

Лазуренко Костянтин Олександрович, аспірант кафедри електричних машин, +38(050)610-12-98, kostyan22@gmail.com, ORCID ID: 0009-0003-1134-2233

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, Україна, 61002

Шевченко Валентина Володимирівна, професор кафедри електричних машин, +380-67-407-8455, Valentyna.Shevchenko@khpі.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9557-9849

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, Україна, 61002

ВИКОРИСТАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ON-LINE КОНТРОЛЮ СТАНУ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ З МЕТОЮ ЗНИЖЕННЯ КІЛЬКОСТІ ЇХ АВАРІЙНИХ ЗУПИНОК

***Анотація** У статті розглядається стан основного обладнання теплових електричних станцій України після руйнівного вторгнення агресора і знищення великої частини енергетичної інфраструктури, проблеми відновлення та модернізації енергетичних об'єктів і основного генеруючого обладнання в повоєнний період, досліджуються основні практичні аспекти впровадження цифрової on-line діагностики турбогенераторів з використанням систем штучного інтелекту для суттєвого підвищення надійності, ефективності ремонтів та оперативного контролю працездатності, зменшення кількості аварійних зупинок і продовження строку роботи цього обладнання*

***Ключові слова:** турбогенератор, модернізація і ремонт генеруючого обладнання, on-line діагностика, діагностичний параметр, системи штучного інтелекту, алгоритм передачі даних в систему діагностики*

Lazurenko Kostyantyn, PhD student, Department of Electrical Machines, +38(050)610-12-98, kostyan22@gmail.com, ORCID ID: 0009-0003-1134-2233

*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
2, Kyrpychova St., Kharkiv, Ukraine, 61002.*

Shevchenko Valentyna, Professor, Department of Electrical Machines, +380-67-407-8455, Valentyna.Shevchenko@khpі.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9557-9849

*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"
2, Kyrpychova St., Kharkiv, Ukraine, 61002.*

USE OF THE POSSIBILITIES OF MODERN TECHNOLOGIES ON-LINE CONTROL OF THE STATE OF TURBOGENERATION IN ORDER TO REDUCE THE NUMBER OF THEIR EMERGENCY STOPS

***Abstract.** The article considers the state of the main equipment of thermal power plants of Ukraine after the destructive invasion of the aggressor and the destruction of a large part of the energy infrastructure,*

the problems of restoration and modernization of energy facilities and main generating equipment in the post-war period, and investigates the main practical aspects of implementing digital on-line diagnostics of turbogenerators using artificial intelligence systems to significantly increase reliability, efficiency of repairs and operational control of operability, reduce the number of emergency stops and extend the life of this equipment

Keywords: *turbogenerator, modernization and repair of generating equipment, on-line diagnostics, diagnostic parameter, artificial intelligence systems, data transfer algorithm to the diagnostic system*

Вступ. Розвиток світової електроенергетики з урахуванням постійних змін і значних зовнішніх впливів можливий лише з огляду на реальні проблеми соціально-економічного розвитку кожної конкретної країни, хоча проблеми та перспективні завдання енергетики загальні для всіх, [1-3]:

- пошук нових, екологічно безпечних джерел електроенергії, постійне збільшення її виробництва та вдосконалення технологій отримання із обов'язковим виконанням вимог екологічної безпеки, декарбонізація;
- підвищення ефективності електроенергетичного обладнання шляхом зниження втрат та підвищення якості обліку;
- використання сучасних матеріалів та технологій вироблення електрообладнання і передачі електроенергії до споживачів.

Військове вторгнення агресивного сусіда України призвело до пошкодження енергетичної інфраструктури і нестабільності в постачанні електроенергії. Це поставило для нашої країни нові цілі, і в першу чергу, це питання безпеки енергетичних об'єктів, відновлення і модернізацію в повоєнний період, підвищення надійності роботи основного обладнання електричних станцій – турбогенераторів.

Для забезпечення зростаючих потреб в електроенергії нашої країни зазвичай збільшували кількість енергоблоків теплових і атомних електростанцій (ТЕС і АЕС) або в процесі модернізації збільшували потужність діючих турбогенераторів (ТГ). Одночасно для ТГ вирішують питання зменшення матеріальних витрат на подальшу експлуатацію, на забезпечення високої надійності. Для підвищення надійності роботи та зниження ймовірності аварійних зупинок блоків електростанцій зазвичай встановлюють додаткові датчики онлайн-контролю, [4-6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливістю ТГ, як і всіх електричних машин, є взаємозв'язок усіх параметрів і характеристик, електромагнітних, теплових, механічних та вібраційних процесів. Під час проєктування нового або модернізації працюючих на станціях ТГ зазвичай використовують методи параметричного моделювання та проєктування, які дають змогу прискорити виконання проєктних пошукових робіт, порівнювати різні варіанти, створювати нові конструкції з кращими техніко-економічними показниками, виключити випадкові помилки в розрахунках через "людський фактор" [8]. Можливості такого моделювання дозволяють в новій конструкції враховувати також економічні й екологічні вимоги. Але таке проєктування є складним і вимагає високої кваліфікації фахівців, які зможуть передбачати потенційні зміни параметрів, враховувати їх взаємний зв'язок і, відповідно, взаємний вплив. Тому для проєктування нових машин зі зміною одного або кількох параметрів перспективнішим є використання мультипараметричного проєктування, яке відрізняється від параметричного саме можливістю визначення діапазону змін усіх параметрів, які пов'язані в єдиній конструкції ТГ, під час зміни навіть однієї характеристики, наприклад, активної потужності [9, 10]. Підвищення потужності ТГ у процесі ремонту та модернізації з одночасним відновленням зношених вузлів та деталей є загальносвітовою тенденцією і здійснюється за рахунок використання нових матеріалів і технологій. Так, наприклад, у 2019-2021 роках компанія *Westinghouse* виконувала модернізацію другого блоку Хмельницької АЕС, під час якої потужність турбогенератора ТВВ-1000-2У3 була підвищена на 10 %: з 1000 МВт до 1100 МВт.

Мета роботи полягає в аналізі сучасного стану основного генеруючого обладнання теплових електричних станцій України та розробці основних практичних аспектів впровадження цифрової on-line діагностики турбогенераторів з використанням систем штучного інтелекту для суттєвого підвищення надійності, ефективності ремонтів та оперативного контролю їх працездатності.

Викладення основного матеріалу. Обов'язковою вимогою виконання ремонту та модернізації ТГ є збереження габаритних, установчих і приєднувальних розмірів, що

дозволяє зберегти існуючі фундаменти і забезпечуючи системи. Тому підвищення одиничної потужності ТГ можливе тільки за рахунок застосування сучасних матеріалів і технологій, інтенсифікації їх використання, підвищення струмових навантажень. Це вимагає інтенсифікувати охолодження осердь, обмоток статора й ротора, усього внутрішнього об'єму ТГ.

При збільшенні струму також зростають електродинамічні сили, що діють на елементи конструкції ТГ, на бандажі й клини; спричиняють деформацію, викликають температурні подовження стрижнів обмоток, розтягнення та руйнування ізоляції через переміщення провідників уздовж стінок паза, через різницю температури ізоляції провідників і більш холодних стінок [11, 12]. Виникаючі при цьому механічні напруження залежать від швидкості зміни температури [13-16]. Недостатнє охолодження призводить до пробої ізоляції обмоток, до зростання вібрації, що, в свою чергу, спричиняє порушення герметичності з'єднань у системі водяного охолодження обмоток статора та в вузлах кріплення осердя статора до корпусу, збільшує кількість теплових і механічних пошкоджень ізоляції стрижнів обмоток статора, елементарних провідників тощо.

ТГ постійно працюють у перехідних режимах через піки й спади енергоспоживання, що призводить до необхідності інколи протягом доби розвантажувати ТГ до 50-70% від їх номінальної потужності, а іноді й до повної зупинки. Перехід в такий перехідний режим може відбуватися до 30–40 разів на рік.

Безперервні зміни в енергосистемі коригуються системою автоматичного регулювання збудження (АВР), тобто струм в обмотці збудження постійно змінюється, що впливає на тепловий стан як обмоток, так і елементів конструкції ТГ. На станціях були зафіксовані добові коливання температури обмоток статорів ТГ на 30-35 °С. А саме тепловий стан ТГ має найбільший вплив на надійність його роботи. Особливо це важливо для ТГ, у який закінчився паспортний строк експлуатації, [17-22]. Усі ТГ українських ТЕС і ТЕЦ (ТГВ-100, ТГВ-160, ТГВ-200, ТГВ-300) були випущені ще в СРСР і працюють за межею строку, встановленого в технічній

документації заводом -виробником. Фахівці відзначають критичний стан ТГ теплових станцій, значну шкоду нанесли вороги, тож без термінових інвестицій у ремонт і заміну країна ризикує зіткнутися з колапсом генерації вже в найближчі 5 років. Ключовими підставами необхідності заміни ТГ на блоках ТЕС України:

1) Знищення та пошкодження електростанцій, табл. 1, рис. 1;

Таблиця 1 – ТЕС України, пошкоджені або зруйновані росією (2022–2024 рр.)

№	Назва ТЕС	Потужність МВт	Пошкодження	Примітка
1	Зміївська ТЕС, Харківська обл.	2400	Сильно постраждала від обстрілів у 2022–2023 рр.,	Найбільша в Україні. 22.03.2024 року знищена майже повністю
2	Курахівська ТЕС, Донецька обл.	1470	Повністю виведена з ладу, обладнання розграбовано	Окупована з 2014 р
3	Вуглегірська ТЕС, Донецька обл.	3600	Повністю зруйнована, відновлення неможливе	Найбільша на Донбасі, була окупована з 2014 р.
4	Луганська ТЕС, Луганська обл.	1450	22.02.2022 р. зупинена через обстріли	Частково зруйнована, не працює
5	Трипільська ТЕС, Київська обл.	1800	Неодноразово піддавалася ударам (2022–2023), але продовжувала роботу	11.04.2024 повністю зруйнована внаслідок ракетних ударів
6	Бурштинська ТЕС, Івано-Франківська обл.	2334	З 2022–2024 рр. постійно під ракетними ударами. Основні пошкодження – допоміжне обладнання	Працює на 50–70% потужності. У списку пріоритетних цілей ворога через роль в експорті електроенергії до країн ЄС.
7	Криворізька ТЕС, Дніпропетровська обл.	2820	З встановлених 14 ТГ тільки дев'ять, інші потребують кап. ремонту	Часткові руйнування через ракетні удари, але станція функціонує
8	Придніпровська ТЕС, Дніпропетровська обл.	1765	У робочому стані дві третини генераторів	Під постійними атаками, але продовжує працювати
9	Миронівська ТЕС, Донецька обл.	275	Зруйнована	Повністю зруйнована в лютому 2022 р.
10	Зуївська ТЕС, Донецька обл.	1200	Виведена з ладу, не працює	Захоплена у 2014 р
11	Запорізька ТЕС, м. Енергодар, Запорізька обл.	1500 (до війни)	Не функціонує з 2022 р. Блоки частково пошкоджені. Інформація обмежена через захоплення станції	Вороги мінують обладнання (за даними укр. розвідки). Є ризик терактів з остаточним знищенням ТЕС і значного впливу на Запорізьку АЕС
12	Слов'янська ТЕС, Донецька обл.	880 МВт (до війни)	28.05.2022 р. зупинена через ракетно-артилерійські обстріли з метою збереження життя персоналу станції,	5 травня 2024 р. російські загарбники завдали удару по Слов'янській ТЕС, є значні пошкодження.



Рисунок 1 – Зруйнований блок
Бурштинської ТЕС з турбогенератором
ТГВ-200-2УЗ

2) Зношеність ТГ, експлуатація на межі фізичних можливостей, поява дефектів, які можуть призвести до значних аварій: тріщини роторів, деградація ізоляції, корозія елементів конструкції та допоміжних систем. Все це супроводжується значною вібрацією, що, в свою чергу, викликає додаткове руйнування ТГ [23-28];

3) Нестача кваліфікованих ремонтників (багато фахівців захищають країну на фронті);

4) Відсутність нових генераторів, оскільки постачання з ЄС і США обмежене, а виробництво турбо- і гідрогенераторів в Україні зупинилось після приєднання заводу «Електроважмаш» до ПО «Турбоатом».

В цілому до 70–80 % ТГ, що були встановлені на ТЕС потребують капремонту та/або заміни через зношеність та руйнування.

Лише декілька світових компаній здатні виготовляти ТГ для теплових і атомних електростанцій достатньої потужності та якості. Сьогодні світовий ринок енергетичного машинобудування поділений між кількома електротехнічними компаніями: *General Electric* і *Westinghouse Electric Corporation* (США), *Siemens Energy* (Німеччина), *Alstom* (Франція), *ABB* (шведсько-швейцарська компанія), *Parsons* і *English Electric* (Великобританія), *Toshiba Corporation* та *Mitsubishi* (Японія). У 1999 р. компанії *ABB* та *Alstom* оголосили про злиття своїх підприємств із виробництва електроенергетичного обладнання (турбо- та гідрогенераторів) у спільну компанію з рівною часткою участі, що отримала назву *ABB Alstom Power*, табл. 2.

Таблиця 2 – Заводи світу, де здійснюється виробництво турбогенераторів

Назва електромашинобудівної компанії (країна)	Максимальна потужність ТГ, МВт	Додаткові дані щодо випуску турбогенераторів та інших установок
<i>Westinghouse Electric Corporation</i> (США)	1500	Випускає генератори потужністю 10-2500 кВт для промислового та комерційного застосування. Для АЕС з реакторами AP1000 – потужністю 1117 МВт
<i>General Electric (GE Vernova)</i> (США)	1000	Можливий випуск ТГ малої та середньої потужності (від 50 МВт до 500 МВт)
<i>Toshiba Corporation</i> (Японія)	1200	Випускають широкий спектр потужностей ТГ для промислових та енергетичних установок; гідро-генератори малої потужності (від 5 до 200 кВт) для малої гідроенергетики
<i>Siemens Energy</i> (Німеччина)	1500	Випускає малі промислові ТГ (від кількох МВт)
<i>WEG</i> (Бразилія)	200	Є випуск маленьких ТГ: від 6 до 50 МВт
<i>Harbin Electric Corporation</i> (Китай)	1100	Випуск ТГ в широкому діапазоні, від 5 до 1000 МВт (для АЕС); гідрогенераторів – до 1000 МВт, генератори для вітростанцій потужністю 1,5-8 МВт
<i>Dongfang Electric Corporation Limited</i> (Китай)	60	Можливий випуск малих промислових ТГ (від 2 МВт до 60 МВт). Головним є випуск генераторів для вітроустановок: від 1,5 МВт до 12,5 МВт для наземних установок; від 5,0 МВт до 26 МВт – для морських ВЕС.
<i>Mitsubishi Heavy Industries</i> (Японія)	500	Виробляє ТГ з врахуванням можливої потужності власних газових турбін потужністю від 30-570 МВт.
<i>ABB</i> (Швейцарія/Швеція)	85	Широкий діапазон потужностей: від 1 до 85 МВт
<i>Ansaldo Energia</i> (Італія)	1200	ТГ з повітряним охолодженням – до 450 МВт, з водневим охолодженням – до 700 МВт і з воднево-водяним охолодженням до 1200 МВт.

В табл. 2 можна побачити, що заводів по виробництву ТГ великої потужності (200-1000 МВт) для ТЕС і АЕС небагато, тому втрату Україною харківського заводу «Електроважмаш», як виробника ТГ, слід вважати однією з найбільших втрат електроенергетичного комплексу країни. На тлі зростання попиту на електроенергію та підвищення вимог до ефективності використання ресурсів постійно зростає попит на ТГ потужністю 200-500 МВт для ТЕС і потужністю 1200-1500 МВт для АЕС.

Ворог зруйнував електростанції, мережі, промислові підприємства, що створювали електрообладнання (ЕО) для електростанцій, тому зараз необхідне збереження діючого обладнання, підтримання його в робочому стані шляхом

своєчасного ремонту із заміною окремих вузлів і деталей, із частковою модернізацією, з забезпеченням надійного, безпомилкового контролю стану в реальному часі.

Відсутність власної національної бази створення ТГ змушує значно активізувати увагу до питань оцінки технічного стану діючих ТГ, визначення заходів для продовження їх терміну служби, програм реабілітації та відновлення на блоках ТЕС. Особливо складним буде вирішення цього питання після повернення країні Запорізької АЕС, на блоках якої зараз у технічно неприпустимих умовах перебувають шість ТГ потужністю по 1000 МВт (ТВВ-1000-4УЗ).

Під час проведення будь-яких робіт з ТГ необхідно врахуванням майбутнього збільшення навантаження, можливі зміни режимів роботи, знати найбільш вразливі вузли й деталі, основні причини відмов ТГ, їх найбільш ймовірні дефекти, які можуть виникати як окремо, так і одночасно, у комбінації. Потрібне покращення обслуговування, збільшення кількості каналів онлайн-діагностики для своєчасного попередження виникнення та розвитку прихованих і зовнішніх дефектів [26].

Для підвищення надійності, ефективності та безпеки діючих ТГ логічним є встановлення додаткових датчиків онлайн-контролю, але це завжди обмежується «людським фактором», [2, 4, 9]. Навіть у мирний час за 40-50 % аварійних ситуацій на АЕС відповідав «людський фактор», коли персонал приймав невірні, несвоєчасні, нелогічні рішення, що призводило до збою вироблення енергії, до позапланових зупинок блоків станції. Помилки виникають надлишковим навантаженням на операторів, відволіканням уваги, недостатньою кваліфікацією, особливістю реакції на стрес (деструктивною замість конструктивно-долаючої). Значно впливає стан здоров'я людини, проблеми, які могли не відстежуватися при медичних оглядах, але проявились при сильному стресі. Наприклад, для контролю електрофізіологічних показників роботи серця людини-оператора перед зміною використовують добовий (холтерівський) моніторинг ЕКГ з одночасним контролем артеріального тиску, а також фітнес-браслети з тонометрами і фіксацією ЕКГ [30]. Дані надходять на

монітор лікаря, також забезпечують самоконтроль. В даний час стоїть завдання створення апаратури, яка буде контролювати стан оператора в режимі *on-line* з безконтактною передачею інформації. Для цього необхідне як технічне рішення, так і уточнення необхідної та достатньої кількості каналів моніторингу стану людини, що перебуває в екстремальних ситуаціях, в першу чергу, оператора АЕС в аварійних ситуаціях.

Штучний інтелект (ШІ) значно збільшує допустиму кількість каналів онлайн-діагностики ТГ на електростанціях, що дозволяє перейти від штатного обслуговування до превентивної діагностики. Це найбільш важливо для надійної роботи ТГ – головного обладнання кожної електростанції, несподівана відмова яких може призвести до мільйонних збитків, [6, 13, 19, 31, 32]. В такому разі передача функції додаткової онлайн-діагностики від людини до систем ШІ найбільш перспективна. Це також забезпечить зниження ймовірності пропуску появи і розвитку дефектів при відмові від системи планово-попереджувальних ремонтів (ППР) ТГ і переході до ремонтів по реальному стану, що є загальносвітовою тенденцією. Очікуємо, що результатом такої передачі буде значне зниження ризиків виникнення аварій завдяки своєчасній діагностиці появи зовнішніх та уповільнення (або навіть припинення) розвитку прихованих дефектів, табл. 3.

Вже є світові приклади, що передача на електростанціях ряду функцій контролю від людини-оператора до системі ШІ від додатково встановлених датчиків контролю стану ТГ з метою своєчасного виявлення дефектів, знижує експлуатаційні витрати на 10-30 %, табл. 4, [6, 16, 31].

Таблиця 3 – Функції, які можуть бути передані від людини-оператора до систем контролю стану ТГ на базі ШІ, та результати підвищення його надійності, що очікуються при своєчасному виявленні дефектів

Вид діагностики	Проведення контролю	Результати контролю стану
1. Прогнозування відмов турбогенератора (<i>Predictive Maintenance</i>)	Аналіз даних з датчиків (вібрація, температура, тиск, струм, напруга тощо) для виявлення дефектів.	Попередження аварій на основі статистичних даних, що виникають через зношення окремих вузлів (підшипники, ротор, статор, ущільнення). Раннє виявлення потенційних загроз аварій до етапу їх критичного розвитку.
2. Аналіз причин збільшення вібрації та виявлення дефектів конструктивних елементів ТГ	ШІ-алгоритми (SVM, нейромережі, градієнтний бустинг) забезпечують постійні швидкі розрахунки з метою виявлення механічних дефектів: дисбаланс ротора, неспіввісність валів, дефекти підшипників, тріщини у лопатях турбін	Зменшення кількості помилок при прогностичному аналізі даних; порівняння з еталонними моделями для автоматичного виявлення відхилень та відключення до аварії (за необхідністю)
3. Постійний моніторинг електромагнітних параметрів	Діагностика стану ізоляції обмоток на наявність часткових розрядів, зон підвищення температури; рівня гармонік і струмів витоку	Оцінка стану генератора, виявлення міжвиткових замикань, руйнувань бандажів, зниження рівня пресування осердя статора та інших несправностей
4. Термодіагностика та тепловий аналіз	Виявлення зон перегрівів, обробка даних, отриманих від тепловізорів і термопар	Для своєчасного виявлення зон перегрівів, що забезпечує прогнозування стану ізоляції, визначення теплових деформацій конструкцій та їх впливу на ресурс експлуатації
5. Акустичний аналіз шумів у робочій зоні, обробка звукових сигналів	Розпізнавання причин аномальних шумів (тертя, кавітація, удари, вібрація) та порівняння з акустичними шаблонами	Своєчасне виявлення явних та скритих дефектів і, за необхідністю, своєчасна зупинка
6. Використання цифрових двійників (<i>Digital Twins</i>) обладнання	Створення віртуальної моделі ТГ у реальному часі, яка відображає його стан. Симуляція різних режимів роботи ТГ та зміни його параметрів для оптимізації вибору навантаження та запобігання аварій	Найбільш доцільне для ТГ великої потужності. Динамічна онлайн-корекція параметрів в реальному часі (навантаження, температура, тиск, охолодження). Для прогнозування залишкового ресурсу, навчання персоналу та відпрацювання поведінки в аварійних ситуаціях
7. Автоматизація звітності, складання практичних рекомендацій щодо подальшої експлуатації конкретного ЕО	Складання ремонтних програм на основі обробки статистичних даних діагностики за умови відмов від ППР і переходу до ремонтів по реальному стану	Рекомендації щодо переліку робіт під час виконання ремонту ТГ на основі попередньо отриманих даних. Захист від аварійних зупинок потужних ТГ, що приводе до значних економічних збитків через зупинку енергоблоків.

Таблиця 4 – Фактори зниження експлуатаційних витрат на електростанціях при використанні системи ІІІ

Фактор	Найменування робіт	Результати
1. Зниження витрат на обслуговування ТГ та іншого електрообладнання	Поширення програми заміни ППР великих ТГ на блоках електростанцій на ремонти за реальним станом, коли забезпечений онлайн контроль стану ТГ в реальному часі	Скорочення на 20-40 % зайвих втручань, що можуть привести к появі додаткових дефектів з одночасним зниженням ризику появи та розвитку дефектів. Зменшення витрат на запчастини та їх зберігання, виключення зайвих робіт, підвищення надійності ЕО.
2. Збільшення міжремонтних періодів ЕО	ІІІ по показникам стану ТГ в реальному часі визначає оптимальні терміни обслуговування, збільшує інтервали між ремонтами без ризику формування аварійних ситуацій	При стабільних параметрах (вібрація, температура, шумові характеристики) ремонтні роботи відкладаються, що економить трудовитрати, матеріали; зменшує простій ТГ, всього енергоблока, і втрати електроенергії під час непотрібних відключень
3. Зниження кількості і термінів аварійних простоїв	Попередження аварійних відмов, які потребують великих витрат на екстрений ремонт та довгого часу зупинки ТГ зі значними втратами через недовироблення електроенергії	Запобігання навіть одній великій аварії окупає впровадження систем ІІІ
4. Скорочення персоналу, зменшення витрат на діагностику	Автоматизація аналізу даних зменшує потребу в інженерах-діагностах та обслуговуючого персоналу в машинному залі	На пульті управління замість 5 спеціалістів може бути 1-2 оператори, робота яких підтримується системою ІІІ. Зменшення кількості дорогих перевірок (ультразвуковий і термоконтроль, дефектоскопія)
5. Подовження терміну служби ЕО, оптимізація енергоефективності	ІІІ пропонує корекцію параметрів роботи під час зміни режиму експлуатації, рівня навантаження	Мінімізація втрат, збільшення КПД, зниження ступеня зношення ТГ
6. Підвищення екологічності роботи станції	Запобігання порушенням нормативів.	Зменшення викидів шляхом оптимізації робочих параметрів в перехідних режимах та в режимах зміни навантаження

Загальний прогноз фахівців щодо подальшої роботи та післявоєнного розвитку доволі різноманітний, але в основному всі погоджуються з тим, що ще досить довго, навіть у післявоєнний період, Україна працюватиме на зношеному обладнанні з високим ризиком аварій, а після перемоги на модернізацію та підтримання в робочому стані турбогенераторів та іншого електрообладнання ТЕС (за оцінкою

Міненерго України) знадобиться \$2-3 млрд. Тож використання системи ІІІ для поширення кількості параметрів ТГ, що контролюються в реальному часі, дозволить не залежати від «людського фактору», а значно підвищити надійність працюючих ТГ, подовжити строк їх експлуатації за рахунок більш щадних умов роботи при зміні навантаження.

Нижче наведений приклад процесу впровадження ІІІ моделей для автоматизації аналізу даних з датчиків онлайн-контролю стану ТГ та інформування оператора в разі відхилення параметрів з метою вчасного прийняття рішень, рис. 1. При знаходженні параметрів (температура, вібрація) в зоні допустимих значень передача даних до оператора не відбувається, що захищає його від надлишкового потоку необов'язкової інформації.

Датчики контролю можуть бути встановлені безпосередньо на вузлах ТГ та системах обслуговування (наприклад вібродатчики на корпусі та опорах підшипників, тахометри на валу ротору, температурні сенсори на обмотках статора та ротору, в зонах охолодження, тощо). Дані з них поступають в загальну систему збору (на шину повідомлень). Дані попередньо оцифровують та упорядковують (синхронізують) по часу. Загальна шина повідомлень обробляється окремою високопродуктивною системою в реальному часі, яка займається збереженням всіх повідомлень в єдиній базі в неструктурованому вигляді (*Data Lake*). Неструктуровані дані можуть зберігати як текст, або як зображення та звуки. Далі ці дані вже обробляються окремими ІІІ модулями, де вони структуруються для виду, придатному для навчання відповідних ІІІ моделей, класифікації та виявлення сигналів.

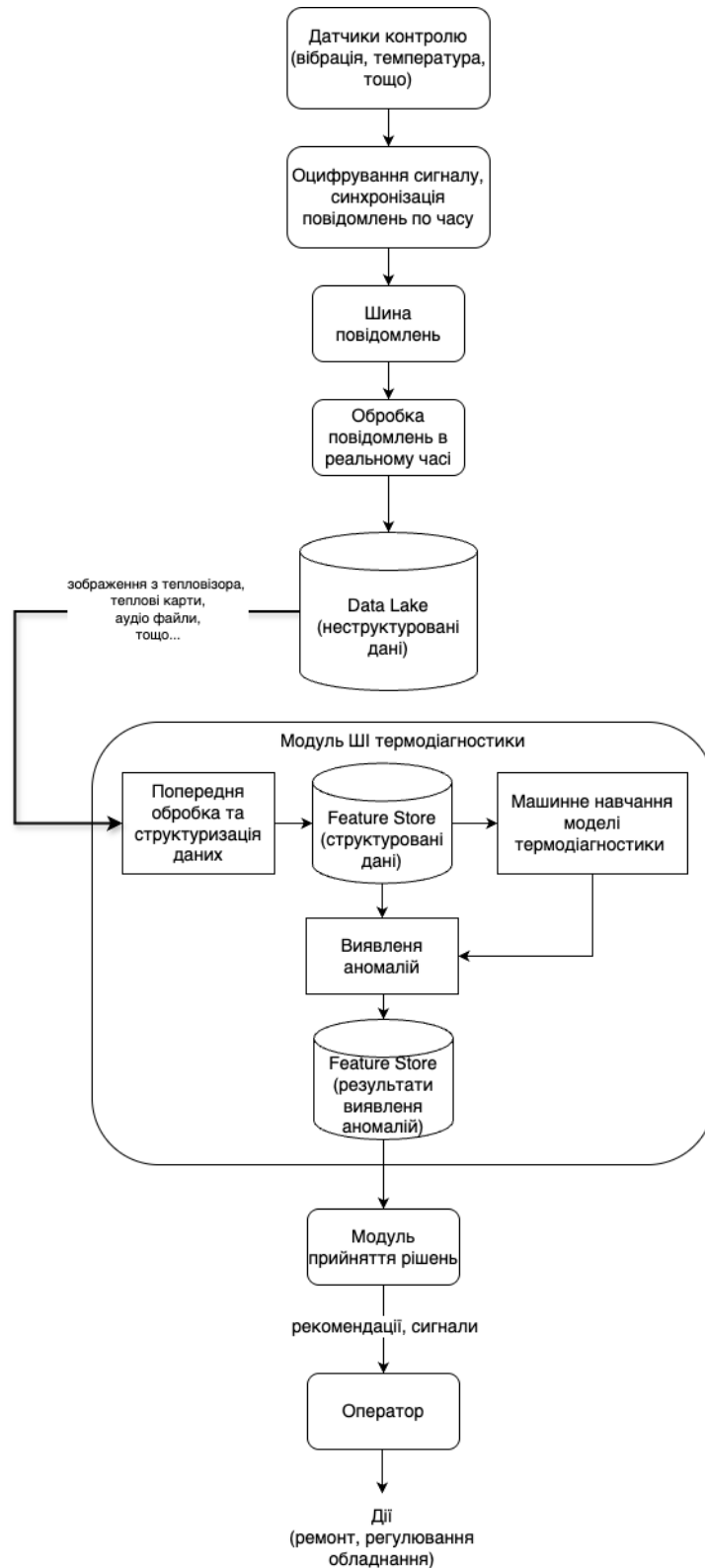


Рисунок 1 – Алгоритм передачі даних оператору щодо стану ТГ на блоці станції в разі відхилення параметрів, що визначені ШІ системою (на схемі зображено узагальнена реалізація модулю ШІ з термодіагностики)

Наприклад, ШІ-модуль термодіагностики отримує на вхід неструктуровані дані від датчиків (наприклад, теплові зображення), обробляє їх і перетворює у структурований формат. Ці структуровані дані – зазвичай у вигляді таблиць з ознаками (фічами) – використовуються модулем машинного навчання для побудови та вдосконалення моделі аналізу. Модель автоматично адаптується в міру накопичення нових даних.

Паралельно працює модуль виявлення аномалій, який у реальному часі аналізує нові структуровані дані, отримані від датчиків, і використовує навчану модель для класифікації станів. Якщо виявлено відхилення від норми, модуль фіксує аномалію та її ймовірну причину.

За підсумками аналізу ШІ-модулі формують висновки – рекомендації або попередження – і передають їх до модуля прийняття рішень. Залежно від типу та критичності ситуації, система або автоматично інформує оператора, або надає йому рекомендації щодо необхідних дій.

У реальній системі, крім модуля термодіагностики, можуть також працювати модулі вібраційної, електромагнітної, акустичної діагностики та інші. Загальний підхід, описаний вище, застосовується до всіх таких модулів. Відмінності полягають у форматі вхідних даних, виборі моделей машинного навчання та алгоритмах виявлення аномалій, які адаптуються до специфіки кожного типу діагностики.

Висновки.

1. Українська теплова енергетика перебуває в кризовому стані через війну та окупацію, через масовані атаки саме на ТЕС, ТЕЦ та їх інфраструктуру; через дефіцит пального (вугілля, газ) та відсутність запчастин для ЕО станцій; через значний фізичний знос обладнання, який визначався ще до війни; через ліквідацію єдиного національного підприємства по виготовленню турбо- й гідрогенераторів (заводу «Електроважмаш») для всіх типів електростанцій;

2. Війна, відсутність власної національної бази створення ТГ змушує значно активізувати увагу до питань оцінки їх технічного стану, своєчасного попередження виникнення та розвитку прихованих і зовнішніх дефектів, до визначення та

виконання заходів щодо продовження строків їх служби, створення програм реабілітації та відновлення на блоках ТЕС.

3. Для продовження строку служби встановлених на електростанціях ТГ, підтримки їх надійності, ефективності та фізичної цілісності необхідно використовувати можливості системи ІІІ: встановлювати додаткові датчики онлайн-контролю фактичного стану ТГ в реальному часі, що зазвичай обмежувалося «людським фактором» – можливістю людини сприймати і адекватно оцінювати велику кількість потоків інформації від занадто великої кількості контрольних датчиків.

4. Використання ІІІ допоможе підтримувати робочий стан діючих ТГ, особливо при роботі в перехідних режимах, проводити своєчасні ремонти та часткову модернізацію, замінювати окремі вузли і деталі по даним онлайн-контролю їх параметрів в реальному часі, згідно оцінок системами ІІІ.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The Clean Industrial Deal: A joint roadmap for competitiveness and decarbonisation, Brussels, 26.2.2025 COM (2025). 85 final. URL: <https://surl.li/mkddwe>
2. Shevchenko V.V., Minko A.N., Dimov M. Improvement of Turbogenerators as a Technical Basis for Ensuring the Energy Independence of Ukraine // Kharkiv : NTU "KhPI". *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2021. no. 4. Pp. 19–30. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/3a4ee490-d812-41ff-9b6e-46551e45815d>
3. Anderson B., White C. Statistical analysis of turbogenerator failures in European power plants [Text] // *Reliability Engineering & System Safety*, 2022. Vol. 225. P. 108601. URL: <https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108601>.
4. Лазуренко К. О., Шевченко В. В. Оцінка технологічних та експлуатаційних ризиків відмов турбогенераторів на блоках електростанцій / Харків : Державний біотехнологічний університет. Міжнародна НПК з проблем вищої освіти і науки в системі МОН України «Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК», 6 листопада 2024 року. С. 23–24. URL: <https://biotechuniv.edu.ua/wp-content/uploads/2024/11/conf-06-11-24-tezy.pdf>
5. Shevchenko V. V., Shayda V. P., Pototsky D. V. Theoretical and practical directions for the turbogenerators creation, taking into account the electric power industry development// IX International Scientific and Practical Conference “Fundamental and Applied Research in the Modern World”, April 14–16, 2021. BoScience Publisher. Boston. USA : 2021. Pp. 110–118. URL: <https://surl.li/lmpbxq>
6. Shevchenko V. V., Lazurenko K. O. Statistical analysis of obvious and hidden defects of thermal power plants turbogenerators and assessment of damage from their failures // XL International scientific and practical conference «Mechanisms of Development of the Scientific and Technical Potential of Modern Society» (September 25–27, 2024), Salzburg, Austria : International Scientific Unity, 2024. Pp. 213–217. URL: <https://surl.li/avjjpi>

7. Shevchenko V. V., Minko O. M., Stoychev V. T. Proposals for the Multiparametric Design Application in Electrical Mechanical Engineering. / *Problemele Energeticii Regionale*, 2024. No. 4(64). Pp. 135–149. URL: https://journal.ie.asm.md/assets/files/12_04_64_2024.pdf
8. Shevchenko V.V., Shevchenko A.S., Kucherenko S.M., Kucherenko N.S. "Human factor" in emergency situations development at Nuclear Power Plants in the conditions of war // *Inter Collegas*. – 2022. No. 9(2). Pp. 11–19. URL: <https://doi.org/10.35339/ic.9.2.ssk>
9. Коваленко В. М., Петренко О. І. Аналіз причин аварій турбогенераторів на теплових електростанціях України [Електронний ресурс] // *Енергетика та електрифікація*, 2020. № 3. С. 45–52. URL: <https://doi.org/10.12345/eee.2020.3.05> – EN: Kovalenko V. M., Petrenko O. I. Analysis of turbogenerator failures at thermal power plants in Ukraine [Online] // *Energy and Electrification*, 2020. No. 3. P. 45–52.
10. Shevchenko V. V., Minko O. M., Stoychev V. T. Proposals for the Multiparametric Design Application in Electrical Mechanical Engineering. / *Problemele Energeticii Regionale*, 2024. No. 4(64). Pp. 135–149. URL: https://journal.ie.asm.md/assets/files/12_04_64_2024.pdf
11. Ключников О. О., Федоренко Г. М., Виговський О. В. Прогнозування термодфектів в обмотці та осерді статора потужних турбогенераторів блоків АЕС та їхня локалізація за допомогою інтелектуальних методів і засобів // Київ: Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля, 2011. Вип. 17. С. 17–26. URL: https://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/2012_17/c17.pdf
12. Shevchenko V., Minko A., Shilkova L. Proposals for the Modernization of TPP Turbogenerators. // *Advances in electrical and electronic engineering. Power engineering and electrical engineering*, 2023. Vol. 21. No.2. Pp. 67–80. URL: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57202585914>
13. Сидоренко Р. В., Лисенко М. П. Діагностика дефектів обмоток статора турбогенераторів // Харків: НТУ «ХПІ». Електротехніка та електромеханіка, 2019. № 2. С. 30–37. URL: <https://doi.org/10.54321/etem.2019.2.04>. – EN: Sydorenko R. V., Lisenko M. P. Diagnostics of stator winding defects in turbogenerators // *Electrical Engineering and Electromechanics*, 2019. No.2. Pp. 30–37.
14. Aliiev R. D., Shevchenko V. V. Current state and prospects of TPP in the integrated power system of Ukraine. Proceedings of the XXXI International scientific and practical conference "Information technologies: science, technology, technology, education, health" (MicroCAD-2023), NTU "KhPI", Kharkiv, Ukraine, 17–20 May 2023. P. 91. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7970606>.
15. Бойко А. М. Сучасні методи діагностики ізоляції роторів турбогенераторів [Електронний ресурс] // *Науковий вісник НУ "Львівська політехніка". Серія: Енергетика*, 2022. № 5. С. 72–80. URL: <http://ena.lpnu.ua/article/view/78910>. – EN: Boiko A. M. Modern methods for diagnosing rotor insulation in turbogenerators [Online] // *Scientific Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Series: Power Engineering*, 2022. No. 5. P. 72–80.
16. Minko A. N., Shevchenko V. V. Improving Heat Exchange Systems of Turbogenerators for Increase of their Efficiency // *Problemele Energeticii Regionale*, 2019. no. 1 (39), pp. 80–89. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/42034>
17. Anderson B., White C. Statistical analysis of turbogenerator failures in European power plants [Text] // *Reliability Engineering & System Safety*, 2022. Vol. 225. P. 108601. URL: <https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108601>.
18. Ivanov P., Petrov D. Insulation degradation mechanisms in high-voltage turbogenerators [Text] // *Electric Power Systems Research*, 2022. Vol. 212. P. 108456. URL: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108456>.
19. Григорук В. В. Методи попередження аварій турбогенераторів через перегрів підшипників [Електронний ресурс] // *Вісник НТУУ "КПІ". Серія: Енергетика*, 2021. № 4. С. 55–62. URL: <http://visnyk.kpi.ua/article/view/123456>. – EN: Hryhoruk V. V. Methods for preventing turbogenerator failures due to bearing overheating [Online] // *Bulletin of NTUU "KPI". Series: Power Engineering*, 2021. No. 4. Pp. 55–62.

20. Zhang H., Wang Y., Chen X. Thermal stress analysis in turbogenerator rotors under transient conditions [Text] // *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2020. Vol. 118. P. 105789. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.105789>.
21. Pereira L., Santos R. Corrosion-induced failures in turbogenerator cooling systems [Text] // *Energy Reports*, 2020. Vol. 6. P. 234–245. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.012>.
22. Garcia M., Fernandez A. AI-based predictive maintenance for turbogenerators [Text] // *Applied Energy*. – 2019. – Vol. 254. – P. 113678. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113678>.
23. Мельник О. О., Шевченко І. В. Вплив вібрації на ресурс турбогенераторів ТЕС [Текст] // *Промислова електроенергетика та електромеханіка*, 2018. № 1. С. 28–35. URL: <https://doi.org/10.6789/peem.2018.1.03>. – EN: Melnyk O. O., Shevchenko I. V. The impact of vibration on the lifespan of TPP turbogenerators [Text] // *Industrial Power Engineering and Electromechanics*, 2018. No. 1. P. 28–35.
24. Smith J. R., Johnson L. K. Common failure modes in large turbogenerators and their root causes [Text] // *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2021. Vol. 36, No. 2. P. 1120–1130. URL: <https://doi.org/10.1109/TEC.2021.3056789>.
25. Kumar S., Patel R. Vibration-based fault detection in turbine generators using machine learning [Text] // *Engineering Failure Analysis*, 2019. Vol. 104. P. 1063–1075. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.06.012>.
26. Shevchenko V.V., Minko A.N., Strokous A.V. Analysis of electromagnetic vibration forces in the elements of the turbogenerator stator fastening to the case in non-nominal operation modes. // *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2018. No.5. Pp. 29–33. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/799cdedb-42dc-43c2-bd2f-8bbdf7ab223e>
27. Nguyen T., Tran V. Fatigue crack growth in turbine generator shafts [Text] // *Engineering Fracture Mechanics*, 2023. Vol. 276. P. 108945. URL: <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2022.108945>.
28. Shevchenko V. V., Shylkova L. V., Strokous A. V. Determination of the Permissible Range of Turbogenerators Non-Nominal Operating Modes at Thermal Power Plants. Proceedings of the 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2022. USA, Washington, D.C.: Institute of Electrical and Electronics Engineers Xplore, 2023. Pp. 809–813. URL: ISBN Information: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10005663>
29. Lee S., Kim H. Case study: Catastrophic failure of a 300 MW turbogenerator due to rotor imbalance [Text] // *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 2021. Vol. 21. No. 3. P. 987–1001. URL: <https://doi.org/10.1007/s11668-021-01173-z>
30. Амбулаторне моніторування ЕКГ і артеріального тиску. Обрані питання функціональної діагностики в пульмонології та гастроентерології /Навчально-методичний посібник для аудиторної і позааудиторної роботи студентів 6 курсу. Ч. 2. Запоріжжя : ЗДМУ, 2016. 49 с. URL: <https://surl.lu/mttobm>
31. O. Lazurenko, M. Kruhol, V. Vanin, R. Tomashevskiy Group Regulation Efficiency Analysis for Thermal Power Plant Auxiliaries/ 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)/ /p.p.289-293. DOI: 10.1109/ESS.2019.8764242
32. O. Lazurenko, A. Symonov, O. Klevtsov, S. Trubchaninov Computer Security of NPP Instrumentation and Control Systems: Computer Security Justification Documents/ Nuclear and Radiation Safety/No 4(84) (2019) [https://doi.org/10.32918/nrs.2019.4\(84\).09](https://doi.org/10.32918/nrs.2019.4(84).09)

REFERENCES:

1. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The Clean Industrial Deal: A joint roadmap for competitiveness and decarbonisation, Brussels, 26.2.2025 COM (2025). 85 final. URL: <https://surl.li/mkddwe>

2. Shevchenko V.V., Minko A.N., Dimov M. Improvement of Turbogenerators as a Technical Basis for Ensuring the Energy Independence of Ukraine // Kharkiv : NTU "KhPI". *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2021. no. 4. Pp. 19–30. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/3a4ee490-d812-41ff-9b6e-46551e45815d>
3. Anderson B., White C. Statistical analysis of turbogenerator failures in European power plants [Text] // *Reliability Engineering & System Safety*, 2022. Vol. 225. P. 108601. URL: <https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108601>.
5. Shevchenko V. V., Shayda V. P., Pototsky D. V. Theoretical and practical directions for the turbogenerators creation, taking into account the electric power industry development// IX International Scientific and Practical Conference “Fundamental and Applied Research in the Modern World”, April 14–16, 2021. BoScience Publisher. Boston. USA : 2021. Pp. 110–118. URL: <https://surl.li/impbxq>
6. Shevchenko V. V., Lazurenko K. O. Statistical analysis of obvious and hidden defects of thermal power plants turbogenerators and assessment of damage from their failures // XL International scientific and practical conference «Mechanisms of Development of the Scientific and Technical Potential of Modern Society» (September 25–27, 2024), Salzburg, Austria : International Scientific Unity, 2024. Pp. 213–217. URL: <https://surl.li/avjjpi>
7. Shevchenko V. V., Minko O. M., Stoychev V. T. Proposals for the Multiparametric Design Application in Electrical Mechanical Engineering. / *Problemele Energeticii Regionale*, 2024. No. 4(64). Pp. 135–149. URL: https://journal.ie.asm.md/assets/files/12_04_64_2024.pdf
8. Shevchenko V.V., Shevchenko A.S., Kucherenko S.M., Kucherenko N.S. "Human factor" in emergency situations development at Nuclear Power Plants in the conditions of war // *Inter Collegas*. – 2022. No. 9(2). Pp. 11–19. URL: <https://doi.org/10.35339/ic.9.2.ssk>
9. Коваленко В. М., Петренко О. І. Аналіз причин аварій турбогенераторів на теплових електростанціях України [Електронний ресурс] // *Енергетика та електрифікація*, 2020. № 3. С. 45–52. URL: <https://doi.org/10.12345/eee.2020.3.05> – EN: Kovalenko V. M., Petrenko O. I. Analysis of turbogenerator failures at thermal power plants in Ukraine [Online] // *Energy and Electrification*, 2020. No. 3. P. 45–52.
10. Shevchenko V. V., Minko O. M., Stoychev V. T. Proposals for the Multiparametric Design Application in Electrical Mechanical Engineering. / *Problemele Energeticii Regionale*, 2024. No. 4(64). Pp. 135–149. URL: https://journal.ie.asm.md/assets/files/12_04_64_2024.pdf
11. Klyuchnikov O. O., Fedorenko G. M., Vyhovsky O. V. Forecasting thermal defects in the winding and stator core of powerful turbogenerators of NPP units and their localization using intellectual methods and tools // *Kyiv: Problems of safety of nuclear power plants and Chernobyl*, 2011. Issue 17. P. 17–26. URL: https://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/2012_17/c17.pdf
12. Shevchenko V., Minko A., Shilkova L. Proposals for the Modernization of TPP Turbogenerators. // *Advances in electrical and electronic engineering. Power engineering and electrical engineering*, 2023. Vol. 21. No.2. Pp. 67–80. URL: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57202585914>
13. Sydorenko R. V., Lisenko M. P. Diagnostics of stator winding defects in turbogenerators // *Electrical Engineering and Electromechanics*, 2019. No.2. Pp. 30–37.
14. Aliiev R. D., Shevchenko V. V. Current state and prospects of TPP in the integrated power system of Ukraine. Proceedings of the XXXI International scientific and practical conference "Information technologies: science, technology, technology, education, health" (MicroCAD-2023), NTU "KhPI", Kharkiv, Ukraine, 17–20 May 2023. P. 91. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7970606>.
15. Boiko A. M. Modern methods for diagnosing rotor insulation in turbogenerators [Online] // *Scientific Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Series: Power Engineering*, 2022. No. 5. P. 72–80.
16. Minko A. N., Shevchenko V. V. Improving Heat Exchange Systems of Turbogenerators for Increase of their Efficiency // *Problemele Energeticii Regionale*, 2019. no. 1 (39), pp. 80–89. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/42034>

17. Anderson B., White C. Statistical analysis of turbogenerator failures in European power plants [Text] // *Reliability Engineering & System Safety*, 2022. Vol. 225. P. 108601. URL: <https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108601>.
18. Ivanov P., Petrov D. Insulation degradation mechanisms in high-voltage turbogenerators [Text] // *Electric Power Systems Research*, 2022. Vol. 212. P. 108456. URL: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108456>.
19. Hryhoruk V. V. Methods for preventing turbogenerator failures due to bearing overheating [Online] // *Bulletin of NTUU "KPI". Series: Power Engineering*, 2021. No. 4. Pp. 55–62.
20. Zhang H., Wang Y., Chen X. Thermal stress analysis in turbogenerator rotors under transient conditions [Text] // *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2020. Vol. 118. P. 105789. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.105789>.
21. Pereira L., Santos R. Corrosion-induced failures in turbogenerator cooling systems [Text] // *Energy Reports*, 2020. Vol. 6. P. 234–245. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.11.012>.
22. Garcia M., Fernandez A. AI-based predictive maintenance for turbogenerators [Text] // *Applied Energy*, 2019. Vol. 254. P. 113678. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113678>.
23. Melnyk O. O., Shevchenko I. V. The impact of vibration on the lifespan of TPP turbogenerators [Text] // *Industrial Power Engineering and Electromechanics*, 2018. No. 1. P. 28–35.
24. Smith J. R., Johnson L. K. Common failure modes in large turbogenerators and their root causes [Text] // *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2021. Vol. 36, No. 2. P. 1120–1130. URL: <https://doi.org/10.1109/TEC.2021.3056789>.
25. Kumar S., Patel R. Vibration-based fault detection in turbine generators using machine learning [Text] // *Engineering Failure Analysis*, 2019. Vol. 104. P. 1063–1075. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.06.012>.
26. Shevchenko V.V., Minko A.N., Strokous A.V. Analysis of electromagnetic vibration forces in the elements of the turbogenerator stator fastening to the case in non-nominal operation modes. // *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2018. No.5. Pp. 29–33. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/799cdedb-42dc-43c2-bd2f-8bbdf7ab223e>
27. Nguyen T., Tran V. Fatigue crack growth in turbine generator shafts [Text] // *Engineering Fracture Mechanics*, 2023. Vol. 276. P. 108945. URL: <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2022.108945>.
28. Shevchenko V. V., Shylkova L. V., Strokous A. V. Determination of the Permissible Range of Turbogenerators Non-Nominal Operating Modes at Thermal Power Plants. Proceedings of the 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2022. USA, Washington, D.C.: Institute of Electrical and Electronics Engineers Xplore, 2023. Pp. 809–813. URL: ISBN Information: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10005663>
29. Lee S., Kim H. Case study: Catastrophic failure of a 300 MW turbogenerator due to rotor imbalance [Text] // *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 2021. Vol. 21. No. 3. P. 987–1001. URL: <https://doi.org/10.1007/s11668-021-01173-z>
30. Ambulatory ECG and blood pressure monitoring. Selected issues of functional diagnostics in pulmonology and gastroenterology / Educational and methodological manual for classroom and extracurricular work of 6th year students. Part 2. Zaporizhzhia : ZDMU, 2016. 49 p. URL: <https://surl.lu/mttobm>
31. O. Lazurenko, M. Kruhol, V. Vanin, R. Tomashevskiy Group Regulation Efficiency Analysis for Thermal Power Plant Auxiliaries/ 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)/ p.p.289-293. DOI: 10.1109/ESS.2019.8764242
32. O. Lazurenko, A. Symonov, O. Klevtsov, S. Trubchaninov Computer Security of NPP Instrumentation and Control Systems: Computer Security Justification Documents/ Nuclear and Radiation Safety/No 4(84) (2019) [https://doi.org/10.32918/nrs.2019.4\(84\).09](https://doi.org/10.32918/nrs.2019.4(84).09)

Надійшла до редакції 17.05.2025р.