Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І ДІАГНОСТИКИ ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Методичні вказівки до проведення практичних занять
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за спеціальністю
174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Електронний ресурс

Харків – 2025

УДК 681.5(075.5)
С 95

Рецензенти:

О. М. Черняк – кандидат технічних наук, доцент кафедри мехатроніки та електротехніки Національного аерокосмічного університету імені М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний університет»;

В. М. Князєва – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій ННІ «Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

Затверджено до розміщення в мережі Інтернет рішенням Науково-методичної ради Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (протокол № 1 від 23 жовтня 2025 року)

С 95 **Системи** контролю і діагностики обладнання та технологічних процесів електростанцій : методичні вказівки до проведення практичних занять для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» [Електронний ресурс] / уклад. Т. М. Фурсова. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2025. – (PDF 14 с.)

У методичних вказівках до практичних занять з дисципліни «Системи контролю і діагностики обладнання та технологічних процесів електростанцій» розглянуті основні аспекти контролю і діагностики на прикладі обладнання та технологічних процесів енергетичної галузі.

Видання призначене здобувачам вищої освіти ОС «магістр» за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

УДК 681.5(075.5)

© Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2025
© Фурсова Т. М., уклад., 2025

ЗМІСТ

ВСТУП 4

Тема 1 5
РОЗРАХУНОК СУМАРНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ ВІДМОВ ЕНЕРГОБЛОКІВ

Тема №2 8
РОЗРАХУНОК СЕРЕДНЬОГО ЧАСУ БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ ПАРОТУРБІННОГО БЛОКУ ПРИ ЗАДАНИХ ІНТЕНСИВНОСТЯХ ВІДМОВ ТА ВІДНОВЛЕННЯ

Тема №3 9
РОЗРАХУНОК СЕРЕДНЬОГО ЧАСУ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОТИ ПАРОТУРБІННОГО БЛОКУ

Тема №4 9
РОЗРАХУНОК ЙМОВІРНОСТІ БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ ЕНЕРГОБЛОКУ

Тема №5 10
РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТУ ГОТОВНОСТІ ЕНЕРГОБЛОКУ, КОЕФІЦІЄНТУ ОПЕРАТИВНОЇ ГОТОВНОСТІ ТА КОЕФІЦІЄНТУ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ГОТОВНОСТІ

Тема №6 11
ВИЗНАЧЕННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАДНАННЯ

Тема №7 12
СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І ДІАГНОСТИКИ ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ
(презентації доповідей за тематикою дисципліни)

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 13

ВСТУП

У сучасних умовах підвищених вимог до надійності, безпеки та ефективності функціонування енергетичних об’єктів особливого значення набувають системи контролю і діагностики обладнання та технологічних процесів електростанцій. Застосування таких систем дозволяє своєчасно виявляти відхилення в роботі, запобігати аварійним ситуаціям, оптимізувати експлуатаційні витрати та подовжити термін служби обладнання.

Розвиток і впровадження сучасних систем контролю і діагностики є надзвичайно актуальним у контексті досягнення Цілей сталого розвитку ООН, зокрема Цілі 7 «Чиста та доступна енергія», Цілі 9 «Індустріалізація, інновації та інфраструктура» та Цілі 12 «Відповідальне споживання і виробництво». Надійна діагностика та автоматизований контроль сприяють зменшенню шкідливих викидів, підвищенню енергоефективності та забезпеченню стійкого функціонування енергетичних систем в умовах зростання навантажень і змін клімату.

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Системи контролю і діагностики обладнання та технологічних процесів електростанцій» спрямовані на формування у здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «магістр» спеціальності 174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка» фахових знань і практичних навичок з аналізу, розробки та використання систем контролю і діагностики в енергетичній галузі.

Видання охоплює основні підходи до оцінювання стану обладнання та практичні аспекти впровадження автоматизованих діагностичних технологій на об’єктах теплової енергетики.

Тема 1

РОЗРАХУНОК СУМАРНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ ВІДМОВ ЕНЕРГОБЛОКІВ

Мета заняття: розрахувати показники надійності паротурбінного блоку (ТЕС, АЕС, ТЕЦ) – сумарну інтенсивність відмов енергоблоку при заданих інтенсивностях відмов та відновлення.

1.1. Основні поняття теорії надійності

Теорія надійності отримала в останні роки широке застосування. Створений математичний апарат теорії надійності використовується при вирішенні багатьох задач, котрі виникають в практиці при впровадженні та експлуатації енергетичних установок та систем. До числа основних понять теорії надійності входять «система», «елемент», «об’єкт».

Під «системою» розуміють ціле, що включає в себе функційно взаємопов’язані елементи. Система призначається для виконання заданої загальної програми. Елементи – це окремі частини системи, що здатні самостійно виконувати призначені задачі. При цьому кожний елемент може складатися з цілого ряду «піделементів», по відношенню до яких він виступає як система. У відповідності з цим відрізняють різні ієрархічні рівні утворення систем та елементів. Наприклад, паротурбінний енергетичний блок можна вважати системою, яка складається з таких елементів як турбіна, котельний агрегат, з’єднувальні трубопроводи, електричний генератор, трансформатор.

Об’єкт – це пристрій системи або її елементів, що прийнятний для вивчення його властивостей без всяких зв’язків з іншими елементами. Однією з характеристик надійності об’єкта є безвідмовність.

Безвідмовність – це властивість об’єкта зберігати свою роботоздатність протягом визначеного часу. Якщо у визначеному періоді часу ймовірність появи відмовиблизька або дорівнює нулю, то такий об’єкт вважають безвідмовним.

Відновлювальний об’єкт – об’єкт, який можна відновити шляхом проведення його ремонту.

Ремонтопридатність – можливість та доцільність відновлення роботи якого-небудь елемента або об’єкта.

Довговічність відновлювального елемента визначається появою такого зносу та старіння, коли неможливо або недоцільно їх усунення. Такий стан є граничним.

У процесі експлуатації системи або її елементів можуть мати місце випадки, коли частково або повністю втрачаються їх функційні властивості. Така втрата працездатності в теорії надійності називається відмовою. Поняття відмови в теорії надійності можна сформулювати також за зовнішніми ознаками функціонування об’єкта, коли спостерігається вихід за

допустимі межі хоча б одного його параметра, котрий характеризує якість та кількість вироблюваної продукції.

Повна відмова – відмова, що виключає всяке використання об'єкта за призначенням.

Часткова відмова – це відмова, що допускає обмеження використання об'єкта за призначенням.

В залежності від характери зміни параметрів відрізняють:

- поступова відмова (дрейфова) – обумовлена статистичними закономірними змінами параметрів об'єкта;
- раптова відмова – відмова, що викликана статистичними незакономірними змінами параметрів об'єкта;
- небезпечні відмови – відмови, що відносяться до галузі техніки (наприклад, ядерних реакторів), приводять до відключення технічного об'єкта (реактора), характеризують безпеку установки;
- безпечні відмови – відмови, що викликані помилковою роботою вимірювальних ланцюгів і т.п., що приводить до відключення технічного об'єкта, наприклад, реактора. В цьому випадку розуміють готовність установки.

Готовність установки приводить до розуміння таких термінів, як гранична готовність та гранична неготовність.

1.2. Показники надійності роботи паротурбінного блок**у**

До показників надійності роботи паротурбінного блоку відносять:

1. Надійність – ймовірність безвідмовної роботи; характеризує те, що до моменту часу t система стабільно діє

$$p(t) = e^{-\sum_{1}^{n}\lambda_i t};$$

2. Середній час безвідмовної роботи

$$T = \Lambda^{-1} = \sum_{i=1}^{n}\lambda_i;$$

3. Середній час відновлення (якщо елементи системи відновлювальні)

$$T_B = \Lambda^{-1} = \sum_{i=1}^{n}\frac{\lambda_i}{\mu_i},$$

де μ_i – інтенсивність відновлення.

4. Коефіцієнт готовності системи

$$k_{\Gamma} = \left(1 + \sum_{1}^{n} \frac{\lambda_i}{\mu_i}\right)^{-1}.$$

5. Коефіцієнт оперативної готовності

$$k_{\Gamma OT} = k_{\Gamma} \cdot p(t).$$

6. Коефіцієнт нестаціонарної готовності

$$k_{\Gamma OT}(t) = k_{\Gamma OT} + (1 - \sum_{i=1}^{n} \frac{\lambda_i}{\mu_i}) e^{-\left\{\left(\sum_{i=1}^{n} \lambda_i + \frac{1}{T}\right)t\right\}}$$

Сумарна інтенсивність відмов енергоблоку складається:
- інтенсивність відмови котельного агрегату, $\lambda_к$, 10^{-4} год$^{-1}$;
- інтенсивність відмови турбоагрегату з конденсатором, $\lambda_т$, 10^{-4} год$^{-1}$;
- інтенсивність відмови живильного насоса, $\lambda_{жн.}$, 10^{-4} год$^{-1}$

$$\Lambda = \sum \lambda_i = \lambda_к + \lambda_т + \lambda_{жн}, \text{ год}^{-1}$$

Індивідуальні завдання

№ п/п	Кількість котлів в системі, m+n шт	Кількість котлів, що працюють, m шт	Кількість котлів, що відмовили, k шт	Заданий момент часу, t год	Інтенсивність відмови котельного агрегату, $\lambda_к$, 10^{-4}	Інтенсивність відмови турбоагрегату з конденсатором, $\lambda_т$, 10^{-4} год$^{-1}$;	Інтенсивність відмови живильного насоса, $\lambda_{жн.}$, 10^{-4} год$^{-1}$	Інтенсивність відновлення котельного агрегату, $\mu_к$, 10^{-2} год$^{-1}$	Інтенсивність відновлення турбоагрегату з конденсатором, $\mu_т$, 10^{-2} год$^{-1}$;	Інтенсивність відновлення живильного насоса, $\mu_{жн.}$, 10^{-2} год$^{-1}$
1	5	4	0;1	500	4	2,5	0,8	1	1,25	1,9
2	6	5	0;1	600	3	3	0,9	1,1	1,3	2
3	6	5	0;1	700	5	2,5	1	1,2	1,35	2,1
4	7	6	0;1	800	4	3	0,9	1	1,3	1,9
5	3	2	0;1	900	3	2,5	0,8	1,1	1,25	2
6	4	3	0;1	1000	5	3,5	0,9	1,2	1,3	2,1
7	5	4	0;1	900	4	3	1	1	1,35	2
8	6	5	0;1	800	4	2,5	0,9	1,1	1,3	1,9

9	6	5	0;1	700	5	3	0,8	1,2	1,25	2
10	7	6	0;1	600	4	3,5	0,9	1	1,35	2,1
11	3	2	0;1	500	3	2,5	1	1,1	1,3	2
12	4	3	0;1	600	5	3	0,9	1,2	1,25	1,9
13	5	4	0;1	700	4	3,5	0,8	1	1,35	2
14	6	5	0;1	800	5	3	0,9	1,1	1,3	1,9
15	6	5	0;1	900	5	2,5	1	1,2	1,25	2
16	7	6	0;1	1000	5	3	0,9	1,1	1,3	2,1
17	4	3	0;1	900	5	3,5	0,8	1	1,25	2
18	5	4	0;1	800	5	3	0,9	1,1	1,3	1,9
19	6	5	0;1	700	5	2,5	1	1,2	1,35	2
20	6	5	0;1	600	5	3	0,9	1,1	1,3	2,1
21	7	6	0;1	500	4	3,5	0,8	1	1,25	2
22	6	5	0;1	600	5	3	0,9	1,1	1,3	1,9
23	5	4	0;1	700	5	2,5	1	1,2	1,35	2
24	4	3	0;1	800	5	3	0,9	1,1	1,3	2,1
25	3	2	0;1	900	5	3,5	0,8	1	1,25	2,2

Тема №2
РОЗРАХУНОК СЕРЕДНЬОГО ЧАСУ БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ ПАРОТУРБІННОГО БЛОКУ ПРИ ЗАДАНИХ ІНТЕНСИВНОСТЯХ ВІДМОВ ТА ВІДНОВЛЕННЯ

Мета роботи: розрахувати показники надійності паротурбінного блоку (ТЕС, АЕС, ТЕЦ) – середній час безвідмовної роботи паротурбінного блоку при заданих інтенсивностях відмов та відновлення.

Приймаємо або розраховуємо попередньо середній час безвідмовної роботи паротурбінного блоку при заданих інтенсивностях відмов:

- котельного агрегату, $\lambda_к = 4 \cdot 10^{-4}$ год$^{-1}$;
- турбоагрегату з конденсатором, $\lambda_т = 3{,}5 \cdot 10^{-4}$ год$^{-1}$;
- живильного насоса, $\lambda_{жн.} = 0{,}8 \cdot 10^{-4}$ год$^{-1}$.

Сумарна інтенсивність відмов енергоблоку

$$\Lambda = \sum \lambda_i = \lambda_к + \lambda_т + \lambda_{жн}, \text{ год}^{-1}$$

Середній час безвідмовної роботи

$$\lambda_i^{-1} = \Lambda^{-1}, \text{ год.}$$

Тема №3
РОЗРАХУНОК СЕРЕДНЬОГО ЧАСУ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОТИ ПАРОТУРБІННОГО БЛОКУ

Мета: розрахувати показники надійності паротурбінного блоку (ТЕС, АЕС, ТЕЦ) – середній час відновлення роботи паротурбінного блоку при заданих інтенсивностях відмов та відновлення.

Приймаємо або розраховуємо попередньо:
1) інтенсивності відмов:
- котельного агрегату, $\lambda_к = 4 \cdot 10^{-4}$ год$^{-1}$;
- турбоагрегату з конденсатором, $\lambda_т = 3{,}5 \cdot 10^{-4}$ год$^{-1}$;
- живильного насоса, $\lambda_{жн.} = 0{,}8 \cdot 10^{-4}$ год$^{-1}$.
2) інтенсивності відновлення:
- котельного агрегату, $\mu_к = 1{,}010 \cdot 10^{-2}$ год$^{-1}$;
- турбоагрегату з конденсатором, $\mu_т = 1{,}25 \cdot 10^{-2}$ год$^{-1}$;
- живильного насоса, $\mu_{жн.} = 2 \cdot 10^{-2}$ год$^{-1}$.

Середній час відновлення паротурбінного блоку

$$T_в = \Lambda^{-1} \cdot \left(\left(\lambda_к / \mu_к \right) + \left(\lambda_т / \mu_т \right) + \left(\lambda_{жсн} / \mu_{жсн} \right) \right),$$

де сумарна інтенсивність відмов енергоблоку

$$\Lambda = \sum \lambda_i = \lambda_к + \lambda_т + \lambda_{жсн}, \text{ год}^{-1}$$

Тема №4
РОЗРАХУНОК ЙМОВІРНОСТІ БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ ЕНЕРГОБЛОКУ

Мета роботи: розрахувати показники надійності паротурбінного блоку (ТЕС, АЕС, ТЕЦ) – ймовірність безвідиовної роботи паротурбінного блоку при заданих інтенсивностях відмов та відновлення.

Ймовірність безвідмовної роботи характеризує те, що до моменту часу *t* система стабільно діє

$$p(t) = e^{-\sum_{1}^{n}\lambda_i t},$$

де сумарна інтенсивність відмов енергоблоку

$$\Lambda = \sum \lambda_i = \lambda_к + \lambda_m + \lambda_{жн}, \text{ год}^{-1}$$

у заданий момент часу *t*.

Тема №5
РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТУ ГОТОВНОСТІ ЕНЕРГОБЛОКУ, КОЕФІЦІЄНТУ ОПЕРАТИВНОЇ ГОТОВНОСТІ ТА КОЕФІЦІЄНТУ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ГОТОВНОСТІ

Мета заняття: навчитись розраховувати коефіцієнт готовності, коефіцієнт оперативної готовності та коефіцієнт нестаціонарної готовності енергоблоку при заданих інтенсивностях відмов та відновлення.

Коефіцієнт готовності системи

$$k_Г = \left(1 + \sum_{1}^{n}\frac{\lambda_i}{\mu_i}\right)^{-1}.$$

Коефіцієнт оперативної готовності

$$k_{ГОТ} = k_Г \cdot p(t).$$

Коефіцієнт нестаціонарної готовності

$$k_{ГОТ}(t) = k_{ГОТ} + (1 - \sum_{i=1}^{n}\frac{\lambda_i}{\mu_i})e^{-\left\{\left(\sum_{i=1}^{n}\lambda_i + \frac{1}{T}\right)t\right\}}$$

З попередніх розрахунків, коефіцієнт готовності блоку

$k_г = 0{,}9191 \cdot [1 + 10^{-2} + 2{,}8 \cdot 10^{-2} + 2{,}0\ 10^{-2}] = 0{,}9191.$

Коефіцієнт оперативної готовності

$$k_{ог} = 0{,}9191 \cdot p(t)$$

Тема №6
ВИЗНАЧЕННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАДНАННЯ

Мета заняття: визначити вібраційні характеристики на прикладі теплоенергетичного обладнання.

Кейс 1. Визначити, яка частина динамічних сил від вібрації частотою f = 100 Гц, що створюється електродвигуном, буде ізольована прокладкою з гуми середньої твердості завтовшки 5 см.

Розразунок.

1. Статична осадка амортизаторів

$$h = 0{,}015 \cdot 5 = 0{,}075 \text{ см.}$$

2. Число обертів електродвигуна

$$n = f \cdot 60 = 100 \cdot 60 = 6000 \text{ об/хв.}$$

3. Коефіцієнт віброізоляції

$$\gamma = 9 \cdot 3\% = 27.$$

Таким чином, прокладка з гуми товщиною 5 см приблизно 3% динамічних сил від вібрації частотою 100 Гц буде передано на основу, а 97% - ізлльовано.

Кейс 2. Визначити вплив віброізоляції на вібраційний стан вентиляційної установки.

Розрахунок

1. Ефективність віброізоляції визначається формулою

$$L = 20 \cdot \lg, \text{ Дб}$$

2. Різниця

$$L2 - L1 = 20\lg - \lg 2 = 6.$$

Таким чином, віброізоляція на основній частоті обертання вентиляційної установки покращиться на 6дБ.

Тема №7

СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І ДІАГНОСТИКИ ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

(презентації доповідей за тематикою дисципліни)

Мета заняття: комплексно розглянути системи контролю і діагностики обладнання та технологічних процесів електростанцій шляхом аналізу доповідей за тематикою дисципліни.

Теми доповідей

1. Аналіз стану та проблеми світової енергетики.
2. Інтелектуальні мережі як інноваційна платформа розвитку енергетичних систем.
3. Нова концепція розвитку енергетики.
4. Функційні особливості Smart Grid.
5. Порівняльна характеристика функціональних властивостей сьогоднішньої енергетичної системи та енергетичної системи на базі концепції.
6. Вимірювання вібрацій.
7. Структура технічної діагностики
8. Сучасна система контролю технічного стану обладнання. Неруйнівні методи контролю
9. Вимірювання акустичних коливань
10. Вимірювання постійних та змінних деформацій Вимірювання параметрів процесу
11. Реєстрація стану дотичних середовищ Візуальні спостереження
12. Методи дефектоскопії
13. Основні поняття і визначення технічної діагностики
14. Показники контролепригодности
15. Системи діагнозу технічного стану.
16. Стан енергетичного обладнання теплових енергоблоків.
17. Аналіз стану атомних енергоблоків України.
18. Відмови в роботі котлів.
19. Відмови в роботі турбін.
20. Відмови допоміжного обладнання і систем регулювання.
21. Моніторинг технічного стану об’єктів теплоенергетики.
22. Ресурс работи основного теплоенергетичного устаткування.
23. Загальні вимоги з ультразвукового контролю зварних з’єднань.
24. Основні вимоги до конструкції зварних з'єднань і технології зварювання.
25. Зміна структури і властивостей котельних сталей у процесі виготовлення, монтажу та ремонту

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основні положення теорії надійності. Показники надійності. Розрахунки і аналіз надійності енергетичного обладнання. Режим доступу: https://cdn.snau.edu.ua/moodle/pluginfile.php/159571/mod_resource/content/0/srs/5.htm

2. Єрмолаєв С. О. Експлуатація енергообладнання та засобів автоматизації в системі АПК : підручник / Єрмолаєв С. О., Мунтян В. О., Яковлев В. Ф. - К. : Мета, 2003. - 543 с

Електронне навчальне видання комбінованого використання
Можна використовувати в локальному мережному режимі

Фурсова Тетяна Миколаївна

СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І ДІАГНОСТИКИ ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Методичні вказівки до проведення практичних занять
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за спеціальністю
174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

В авторській редакції

Підписано до розміщення 23.10.2025. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 0,4. Обсяг 0,367 Мб. Зам. № 526/25.

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.
Свідоцтво суб’єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.2009
Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна