновано застосувати як первинний перетворювач тиску плоску металеву мембрану з жорстким центром, на якій закріплено оптичне волокно з решітками Бреґга, одна з яких вимірює тангенціальну відносну деформацію в мембрані, а інша використовується для термокомпенсації. Показано, що тангенціальна деформація в плоскій мембрані залежить від величини питомого тиску пресування. Розраховано характеристики перетворювача. Оброблення результатів вимірювання проводиться з використанням інтеррогатора і персонального комп'ютера. Використання запропонованого пристрою в системі контролю дозволяє підвищити продуктивність праці під час контролю осердя, а також з більшою вірогідністю діагностувати його дефекти з подальшим їх усуненням, що підвищить надійність ТГ та його довговічність.*

**Ключові слова:** турбогенератор, осердя статора, складання, пресування, тиск, контроль, вимірювальна комірка, деформована проба, мембрана з жорстким центром, оптичне волокно, решітка Бреґга.

### **Вступ**

Роботоздатність осердя статора турбогенераторів потужністю від 100 МВт і більше в основному визначається станом пружного стиснення, яке початково він отримує на заводі-виробнику в процесі складання та пресування на спеціальному обладнанні. Спресований стан осердя надалі утримується за допомогою натискних плит (фланців) і стяжних шпильок (призм). В процесі складання осердя штамповані і лаковані сегменти з електротехнічної сталі повинні бути укладені з порівняно високою точністю і спресовані з однаковою щільністю по всьому об'єму осердя для забезпечення вібраційної стійкості і заданих електромагнітних характеристик [1]—[3]. Складання і пресування здійснюється окремими частинами висотою 500...600 см кожна, при цьому форма і розмір сегментів активної сталі повинні забезпечити крім монолітності заданий внутрішній і зовнішній діаметр осердя, а також форму і розмір пазів під укладку обмотки. Під час складання й пресування осердя через різні технологічні причини (нерівномірність сегментів по товщині, нерівномірність лакового покриття тощо) з'являються місцеві ослаблення монолітності в осерді, які необхідно усунути. Це здійснюється вставлянням в послаблені місця спеціальних клинів [4]. Але

для правильного розташування клинів необхідно мати картину місцевих ослаблень монолітності осердя в якомога більшій кількості точок.

Найпростішим методом, який можна застосувати для виявлення місць осердя з послабленою монолітністю, є використання спеціальних ножів (щупів), які вводяться між листами пакета осердя [4]. Контроль осердя таким методом є неточним, займає дуже багато часу, і до того ж може призвести до пошкодження лакової ізоляції листів. Через особливості процесу складання осердя неможливо застосування приладів на основі вібротехнічного [5] та ультразвукового [6] методів контролю.

На Державному підприємстві «Завод "Електроважмаш"» (Україна, м. Харків) розроблено метод виявлення місць осердя з ослабленою монолітністю з використанням оцінювання деформації спеціальних проб, які встановлюються на торцевій поверхні осердя і легко деформуються під час пресування [7]. Розміри, форма і матеріал проби визначені в результаті проведених численних заводських експериментів. Встановлено, що деформація проби в окремій точці залежить від величини дефекту осердя, в зоні якого вони розташовані: найбільша деформація буде відповідати найменшому дефекту, і навпаки, найменша деформація — найбільшому дефекту. В свою чергу деформація залежить від питомого тиску в окремій точці контролю. Після пресування окремої частини осердя ручним інструментом вимірювали товщину деформованих проб і визначали місця з послабленою монолітністю. Метод контролю реалізовано у вигляді додаткового натискного кільця пресу з рівномірно розміщеними 45 контрольними комірками, в яких розміщуються проби. Метод застосовується під час складання і пресування осердя статора ТГ типу ТГВ-250 та подібних йому. Недоліком методу є низька продуктивність праці, вплив людського фактора на якість пресування осердя, що у свою чергу призводить до недостатньої достовірності визначення величини дефекту.

Недолік усунуто у створених автоматизованих пристроях [8]—[11], в яких електричним способом вимірюється питомий тиск пресування в 45 контрольних точках. В кожній точці під час пресування контролю тиск передається на плоску мембрану з жорстким центром, що спричиняє її деформацію. При цьому в пристрої [8], [10] тензометричним способом вимірюються відносні деформації в мембрані, а в пристрої [9], [11] — ємнісним способом вимірюється прогин жорсткого центру мембрани. Далі з використанням електронних перетворювачів і персональних комп'ютерів картина дефектів відображається на моніторі персонального комп'ютера. Застосування пристроїв значно підвищує достовірність контролю та продуктивність праці. Але обидва пристрої досить складні у виконанні, для спрощення системи пропонується застосувати для вимірювання питомого тиску пресування оптичне волокно з первинними вимірювальними перетворювачами на основі решіток Брегга.

*Метою статті* є реалізація засобів на основі брегівських решіток, призначених для використання в автоматизованих системах визначення питомого тиску пресування в окремій точці осердя статора потужного ТГ під час пресування.

### Основна частина

На рис. 1 показано схему складання і пресування осердя статора ТГ (в лівій частині рисунка зображено складену і спресовану окрему частину осердя, а в правій — повністю складене і спресоване осердя). Розміщення 45 контрольних комірок на нижньому натискному кільці зображено на рис. 2.

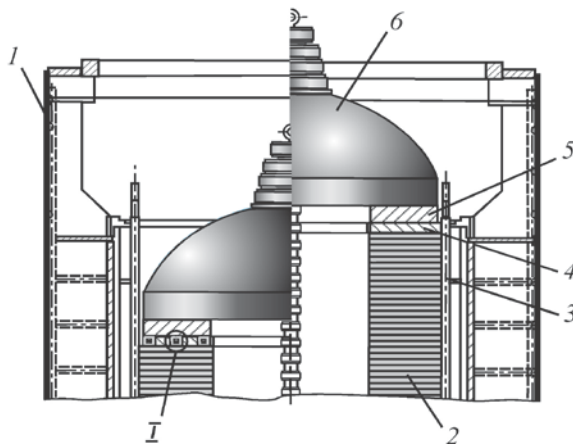


Рис. 1. Схема процесу складання і пресування осердя статора:  
1 — корпус статора; 2 — осердя; 3 — стяжні призми;  
4 — нижнє натискне кільце пресу з контрольними комірками ( $I$ );  
5 — верхнє натискне кільце пресу; 6 — парасольковий прес

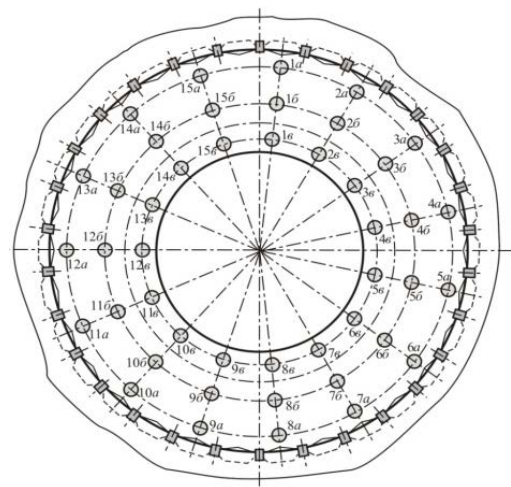


Рис. 2. Нижнє натискне кільце пресу з місцями розміщення контрольних комірок

Особливістю пристрою є те, що в вимірювальних комірках для перетворення деформації мембрани в електричний сигнал застосовано оптичне волокно з решітками Брега та блок оброблення і реєстрації вимірної інформації (інтеррогатор). Застосування сенсорів на основі ВБР є одним з перспективних методів розподіленого вимірювання фізичних величин. Розподілені по довжині світловода решітки дозволяють створювати системи вимірювання механічних деформацій різноманітних об'єктів, які вигідно відрізняються від традиційних комплексів аналогічного призначення вартістю і технологічністю виробництва.

Схему комірки для автоматичного вимірювання, її конструкцію і принцип дії показано на рис. 3. Висота втулки 6 вибрана таким чином, що відстань між верхньою поверхнею втулки 6 і верхньою поверхнею диска 3 приблизно рівна товщині проби 5, і ця відстань є однаковою для всіх  $N$  стаканів і всіх  $N$  втулок. Мембрана 7 сформована у верхній частині дна стакана 4. На мембрані 7 між жорстким центром та місцем заземлення розміщено оптоволокно 8 з двома вимірювальними решітками Брега (ВБР) [12]—[14]. Одна з решіток жорстко закріплена на мембрані в напрямку тангенціальної деформації мембрани і є сенсором цієї деформації (ВБР<sub>ДЕФ</sub>). Інша решітка, яка не закріплюється на мембрані, є сенсором температури (ВБР<sub>ТЕМ</sub>) робочого середовища вимірювального перетворювача.

Результати вимірювання ВБР<sub>ТЕМ</sub> використовують для компенсації похибки вимірювання ВБР<sub>ДЕФ</sub>, зумовленої впливом температури. Температурна компенсація при вимірюванні деформації необхідна, адже вимірювання часто здійснюються за температур, які відрізняються від температури в момент закріплення (ВБР<sub>ДЕФ</sub>) на мембрані.

Початкове положення кілець 2, 3 і елементів комірки показано на рис. 3а і рис. 3б.

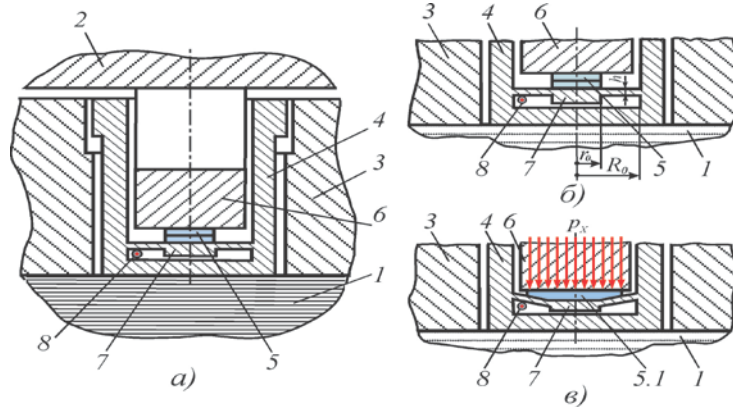


Рис. 3. Схема вимірювальної комірки і принцип її дії: 1 — осердя статора, 2 — верхнє натискне кільце пресу, 3 — диск нижнього натискного кільця, 4 — стакан, 5 — недеформована свинцева проба, 5.1 — деформована свинцева проба, 6 — втулка, 7 — мембрана з жорстким центром, 8 — оптичне волокно

Під час пресування осердя питомий тиск пресу  $p_x$  через втулку 6 діє на свинцеву пробу 5 і на

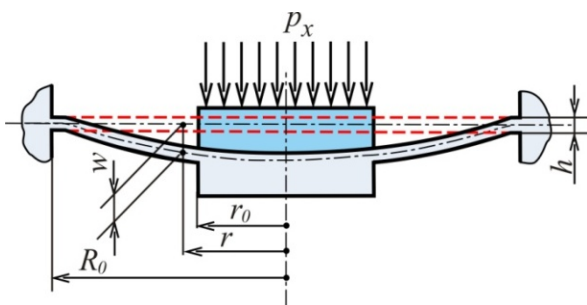


Рис. 4. Схема для розрахунку напруг і деформацій в мембрані з жорстким центром

мембрану 7 (рис. 3в). Проба буде деформована (поз. 5.1), мембрана 7 прогнеться, в ній виникнуть відносні радіальні  $\sigma_r$  і тангенціальні  $\sigma_t$  напруги, і, відповідно, відносні радіальні  $\varepsilon_r$  і тангенціальні  $\varepsilon_t$  деформації. Враховуючи те, що мембрана є симетричною пластиною, то в ній по дузі одного радіусу  $r$  напруги і відносні деформації будуть однаковими (рис. 4).

Величина деформації  $\varepsilon_t$  в окремій точці мембрани з радіусом  $r$  в області малих переміщень її центру залежить від тиску  $p_x$ , механічних характеристик матеріалу мембрани та її геометричних розмірів, і визначається як [14], [15]:

$$\varepsilon_t = \frac{w}{1-\mu^2} \left[ C_1 + \frac{C_2}{r^2} + \frac{p_x r^2}{16D} + \mu \left( C_1 - \frac{C_2}{r^2} + \frac{3p_x r^2}{16D} \right) \right], \quad (1)$$

$$\text{де } w = A_r \frac{p_x R_0^4}{Eh^3}; \quad A_r = \frac{3(1-\mu^2)}{16} \cdot \frac{c^4 - 1 - 4c^2 \ln c}{c^4}; \quad C_1 = -\frac{p_x}{16D} (r_0^2 - R_0^2); \quad C_2 = \frac{p_x}{16D} \cdot \frac{r_0^2 R_0^2 (r_0^2 + R_0^2)}{(R_0^2 - r_0^2)};$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}; \quad p_x \text{ — питомий тиск пресу; } E \text{ — модуль пружності матеріалу мембрани; } \mu \text{ — коефіцієнт Пуассона, } R_0 \text{ — зовнішній радіус мембрани, } r_0 \text{ — радіус жорсткого центру мембрани; } h \text{ — товщина мембрани, } w \text{ — прогин середньої лінії мембрани в точці з радіусом } r, \quad c = r/r_0.$$

Як відомо [12]—[14], що коли уздовж оптичного волокна, в якому в поперечному перерізі сформовано ВБР, пропустити широкосмуговий потік світла  $\Phi_0(\lambda)$  частотою  $\lambda$  (рис. 5), то завдяки ВБР частина цього потоку на відповідній частоті  $\lambda_{BG}$  буде відбита —  $\Phi(\lambda_{BG})$ . Пік відбитого випромінювання [16] реєструється в інтеррогаторі, а оброблення та відображення виміряної інформації здійснюється в ПК (рис. 6).

У цьому випадку, враховуючи те, що решітка ВБР<sub>ДЕФ</sub> жорстко закріплена на мембрані в напрямку відносної деформації  $\varepsilon_r$ , механічна напруга  $\sigma_r$ , що виникає в мембрані, буде прикладена уздовж оптичного волокна і розтягне його серцевину. Це спричинить зміну періоду решітки з  $\Lambda_0$  на  $\Lambda_1$  і довжину решітки на  $\Delta_{BG} = L_{BG} \varepsilon_{r1}$  (рис. 5), де  $\varepsilon_{r1}$  визначається за формулою (1) з урахуванням того, що  $r = R_1$ .

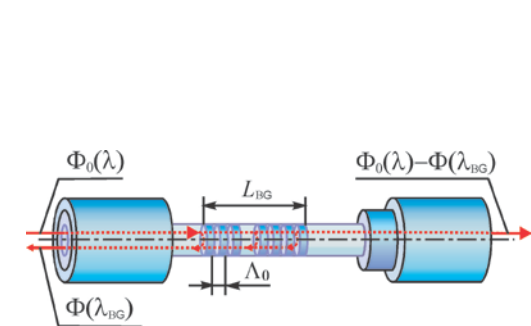


Рис. 5. Схема ВБР

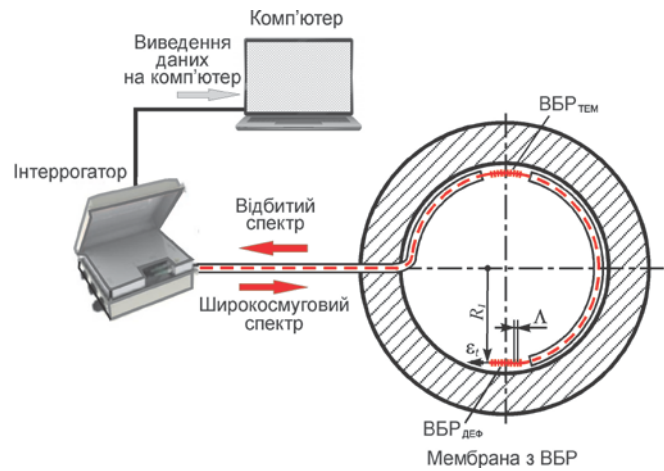


Рис. 6. Вимірювання деформації і температури в одній комірці

Однією з головних переваг організації систем на основі ВБР сенсорів є можливість мультиплексування, тобто об'єднання сенсорів в масив. При цьому кожна решітка формується в волокні зі своїм унікальним періодом, що дозволяє розрізнити їх по спектру під час аналізування. Структурна схема інтеррогатора, який може приймати в одному каналі сигнали від  $n$  ВБР, показана на рис. 7. З урахуванням того, що в одній вимірювальній комірці використовуються дві ВБР, структурна схема вимірювання і оброблення сигналів від ВБР в  $n/2$  контрольних комірках буде мати вигляд, показаний на рис. 8.

Структурна схема інтеррогатора для  $n$  ВБР (рис. 7) включає контролер, джерело випромінювання та фотоперетворювач. Сигнали від  $n$  ВБР (ВБР1 до ВБРn) надходять у сенсорну мережу (канал), де вимірюються величини  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ . Цифрові коди величин, що вимірюються, передаються до комп'ютера.

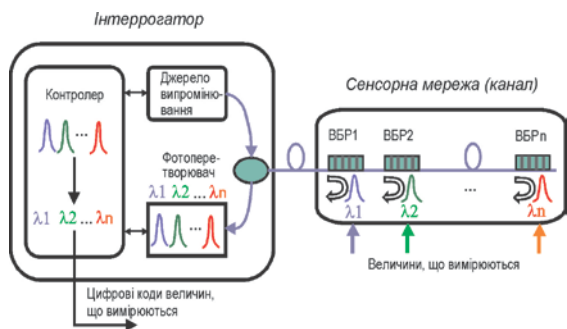


Рис. 7. Структурна схема інтеррогатора для  $n$  ВБР

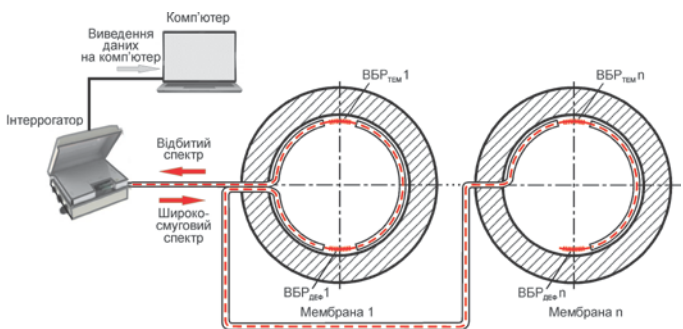


Рис. 8. Структурна схема вимірювання для  $n/2$  комірок

В ПК з використанням спеціального програмного забезпечення обробляються результати вимірювання деформацій мембран в кожній комірці, виконують корегування похибок цих вимірювань, зумовлених впливом температури, і визначають величини і місця дефектів зниження монолітності осердя.

Температурна компенсація може бути здійснена з використанням рівняння [17]

$$\Delta\lambda_{Br} = 2n\Delta \left( \left\{ 1 - \left( \frac{n^2}{2} \right) \right\} [P_{12} - \nu(P_{11} - P_{12})] \varepsilon + \left[ \alpha + \frac{1}{n} \frac{dn}{dT} \right] \Delta T \right), \quad (2)$$

де  $\varepsilon$  — поздовжня деформація оптичного волокна;  $\Delta T$  — зміна температури;  $\alpha$  — коефіцієнт лінійного розширення кварцового скла;  $\nu$  — коефіцієнт Пуассона для кварцового скла;  $P_{11}, P_{12}$  — коефіцієнти Поккельса пружно-оптичного тензора.

### Висновки

Запропоновано пристрій для автоматизованого контролю осердя статора потужного ТГ під час складання та пресування на заводі-виробнику для виявлення місць осердя з ослабленою монолітністю. Використовується вимірювання електричним методом питомого тиску пресування в  $N$  точках поперечного перерізу осердя, в яких встановлюються контрольні проби, які легко деформуються. Пристрій у вигляді додаткового натискного кільця встановлюється на торцеву поверхню осердя. Створено волоконно-оптичний перетворювач питомого тиску пресування, величина якого визначає величини дефектів монолітності в осерді. Пристрій складається з плоскої вимірювальної мембрани з жорстким центром із закріпленням на ній оптоволоконном з решітками Бреґга, одна з яких вимірює відносну тангенціальну деформацію мембрани, а інша використовується для термокомпенсації. Використання пристрою дозволить з більшою вірогідністю діагностувати дефекти осердя з подальшим їхнім усуненням, і в результаті підвищити надійність електричної машини та її строк експлуатації, а також підвищити продуктивність праці під час контролю осердя.

На основі розробленого пристрою може бути створена автоматизована система контролю осердя з відповідним програмним забезпеченням.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Б. П. Фомин, Б. Г. Циханович, і Виро Г. М., *Технология крупного электромашиностроения. Турбогенераторы*. т. 1, изд. 2-е, перераб. и доп. Ленинград: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1981, 303 с.
- [2] В. Д. Юхимчук, *Технология производства электрических машин*, уч. пос. в 2-х кн.: Кн. 1. Х. Гимченко, 2006. 543 с.
- [3] A. Patil, and S. Biswas, "Modeling a virtual prototype of stator core lamination assembly device," *International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication*, vol. 1, issue 10, pp. 32-35, 2013.
- [4] С. Е. Пузаков, О. С. Голоднова, Г. В. Ростик, Л. Г. Кутуков, Г. В. Завялов и Л. Н. Ткачева, *Справочник по ремонту турбогенераторов*. Москва: ИПК Госслужбы, ВИПКэнерго, 2006, 724 с.
- [5] А. В. Григорьев, В. Н. Осотов, и Д. А. Ямпольский, «Применение параметра поглощения энергии колебаний для контроля прессовки сердечников статоров турбогенераторов,» *Электротехника*, № 11, с. 16-19, 2004.
- [6] В. С. Шаронин, и А. В. Полторадня, «Способ диагностики состояния сердечника статора электрической машины,» *Патент Российской Федерации НО2 К15/00. №2223587 МПК (2006)*, 10.02.2004.
- [7] В. Ф. Пінської, В. М. Захожаєв, А. К. Шофул, і А. С. Левицький, «Контроль осердя статора потужного турбогенератора під час складання і пресування,» *Гідроенергетика України*, № 1-2, с. 55-58, 2020.
- [8] А. С. Левицький, Е. А. Зайцев, и М. В. Панчик, «Контроль сердечника статора турбогенератора при сборке,» в сб. статей 7-й *Международной научно-технической конференции Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов*, 24-25 сентября 2020 г., Могилев, Республика Беларусь, 2020, с. 99-105.
- [9] А. С. Левицький, Е. А. Зайцев, и М. В. Панчик, «Метод контроля сердечника статора мощного турбогенератора,» *Eastern European Scientific Journal*, no. 12 (64), p. 1. pp.18-25, 2020. [Online]. Available: [https://eesa-journal.com/wp-content/uploads/EESA\\_12\\_64\\_december\\_2020\\_part\\_1-1.pdf](https://eesa-journal.com/wp-content/uploads/EESA_12_64_december_2020_part_1-1.pdf). Accessed on: May 05.2021.
- [10] А. С. Левицький, Е. О. Зайцев, М. В. Панчик, В. Ф. Пінської, В. М. Захожаєв, і А. К. Шофул, «Пристрій для контролю осердя статора потужного турбогенератора,» *МКИ Н02 К 15/00. № а 2020 02912*, 14.05.2020.
- [11] А. С. Левицький, Е. О. Зайцев, і М. В. Панчик, «Пристрій для контролю осердя статора потужного турбогенератора,» *МКИ Н02 К 15/00. № а 2020 03974*, 01.07.2020.
- [12] R. Kashyap, *Fiber Bragg Gratings*. San Diego, CA: Academic Press, 1999. 478 p. [Online]. Available: <https://www.amazon.com/Fiber-Bragg-Gratings-Optics-Photonics/dp/0124005608>. Accessed on: May 05.2021.
- [13] Sanjib Sarkar, Mehdi Tarhani, Morad Khosravi Eghbal, and Mehdi Shadaram. "Discrimination between strain and temperature effects of a single fiber Bragg grating sensor using sidelobe power," *Journal of Applied Physics*, no. 127 (11). pp. 114503-1-114503-8, 2020. [Online]. Available: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5139041?journalCode=jap>. Accessed on: May 05.2021.
- [14] В. В. Масхидов, А. М. Шиенок, Д. В. Юшин, и В. А. Резников, «Измерение деформаций материала с помощью волоконных брегговских решеток (обобщающая статья),» *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*, № 11, т. 82, с. 54-60, 2016.

- [15] Л. Е. Андреева, *Упругие элементы приборов*, 2-е изд. перераб. и доп. Москва: Машиностроение, 1981, 392 с.
- [14] Ю. Н. Тиняков, и А.С. Николаева, «О расчете мембран датчиков давления,» *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, Сер. Приборостроение*, № 6, с. 135-142, 2015. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-raschete-membran-datchikov-davleniya/viewer> . Дата обращения: Май 05. 2021.
- [16] Ie. Zaitsev, A. Shpylka and N. Shpylka. "Output signal processing method for fiber bragg grating sensing system," on *Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET-2020)*: In the IEEE Proc. of the 15th International Conference, February 25-29, 2020 Lviv-Slavske, Ukraine, pp.152-155, 2020.
- [17] И. Н. Шардаков, Н. А. Кошелева, и Н. А. Цветков, «Экспериментальный и теоретические варианты термокомпенсации волоконно-оптических датчиков деформации,» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.applied.photonics.pstu.ru/\\_res/fs/4396file.pdf](http://www.applied.photonics.pstu.ru/_res/fs/4396file.pdf) . Дата обращения: Май 05. 2021.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 7.05.2021

**Левицький Анатолій Станіславович** — д-р техн. наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу електричних та магнітних вимірювань, e-mail: lev@ied.org.ua ;

**Зайцев Євген Олександрович** — д-р техн. наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу електричних та магнітних вимірювань, e-mail: zaitsev@i.ua ;

**Панчик Михайло Володимирович** — аспірант відділу електричних та магнітних вимірювань.

Інститут електродинаміки Національної академії наук України, Київ

**A. S. Levytskyi<sup>1</sup>**  
**Ye. O. Zaitsev<sup>1</sup>**  
**M. V. Panchyk<sup>1</sup>**

## Assembly Defects Detection in the Stator Core of a Powerful Turbine Generator

<sup>1</sup>Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine

*In this paper technology and device for automated detection of the location and size of defects in the stator core of a powerful turbine generator (TG) during assembly at the manufacturing plant is proposed. The core is assembled and pressed in a vertical position in separate parts and at each stage of assembly it is necessary to find places with a weakened solidity. Existing control methods, including automatic ones, will not allow quality control. Using the proposed technology, places in the core with weakened solidity can be detected. In this case, measurements of the specific pressing pressure are carried out at certain points of the end surface of the core, where special control samples from an easily deformable material are installed. The device is implemented as a ring installed on the end surface of the core, in which N cells with control samples are installed. During pressing, the thickness of the samples decreases and the greatest decrease in the thickness of the sample, caused by the corresponding highest specific pressure, corresponds to the smallest defect, and vice versa. Flat metal membrane with a rigid center as a primary pressure transducer has been proposed to use, on which an optical fiber with Bragg gratings is fixed, one of which measures the tangential relative deformation in the membrane, and the second serves for thermal compensation. In paper it has been shown that tangential deformation in a flat membrane depends on the specific pressing pressure. The characteristics of the converter are calculated. The measurement results are processed using an interrogator and a personal computer. The use of the device makes it possible to increase labor productivity when monitoring the core, as well as more reliably diagnose its defects with their subsequent elimination, which ultimately will increase the reliability of the TG and its durability.*

**Keywords:** turbine generator, stator core, assembly, pressing, pressure, control, measuring cell, deformable sample, membrane with a rigid center, optical fiber, Bragg grating.

**Levytskyi Anatolii S.** — Dr. Sc. (Eng.), Senior Researcher, Leading Researcher of the Department of Electric and Magnetic Measurements, e-mail: lev@ied.org.ua ;

**Zaitsev Yevgen O.** — Dr. Sc. (Eng.), Senior Researcher, Leading Researcher in the Department of Electric and Magnetic Measurements, e-mail: zaitsev@i.ua ;

**Panchyk Mykhailo V.** — Post-Graduate Student of the Department of Electric and Magnetic Measurements

А. С. Левицкий<sup>1</sup>  
Е. А. Зайцев<sup>1</sup>  
М. В. Панчик<sup>1</sup>

## Обнаружение дефектов сборки сердечника статора мощного турбогенератора

<sup>1</sup>Институт электродинамики Национальной академии наук Украины, Киев

Разработан прибор для системы контроля, предназначенной для автоматизированного выявления мест расположения и величины дефектов сердечника статора мощного турбогенератора (ТГ) во время сборки на заводе-изготовителе. При изготовлении сердечник собирается и прессуется в вертикальном положении отдельными частями. Каждый этап сборки требует контроля качества. Контроль реализуется через выявление мест с ослабленной монолитностью. Существующие методы контроля, в том числе и автоматизированные, не позволяют выполнить качественный контроль. С использованием предложенной системы, принцип работы которой базируется на предложенной и разработанной технологии, позволит в автоматизированном режиме выявлять места в сердечнике статора с ослабленной монолитностью. При этом проводятся измерения удельного давления прессования в определенных точках торцевой поверхности сердечника, где устанавливаются специальные контрольные пробы из легко деформирующегося материала. Устройство реализовано в виде кольца, которое устанавливается на торцевую поверхность сердечника. В кольцо расположено N ячеек с контрольными пробами. При прессовании толщина проб уменьшается и максимальное уменьшение толщины пробы, вызванное соответственно наибольшим удельным давлением, соответствует наименьшему дефекту, и наоборот. Предложено использовать в качестве первичного преобразователя давления плоскую металлическую мембрану с жестким центром, на которой закреплено оптическое волокно с решетками Брэгга, одна из которых измеряет тангенциальную относительную деформацию в мембране, а другая используется для термокомпенсации. Показано, что тангенциальная деформация в плоской мембране зависит от величины удельного давления прессования. Рассчитаны характеристики преобразователя. Обработка результатов измерения проводится с использованием интеррогатора и персонального компьютера. Использование устройства в системе контроля позволяет повысить производительность труда при контроле сердечника, а также с большей вероятностью диагностировать его дефекты с последующим их устранением, что в конечном счете повысит надежность ТГ и его долговечность.

**Ключевые слова:** турбогенератор, сердечник статора, сборка, прессование, давление, контроль, измерительная ячейка, деформируемая проба, мембрана с жестким центром, оптическое волокно, решетка Брэгга.

*Левицкий Анатолий Станиславович* — д-р техн. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник отдела электрических и магнитных измерений, e-mail: lev@ied.org.ua ;

*Зайцев Евгений Александрович* — д-р техн. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник отдела электрических и магнитных измерений, e-mail: zaitsev@i.ua ;

*Панчик Михаил Владимирович* — аспирант отдела электрических и магнитных измерений