

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖУВАНOSTI ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*В роботі досліджено пошкоджуваність турбогенераторів 100-300 МВт та елементів їх конструкції, а саме: статора, ротора, збудника, системи збудження, підшипників валу ротора, системи охолодження. Звертається увага на те, що багато турбогенераторів знаходяться в експлуатації понад 25 років, що перевищує паспортний ресурс.*

**Ключові слова:** синхронні генератори, пошкодження, діагностування.

### *Abstract*

The damage of turbo generators of 100-300 MW and elements of their design, namely: stator, rotor, exciter, excitation system, rotor shaft bearings, cooling system is investigated in the work. Attention is drawn to the fact that many turbo generators have been in operation for more than 25 years, which exceeds the passport life.

**Key words:** synchronous generators, damage, diagnostics.

### Вступ

Синхронні генератори (СГ) переважно використовуються теплових електричних станціях (ТЕС), атомних електростанціях (АЕС), теплоелектроцентралях (ТЕЦ), гідроелектростанціях (ГЕС) і т.п. Вони є одним із найвідповідальніших елементів електроенергетичної системи. Але, в звіті про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, у 2018 році зазначено що технічний стан інфраструктури енергетичної галузі наближається до критичного через високий ступінь зношеності обладнання, застарілість технологій, відсутність достатнього рівня інвестицій, а саме «на більшості електричних станцій проектний ресурс обладнання вже вичерпано і воно експлуатується понад парковий термін експлуатації» [1-2].

Так, наприклад, із 75 енергоблоків генеруючих компаній теплових електростанцій 68 енергоблоків (16962 МВт або 78,7%) експлуатується понад парковий термін експлуатації, 2 енергоблоки (600 МВт або 2,8%) експлуатується понад граничний термін експлуатації і 5 енергоблоків (4 000 МВт або 18,6%) експлуатується понад проектний термін експлуатації». Тому **актуальним** є дослідження причин пошкодження синхронних генераторів та аналіз основних типів відмов. В наш час в Україні активно розвивається ринок електроенергії [3]. На вартість електроенергії серед інших факторів впливає технічний стан та пошкоджуваність турбогенераторів.

Що підтверджує актуальність роботи.

Отже метою роботи є дослідження пошкоджуваності турбогенераторів 100-300 МВт.

Для досягнення мети в роботі поставлені та розв'язані наступні задачі досліджень:

1. Аналіз світового досвіду On-line діагностування синхронних генераторів
2. Застосування математичних теорій для діагностування синхронних генераторів

### Результати досліджень

Основна задача діагностики – оцінювання технічного стану об'єкта, пов'язана з такими труднощами: - невизначеність повного набору параметрів для оцінки стану об'єкта і, як наслідок, відсутність інтегрального критерію; – велика кількість факторів, що впливають на стан об'єкта, у тому числі ті, які не мають кількісного вираження, складну залежність між впливаючими факторами, часто неявними та неоднозначними, важкими для формалізації, погано структурованими; – брак інформації про параметри стану об'єкта та впливаючих на нього факторів; залежність встановлення діагнозу та прийняття рішень від досвіду, кваліфікації та інтуїції

персоналу.

Ці функції обмежують можливості традиційних систем технічної діагностики, заснованих на формальних алгоритмах, що дозволяють використовувати технологію експертних систем, які використовують евристичні знання, включаючи особистий досвід висококваліфікованих фахівців.

### Пошкоджуваність синхронних генераторів

Відомо, що під час експлуатації мають місце пошкодження синхронних генераторів, а саме їх вузлів: статора, ротора, системи збудження, охолодження, підшипників і т. і. (табл. 1 та 2).

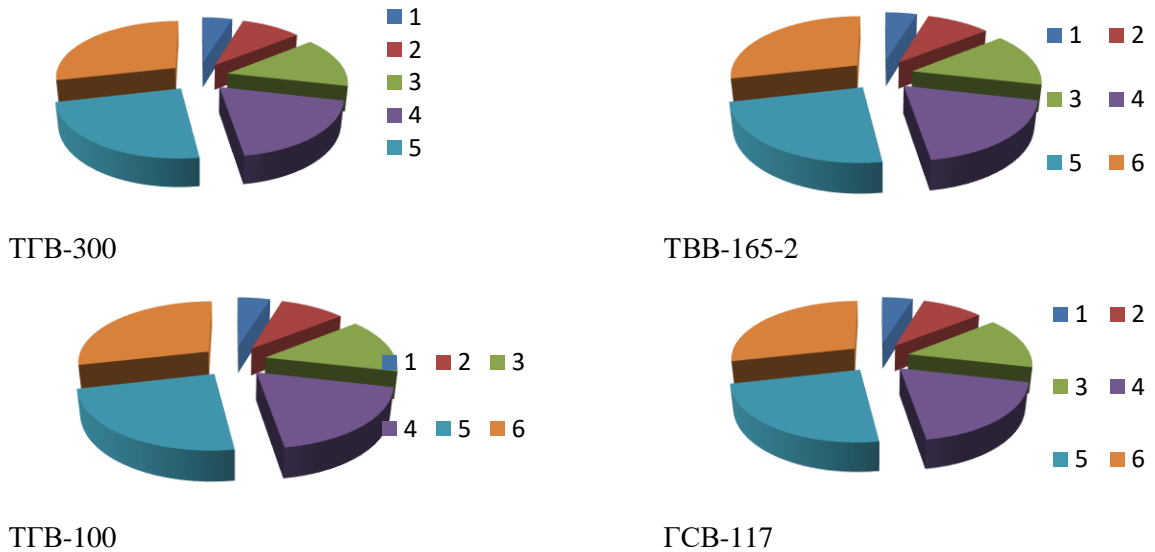
Таблиця 1 – Причини виведення в ремонт ТГ

№	Вузли генератора	Пошкоджуваність ТГ типу ТВВ-165-2, в.о.	Позначення
1.	Підшипники ротора	0,4	к <sub>1</sub>
1.1	Ізоляція підшипників валу з двох сторін	0,01	R <sub>1</sub>
1.2	Заземлення валу турбінного агрегату	0,38	R <sub>2</sub>
1.3	Ущільнення підшипників ротора	0,01	T <sub>1</sub>
2.	Система збудження	0,05	к <sub>2</sub>
2.1	Тиристори системи збудження	0	T <sub>2</sub>
2.2	Розрядник збудника	0,05	T <sub>3</sub>
2.3	Ізоляція ротора	0	R <sub>3</sub>
3.	Щітки ковзання	0,03	к <sub>3</sub>
4.	Обмотка статора	0,15	к <sub>4</sub>
4.1.	Магнітопровід статора	0,01	T <sub>4</sub>
4.2	Лобові частини обмотки статора	0,02	T <sub>5</sub>
4.3.	Елементні провідники в пазах статора	0	T <sub>6</sub>
4.4	Ізоляція статора	0	R <sub>3</sub>
4.5	Пакети сталі статора	0	T <sub>7</sub>
4.6	Інші пошкодження магнітопроводу статора	0,02	V <sub>1</sub>
4.7	Кінці обмоток та контакти	0,1	T <sub>8</sub>
5.	Ротор:	0,32	к <sub>5</sub>
5.1	Пакети роторного заліза	0,07	V <sub>2</sub>
5.2	Щітковий контактний апарат	0,05	R <sub>4</sub>
5.3	Обмотка ротора	0,2	R <sub>5</sub>
5.4	Бандажні кільця	0	V <sub>3</sub>
6.	Система охолодження	0,05	к <sub>6</sub>
6.1	Трубки системи охолодження у лобових частинах статора	0	T <sub>9</sub>
6.2	Охолодження ротора	0,05	T <sub>10</sub>
6.3	Лопаті вентиляторів	0	V <sub>4</sub>
6.4	Утримуючі кільця	0	V <sub>5</sub>
6.4.1	Утримуюче кільце 1	0	V <sub>6</sub>
6.4.2	Утримуюче кільце 2	0	V <sub>7</sub>

Відповідно до табл. 1 на рис. 1 показані гістограми розподілу пошкоджень для різних генераторів.

Таблиця 2 – Пошкоджуваність турбогенератора ТВВ-165- 2 (165 МВт)

№	Важливі елементи генератора	ТВВ-165-2, в.о.
1.	Підшипники ротора	0,4
2.	Система збудження	0,05
3.	Щітки ковзання	0,03
4.	Обмотка статора	0,15
5.	Ротор:	0,32
6.	Система охолодження	0,05



За результатами аналізу статистики пошкоджень виявлено елементи генератора, на які потрібно звертати більшу увагу при онлайн діагностуванні (як показано на рис. 2) [4].

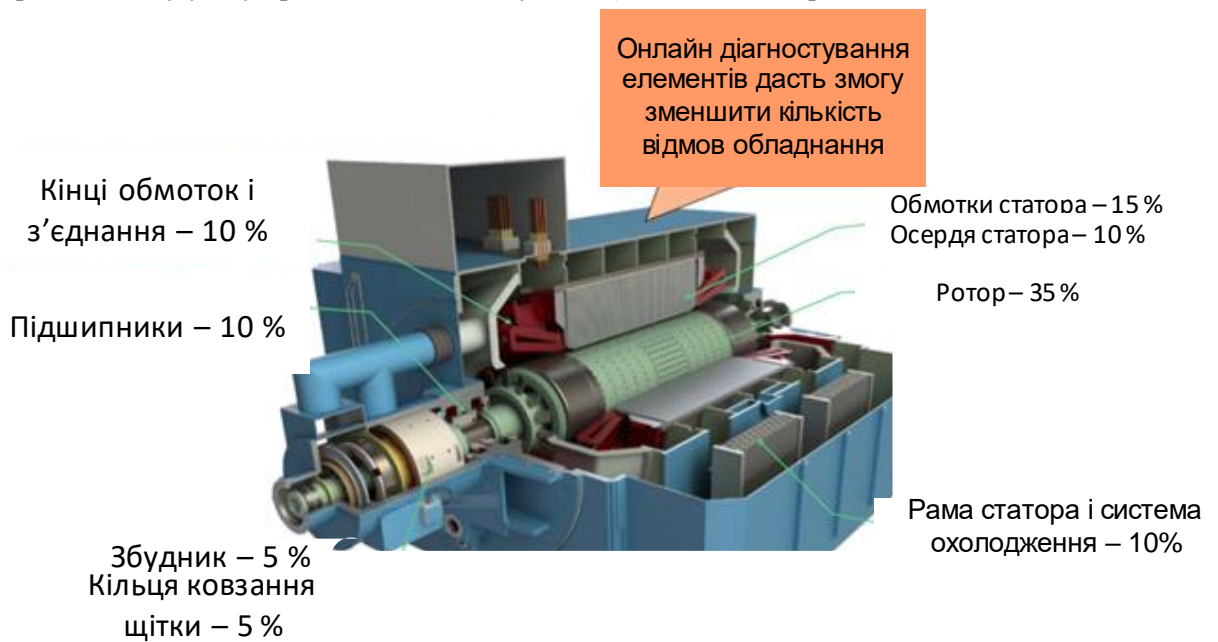
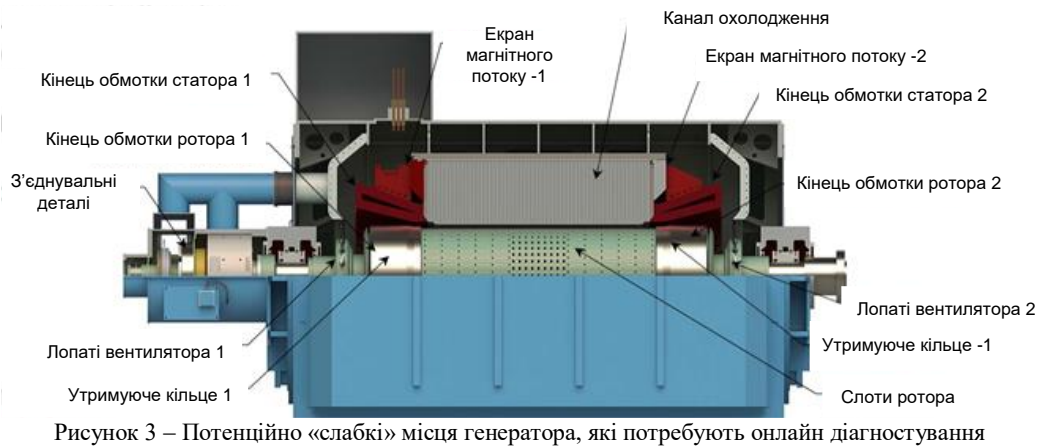


Рисунок 2 – Будова синхронного генератора та аналіз пошкоджуваності його елементів

Відповідно до табл. Потенційно слабкі місця ТГ показані на рис. 3.



Отже потрібно чітко розуміти вплив відхилення значень контрольованих параметрів на роботу генератора. Також потрібно досліджувати та впроваджувати сучасні системи діагностування ТГ [1 - 6].

Так, наприклад, в наш час використовуються три оцінки результату діагностування: «Визначено» – визначили пошкодження, але не визначили в якому режимі відбулась відмова; «Ідентифіковано» – ідентифікували відмову та режим в якому це сталося (ця інформація може використовуватись для оцінки ризику повторення відмови); «Не ідентифіковано» – не визначили пошкодження і не визначили в якому режимі відбулась відмова (рис.4)

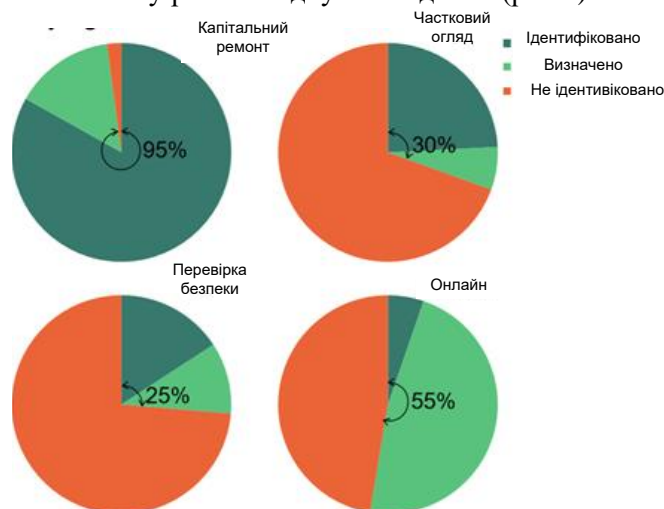


Рисунок 4 – Аналіз виявлення пошкоджень на різних рівнях діагностування

Деталі фази 1 – Аналіз стану осердя статора генератора, виконаного із окремих пластин електротехнічної сталі, ізольованих одна від іншої. Причиною пошкоджень осердя статора можуть бути вібрації. Рекомендації – проектувати обладнання для тестування наявності вихрових струмів, оновити аналіз ризиків та запропонувати рішення .

Фаза 2: Капітальний ремонт та контроль тиску в осерді статора.

Нове осердя має тиск 1 МПа. Після первинного ремонту тиск буде менше. Досвід свідчить, що тиск менше або дорівнює 0,1 МПа є прийнятним. Випробувальне обладнання, складається з сенсора тиску та руху, каліброваного при тиску 0,025 –0,2 МПа.

Оцінка життєвого циклу, фаза 3:

– Оновлення оцінки ризику. По обмотці статора є відхилення діагностичних параметрів, але більш серйозне пошкодження є в осерді статора через дуже низький тиск в осерді. Оцінка полягає в тому, що статор знаходиться на рівні 4, високий ризик.

– Загальний висновок для статора полягає в тому, що бажаного часу відпрацювання, 85'000 годин, швидше за все не вдасться досягти.

Відомі такі сучасні методи та засоби діагностування ТГ, як: методи фірми Fortum, які визначають причини відмови та ризик примусового відключення ТГ, методи компанії Siemens, яка розробила систему моніторингу та діагностики GenAdvisor для ТГ, установка FOVM-4 для контролю за допомогою волоконно-оптичного монітора вібрації ТГ , метод контролю часткових розрядів, метод контролю міжвиткових замкнень обмотки ротора, метод контролю напруги на валу та струму в шині заземлення генератора, система моніторингу напруги на валу та струму заземлення вала GenAdvisor призначена для постійного моніторингу напруги вала та струму заземлення вала під час

роботи генератора метод Вулбанк, який дозволяє виявляти пошкодження в генераторах змінного струму на основі лише електричних величин ротора та статора за рахунок використання сенсорів струму ротора та статора. Наприклад, використання FOVM-4 дає можливість здійснювати: постійний онлайн-моніторинг вібрацій кінців обмоток; вимірювання та візуалізацію частот вібрації до 500 Гц; виявляти дуже вібрації ТГ малих амплітуд.

## Висновки

В наш час чимало турбогенераторів знаходяться в експлуатації понад 25 років, що перевищує паспортний ресурс.

За таких умов зростає пошкоджуваність турбогенераторів. У таких генераторів пошкоджуються: **підшипники ротора**, а саме: ізоляція підшипників валу з двох сторін, заземлення валу турбінного агрегату, ущільнення підшипників ротора; **система збудження**, саме: тиристри системи збудження, розрядник збудника, ізоляція ротора, щітки ковзання; **статор**, а саме: магнітопровід статора: лобові частини обмотки статора, а саме: елементні провідники в пазах статора, ізоляція статора, пакети сталі статора; кінці обмоток статора та контакти статора; **ротор**: пакети роторного заліза, щітковий контактний апарат, обмотка ротора, бандажні кільця; **система охолодження статора**, а саме: трубки системи охолодження у лобових частинах статора; система охолодження ротора, лопаті вентиляторів, утримуючі кільця.

На основі аналізу літературних джерел визначено, що основними пошкоджуваними вузлами синхронних турбогенераторів є: статор, ротор, збудник, система збудження, підшипники валу ротора, система охолодження.

## Література

1. Petro Lezhniuk, Olexander Rubanenko, Olena Rubanenko, “Determination of Optimal Transformation Ratios of Power System Transformers in Conditions of Incomplete Information Regarding the Values of Diagnostic Parameters”. – Chapter of book: “Fuzzy Logic” . – 2019. – p. 1-29, doi: 10.5772/intechopen.84959
2. Матвійчук В.А. Діагностування електрообладнання. Навч. посіб. / В.А. Матвійчук, О.Є. Рубаненко, І.О. Гунько / –Вінниця: ТОВ «Твори», 2020. –140 с.
3. Gabor Csaba, “Generator diagnostics from failure modes to risk for forced outage.” 2018. [Online]. Available: <https://irispower.com/wp-content/uploads/2018/06/Generator-diagnostics-From-failure-modes-to-risk-forced-outage.pdf>. [Accessed: 4-Jul-2019].
4. “GenAdvisor monitoring and diagnosis system for turbogenerators.” 2017. [Online]. Available: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public.1559487643.e9bd8a8e-79d0-4024-bbc9-4262de98163.genadvisor-monitoring-diagnostics-system-pspg-b10216-00-7600-en-.pdf>. [Accessed: 04-Jul-2019].
5. “GenAdvisor Rotor Interturn Short Circuit Monitoring.” 2017. [Online]. Available: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public.1559487645.9e77a55f-8eb2-4b97-ab9a-b51491337fc7.genadvisor-isc-monitoring-pspg-b10173-00-7600-en-lr-final.pdf> [Accessed: 04-Jul-2019].
6. “GenAdvisor Shaft Voltage and Shaft Grounding Current Monitoring.” 2017. [Online]. Available: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public.1559487645.6bd70a97-799b-4b28-81ba-0dadd53793e2.genadvisor-shaft-volt-current-mon-pspg-b10244-00-7600-en-lr-fina.pdf>. [Accessed: 04-Jul-2019].

**Рубаненко Олена Олександрівна** – канд. техн. наук, доцент, докторант кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет

**Рубаненко Олександр Євгенійович** – к.т.н., професор, професор кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [rubanenkoae@ukr.net](mailto:rubanenkoae@ukr.net).

**Гасич Владислав Володимирович** – студент гр. ЕС-20м, Вінницький національний технічний університет, Вінниця e-mail: [gasich.vlad5@gmail.com](mailto:gasich.vlad5@gmail.com).

**Rubanenko Olena Oleksandrivna** – Ph.D., Associate Professor, Doctoral student of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : [olenarubanenko@ukr.net](mailto:olenarubanenko@ukr.net).

**Rubanenko Oleksandr E.** – Cand. Sci (Tech.), Associate Professor, Department of power plants and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [rubanenkoae@ukr.net](mailto:rubanenkoae@ukr.net).

**Hasych Vladislav V.** – undergraduate, student Department of power plants and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [gasich.vlad5@gmail.com](mailto:gasich.vlad5@gmail.com).