Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра електротехніки та електроенергетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО МОДУЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АВАРІЙНИХ ОЗНАК У ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ЕНЕРГОБЛОКУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОЇ РОБОТИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 маг. курсу, групи ДЕА-Е23мг-1
спеціальності : 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
_____/ Дмитро КРОХМАЛЬ
(підпис) (ім'я та прізвище)
Керівник _____/ Павло БУДАНОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)
Рецензент _____/_____
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/ Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)
Нормоконтроль_____/ Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім'я та прізвище)
Секретар ЕК _____/_____
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

Навчально – науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма Електричні станції, мережі та системи

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____
(підпис)
к.т.н., доцент Артем ЧЕРНЮК
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)
«___» _____2024 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу дипломну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти

здобувачу вищої освіти Дмитро КРОХМАЛЬ
1. Тема «Розробка автоматизованого модуля виявлення аварійних ознак у технологічних процесах енергоблоку для забезпечення стабільної роботи електростанцій»
затверджена наказом по академії №____від «___»_____ 20___р.

2. Термін здачі закінченої роботи «____»_____20___р.

3. Вихідні дані до роботи/проєкту: Початкові дані про технологічні параметри енергоблока. Математичні моделі для виявлення аварійних ознак. Методи інтеграції.

4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):
ВСТУП; РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИЯВЛЕННЯ АВАРІЙНИХ ОЗНАК У ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ЕНЕРГОБЛОКУ; РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ І ТЕХНОЛОГІЙ МОНІТОРИНГУ ТА ДІАГНОСТИКИ НА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ; РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО МОДУЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АВАРІЙНИХ ОЗНАК.

5.Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):
Слайди презентації

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання«___»_____20___р.

Керівник _____ Павло БУДАНОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання _____Дмитро КРОХМАЛЬ
(підпис) (ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної дипломної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Визначення актуальності теми дослідження	02.10.24 – 05.10.24	
2	Проведення аналізу наукової літератури	06.10.24 – 15.10.24	
3	Виконання першого розділу дипломної роботи	16.10.24 – 29.10.24	
4	Виконання другого та третього розділу дипломної роботи	30.10.24 – 26.11.24	
5	Оформлення пояснювальної записки	27.11.24 – 07.12.24	

Студент (ка) _____ Дмитро КРОХМАЛЬ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Нормоконтроль _____ Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Сторінок тексту – 59 ; рисунків – 2 ; таблиць – 2 ;

літературних джерел – 18 .

Тема магістерської роботи: «Розробка автоматизованого модуля виявлення аварійних ознак у технологічних процесах енергоблоку для забезпечення стабільної роботи електростанцій».

Метою роботи є розробка автоматизованого модуля виявлення аварійних ознак у технологічних процесах енергоблоку, який забезпечить своєчасне виявлення аномальних подій і дозволить оперативно реагувати на потенційні аварії.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити низку науково-практичних **завдань**:

- розробити математичні моделі для виявлення аварійних ознак, побудувати алгоритми для їх виявлення на основі аналізу даних:

- запропонувати методи інтеграції цього модуля в існуючі автоматизовані системи управління енергоблоками.

Об'єктом дослідження є технологічні процеси на енергоблоках електростанцій, зокрема процеси контролю, моніторингу та діагностики стану енергоблоків. Сюди входять параметри, які вимірюються на енергоблоці, такі як температура, тиск, витрати палива, температура, а також інші критичні параметри, що забезпечують безпечну роботу енергетичного обладнання.

Предметом дослідження є система автоматизованого моніторингу технологічних процесів енергоблоку на електростанціях, зокрема, розробка та впровадження автоматизованого модуля для виявлення аварійних ознак у цих процесах. Це включає розробку математичних моделей для виявлення аномальних подій і аварій, а також алгоритмів, які дозволяють своєчасно і точно виявляти відхилення від нормального режиму роботи енергоблоку.

Ключові слова: енергоблок, автоматизований модуль, аварійні ознаки, технологічні процеси енергоблоку електростанції.

ABSTRACT

Pages of text – 59 ; pictures – 2 ; tables – 2 ;

literary sources – 18 .

The topic of the Master's thesis: "Development of an Automated Module for Detecting Emergency Indicators in Power Unit Technological Processes to Ensure Stable Operation of Power Plants."

The aim of the work is to develop an automated module for detecting emergency indicators in power unit technological processes, which will ensure the timely detection of abnormal events and allow for rapid response to potential emergencies.

To achieve this goal, it is necessary to solve a range of scientific and practical tasks:

Develop mathematical models for detecting emergency indicators and build algorithms for their detection based on data analysis;

Propose methods for integrating this module into existing automated control systems of power units.

The object of the study is the technological processes in power units of power plants, specifically the processes of control, monitoring, and diagnostics of the condition of power units. This includes parameters measured at the power unit, such as temperature, pressure, fuel consumption, and other critical parameters that ensure the safe operation of power equipment.

The subject of the study is the automated monitoring system of technological processes in power units at power plants, specifically the development and implementation of an automated module for detecting emergency indicators in these processes. This includes the development of mathematical models for detecting abnormal events and emergencies, as well as algorithms that enable timely and accurate detection of deviations from the normal operating mode of the power unit.

Keywords: power unit, automated module, emergency indicators, technological processes of power unit at power plants.

ЗМІСТ

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність теми дослідження зумовлена невідкладною необхідністю забезпечення стабільної, безпечної та ефективної роботи енергоблоків на сучасних електростанціях. Підвищення вимог до надійності енергетичних систем, необхідність мінімізації аварійних ситуацій та забезпечення безперебійного постачання електричної енергії визначають важливість ефективного моніторингу та виявлення аварійних ознак у технологічних процесах енергоблоку [1-6]. Енергетичний сектор, зокрема теплові та атомні електростанції, працюють у складних і небезпечних умовах, де будь-яке порушення в роботі обладнання може призвести до серйозних наслідків, таких як відключення енергоблока, екологічні катастрофи або навіть загроза життю персоналу [7-12]. Основними причинами аварій на енергоблоках є неправильне функціонування складних технологічних систем, а також недостатня оперативність у виявленні аномальних ситуацій. Виявлення відхилень від нормальних параметрів роботи на ранніх стадіях є ключем до запобігання серйозним поломкам і забезпечення безпеки. Для ефективного виявлення аварійних ознак необхідно застосовувати новітні підходи, зокрема автоматизовані системи, здатні виявляти зміни в технологічних процесах в реальному часі. Інтеграція сучасних інформаційних технологій, таких як аналіз великих даних, інтернет речей, машинне навчання та штучний інтелект, дозволяє значно підвищити точність моніторингу та знизити час на виявлення та реагування на аварії. Однак наявні системи моніторингу часто не здатні автоматично ідентифікувати складні аномалії або взаємозв'язки між різними параметрами, що вимагає подальшої розробки нових підходів до автоматизації цього процесу [13-18].

Метою роботи є розробка автоматизованого модуля виявлення аварійних ознак у технологічних процесах енергоблоку, який забезпечить своєчасне виявлення аномальних подій і дозволить оперативно реагувати на потенційні аварії.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити низку науково-практичних завдань:

- розробити математичні моделі для виявлення аварійних ознак, побудувати алгоритми для їх виявлення на основі аналізу даних:

- запропонувати методи інтеграції цього модуля в існуючі автоматизовані системи управління енергоблоками.

Об'єктом дослідження є технологічні процеси на енергоблоках електростанцій, зокрема процеси контролю, моніторингу та діагностики стану енергоблоків. Сюди входять параметри, які вимірюються на енергоблоці, такі як температура, тиск, витрати палива, температура, а також інші критичні параметри, що забезпечують безпечну роботу енергетичного обладнання.

Предметом дослідження є система автоматизованого моніторингу технологічних процесів енергоблоку на електростанціях, зокрема, розробка та впровадження автоматизованого модуля для виявлення аварійних ознак у цих процесах. Це включає розробку математичних моделей для виявлення аномальних подій і аварій, а також алгоритмів, які дозволяють своєчасно і точно виявляти відхилення від нормального режиму роботи енергоблоку.

Теоретична значимість дослідження полягає в створенні нових наукових підходів до автоматизації виявлення аварійних ознак у технологічних процесах енергоблоків, що включає інтеграцію сучасних технологій, розробку нових моделей діагностики, прогнозування і управління. Ці розробки сприяють підвищенню надійності, безпеки та ефективності енергетичних систем, що має фундаментальне значення для забезпечення стабільної роботи енергетичної інфраструктури в умовах сучасних викликів.

Практична значущість роботи полягає в тому, що розроблений модуль дозволить забезпечити стабільну роботу енергоблоків шляхом зменшення ймовірності аварій, оптимізації технічного обслуговування та зниження ризиків для персоналу. Впровадження автоматизованих систем моніторингу в реальних умовах сприятиме підвищенню ефективності експлуатації електростанцій та скороченню витрат на їх ремонт та обслуговування.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИЯВЛЕННЯ АВАРІЙНИХ ОЗНАК У ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ЕНЕРГОБЛОКУ

1.1 Огляд існуючих методів моніторингу технологічних процесів на електростанціях

Моніторинг технологічних процесів на енергоблоках є основним елементом забезпечення стабільної та безпечної роботи електростанцій. Системи моніторингу дозволяють своєчасно виявляти відхилення від нормальних параметрів роботи обладнання і технологічних процесів, попереджати аварії, знижувати експлуатаційні витрати та підвищувати надійність енергоблоків.

1. Традиційні методи моніторингу. На енергоблоках традиційно використовуються методи моніторингу, засновані на безперервному вимірюванні критичних фізико-хімічних параметрів:

Температура – важливий параметр для моніторингу стану теплообмінних систем і котлів. Наприклад, температура охолоджуючої рідини в системі охолодження турбін може вказувати на погіршення теплообміну, що може призвести до перегріву обладнання.

Тиск – контролюється в котлах, трубопроводах, компресорних і турбінних системах. Наприклад, підвищення тиску в котлі вказує на можливе блокування або погіршення потоку пари, що може призвести до аварії.

Витрати палива та обертів турбін – використовується для оцінки ефективності спалювання палива та роботи генераторів. Порушення оптимальних значень цих параметрів може вказувати на неправильну роботу системи подачі палива або зниження ефективності турбін.

Дані з цих приладів передаються до автоматизованої системи управління (АСУ), яка аналізує їх і, у разі необхідності, видає попередження або автоматично коригує параметри.

2. Сучасні інтелектуальні методи моніторингу. З розвитком інформаційних технологій з’явилися нові можливості для моніторингу та діагностики на електростанціях. Сучасні інтелектуальні системи використовують складні математичні моделі, методи машинного навчання, штучного інтелекту та великі дані (Big Data) для аналізу технологічних процесів в реальному часі.

Моделювання та симуляція процесів. Використання комп’ютерних моделей для симуляції роботи енергоблока дозволяє передбачати можливі відхилення в роботі обладнання. Наприклад, моделювання процесів теплообміну в котлі може допомогти виявити аномальні стани, такі як зниження теплового потоку, навіть до того, як це буде зафіксовано датчиками.

Алгоритми машинного навчання. Інтелектуальні системи можуть використовувати алгоритми машинного навчання для автоматичного виявлення аномальних патернів у даних, що надходять від датчиків. Наприклад, методи класифікації можуть виявляти неочевидні, але важливі зміни в роботі енергоблока, які могли б залишитися непоміченими при традиційному моніторингу.

Великі дані. Системи аналізу великих даних можуть обробляти величезні обсяги інформації, що збирається з численних датчиків і пристроїв, в реальному часі. Це дозволяє не тільки виявляти аварії, а й прогнозувати можливі проблеми ще до того, як вони виникнуть.

1.2 Поняття і класифікація аварійних ознак у технологічних процесах енергоблоку

Аварійні ознаки – це зміни в параметрах технологічних процесів, які можуть свідчити про наближення до аварійної ситуації або вже відбулася аномалія. Вони можуть бути виявлені на будь-якому етапі роботи енергоблоку і вказувати на порушення нормальних режимів експлуатації.

1. Класифікація аварійних ознак. Попереджувальні ознаки: Попереджувальні ознаки є найменш вираженими відхиленнями, які не загрожують безпосередньо безпеці, але можуть свідчити про початкові проблеми. Вони дозволяють оперативно реагувати на можливі ризики.

Наприклад, невелике підвищення температури води в системі охолодження може вказувати на часткове забруднення теплообмінників, що потребує чистки, але без негайної загрози.

Критичні ознаки: Це ознаки, що вказують на наближення до аварійної ситуації. Вони вимагають термінових дій, але ще не є безпосередньо аварійними.

Наприклад, значне падіння напруги або частоти в генераторі може бути ознакою серйозних неполадок в системі подачі палива чи контролі спалювання.

Аварійні ознаки: Аварійні ознаки є найсерйознішими і свідчать про настання аварії або серйозної поломки.

Наприклад, критичний підвищений тиск в котлі або вихід з ладу основного турбінного генератора може призвести до вибуху або зупинки енергоблоку.

2. Типи аварійних ознак. Аварійні ознаки можуть бути класифіковані за кількома критеріями:

Фізичні ознаки: Зміни в температурах, тиску, швидкості обертів, витратах палива та енергії, що можуть вказувати на порушення теплообміну або несправності в турбінних установках.

Приклад: різке падіння температури в системі паропостачання може бути ознакою витоку пари, що може призвести до втрати тиску в котлі і зупинки енергоблоку.

Експлуатаційні ознаки: Зміни в роботі систем електронного контролю, автоматичних регуляторів, збої в алгоритмах управління, що можуть вказувати на проблеми в апаратних або програмних компонентах системи управління.

Приклад: помітна затримка в реакціях автоматичних систем управління може бути ознакою погіршення якості зворотного зв'язку з датчиками, що може призвести до некоректного управління процесами.

Хімічні ознаки: Зміни в складі газів, викидах, концентраціях шкідливих речовин, що можуть вказувати на проблеми в системах очищення газів або спалювання палива.

Приклад: підвищення концентрації окислів азоту (NOx) у вихлопах може свідчити про порушення процесів згоряння, що потребує корекції паливних режимів.

1.3 Теоретичні основи виявлення аномальних подій та аварійних ситуацій

Виявлення аномальних подій та аварійних ситуацій у технологічних процесах енергоблоків базується на математичних моделях і методах обробки даних, які дозволяють аналізувати поточний стан системи та порівнювати його з нормальними параметрами.

1. Моделювання та теорія ймовірностей. Для виявлення аномальних подій застосовуються різноманітні методи моделювання, що включають:

Моделювання нормальних станів: Це побудова математичних моделей, що описують типові режими роботи енергоблока за допомогою рівнянь тепломасообміну, термодинамічних процесів, механіки та електричних параметрів. Наприклад, математичні моделі системи подачі палива використовуються для прогнозування нормальних рівнів температури і тиску в котлі.

Методи теорії ймовірностей: Використовуються для прогнозування ймовірності виникнення аномальних подій на основі аналізу історичних даних. Це дозволяє оцінити ризики виникнення аварії, базуючись на попередньому досвіді роботи системи.

2. Алгоритми виявлення аномалій. Методи статистичного аналізу: Включають побудову гістограм, кореляційний аналіз, методи перевірки гіпотез, що дозволяють виявляти відхилення від нормальних значень параметрів. Це дає змогу відслідковувати тренди і виявляти потенційно небезпечні зміни на ранніх етапах.

Методи машинного навчання: Використовуються для автоматичного виявлення аномалій в даних, таких як методи класифікації (дерева рішень, методи опорних векторів, нейронні мережі), що дозволяють системі навчатися на історичних даних та автоматично ідентифікувати аварійні ознаки без участі людини.

Приклад: нейронна мережа може виявити незвичні патерни в даних, таких як коливання температури в турбіні, що є передвісником виходу з ладу підшипника або системи мастила.

1.4 Перспективи використання автоматизованих систем для моніторингу та виявлення аварійних ознак

Застосування автоматизованих систем для моніторингу та виявлення аварійних ознак є перспективним напрямком для забезпечення безпеки та ефективності роботи енергоблоків.

1. Використання штучного інтелекту (ШІ). Використання алгоритмів штучного інтелекту дозволяє значно підвищити точність виявлення аномалій та прогнозування аварій. ШІ може обробляти великий обсяг даних, виявляти приховані залежності та вносити корективи в роботу систем на основі прогнозів.

Приклад: система на основі ШІ може виявити схожі аномалії у роботі турбін, що відбулися в минулому, і на основі цього прогнозувати ймовірність поломки в поточний момент.

2. Інтеграція з Інтернетом речей (IoT) та аналіз великих даних. Інтеграція IoT-пристроїв дозволяє збирати велику кількість даних в реальному часі з

численних сенсорів і використовувати ці дані для оперативного аналізу. Вони дозволяють виявляти проблеми ще до того, як вони призведуть до аварії.

Приклад: система, що аналізує дані з датчиків температури та тиску на різних етапах роботи котлів, може виявити на ранніх етапах перегрів і застосувати коригуючі заходи для попередження серйозної аварії.

Завдяки впровадженню таких систем стає можливим не тільки своєчасне виявлення аварій, а й запобігання їм, що забезпечує безперебійну та ефективну роботу енергоблоків.

3. Використання технологій великих даних. Застосування великих даних для моніторингу технологічних процесів дозволяє значно поліпшити точність аналізу та прогнозування. Враховуючи великий обсяг даних, які генеруються в реальному часі на електростанціях, традиційні методи не завжди здатні обробити таку кількість інформації за короткий час. Системи на базі великих даних дозволяють не тільки обробляти та зберігати ці дані, але й використовувати їх для побудови аналітичних моделей, що можуть визначати відхилення від нормального режиму роботи з високою точністю.

Завдяки інтеграції даних з різних джерел — сенсорів, приладів вимірювання, а також зовнішніх систем (погодні умови, інтернет-рішення для прогностичного аналізу) — можна створити потужні аналітичні системи. Наприклад, аналіз великих даних дозволяє виявляти приховані закономірності між різними параметрами: температурою, вологістю, споживанням енергії тощо. Це дає змогу розробити моделі для передбачення та запобігання аварійним ситуаціям, ще до того, як вони можуть стати критичними для роботи станції.

Приклад: На основі даних з температурних датчиків, датчиків тиску та витрат палива можна побудувати прогностичну модель, яка б враховувала взаємозв'язки між цими параметрами та прогнозувала ймовірність виникнення перегріву або виходу з ладу певних вузлів енергоблоку, таких як котел або турбінна установка. Така модель дозволяє не тільки своєчасно виявляти поточні проблеми, а й прогнозувати можливі відхилення в роботі обладнання,

що дозволяє забезпечити більшу гнучкість у плануванні технічного обслуговування.

4. Інтеграція з технологіями доповненої реальності (AR) та віртуальних помічників. дна з найбільш перспективних технологій, що активно розвивається на сучасних електростанціях, — це доповнена реальність (AR) і віртуальні помічники, які можуть допомогти операторам і технічному персоналу у реальному часі відслідковувати стан енергоблоків та отримувати візуальні підказки щодо необхідних дій при виявленні аварійних ознак.

Зокрема, доповнена реальність дозволяє візуалізувати на екрані планшета чи окулярів реального часу стан обладнання, спрощуючи процес прийняття рішень. Наприклад, оператор може через AR-окуляри побачити, де саме в процесі зниження ефективності енергоблоку є аномальні параметри, які потребують уваги, а також одержати інструкції для усунення дефектів. Це знижує час на реакцію та допомагає точно і швидко виявити технічні несправності.

Приклад: У разі виявлення підвищеного тиску в системі котла система доповненої реальності може показати оператору точні місця на панелі управління, де виникла проблема, а також запропонувати покрокові інструкції для усунення несправності, використовуючи візуалізацію на основі поточних даних.

5. Підвищення безпеки та операційної ефективності за допомогою автоматизованих систем. Основною метою автоматизованих систем моніторингу є підвищення безпеки та ефективності роботи енергоблоків. Це досягається завдяки швидкому виявленню та реагуванню на аварійні ознаки, а також прогнозуванню майбутніх проблем. Автоматизовані системи не лише фіксують фактичні відхилення параметрів від норми, але й можуть визначати їхню динаміку, прогнозуючи розвиток подій.

За допомогою таких систем можна:

Зменшити час реакції на аварійні ситуації. Коли система моніторингу виявляє відхилення, вона може негайно передати сигнал до диспетчерської

служби або навіть автоматично ініціювати захисні заходи, такі як відключення обладнання чи перенаправлення навантаження.

Поліпшити процеси технічного обслуговування. Використовуючи дані, зібрані системами моніторингу, можна планувати технічне обслуговування та ремонти на основі реального стану обладнання, а не лише за графіком. Це дозволяє знижувати витрати на обслуговування та запобігати непередбачуваним зупинкам енергоблоку.

Приклад: Автоматизована система може виявити зниження ефективності роботи охолоджувальної системи та попередити про необхідність технічного обслуговування ще до того, як проблема призведе до критичних наслідків, таких як перегрів і вихід з ладу турбіни.

6. Стандартизація та інтеграція національних і міжнародних норм безпеки. Для ефективної роботи автоматизованих систем на електростанціях необхідно дотримуватись як національних, так і міжнародних стандартів безпеки та технологічної сумісності. Інтеграція сучасних автоматизованих систем в існуючу інфраструктуру електростанцій потребує врахування таких аспектів, як сумісність з обладнанням, стандарти на обробку і передачу даних, а також стандарти безпеки.

Зокрема, важливими є стандарти IEC 61508 та ISO 26262, які визначають вимоги до безпеки функціональних систем у галузі енергетики. Вони передбачають використання двофакторної аутентифікації, надійні канали комунікації та системи резервування для забезпечення безпеки і відмовостійкості систем.

Сучасні автоматизовані системи також інтегруються з системами управління підприємствами (Enterprise Resource Planning, ERP), що дозволяє зібраним даним бути частиною загальної інформаційної екосистеми підприємства, підвищуючи ефективність управлінських рішень та координацію дій між різними підрозділами станції.

1.5 Сучасні інформаційні та програмні технології для виявлення аномалій на енергоблоках

У сучасних умовах для забезпечення стабільної та безпечної роботи енергоблоків на електростанціях необхідно використовувати високотехнологічні системи моніторингу, діагностики та виявлення аномальних подій. Одним із важливих аспектів таких систем є здатність до виявлення аномалій у технологічних процесах. Застосування сучасних інформаційних і програмних технологій для цієї мети дозволяє значно підвищити ефективність, надійність та безпеку роботи енергоблоків.

1. Інформаційні технології для виявлення аномалій. Інформаційні технології (IT) для виявлення аномалій передбачають використання різноманітних інструментів і підходів для збору, зберігання, обробки та аналізу даних, отриманих з технологічних процесів на енергоблоках. Вони можуть включати:

Системи збору і зберігання даних: Для виявлення аномалій важливо мати точні і своєчасно зібрані дані про різні параметри роботи енергоблока (температура, тиск, потужність, швидкість обертання турбін, витрата пального тощо). Інформація може збиратися за допомогою SCADA-систем (Supervisory Control and Data Acquisition), систем автоматизації та контролю, а також спеціалізованих датчиків, що фіксують ключові показники процесу.

Бази даних та хмарні технології: Велика кількість даних, що збираються, потребує ефективного зберігання та обробки. Хмарні обчислення дозволяють розподіляти обробку даних, знижуючи навантаження на локальні системи. Хмарні платформи можуть використовуватися для аналізу великих обсягів інформації (Big Data) і надання швидких результатів, які забезпечують точність виявлення аномалій на основі аналізу історичних та поточних даних.

Моделювання та симуляція технологічних процесів: За допомогою інформаційних технологій можна створювати моделі технологічних процесів, що дозволяє виявляти відхилення від нормальної роботи енергоблока. Такі

моделі допомагають симулювати різні сценарії аварій і аномалій, що дозволяє розробити оптимальні стратегії реагування.

2. Програмні технології для виявлення аномалій. Програмні технології займають ключову роль у виявленні аномальних подій на енергоблоках. Вони включають різноманітні алгоритми та методи для обробки даних та виявлення відхилень від нормальних параметрів роботи. Сучасні підходи в основному базуються на використанні алгоритмів машинного навчання, штучного інтелекту та статистичних методів. Ось кілька основних напрямків програмних технологій:

Аналіз великих даних: Одним з основних напрямків у виявленні аномалій є використання технологій Big Data для обробки величезних обсягів даних, що генеруються системами моніторингу. Алгоритми машинного навчання дозволяють аналізувати ці дані в реальному часі, визначати патерни та виявляти аномалії, що можуть свідчити про можливі аварії чи збої в роботі обладнання.

Нейронні мережі: Глибоке навчання та нейронні мережі дозволяють ефективно виявляти складні закономірності в технологічних процесах. Завдяки своїй здатності до самонавчання, ці системи можуть адаптуватися до нових умов і підвищувати точність виявлення аномалій із часом.

Методи класифікації та кластеризації: Алгоритми класифікації дозволяють розпізнавати типи аномалій за допомогою визначення різних класів на основі ознак технологічного процесу. Кластеризація допомагає групувати подібні випадки, що дозволяє швидше знаходити потенційно небезпечні ситуації. Наприклад, можна використовувати методи K-середніх або DBSCAN для аналізу даних і пошуку груп аномальних патернів.

Аномалія в часі та простору: Методології, що використовують часові ряди та просторові дані, дозволяють виявляти аномалії, пов'язані з певними часовими інтервалами чи певними частинами електростанції, що можуть бути ознаками потенційних проблем.

Методи статистичного контролю якості: Статистичний контроль якості використовує показники, такі як середнє значення, дисперсія та стандартне відхилення, для моніторингу відхилень від нормальних значень в технологічних параметрах. Якщо значення виходять за межі допустимих норм (обумовлених контрольними картами), це може сигналізувати про аномалію.

Тести гіпотез: Статистичні тести дозволяють перевіряти гіпотези щодо нормальності розподілу даних, на основі яких можна виявити аномальні ситуації. Наприклад, перевірка на нормальність за допомогою тестів Шапіро-Уілка або Колмогорова-Смірнова може допомогти виявити нетипові патерни у процесах.

Метод головних компонент (PCA): PCA є популярним методом для зменшення розмірності та виявлення аномалій в даних з багатьма параметрами. За допомогою PCA можна зменшити кількість змінних, які впливають на процес, і зосередитись на основних компонентах, що допомагають виявляти аномальні значення.

Візуалізація даних є потужним інструментом для виявлення аномалій, оскільки дає можливість наочно побачити відхилення у графіках та діаграмах. Системи візуалізації допомагають операторам і інженерам оперативно виявляти аномалії в даних, що дозволяє швидко реагувати на можливі проблеми.

Інтерактивні панелі): Використання інтерактивних панелей для моніторингу в реальному часі дозволяє не тільки збирати дані з різних джерел, а й наочно відображати аномалії, що з’являються.

Графічні методи: Наприклад, heat maps (теплові карти) або діаграми «ящик з вусами» (box plots) можуть ефективно показувати аномальні відхилення в даних.

Сучасні системи виявлення аномалій повинні бути інтегровані з існуючими автоматизованими системами управління, такими як SCADA-системи або системи диспетчеризації. Це дозволяє забезпечити зворотний

зв'язок між виявленими аномаліями і прийняттям оперативних рішень для запобігання аварійним ситуаціям.

3. Прогнози та перспективи розвитку. У найближчому майбутньому виявлення аномалій на енергоблоках буде значно покращене завдяки розвитку технологій штучного інтелекту, машинного навчання та великих даних. Очікується, що: Автоматизація та адаптивні алгоритми дозволять системам не лише виявляти аномалії, але й прогнозувати їх на основі попереднього досвіду.

Інтелектуальні сенсори стануть більш точними та чутливими, що дозволить системам отримувати ще більш точні дані для аналізу.

Інтеграція з Інтернетом Речей (IoT) і розвиток 5G та інших комунікаційних технологій зроблять можливим виявлення аномалій на базі даних з мільйонів сенсорів в реальному часі з максимальною точністю.

Таким чином, сучасні програмні та інформаційні технології для виявлення аномалій є основою для підвищення надійності, безпеки і економічної ефективності роботи енергоблоків на електростанціях.

Сучасні системи моніторингу та виявлення аномалій на енергоблоках стають значно більш ефективними завдяки розвитку Інтернету Речей (IoT) та технологій 5G. Ці технології дозволяють значно розширити можливості збору даних, обробки та передачі інформації в реальному часі, що є критично важливим для своєчасного виявлення аварійних ситуацій та аномалій.

Інтернет Речей дозволяє підключати величезну кількість різноманітних датчиків, сенсорів та пристроїв до єдиної мережі, забезпечуючи безперервний моніторинг і збір даних з різних точок енергоблока. Кожен сенсор може вимірювати певний параметр (температура, тиск, вібрації, рівень пального, швидкість обертання турбін тощо), що дає змогу створювати точні й актуальні моделі роботи енергоблока.

Основні переваги використання IoT для виявлення аномалій:

Великий обсяг даних: Мережа сенсорів дозволяє збирати величезну кількість параметрів у реальному часі. Прогнозування аварій: Моделі машинного навчання можуть бути інтегровані з IoT-системами для

прогнозування аномалій на основі зібраних даних. Своєчасне реагування: Всі сенсори, підключені до єдиної мережі, дозволяють передавати дані до центральної системи моніторингу, що дозволяє швидко виявляти і реагувати на потенційні аномалії.

Широке покриття: Можливість підключення великої кількості пристроїв на великій площі, що робить можливим моніторинг кожного аспекту роботи енергоблока.

Зменшення втрат даних: Висока надійність 5G забезпечує безперервний потік даних без втрат, що дозволяє точніше оцінювати роботу енергоблока і вчасно виявляти аномалії.

У сучасних системах моніторингу для виявлення аномалій використовуються складні алгоритми, які дозволяють не тільки виявляти відхилення від нормальних параметрів, а й робити це в реальному часі. Це забезпечує високу ефективність системи та дозволяє оперативно реагувати на потенційні загрози.

Алгоритми на основі аналізу часових рядів: Один із найбільш поширених підходів до виявлення аномалій у реальному часі — це використання алгоритмів для аналізу часових рядів даних. Наприклад, для моніторингу параметрів роботи енергоблока можуть використовуватися методи автокореляції або аналіз спектрів частот, що дозволяють виявити відхилення в патернах зміни параметрів протягом часу.

Методи на основі статистичних порогів: Статистичні методи включають встановлення порогових значень для різних параметрів, при перевищенні яких система спрацьовує і повідомляє про аномалію. Це можуть бути прості методи на основі стандартного відхилення, а також більш складні методи з використанням квантильних функцій або багатовимірних порогів для комплексного оцінювання.

Сучасні системи також часто використовують гібридні моделі, які поєднують статистичні методи та машинне навчання для більш точної оцінки ситуації. Наприклад, можна комбінувати моделі для оцінки трендів з

нейронними мережами, що дозволяє не лише виявляти відхилення, а й прогнозувати їх розвиток у майбутньому.

Гібридні моделі на основі SVM та нейронних мереж: Support Vector Machines (SVM) можуть використовуватися для класифікації нормальних і аномальних ситуацій, а нейронні мережі дозволяють уточнювати ці прогнози на основі історичних даних.

Проблеми та виклики у впровадженні систем виявлення аномалій. Попри всі переваги сучасних інформаційних і програмних технологій, існує ряд проблем і викликів, з якими стикаються електростанції при впровадженні таких систем:

Висока вартість впровадження: Встановлення великої кількості датчиків та сенсорів, інтеграція нових технологій з існуючими системами часто потребує значних фінансових витрат.

Необхідність у висококваліфікованих фахівцях: Для налаштування та обслуговування таких складних систем потрібні фахівці з високими технічними знаннями в галузі IT, машинного навчання та автоматизації.

Сумісність з існуючими системами: Інтеграція нових систем виявлення аномалій з уже наявними моніторинговими та автоматизованими системами електростанцій може бути складною та вимагати адаптації.

Безпека даних: Зі збільшенням кількості пристроїв, підключених до мережі, та обробки великих обсягів інформації виникають нові загрози для безпеки даних і захисту конфіденційності.

Перспективи розвитку технологій виявлення аномалій. У майбутньому очікується значний розвиток технологій виявлення аномалій у сфері енергетики. Це включає:

Розвиток квантових обчислень, які можуть забезпечити ще швидшу та точнішу обробку даних.

Інтелектуальні системи на базі штучного інтелекту (AI), які будуть не тільки виявляти аномалії, але й прогнозувати та автоматично коригувати параметри процесу.

Подальша інтеграція з технологіями блокчейн, що дозволить забезпечити прозорість і безпеку обміну даними між різними системами моніторингу.

Загалом, розвиток інформаційних і програмних технологій для виявлення аномалій на енергоблоках відкриває нові можливості для підвищення ефективності, надійності та безпеки енергетичних об'єктів, дозволяючи своєчасно виявляти загрози і запобігати аваріям.

Інтеграція новітніх технологій для комплексної безпеки енергоблоків. Незважаючи на значний прогрес у впровадженні інформаційних і програмних технологій для виявлення аномалій, проблема комплексної безпеки на енергоблоках залишається актуальною. Для досягнення високої ефективності виявлення аварійних ознак необхідно інтегрувати різні технології в єдину систему, що дозволяє ефективно реагувати на всі типи загроз.

Інтеграція з системами прогнозування та попередження аварій. Одним з важливих напрямків для майбутнього розвитку є інтеграція систем виявлення аномалій з прогнозуючими системами та системами попередження аварій. Використання алгоритмів глибокого навчання, які базуються на великій кількості історичних даних, дозволяє не лише виявляти існуючі аномалії, а й прогнозувати їх появу в майбутньому. Це дає змогу здійснювати превентивне обслуговування, визначати й усувати потенційні загрози ще до того, як вони переростуть в серйозні проблеми.

Моделі прогнозування аварій можуть базуватися на таких принципах:

Моделювання за допомогою штучних нейронних мереж: використання нейронних мереж для створення моделей, які прогнозують аварійні ситуації на основі великої кількості вхідних даних (температура, тиск, навантаження, вібрація, тощо).

Аналіз великих даних (Big Data): зібрані дані можуть бути використані для створення точних прогнозів, аналізуючи поведінку енергоблока за тривалий період часу.

Інтеграція систем виявлення аномалій з автоматизованими системами управління дозволяє створювати високошвидкісні механізми реагування в реальному часі. Це включає не тільки виявлення аномалії, а й автоматичне коригування параметрів роботи енергоблока, таких як:

Автоматичне коригування швидкості обертання турбін.

Управління подачею пального.

Регулювання роботи систем охолодження та інших критичних систем.

Автоматичне реагування на аномалії не тільки зменшує ймовірність аварій, але й підвищує ефективність роботи енергоблока, знижуючи потребу в людському втручанні та помилках, що можуть виникнути внаслідок недосвідченості або людського фактора.

Оскільки енергоблоки стають дедалі більш інтегрованими в цифрові та IoT-мережі, проблема безпеки даних та кіберзахисту виходить на передній план. Нападники можуть використати виявлені аномалії для маніпулювання даними або навіть для серйозних кібератак на критичні енергетичні інфраструктури.

Для забезпечення безпеки та захисту інформації від кібератак, в системах виявлення аномалій можуть бути реалізовані:

Шифрування даних для запобігання несанкціонованому доступу до важливих параметрів роботи енергоблока.

Мультирівневі системи аутентифікації та контролю доступу для обмеження прав на доступ до конфіденційних даних.

Моніторинг і виявлення аномалій в мережах для своєчасного виявлення кіберзагроз.

Таким чином, захист від кіберзагроз в рамках систем виявлення аномалій є не менш важливим завданням, оскільки помилки або збої в системах безпеки можуть призвести до серйозних наслідків, включаючи навіть пошкодження обладнання чи зупинку енергоблока.

Технології на основі блокчейн для підвищення прозорості та довіри. Система виявлення аномалій може бути вдосконалена за рахунок

впровадження блокчейн-технологій, що дає змогу підвищити прозорість процесів і забезпечити невід'ємність і незмінність даних. Завдяки блокчейну кожен етап обробки даних буде чітко зафіксований і неможливо змінити чи маніпулювати ним.

Переваги блокчейн-технологій у контексті моніторингу енергоблоків:

Прозорість та аудит: Записи про всі події та зміни параметрів енергоблока будуть доступні для аудиту, що дозволить легше відслідковувати потенційні аномалії та їх причинно-наслідкові зв'язки.

Захист від маніпуляцій: Даний підхід гарантує, що дані про роботу енергоблока не можуть бути змінені або сфальсифіковані після того, як вони потрапили в систему, що знижує ризик кібератак або внутрішніх маніпуляцій.

Застосування блокчейн-технології в системах виявлення аномалій може значно збільшити рівень довіри до системи та забезпечити її стійкість до зовнішніх і внутрішніх загроз. Виклики та перспективи розвитку виявлення аномалій у реальному часі. Попри безперечний прогрес у використанні сучасних інформаційних і програмних технологій для виявлення аномалій, є кілька викликів, які потребують додаткових досліджень і вдосконалень. Серед них можна виділити: Необхідність адаптації алгоритмів до нових умов: Для ефективного виявлення аномалій необхідно постійно вдосконалювати алгоритми з урахуванням змін в енергетичній інфраструктурі та нових технологічних умов. Проблема фальшивих спрацьовувань: Важливим аспектом є мінімізація кількості хибних тривог — коли система виявляє аномалії, які не є реальною загрозою. Це може призвести до зниження ефективності системи та створити зайве навантаження на персонал.

Прогнозування в умовах невизначеності: На сьогоднішній день багато моделей, що використовуються для прогнозування аномалій, не враховують усіх можливих сценаріїв, пов'язаних з непередбачуваними змінами у роботі енергоблока. Розробка нових методів, які зможуть адаптуватися до таких умов, стане важливою частиною майбутніх досліджень.

Висновки до розділу 1:

У першому розділі магістреської роботи було проведено аналіз розвитку технологій моніторингу та автоматизованих систем виявлення аварійних ознак на електростанціях є важливим етапом в забезпеченні безпеки та ефективності експлуатації енергоблоків. Сучасні методи, такі як використання інтелектуальних систем на базі штучного інтелекту, аналіз великих даних, інтернету речей (IoT) та технологій доповненої реальності, дозволяють значно підвищити точність і своєчасність виявлення аномальних подій, що може запобігти серйозним аваріям та знизити ризики для безпеки працівників.

Інтеграція автоматизованих систем у технологічні процеси енергоблоків дозволяє не тільки забезпечити їх стабільну роботу, але й суттєво покращити процеси технічного обслуговування, знизити витрати на ремонтні роботи та забезпечити безперервне виробництво енергії.

Перспективи розвитку:Розвиток алгоритмів глибокого навчання та адаптивних систем дозволить знижувати ймовірність фальшивих тривог та покращити точність виявлення реальних аномалій.

Автоматизовані рішення на основі ШІ можуть зменшити час реагування на аномалії та покращити загальну ефективність роботи енергоблоків.

Інтеграція з іншими технологіями, такими як Augmented Reality (AR), для візуалізації аномалій і підтримки прийняття рішень в реальному часі.

Сучасні інформаційні та програмні технології для виявлення аномалій мають величезний потенціал для підвищення безпеки та ефективності енергоблоків. Впровадження таких систем дозволяє значно знизити ймовірність аварій і забезпечити оперативне реагування на будь-які відхилення в технологічних процесах.

Прогнозування майбутніх аномалій, автоматичне реагування на них і захист від кіберзагроз є ключовими аспектами розвитку систем виявлення аномалій в енергетичній галузі.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ І ТЕХНОЛОГІЙ МОНІТОРИНГУ ТА ДІАГНОСТИКИ НА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

2.1. Огляд існуючих систем моніторингу та діагностики на енергоблоках

Системи моніторингу та діагностики на енергоблоках є важливою складовою частиною сучасного енергетичного менеджменту, оскільки вони сприяють підвищенню надійності і безпеки енергоблоків, забезпечують оптимальну експлуатацію та дозволяють мінімізувати технічні ризики, пов'язані з відмовами обладнання. Сучасні системи моніторингу включають широкий спектр датчиків, технологій обробки даних і методів прогнозування, що дозволяє оперативно реагувати на зміну параметрів і вчасно виявляти несправності.

Розглянемо систему збору даних. Дані, що збираються з різних датчиків, є основою для подальшої діагностики та моніторингу. Всі сучасні енергоблоки оснащуються системами DAS, що включають:

Фізичні датчики, що вимірюють температуру, тиск, вологість, рівень шуму, вібрацію, деформації та інші параметри, які є індикаторами роботи обладнання.

Електричні датчики (струму, напруги, потужності), що дозволяють моніторити параметри електричних систем та визначати рівень навантаження на генератори і трансформатори.

Інтерфейси для підключення додаткових пристроїв, таких як камери для візуального контролю, тепловізійні датчики, датчики для вимірювання якості пального та інші.

Процес збору даних передбачає не лише вимірювання параметрів у реальному часі, але й інтеграцію з іншими системами управління і автоматизації, що дозволяє забезпечити єдину платформу для оцінки стану енергоблока.

Розглянемо, систему обробки та аналізу даних. Для того, щоб отримати від даних практичну користь, необхідно застосовувати потужні методи обробки інформації. До таких методів належать:

Статистичні методи: Використовуються для виявлення відхилень від нормальних значень на основі базових статистичних характеристик (середнє значення, стандартне відхилення, коефіцієнти варіації тощо). Такі методи застосовуються для виявлення трендів і аномалій у показниках параметрів.

Фільтрація та згладжування даних: Це важливий етап, оскільки в процесі моніторингу можуть бути присутні шуми, які спотворюють точність даних. Алгоритми фільтрації, наприклад, методи Калмана або фільтри низьких частот, дозволяють «покращити» точність вимірювань.

Алгоритми класифікації та кластеризації: За допомогою цих методів дані можна групувати або класифікувати за типами відхилень від нормального функціонування. Наприклад, класифікація параметрів дозволяє визначити, чи є система в нормальному режимі роботи, чи знаходиться в стані «тривоги» або «аварії».

Системи виявлення аномалій. Виявлення аномалій є одним з важливих аспектів систем моніторингу. Аномалії можуть бути як суттєвими (наприклад, поломка котла або втрата напруги в трансформаторі), так і незначними (наприклад, підвищення температури в котлі або збільшення вібрації в турбіні). Для виявлення таких аномалій застосовуються:

Методи статистичних порогів: Це класичні підходи, що базуються на визначенні порогових значень для кожного параметра. Коли вимірюваний параметр виходить за ці межі, система генерує тривогу.

Методи на основі машинного навчання: Алгоритми машинного навчання (наприклад, методи класифікації на основі підтримки векторних машин, нейронні мережі) дають змогу здійснювати більш точне виявлення аномалій, враховуючи складні взаємозв'язки між різними параметрами та їх залежностями.

Методи прогнозування аномалій: Прогнозування на основі історичних даних і моделях може виявити аномалії, що ще не проявилися, але можуть призвести до серйозних поломок у майбутньому. Цей підхід дозволяє своєчасно вжити заходів до того, як відбудеться аварія.

Розглянемо інтелектуальні системи моніторингу і діагностики. Сучасні системи моніторингу і діагностики все більше орієнтуються на штучний інтелект (ШІ), зокрема на використання методів глибинного навчання та нейронних мереж. Такі системи здатні:

Автоматично навчатися на основі великих масивів даних, що дозволяє їм «адаптуватися» до змінних умов експлуатації.

Прогнозувати неполадки в реальному часі на основі даних із сенсорів та попереднього досвіду.

Автоматично приймати рішення: деякі системи можуть не лише виявляти аномалії, а й визначати оптимальні дії для їх усунення, наприклад, зміну параметрів роботи або відключення аварійного обладнання.

2.2 Аналіз традиційних підходів до виявлення аварійних ознак у технологічних процесах

Традиційні підходи до моніторингу та діагностики у промисловості включають стандартні методи виявлення аномалій, що базуються на простих принципах контролю та обслуговування. Серед таких методів виділяються:

Моніторинг ключових параметрів. У традиційних системах моніторинг зводиться до вимірювання та постійного порівняння основних технологічних параметрів, таких як температура, тиск, вібрація, рівень вологи тощо. Зміни в цих параметрах можуть бути першим сигналом про майбутню несправність. Однак такий підхід має суттєві обмеження. Не здатність реагувати на комплексні проблеми: часто у складних технологічних системах проблема проявляється в сукупності кількох параметрів, що важко виявити за допомогою стандартних порогових значень.

Недостатня чутливість: традиційні методи можуть не виявляти поступові зміни, які не перевищують заданих порогів, але є сигналами для потенційної проблеми.

Метод технічного обслуговування за графіком. Цей підхід ґрунтується на регулярному огляді і перевірці обладнання за визначеним графіком, незалежно від того, чи виявлені якісь несправності. Така стратегія здатна зменшити ризик серйозних поломок, але має низку суттєвих недоліків:

Неадекватне реагування на несподівані поломки: навіть при регулярних перевірках технічний стан обладнання може погіршуватися значно швидше, ніж передбачають графіки.

Неефективність для складних та дорогих об'єктів: для великих і складних енергетичних установок планові перевірки не завжди є оптимальними, оскільки для кожного окремого елемента потрібно мати більш точні, персоналізовані стратегії моніторингу.

Метод візуального огляду. Метод візуального огляду є одним з найстаріших і найпростіших способів виявлення несправностей, який включає перевірку наявності видимих пошкоджень, тріщин, корозії тощо. Хоча цей метод може бути корисним для в

2.3. Інтеграція моніторингових та діагностичних систем в управління енергоблоками

Одним з ключових напрямків сучасного розвитку енергетичних систем є інтеграція моніторингових та діагностичних систем в загальну платформу управління енергоблоками. Це дозволяє не лише здійснювати контроль над роботою окремих елементів енергетичної установки, але й забезпечувати оптимізацію всіх технологічних процесів на рівні енергоблоку і навіть на рівні всього енергокомплексу.

Інтеграція з системами управління та автоматизації. Системи моніторингу та діагностики повинні бути тісно інтегровані з SCADA-

системами, які забезпечують централізоване управління енергоблоками. SCADA-системи дозволяють здійснювати контроль за всіма процесами в реальному часі та приймати оперативні рішення для коригування роботи обладнання. Інтеграція з SCADA дає змогу:

Автоматично коригувати робочі параметри енергоблока у разі виявлення аномалій або прогнозування аварії.

Підвищити ефективність використання пального, оптимізувати навантаження на турбіни і генератори, а також знижувати витрати на обслуговування.

Інтеграція з системами аналізу даних дозволяє проводити глибший аналіз роботи обладнання, виявляти неочевидні патерни та тренди, що можуть свідчити про можливі технічні проблеми.

Моделювання та симуляція технологічних процесів. Для аналізу можливих аварійних ситуацій та прогнозування їх розвитку часто застосовуються методи моделювання та симуляції. Вони дозволяють створювати віртуальні моделі енергоблоків, що відображають усі основні технологічні процеси та взаємозв'язки між різними компонентами системи:

Моделювання дозволяє провести тестування різних сценаріїв аварій, виявити критичні моменти, що можуть призвести до поломок або збоїв у роботі.

За допомогою симуляцій можна оптимізувати алгоритми управління, спростити процедури обслуговування та підвищити надійність енергоблоків.

Прогнозування в контексті моделювання дає змогу оцінити потенційний ризик виникнення аварійних ситуацій на основі даних, отриманих від датчиків, а також створити стратегії реагування на майбутні аномалії.

Інтеграція з системами управління технічним обслуговуванням. Системи управління технічним обслуговуванням, дозволяють інтегрувати процеси моніторингу та діагностики з плануванням технічного обслуговування та ремонту.

Основними перевагами цієї інтеграції є:

Автоматичне планування обслуговування обладнання на основі його фактичного стану, що зменшує кількість планових перевірок та скорочує витрати на обслуговування.

Можливість виконання превентивного технічного обслуговування на основі прогнозів і даних про знос обладнання, що дає змогу зменшити ймовірність несподіваних поломок.

Прогнозування технічного обслуговування на основі аналізу «залишкового ресурсу» компонентів обладнання, що дозволяє виконувати роботи в найоптимальніший момент і запобігати зниженню ефективності роботи енергоблока.

2.4 Підходи до безпеки та надійності систем моніторингу та діагностики критеріїв

Безпека та надійність систем моніторингу та діагностики є одним з найважливіших аспектів для забезпечення безаварійної роботи енергоблоків. З огляду на високий рівень відповідальності та необхідність безперервної роботи, такі системи повинні бути розроблені з урахуванням низки критичних факторів.

Надійність апаратного та програмного забезпечення. Основна вимога до систем моніторингу та діагностики — це їх висока надійність. Оскільки на енергоблоках часто використовуються складні технологічні пристрої, які працюють в умовах високих температур, тиску та вібрацій, важливо забезпечити стійкість і надійність датчиків та контролерів. Це досягається за рахунок:

- використання високоякісних датчиків, які здатні витримувати екстремальні умови експлуатації;

- забезпечення безвідмовної роботи програмного забезпечення, що виключає можливість виникнення помилок у розрахунках або неправильного інтерпретування даних;

- реалізація резервних систем і автоматичних процедур відновлення у разі відмови основної системи.

Безпека даних та кіберзахист. Системи моніторингу та діагностики є частиною більшої інформаційної інфраструктури енергоблока, тому захист даних та забезпечення кібербезпеки є критичними завданнями. У зв'язку з підключенням до глобальних мереж і використанням Інтернету речей (IoT) ризики кібератак на системи моніторингу значно зросли.

Для забезпечення надійного захисту використовуються такі заходи:

- шифрування даних, яке дозволяє захистити інформацію, що передається між датчиками, обчислювальними системами і серверами моніторингу;

- аутентифікація користувачів та контроль доступу до даних і систем управління, що гарантує, що тільки уповноважені користувачі можуть змінювати налаштування системи або отримувати доступ до критичних даних;

- моніторинг кіберзагроз та регулярні оновлення програмного забезпечення для усунення вразливостей у системах;

- безпека оператора та оперативне реагування на аварії

Надійність системи повинна також включати ефективне управління в умовах аварійних ситуацій. Зокрема:

- інтерфейси користувача повинні бути інтуїтивно зрозумілими, щоб оператори могли швидко реагувати на виявлені аномалії та мінімізувати час на прийняття рішень;

- планування і навчання з аварійних ситуацій: регулярні тренування і симуляції для персоналу енергоблока допомагають знижувати ризик помилок у критичних ситуаціях, коли необхідно оперативно усувати несправності.

Розглянемо перспективи розвитку технологій моніторингу та діагностики на енергоблоках. Розвиток технологій Інтернету Речей (IoT) і великих даних. Перспективи розвитку систем моніторингу і діагностики на енергоблоках тісно пов'язані з подальшим розвитком технологій IoT та великих даних. Більше сенсорів, більш точні датчики, які працюють у

реальному часі та здатні збирати величезні обсяги інформації, забезпечать глибший і точніший аналіз стану енергоблоків. Технології великих даних дозволять здійснювати обробку і аналіз масивів даних, які неможливо обробити вручну, що сприятиме підвищенню ефективності прогнозування та діагностики.

Штучний інтелект і самонавчання систем. У майбутньому все більшу роль у системах діагностики будуть відігравати методи штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання. Ідея полягає в тому, щоб системи моніторингу не просто реагували на аномалії, але й самооптимізувалися, вчились на нових даних і прогнозували нові можливі несправності, забезпечуючи більш високий рівень надійності і безпеки.

Автономні діагностичні системи. Розвиток автономних діагностичних систем, здатних працювати без участі людини, є ще одним важливим кроком вперед. Такі системи можуть автоматично проводити діагностику та навіть виконувати незначні ремонтні роботи або оптимізацію роботи енергоблока без необхідності залучення персоналу.

2.5 Моніторинг кіберзагроз та регулярні оновлення програмного забезпечення для усунення вразливостей у системах

Забезпечення кібербезпеки на електростанціях і енергоблоках є критично важливим для підтримки стабільної роботи об’єктів енергетичної інфраструктури. Кіберзагрози можуть мати серйозні наслідки, адже будь-який збій в роботі автоматизованих систем управління або маніпуляції з даними можуть призвести до катастрофічних наслідків: від зупинки виробництва електроенергії до фізичних пошкоджень обладнання або навіть до аварій на рівні критичної інфраструктури.

Моніторинг кіберзагроз: активні та пасивні методи. Моніторинг кіберзагроз включає кілька основних підходів і технологій для виявлення аномалій, шкідливих вторгнень та потенційних атак на інформаційні системи.

Ось кілька методів, які застосовуються для моніторингу кібербезпеки на енергоблоках:

Активний моніторинг: передбачає постійне відстеження активності в мережах і системах, зокрема мережевого трафіку, доступу до систем та вхідних запитів, щоб виявити підозрілі або нетипові дії. Для цього використовуються такі інструменти, як:

IDS/IPS системи (Intrusion Detection System/Intrusion Prevention System) — дозволяють виявляти й блокувати спроби несанкціонованого доступу до систем.

SIEM-системи (Security Information and Event Management) — агрегують і аналізують лог-файли та інші дані для виявлення патернів, які можуть свідчити про кібератаки, включаючи DDoS-атаки, спроби фішингу, або зміни в поведінці системи.

Пасивний моніторинг: більш орієнтований на виявлення потенційних загроз без активного втручання в потік даних. Це включає:

Аналіз трафіку: моніторинг даних, що передаються через мережу (зокрема між датчиками та центральною системою управління) для виявлення аномальних змін у типах запитів або в обсягах даних.

Виявлення вразливостей: сканування існуючих систем на наявність незакритих вразливих місць і слабких місць, через які може статися проникнення.

Регулярні оновлення програмного забезпечення для усунення вразливостей. Захист від кіберзагроз не може бути забезпечений без регулярних оновлень програмного забезпечення, яке використовується для моніторингу та управління енергоблоками. Оновлення програмного забезпечення допомагає усувати вразливості та неполадки, які можуть стати ціллю для атак. Важливі аспекти цієї діяльності:

Патч-менеджмент: регулярні оновлення ПЗ (патчі) для систем моніторингу та управління, а також для всіх операційних систем та мережевого обладнання. Це є одним з основних елементів захисту від

кіберзагроз, оскільки вразливості можуть бути використані зловмисниками для проникнення в систему.

Процеси тестування оновлень: перш ніж впроваджувати оновлення в робочі системи енергоблоків, важливо провести тестування патчів на окремих сегментах, щоб переконатися, що оновлення не викличе неполадок або збоїв у роботі.

Автоматичне оновлення та централізоване управління: впровадження централізованих систем управління для автоматизації процесу оновлення програмного забезпечення. Це забезпечує своєчасне внесення оновлень у всі компоненти інфраструктури без необхідності вручну оновлювати кожен елемент.

Моніторинг відновлення працездатності після оновлень: після впровадження оновлень необхідно моніторити роботу систем, щоб виявити й оперативно вирішити проблеми, які можуть виникнути внаслідок оновлення.

Робота з постачальниками ПЗ. Важливим аспектом є робота з постачальниками програмного забезпечення та обладнання. Зазвичай ці системи обслуговуються не лише внутрішніми технічними спеціалістами, але й постачальниками, які несуть відповідальність за безпеку ПЗ на всіх етапах його життєвого циклу:

Погоджені графіки оновлень, обслуговування та тестування. Врахування рекомендацій від постачальників щодо усунення вразливостей та покращення безпеки. Ризики та завдання, пов’язані з використанням сторонніх компонентів або відкритих програмних рішень.

2. Безпека оператора та оперативне реагування на аварії. Для забезпечення надійної роботи енергоблоків важливим етапом є забезпечення безпеки оператора та оперативне реагування на аварії. Цей аспект пов’язаний не тільки з фізичним захистом співробітників, але й з правильним управлінням даними та комунікаціями під час надзвичайних ситуацій.

Безпека оператора. Оператори енергоблоків мають доступ до критичних систем управління та даних, тому вони є одним з основних ланок у

забезпеченні безпеки всієї системи. Їхня безпека повинна включати як фізичні заходи захисту, так і заходи для збереження конфіденційності та надійності інформації. Навчання та тренування персоналу: операторам повинні регулярно надаватися тренування для правильного реагування на аварії, а також для розпізнавання аномалій і потенційних кіберзагроз. Тренування повинні включати як теоретичні, так і практичні аспекти роботи з аварійними ситуаціями.

Системи аутентифікації та доступу: для забезпечення безпеки оператора важливо впровадити багаторівневі системи аутентифікації та контролю доступу до критичних компонентів системи управління енергоблоками. Системи повинні підтримувати:

Мультіфакторну аутентифікацію (наприклад, поєднання пароля, біометричних даних і смарт-карт). Розподіл прав доступу в залежності від ролі оператора.

Автоматичний моніторинг доступу до важливих систем і об'єктів.

Забезпечення фізичної безпеки: на рівні операторів це включає захист від фізичних загроз, таких як несанкціонований доступ до обладнання або приміщень, а також захист від потенційних терористичних атак.

Оперативне реагування на аварії. У разі виявлення аномалій або виникнення аварії, ефективність оперативного реагування є критично важливою. Це включає не тільки миттєву і правильну реакцію оператора, а й автоматизовані системи, які можуть здійснювати перші кроки по усуненню проблеми.

Автоматичні системи виявлення та реагування: на основі даних, зібраних від датчиків, системи можуть автоматично сповіщати оператора про аномалії або навіть приймати певні рішення щодо коригування параметрів роботи енергоблока. Наприклад, система може автоматично зменшити навантаження на турбіну при виявленні підвищених температур.

Мобільні додатки для операторів: інтеграція мобільних додатків для персоналу дозволяє оперативно отримувати сповіщення про аварії та аномалії,

а також оперативно реагувати на ситуації навіть у випадку, коли оператори не знаходяться на робочому місці.

Аварійні протоколи та комунікація: створення чітких аварійних протоколів для кожного типу загрози та забезпечення швидкої комунікації між операторами, технічним персоналом, керівництвом і зовнішніми екстреними службами (пожежники, медики, рятувальники).

Тренування у реальних умовах: регулярні аварійні тренування і симуляції можливих сценаріїв аварій або катастроф для того, щоб переконатися, що всі учасники процесу знають свої ролі і дії в разі надзвичайної ситуації.

Аналіз аварій та удосконалення процесу реагування. Після кожної аварії або значного відхилення від норми слід проводити детальний аналіз: аналіз причин інциденту; оцінка часу реакції; оцінка ефективності систем виявлення аномалій і механізмів реагування. Цей процес дозволяє виявити слабкі місця в системах безпеки та оперативного реагування і забезпечує їх подальше удосконалення.

Висновки та перспективи розвитку автоматизованих систем виявлення аварійних ознак

З впровадженням новітніх технологій, таких як штучний інтелект, IoT, блокчейн, а також інтеграція з глобальними енергетичними мережами, автоматизовані системи виявлення аварійних ознак здатні значно підвищити ефективність моніторингу, зменшити ймовірність аварій, а також забезпечити швидке реагування на потенційні загрози. У майбутньому, з урахуванням розвитку цих технологій, ці системи стануть більш автономними, інтегрованими та гнучкими, що дозволить енергетичним підприємствам значно покращити безпеку і стабільність роботи енергоблоків, а також знизити економічні та екологічні ризики, пов'язані з аваріями.

Завдяки вищезгаданим критеріям та їх розрахунку (таблиця 2.1), можна оцінити ефективність системи моніторингу і діагностики на енергоблоках,

виявити слабкі місця та вчасно їх усунути для підвищення надійності і безпеки роботи. Дадимо пояснення:

Точність Q – показує загальний рівень правильних прогнозів системи. В нашому випадку, система правильно класифікує 89.6% всіх випадків.

Чутливість S – високий рівень чутливості (94.1%) вказує на те, що система майже всі аварії виявляє, що є дуже важливим для попередження серйозних несправностей.

Специфічність Sp – специфічність (83.3%) означає, що система вірно відрізняє нормальні ситуації від аварій, але є певні хибні позитиви, коли система помилково визначає нормальний режим як аварійний.

Таблиця 2.1

Розрахунок критеріїв

Критерій	Формула	Розрахункове значення
Точність Q	$\frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$	89.6%
Чутливість S	$\frac{TP}{TP+FN}$	94.1%
Специфічність Sp	$\frac{TN}{TN+FP}$	83.3%
Точність позитивних результатів P	$\frac{TP}{TP+FP}$	88.9%
F1-міра $F1$	$2 \cdot \frac{P \cdot S}{P+S}$	91.3%
Час виявлення T_d	-	2 хвилини

TP — кількість істинних позитивних результатів;

TN — кількість істинних негативних результатів;

FP — кількість хибних позитивних результатів;

FN — кількість хибних негативних результатів;

F1-міра - (91.3%) є високою, що вказує на збалансовану ефективність системи у виявленні аварійних ситуацій, враховуючи і чутливість, і точність.

Розглянемо визначення та використання зазначених критеріїв дозволяє науково обґрунтовано оцінювати ефективність систем виявлення аварійних ознак на енергоблоках.

Точність, швидкість, надійність та економічні вигоди, пов'язані з впровадженням таких систем, є основними факторами, які допомагають прийняти рішення щодо доцільності впровадження та оптимізації існуючих автоматизованих модулів для забезпечення безпеки та стабільності роботи електростанцій.

Точність позитивних результатів P – висока точність (88.9%) означає, що більшість випадків, коли система видає сигнал про аварію, насправді є аваріями, але є і деякі хибні спрацьовування.

Час виявлення Td – час виявлення аварії (2 хвилини) свідчить про швидкість реагування системи. Це важливий фактор для запобігання серйозних наслідків від аварії.

Таблиця 2.1, дає змогу систематизувати та математично оцінювати ефективність автоматизованих систем виявлення аварійних ознак на енергоблоках за допомогою конкретних критеріїв.

Висновки до розділу 2:

У другому розділі роботи були визначені основні вимоги та завдання щодо ефективного впровадження і розвитку сучасних технологій моніторингу і діагностики на енергоблоках дозволяє значно підвищити безпеку, надійність і ефективність роботи енергетичних установок. Інтеграція таких технологій у загальну систему управління енергоблоками дає змогу своєчасно виявляти і прогнозувати потенційні проблеми, оптимізувати обслуговування та мінімізувати витрати на ремонти. Технології великих даних, інтернет речей, машинного навчання і штучного інтелекту відкривають нові можливості для подальшого удосконалення діагностики та управління на енергоблоках, забезпечуючи високу надійність і стабільність їх роботи в майбутньому.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО МОДУЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АВАРІЙНИХ ОЗНАК

3.1 Розробка етапів моделей для виявлення аварійних ознак у технологічних процесах енергоблоку

Розробка моделей для виявлення аварійних ознак у технологічних процесах енергоблоку — це складний процес, що включає кілька етапів, кожен з яких спрямований на досягнення точності і ефективності системи моніторингу.

Виявлення аварійних ознак є критично важливим для забезпечення безпечної та стабільної роботи енергоблоків на електростанціях. Для цього розробляється спеціалізована модель, яка автоматично проводить моніторинг технологічні параметри та реагує на будь-які відхилення, що можуть призвести до аварії. Процес розробки такої моделі можна поділити на кілька ключових етапів (рис. 3.1).

1. Збір та попередня обробка даних про технологічні параметри енергоблоку для подальшого аналізу та моделювання.

Збір даних:

- збираються дані з датчиків та систем моніторингу енергоблоку (температура, тиск, витрата палива, швидкість обертання турбіни, рівень води тощо);

- дані повинні бути точними та постійно оновлюватися для забезпечення реального часу.

Очищення та фільтрація даних:

- перевірка даних на наявність шуму або пропусків;

- використання фільтрації та технік, таких як інтерполяція чи регресія для заповнення пропусків у даних;

- виявлення та коригування аномальних значень, що можуть бути результатом поломки датчиків або помилок у вимірюванні.

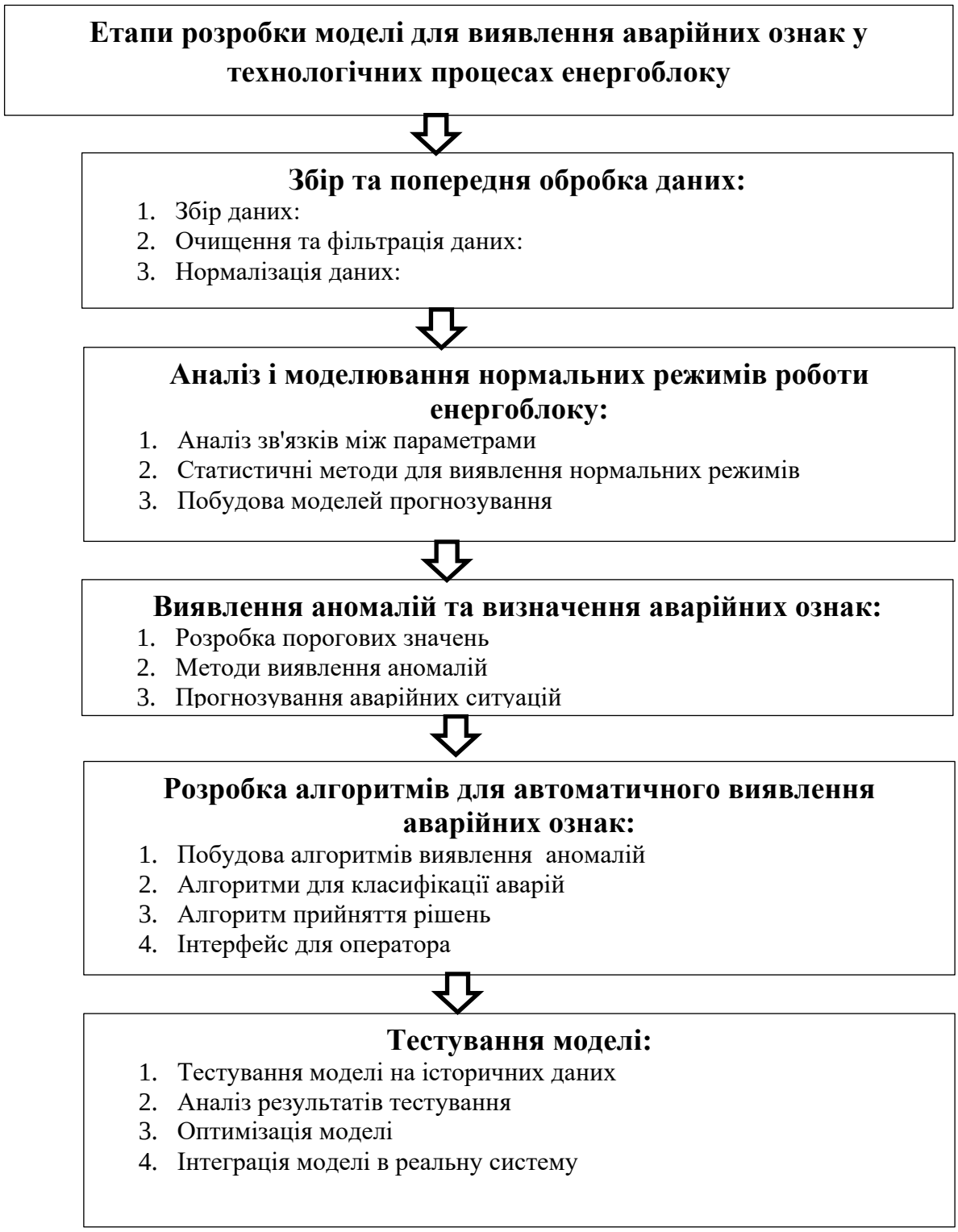

Рис. 3.1 – Розробка етапів моделі для виявлення аварійних ознак у технологічних процесах енергоблоку

Нормалізація даних:

Приведення всіх параметрів до єдиної шкали для полегшення аналізу.

Наприклад, застосування стандартного мінімуму/максимуму або Z-перетворення.

2. Аналіз і моделювання нормальних режимів роботи енергоблоку, щодо розробки базової моделі для нормальних режимів роботи, щоб можна було порівнювати поточні значення з очікуваними.

Аналіз зав'язків між параметрами: виявлення кореляцій між основними технологічними параметрами (наприклад, температура котла може корелювати з тиском у системі, витратою палива та температурою паропроводів).

Статистичні методи для виявлення нормальних режимів: створення статистичних моделей (наприклад, використання методу мінімізації квадратичних відхилень, кореляційних матриць) для визначення очікуваних значень параметрів у нормальних умовах.

Використання гістограм, аналізу часових рядів, визначення середніх та стандартних відхилень для кожного з параметрів.

Побудова моделей прогнозування:

- використання методів машинного навчання, таких як регресія або аналіз часових рядів, для прогнозування нормальних значень параметрів на основі історичних даних;

- побудова моделі на основі регресії для передбачення величин, наприклад, температури в котлі від інших параметрів (наприклад, потужність, витрата палива).

3. Виявлення аномалій та визначення аварійних ознак, які можуть свідчити про аварійну ситуацію.

Розробка порогових значень:

- визначення меж для кожного параметра, коли він починає відхилятися від нормальних значень (наприклад, максимальна температура котла, мінімальний тиск у турбіні);

- порогові значення можуть бути визначені на основі нормативних документів або історичних даних.

Методи виявлення аномалій:

- статистичні методи: використання контрольних карт (наприклад, контрольні карти Шухарта для спостереження за відхиленнями від середнього значення);

- машинне навчання: використання методів класифікації, таких як SVM (метод опорних векторів) або дерева рішень, для виявлення аномалій;

- аналіз часових рядів: для виявлення аномальних змін у параметрах можна використовувати методи прогнозування (ARIMA, LSTM нейронні мережі).

Прогнозування аварійних ситуацій: розробка моделей для раннього виявлення та прогнозування аварій (наприклад, якщо система виявляє, що температура котла перевищує критичний рівень, модель може передбачити можливу аварію в майбутньому).

Аналіз причинно-наслідкових зв'язків: побудова моделей на основі причинно-наслідкових зв'язків для розуміння, які параметри спричиняють аварійні ситуації (наприклад, підвищення витрати палива може призвести до підвищення температури, що може бути ознакою майбутньої аварії).

4. Розробка алгоритмів для автоматичного виявлення аварійних ознак, які в реальному часі реагують на відхилення від нормальних значень та виявляють аварійні ознаки.

Побудова алгоритмів детекції аномалій: розробка алгоритмів, які автоматично виявляють відхилення від прогнозованих значень параметрів (наприклад, використання алгоритмів на основі методу K-середніх для кластеризації даних і виявлення аномалій).

Алгоритми для класифікації аварій: використання машинного навчання для класифікації ситуацій на нормальні та аварійні, що можє бути як класичні методи (логістична регресія, метод опорних векторів), так і більш складні (нейронні мережі).

Алгоритм прийняття рішень: створення алгоритму для прийняття рішення на основі виявлених аномалій: якщо параметри перевищують порогові значення, система повинна подати сигнал про аварійну ситуацію або здійснити автоматичне втручання (наприклад, автоматичне зниження навантаження на котел).

Інтерфейс для оператора: розробка інтерфейсу для оперативного реагування операторів на аварійні ознаки (наприклад, система має виводити попередження, звіти та інструкції щодо усунення проблеми в реальному часі).

5. Тестування та валідація моделі в реальних умовах і підготувати її до впровадження в робочі процеси.

Тестування моделі на історичних даних: тестування розробленої моделі на історичних даних з реальних енергоблоків (наприклад, оцінка точності та коректності роботи алгоритмів виявлення аномалій і аварійних ситуацій).

Аналіз результатів тестування:

- оцінка точності моделей за допомогою метрик: точність, відзив, F1-міра;

- перевірка на фальшиві спрацьовування та пропуски аварій.

Оптимізація моделі: на основі результатів тестування оптимізація моделі для зменшення кількості помилок і підвищення точності.

Інтеграція в реальну систему: інтеграція розробленої моделі в систему моніторингу енергоблоку для постійного відстеження технологічних параметрів і виявлення аварійних ознак в реальному часі.

Таким чином, розробка моделі для виявлення аварійних ознак у технологічних процесах енергоблоку складається з кількох важливих етапів: від збору та обробки даних до створення алгоритмів для автоматичного виявлення аварійних ситуацій та їх тестування.

3.2 Розробка автоматизованого модуля виявлення аварійних ознак у технологічних процесах енергоблоку для забезпечення стабільної роботи електростанції

Розробка автоматизованого модуля виявлення аварійних ознак технологічних параметрів енергоблоку електростанції є важливим завданням для забезпечення безпеки та надійності роботи енергетичних об'єктів. Модуль такого типу покликаний своєчасно виявляти порушення в нормальному функціонуванні технологічних процесів, що можуть призвести до аварійних ситуацій. Це дозволяє зменшити ризик техногенних катастроф, полегшити моніторинг і діагностику, а також здійснювати своєчасне реагування на потенційні загрози.

Розглянемо основні етапи розробки автоматизованого модуля:

1. Аналіз технологічних параметрів енергоблоку:

Для початку необхідно визначити критичні технологічні параметри енергоблоку, які можуть свідчити про виникнення аварійної ситуації. Це можуть бути:

- тиск і температура пари;
- рівень води в котлі та конденсаторі;
- швидкість обертання турбіни;
- споживана потужність та її зміни;
- напруга та струм на виході з генератора;
- параметри охолодження;
- рівень вібрацій і шуму.

2. Розробка алгоритмів виявлення аварійних ознак:

Класичні методи аналізу: Визначення порогових значень для кожного параметра, при яких система сигналізує про відхилення від норми.

Методи на основі машинного навчання: Використання моделей для прогнозування й виявлення аномальних поведінок на основі історичних даних, тренування моделей на нормальних і аварійних випадках.

Методи класифікації (наприклад, SVM, нейронні мережі).

Методи регресії для прогнозування розвитку аномалій.

Методи багатокритерійного аналізу: Оцінка загального стану енергоблоку за сукупністю кількох параметрів одночасно, враховуючи їх взаємозв'язки.

3. Інтерфейс для моніторингу та сповіщення:

- розробка інтерфейсу для візуалізації стану енергоблоку, який показує поточні значення технологічних параметрів, їх історичні зміни, а також статуси аварійних сигналів;

- повідомлення про виявлені аварійні ознаки можуть бути як локальними (на дисплеї оператора), так і відправленими на віддалений сервер або на мобільні пристрої для швидкого реагування.

4. Інтеграція з існуючими системами управління:

- розробка модуля має передбачати можливість інтеграції з уже існуючими системами автоматизованого управління енергоблоками (SCADA, DCS) для безперебійного збору даних і їх обробки.

- інтеграція з системами аварійного реагування та підтримка процесів діагностики та управління у реальному часі.

5. Визначення порогів для аварійних сигналів: Для кожного критичного параметра необхідно визначити порогові значення, що перевищують або знижуються від певних нормальних меж. Це можуть бути як жорсткі пороги, так і динамічно змінювані, залежно від поточного стану енергоблоку або його робочих режимів.

6. Перевірка та верифікація модуля:

- проведення тестування на реальних або моделях енергоблоків для перевірки правильності роботи алгоритмів і їх здатності до коректного виявлення аварійних ситуацій;

- верифікація точності прогнозування на основі тестових даних.

7. Постійне вдосконалення модулю:

- збір зворотного зв'язку від операторів та інженерів для поліпшення інтерфейсу та підвищення точності виявлення аварійних ознак;

- регулярне оновлення алгоритмів на основі нових даних або вдосконалених методів обробки даних.

Технології та інструменти:

- мови програмування**:** Python, C++, Java;

- системи управління базами даних: SQL, NoSQL;

- платформи машинного навчання: TensorFlow, PyTorch, Scikit-learn;

- системи SCADA/DCS: Існуючі стандарти для автоматизації енергоблоків (наприклад, OPC, Modbus);

- технології візуалізації: Grafana, Power BI, або спеціалізовані HMI/SCADA-панелі.

Переваги автоматизованого модуля:

1. Швидка реакція на відхилення параметрів, що дозволяє своєчасно зупинити блок або вжити інших заходів безпеки.
2. Зменшення людської помилки при моніторингу і прийнятті рішень.
3. Прогнозування аварій на основі історичних даних, що дозволяє запобігти можливим техногенним катастрофам.
4. Оптимізація управлінських процесів за рахунок інтеграції з іншими системами та автоматизації діагностики.

Виклики та обмеження:

1. Необхідність точного налаштування параметрів, щоб не було помилкових спрацьовувань системи.
2. Складність в інтеграції з різними існуючими системами, що можуть мати різні протоколи та формати даних.
3. Висока вартість впровадження та підтримки таких систем на великих електростанціях.

Розробка такого модуля є важливим кроком у напрямку підвищення безпеки та ефективності роботи енергетичних об'єктів, особливо у контексті сучасних вимог до автоматизації та використання новітніх технологій.

Розглянемо склад автоматизованого модуля виявлення аварійних ознак технологічних параметрів енергоблоку електростанції включає кілька основних компонентів, кожен з яких виконує специфічні функції для забезпечення ефективної роботи системи.

Модуль повинен забезпечувати збір, обробку, аналіз та моніторинг даних, а також своєчасне виявлення та сповіщення про можливі аварійні ситуації.

1. Збір даних (Data Acquisition Unit). Цей компонент відповідає за підключення до різних датчиків і систем на енергоблоці для отримання необхідних технологічних параметрів в реальному часі:

- датчики і вимірювальні прилади: забезпечують вимірювання таких параметрів, як температура, тиск, рівень, витрата, вібрація, обертання турбіни, напруга, струм, потужність тощо;

- модулі збору даних: опитують датчики та передають зібрану інформацію до центральної системи;

- інтерфейси для підключення до існуючих систем SCADA/DCS: забезпечують інтеграцію з існуючими системами управління та моніторингу.

2. Система обробки та зберігання даних (Data Processing and Storage). Цей компонент відповідає за обробку вхідних даних та їх зберігання для подальшого аналізу та використання:

- паралельна обробка даних: виконання попередньої обробки (фільтрація, нормалізація) для зменшення шуму та коректного збору;

- зберігання даних: використання баз даних (SQL або NoSQL), де зберігаються як поточні, так і історичні значення параметрів енергоблоку**;**

- передача даних: забезпечення передачі обробленої інформації до аналізаторів та інших компонентів системи.

3. Аналіз і виявлення аномалій (Anomaly Detection and Analysis). Це центральний компонент, що відповідає за виявлення аномалій та аварійних ознак на основі технологічних параметрів:

- алгоритми на основі правил: визначення простих порогових значень для кожного параметра (наприклад, температура, тиск) та сповіщення про їх порушення;

- машинне навчання та статистичні моделі: застосування методів машинного навчання (нейронні мережі, SVM, дерева рішень) для виявлення складніших аномалій, які не можуть бути визначені простими порогами;

- класифікація: виявлення аварійних ситуацій на основі класифікації нормальних і аномальних станів;

- регресія: прогнозування розвитку параметрів для передбачення майбутніх аномалій;

- моделі багатокритерійного аналізу: оцінка кількох параметрів одночасно для більш точної ідентифікації аномалій.

4. Модуль візуалізації та інтерфейс користувача (User Interface and Visualization). Цей компонент дозволяє операторам та інженерам здійснювати моніторинг стану енергоблоку, переглядати виявлені аномалії та реагувати на них:

- графічний інтерфейс користувача: візуалізація параметрів енергоблоку в реальному часі (показники, графіки, діаграми);

- система сповіщень: оперативне сповіщення про виявлені аварійні ознаки через інтерфейс або на мобільні пристрої (SMS, e-mail, push-повідомлення);

- інтерфейс звітності: створення звітів про поточний стан, історію аварійних ситуацій та дій, що були вжиті.

5. Модуль управління та реагування. Цей компонент дозволяє автоматично або вручну реагувати на аварійні ситуації:

- автоматичне управління: у разі виявлення аварії система може автоматично ініціювати певні дії (наприклад, зупинити агрегат, перевести блок в безпечний режим);

- інтерфейс для управління оператором: надає можливість оператору здійснити ручне втручання та налаштування параметрів управління;

- нтеграція з системами управління: взаємодія з існуючими автоматизованими системами управління (DCS/SCADA) для контролю аварійних ситуацій і коригування режимів роботи;

6. Модуль зв'язку та інтеграції (Communication and Integration). Цей компонент забезпечує взаємодію між різними частинами системи та інтеграцію з іншими зовнішніми системами:

- передача даних між модулями: забезпечення надійного каналу зв'язку для обміну інформацією між компонентами (через MQTT, OPC, Modbus, REST API тощо);

- інтеграція з зовнішніми системами: можливість підключення до інших систем моніторингу та управління, таких як автоматизовані системи безпеки або інші платформи для аналізу даних.

7. Система підтримки та оновлень**.** Цей компонент необхідний для підтримки працездатності модуля та його постійного вдосконалення:

- моніторинг працездатності системи: регулярне спостереження за станом апаратних і програмних компонентів для запобігання відмовам;

- оновлення програмного забезпечення: регулярне оновлення алгоритмів виявлення аномалій, модулів машинного навчання, а також налаштувань для вдосконалення системи;

- збір зворотного зв'язку: аналіз результатів роботи модуля, зворотного зв'язку від користувачів (операторів і інженерів) для поліпшення ефективності та точності роботи системи.

8. Безпека та захист даних. Цей компонент відповідає за безпеку даних та захист від несанкціонованого доступу:

- шифрування даних: забезпечення шифрування даних на всіх етапах — при зборі, передачі та зберіганні;

- аутентифікація та авторизація користувачів: контроль доступу до системи на основі ролей (оператори, інженери, адміністративний персонал);

- захист від кібератак: забезпечення стійкості системи до потенційних загроз.

Таким чином, склад модуля виявлення аварійних ознак технологічних параметрів енергоблоку є багатокомпонентним і включає в себе як апаратні, так і програмні засоби. Кожен з компонентів має свою роль і забезпечує високий рівень автоматизації процесів моніторингу та реагування на потенційні аварії, що дозволяє значно підвищити безпеку та ефективність роботи енергоблоків.

Структурна схема автоматизованого модуля виявлення аварійних ознак технологічних параметрів енергоблоку електростанції відображає взаємозв'язок основних компонентів системи. Вона включає збір даних, їх обробку, аналіз, сповіщення та реагування на виявлені аномалії.

Структурна схема автоматизованого модуля виявлення аварійних ознак у технологічних процесах енергоблоку електростанції (рис. 3.2), дозволяє виконувати наступні функції:

- збір даних — компоненти, які збирають показники технологічних параметрів з різних датчиків;

- система обробки та зберігання даних — попередня обробка даних (фільтрація, нормалізація) і зберігання в базі даних для подальшого аналізу.

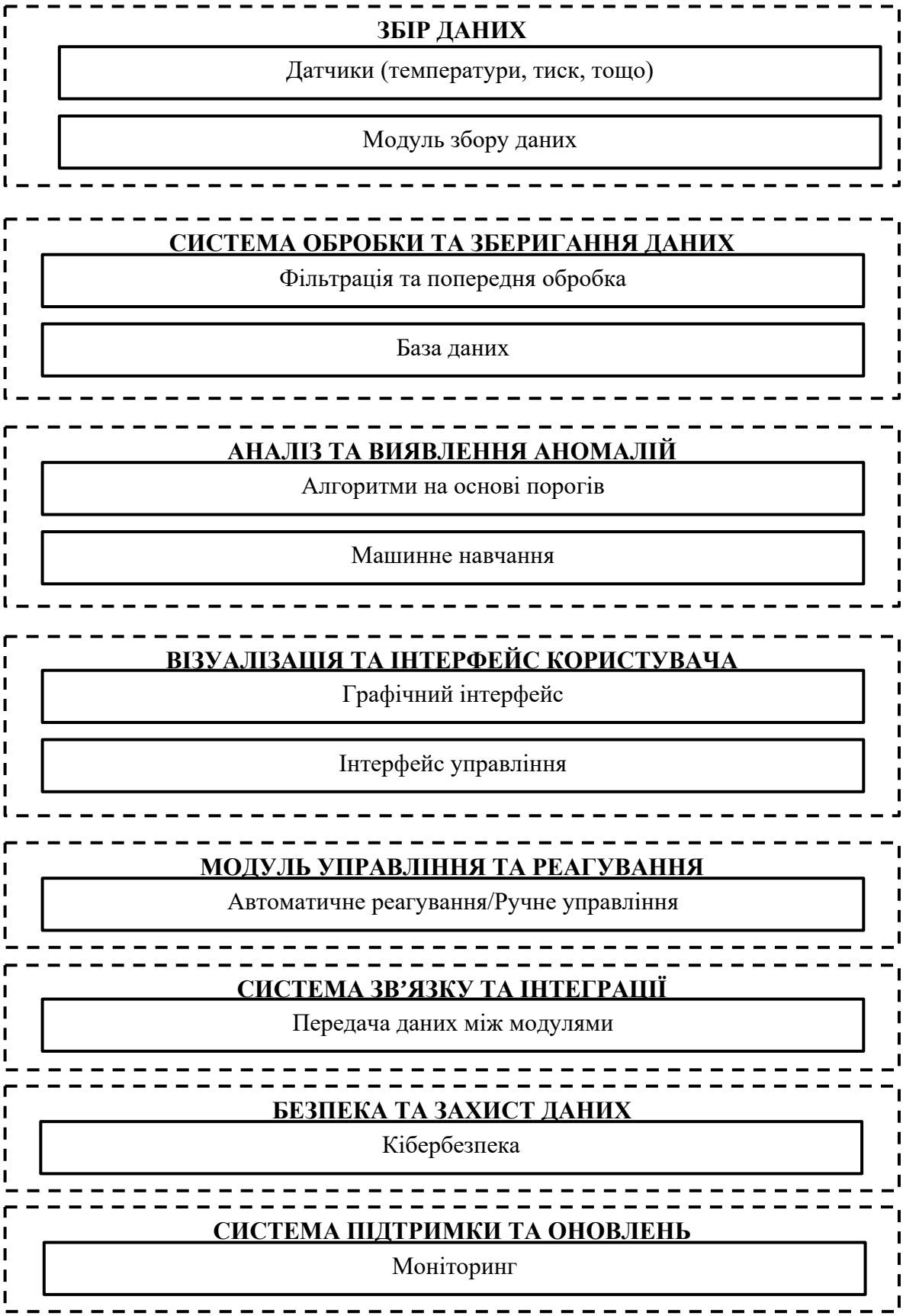

Рис. 3.2 – Структурна схема автоматизованого модуля виявлення аварійних ознак у технологічних процесах енергоблоку електростанції.

- аналіз і виявлення аномалій — виявлення аварійних ознак за допомогою різних алгоритмів, у тому числі методів машинного навчання;

- модуль візуалізації та інтерфейс користувача — надає операторам інтерфейс для моніторингу стану енергоблоку, сповіщення про аномалії та можливість управління;

-модуль управління та реагування — автоматичне або ручне управління для усунення аварійних ситуацій;

- система зв'язку та інтеграції — забезпечує обмін даними між компонентами та інтеграцію з іншими системами, наприклад, SCADA;

- безпека та захист даних — гарантує безпеку даних від несанкціонованого доступу;

- система підтримки та оновлень — забезпечує безперебійну роботу системи і регулярне оновлення її програмного забезпечення.

Для створення структурної схеми модуля виявлення аварійних ознак технологічних параметрів енергоблоку в складі автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) енергоблоку, важливо врахувати основні компоненти, що взаємодіють між собою для забезпечення ефективного моніторингу та виявлення аномалій.

3.3. Результати впровадження автоматизованого модуля на енергоблоках

Досліджено впровадження автоматизованого модуля для виявлення аварійних ознак на енергоблоках електростанцій, аналізуються результати його використання з різних аспектів, таких як економічна ефективність, вплив на стабільність роботи енергоблоків, порівняння показників до і після впровадження системи, а також проблеми та перспективи розвитку таких систем у майбутньому. Зважаючи на важливість цих аспектів, важливо докладно розглянути кожен з них.

Впровадження автоматизованого модуля для виявлення аварійних ознак має численні економічні переваги, які можуть суттєво покращити загальну ефективність роботи енергоблоків. Для оцінки економічної ефективності використовується кілька основних підходів:

1. Зниження витрат на ремонт та обслуговування. Автоматизовані системи здатні значно скоротити витрати на аварійні ремонти, оскільки вони дозволяють виявляти ознаки потенційних несправностей ще до того, як вони переростуть в серйозні проблеми. Це дозволяє скоротити час простоїв, планувати профілактичні ремонти та заміни компонентів ще до виникнення серйозних пошкоджень.

2. Збільшення терміну експлуатації обладнання. Своєчасне виявлення аномалій дозволяє уникати надмірних навантажень на обладнання, що в свою чергу подовжує термін його служби. Завдяки більш ефективному обслуговуванню та усуненню можливих несправностей до їх виникнення, знижується ймовірність відмов.

3. Зниження витрат на енергію та підвищення ефективності. Система дозволяє оптимізувати робочі параметри енергоблока, знижуючи рівень енергетичних втрат та забезпечуючи більш стабільну роботу генератора. Це має пряму економічну вигоду у вигляді зниження витрат на енергію та ресурсозбереження.

4. Зменшення аварійних витрат. Один із найбільших витратних чинників для енергоблоків — це витрати, пов'язані з аваріями, які включають не лише безпосередні витрати на ремонт, але й витрати на відновлення роботи електростанції, компенсацію за простій та потенційні екологічні збитки. Оцінка економічної вигоди може бути виконана через розрахунок зниження ймовірності аварій та їхнього впливу на роботу енергоблока.

Витрати на ремонт до впровадження системи (3.1):

$$C_{рем.до} = \sum_{i=1}^{n} (C_i P_i) \tag{3.1}$$

Витрати на ремонт після впровадження системи (3.2):

$$C_{рем.після} = \sum_{i=1}^{n} (\mathrm{C}_i \cdot \mathrm{P}_i) \cdot (1 - \triangle P) \quad (3.2)$$

де Ci — витрати на конкретний ремонт,

Pі — ймовірність потреби в такому ремонті.

Ці формули: 3.1; 3.2 і таблиця 3.2, дозволяють оцінити економічні та технічні ефекти впровадження автоматизованих систем виявлення аварійних ознак на енергоблоках. У подальшому, для більш точного аналізу можна адаптувати ці показники залежно від конкретних умов і характеристик енергоблоків. Дано пояснення до таблиці 3.2:

Кількість аварій на рік: Після впровадження автоматизованого модуля ймовірність аварій зменшується, що призводить до зниження кількості аварій на енергоблоці.

Середній час до відновлення: З впровадженням системи скорочується час на відновлення після аварії завдяки своєчасному виявленню аномалій і ефективному реагуванню.

Витрати на ремонт: Після впровадження системи витрати на ремонт знижуються завдяки зменшенню частоти аварій і зниженню ймовірності їхнього виникнення.

Середній час простою: Час простою енергоблока, пов'язаний з аваріями, значно зменшується завдяки швидкому виявленню аварійних ознак.

Зниження ймовірності аварії: Завдяки автоматизованому моніторингу та аналізу технологічних процесів ймовірність виникнення аварії зменшується, що підвищує стабільність роботи енергоблоків.

Економія на ремонті: Загальна економія витрат на ремонти, яку дає автоматизована система, враховує зниження частоти аварій і зменшення витрат на усунення наслідків аварій.

Таблиця 3.2

Порівняльна таблиця для аналізу результатів до і після впровадження автоматизованого модуля

Показник	До впровадження	Після впровадження	Формула для розрахунку	Зміна
Кількість аварій на рік	5	2	$\sum_{i=1}^{n} N_i$	-60%
Середній час до відновлення (години)	8 годин	2 години	$\frac{\sum_{i=1}^{n}(T_i \cdot N_i)}{\sum_{i=1}^{n} N_i}$	-75%
Витрати на ремонт (грн)	500 000 грн	200 000 грн	$\sum_{i=1}^{n}(C_i \cdot P_i)$ / $\sum_{i=1}^{n}(C_i \cdot P_i \cdot (1 - \Delta P_i))$	-60%
Середній час простою (годин/місяць)	15 годин/місяць	5 годин/місяць	-	-66%
Зниження ймовірності аварії (%)	50%	20%	$\Delta P_{\text{аварія}} = P_{\text{аварія\_до}} - P_{\text{аварія\_після}}$	-30%
Економія на ремонті (грн)	-	300 000 грн	$E_{\text{економія}} = C_{\text{ремонт\_до}} - C_{\text{ремонт\_після}}$	-60%

Вплив на стабільність роботи енергоблоків. Впровадження автоматизованого модуля значно покращує стабільність роботи енергоблоків. Це проявляється у кількох важливих аспектах:

1. Зниження ймовірності аварій. Автоматичне виявлення аномалій і аварійних ситуацій дає змогу своєчасно реагувати на можливі відхилення, що знижує ймовірність виникнення серйозних аварій. Зокрема, модули допомагають запобігти можливим збоям у роботі генераторів, трансформаторів та інших критичних елементів.

2. Підвищення контролю над технологічними процесами. Система дозволяє оперативно отримувати інформацію про технологічні параметри в реальному часі. Це дає змогу точніше прогнозувати навантаження на обладнання та заздалегідь коригувати його роботу, уникати перевантажень і аварій.

3. Системи попередження та аварійного реагування. Система може автоматично ініціювати певні дії для стабілізації роботи енергоблока, наприклад, автоматичне відключення небезпечних режимів роботи, що дозволяє уникнути серйозних пошкоджень при виникненні аномалій.

4. Підвищення оперативності реагування на відхилення. Швидкість реагування на зміни в технологічних параметрах є критично важливою для підтримання стабільності роботи енергоблоків. Автоматизовані системи зменшують час, необхідний для прийняття рішень, і автоматизують процеси діагностики та реагування.

Розглянемо порівняння результатів до та після впровадження автоматизованого модуля. Для оцінки ефективності впровадження автоматизованого модуля важливо порівняти ключові показники роботи енергоблоків до і після його впровадження. Такими показниками можуть бути:

Час на відновлення після аварії: після впровадження системи час на відновлення зменшується, оскільки система дозволяє раніше виявити проблему і уникнути серйозних пошкоджень.

Кількість аварій та збоїв: кількість аварій до і після впровадження модуля повинна знизитись, що свідчить про ефективність системи.

Рівень економії: зниження витрат на ремонтні роботи, компенсації за простій та збільшення ефективності роботи енергоблоків.

Покращення показників надійності: впровадження системи має знизити середній час до наступної аварії, що є важливим для довготривалої стабільної роботи станції.

Висновки до розділу 3:

Розглянуто проблеми та перспективи вдосконалення автоматизованих систем виявлення аварійних ознак. Попри позитивні результати, існують кілька проблем, з якими зіштовхується впровадження автоматизованих систем, та є перспективи для їх подальшого вдосконалення.

Проблеми: Не всі існуючі інфраструктури енергоблоків можуть підтримувати нові системи, що вимагають інтеграції з сучасними системами моніторингу та управління. Проблеми з якістю даних. Дані, отримані з різних сенсорів, можуть бути шумними або неповними, що може вплинути на точність роботи модулів виявлення аномалій. Інтеграція сучасних технологій у старі енергетичні системи може потребувати значних фінансових та часових витрат. Перспективи вдосконалення:

- інтеграція з Інтернетом речей (IoT);

- підключення більшої кількості датчиків і пристроїв до системи дозволить отримувати більш детальну і точну інформацію в реальному часі, що збільшить точність виявлення аномалій;

- машинне навчання і глибоке навчання.

Розвиток алгоритмів машинного навчання та глибокого навчання дозволить покращити точність виявлення аномалій, а також зменшити необхідність у людському втручанні при налаштуванні системи.

Інтелектуальні системи прогнозування. Використання інтелектуальних систем прогнозування на основі великих даних може допомогти передбачати можливі аварії заздалегідь, що ще більше підвищить надійність роботи енергоблоків.

Таким чином, економічна ефективність від впровадження автоматизованих систем виявлення аварійних ознак значно покращує фінансові результати станцій через зниження витрат на ремонти, зниження аварійних ситуацій та збільшення терміну служби обладнання.

ВИСНОВКИ

У роботі проведено дослідження, щодо розробки автоматизованого модуля для виявлення аварійних ознак на енергоблоках електростанцій. Метою цього розділу є розробка ефективного та надійного рішення для своєчасного виявлення відхилень та потенційних аварійних ситуацій на етапі їх зародження, що забезпечує підвищення надійності і безпеки роботи енергоблоків. Виходячи з цього, можна зробити кілька ключових висновків.

1. Постановка задачі та принципи розробки автоматизованого модуля

У цьому підрозділі визначено основні цілі розробки автоматизованого модуля:

Основна задача полягає у створенні системи, яка здатна на ранніх етапах виявляти аварійні ознаки, що виникають у технологічних процесах енергоблоків.

Принципи розробки включають використання даних реального часу з технологічних процесів, інтеграцію з існуючими системами моніторингу та безпеки, а також забезпечення високої точності виявлення аномалій за допомогою алгоритмів аналізу даних.

Розробка такого модуля базується на важливих принципах: надійність, швидкодія, масштабованість і здатність до адаптації під різні технологічні режими. Це дозволяє забезпечити безперебійну роботу модуля в умовах складних та динамічних процесів енергетичних систем.

2. Алгоритми та моделі для виявлення аномальних подій у технологічних процесах

У цьому підрозділі було виявлено, що для виявлення аварійних ознак можуть бути використані різні алгоритми та моделі:

Алгоритми статистичного аналізу (наприклад, методи регресії, аналізу головних компонент).

Методи на основі теорії ймовірностей (наприклад, використання гауссових моделей для прогнозування нормальних варіацій даних).

Алгоритми машинного навчання (класифікаційні моделі, наприклад, дерева рішень, випадкові ліси, методи підтримки векторних машин (SVM)).

Нейронні мережі та глибоке навчання для складних систем, де відмінності між нормальними та аварійними режимами можуть бути дуже тонкими та важкими для виявлення.

Алгоритми повинні обробляти величезні обсяги даних в реальному часі, що вимагає застосування ефективних методів для зменшення часу реагування на відхилення.

3. Опис структури автоматизованого модуля виявлення аварійних ознак

Структура автоматизованого модуля повинна включати такі основні компоненти:

Збір даних: інтеграція з існуючими системами моніторингу на електростанціях для отримання даних про технологічні параметри (температура, тиск, швидкість обертання, електричні параметри).

Обробка та аналіз даних: використання алгоритмів для виявлення відхилень, виявлення трендів та аномалій.

Система попереджень: генерація сповіщень для операторів про потенційні аварії з можливістю автоматичного запуску аварійних процедур.

Інтерфейс користувача: зручний інтерфейс для операторів, що дозволяє візуалізувати дані, моніторити стан технологічного процесу та аналізувати отриману інформацію.

4. Використання методів машинного навчання та штучного інтелекту для аналізу даних. Використання методів машинного навчання та штучного інтелекту є критично важливим для досягнення високої ефективності виявлення аномалій: машинне навчання дозволяє системі "навчатися" на основі історичних даних, що дозволяє з часом покращувати точність виявлення аварій; нейронні мережі та глибоке навчання можуть бути застосовані для виявлення складних патернів, що вимагають складних, нелінійних обчислень; алгоритми без нагляду (наприклад, кластеризація) можуть виявляти нові типи аномалій, які не були враховані в процесі навчання.

Завдяки цим методам автоматизований модуль здатний адаптуватися до нових умов і покращувати свої результати з часом.

5. Розробка програмного забезпечення та інтеграція в існуючі системи електростанцій. Процес розробки програмного забезпечення для автоматизованого модуля включає кілька етапів: розробка алгоритмів на основі математичних моделей і методів машинного навчання; реалізація програмного забезпечення для збору, обробки та аналізу даних; інтеграція модуля в існуючі системи моніторингу та управління на енергоблоках.

Інтеграція повинна бути безперешкодною, щоб система могла використовувати існуючі канали передачі даних і забезпечити взаємодію з іншими компонентами технологічного процесу. Важливою частиною є створення інтерфейсу користувача, який має бути зручним і інтуїтивно зрозумілим для операторів.

Таким чином, автоматизація виявлення аварійних ознак є важливим кроком для підвищення надійності та безпеки енергоблоків. Система має працювати в реальному часі, обробляючи великі обсяги даних та своєчасно виявляючи будь-які відхилення.

Методи машинного навчання та штучного інтелекту значно підвищують ефективність виявлення аномалій та дозволяють адаптувати систему до нових ситуацій без постійного втручання людини.

Розробка автоматизованого модуля повинна передбачати інтеграцію з існуючими технологічними системами енергоблоків і враховувати вимоги до точності, швидкодії та надійності.

Розробка програмного забезпечення для виявлення аварійних ознак є складним, але важливим етапом для створення цілісної автоматизованої системи, що здатна ефективно функціонувати в реальних умовах енергетичної галузі. Подальші дослідження і вдосконалення таких систем повинні включати розвиток нових алгоритмів і моделей, а також інтеграцію передових технологій, таких як інтернет речей (IoT) і великих даних (Big Data), для ще більш точного моніторингу і прогнозування можливих аварій.

Тема дослідження є теоретично важливою з кількох причин, зокрема в контексті сучасного розвитку енергетичних технологій та систем моніторингу. Основні аспекти теоретичної значимості полягають у наступному:

1. Розвиток теорії моніторингу та діагностики в енергетичних системах. Дослідження сприяє розробці нових підходів до моніторингу та діагностики технічних систем, зокрема в енергетичному секторі. Розробка автоматизованих модулів для виявлення аварійних ознак допомагає розширити теоретичні засади виявлення аномалій, прогнозування несправностей та аварій, а також оптимізації процесів технічного обслуговування на основі аналізу даних. Це має важливе значення для підвищення надійності та безпеки енергоблоків.

2. Інтеграція новітніх інформаційних та програмних технологій. Процес розробки автоматизованих систем виявлення аварійних ознак вимагає інтеграції сучасних інформаційних та програмних технологій, таких як:

Методи обробки великих даних (Big Data), що дозволяють ефективно працювати з великими обсягами інформації, що надходить з різних датчиків та сенсорів енергоблоків.

Алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту, які здатні навчатися на історичних даних і передбачати можливі аварії та несправності.

Моделі аналізу аномалій, які допомагають ідентифікувати підвищену ймовірність виникнення аварійних ситуацій до їх фактичного настання.

Розробка таких систем розширює теоретичні уявлення про можливості застосування інтелектуальних методів для автоматизації складних процесів в реальному часі.

3. Поглиблення теорії автоматизованих систем управління. Вивчення автоматизованих модулів виявлення аварійних ознак сприяє розвитку теорії автоматизованих систем управління, зокрема в сфері енергетичних технологій. Важливою частиною цієї теорії є інтеграція систем моніторингу з управлінськими алгоритмами, що дозволяє не лише виявляти аномалії, а й

оперативно коригувати параметри роботи енергоблоку в реальному часі без втручання людини. Розвиток такої теорії передбачає:

Формулювання нових принципів адаптивного управління в умовах непередбачуваних ситуацій.

Поглиблене розуміння процесів стабільного функціонування енергоблоків при впливі факторів ризику, таких як несправності, змінні навантаження або кіберзагрози.

4. Теорія прогнозування аварій та технічних несправностей. Один з ключових аспектів дослідження – розробка нових теоретичних методів прогнозування аварійних ситуацій в енергетичних системах. Теоретичне обґрунтування підходів до прогнозування на основі аналізу даних від датчиків і сенсорів, а також розробка моделей, які дозволяють передбачити потенційні відмови до того, як вони призведуть до серйозних наслідків, має важливе значення для подальшого розвитку наукових досліджень у сфері надійності енергетичних об’єктів. Теорія інтерпретації сигналів і аномалій – науково обґрунтовані методи обробки великих обсягів даних для виявлення відхилень від нормальних режимів роботи, що є важливою частиною нової теоретичної парадигми діагностики на енергоблоках.

5. Удосконалення теоретичних підходів до забезпечення безпеки енергоблоків. Розробка автоматизованих систем виявлення аварійних ознак на енергоблоках дозволяє значно підвищити рівень безпеки, адже системи забезпечують раннє виявлення небезпечних для експлуатації умов. Це має важливе значення для теорії безпеки в енергетичних системах, де стабільна робота енергоблока прямо залежить від здатності вчасно ідентифікувати потенційні загрози, будь то технічні несправності, природні катастрофи чи кіберзагрози.

6. Аналіз та оптимізація управлінських рішень. Розробка теоретичних моделей для автоматизації процесу прийняття рішень щодо управління енергоблоками є важливою складовою теорії оптимізації в енергетичних системах.

Технологія автоматизованого виявлення аварійних ознак дозволяє на основі аналітики даних оперативно визначати найбільш ефективні рішення для збереження стабільної роботи об’єкта, що має велике теоретичне значення в контексті управління великими промисловими та енергетичними системами.

7. Вивчення взаємодії між компонентами енергетичної інфраструктури. Дослідження також сприяє розвитку теорії взаємодії між різними компонентами енергетичних систем, зокрема між енергоблоками, контрольними системами, сенсорами, а також між людьми та автоматизованими модулями. Системний підхід до моніторингу та управління енергоблоками дозволяє теоретично осмислити принципи побудови інтегрованих систем для досягнення максимальної ефективності та стабільності роботи енергетичних об’єктів.

8. Розробка нових моделей для оцінки ефективності виявлення аварійних ознак. Дослідження включає створення нових математичних моделей та методик для оцінки ефективності систем виявлення аварійних ознак

Розробка теоретичних підходів для оцінки точності, надійності та швидкості виявлення аномалій є важливим напрямом розвитку науки в цій сфері. Ці моделі дозволяють: визначити оптимальні параметри роботи автоматизованих систем; врахувати фактори ризику та невизначеності, що можуть впливати на ефективність виявлення аварій; розробити методи для порівняння різних технологій та підходів у виявленні аномалій.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. An Automated Generation Approach of Simulation Models for Checking Control/Monitoring System / Prat S., Cavron J., Kesraoui D., Rauffet P., Berruet P., Bignon A. // IFAC-PapersOnLine. 2017. Vol. 50, Issue 1. P. 6202–6207. doi: 10.1016/j.ifacol.2017.08.1014

2. Rudakov S., Dickerson C. E. Harmonization of IEEE 1012 and IEC 60880 standards regarding verification and validation of nu-clear power plant safety systems software using model-based methodology // Progress in Nuclear Energy. 2017. Vol. 99. P. 86–95. doi: 10.1016/j.pnucene.2017.04.003

3. Instrumentation and Control Systems and Software Important to Safety for Research Reactors. IAEA Safety Standards. No. SSG-37. 2015. 100 p.

4. DSTU IEC 62138:2008. Atomni elektrostantsiyi. Informatsiyni ta keruvalni systemy, vazhlyvi dlia bezpeky. Prohramni aspekty kompiuternykh system, yaki vykonuiut funktsiyi katehoriyi V abo S. Kyiv, 2010.

5. NP 306.5.02/3.076-2003. Vymohy do orhanizatsiyi ta poriadku vvedennia AES v ekspluatatsiyu // Ofitsiynyi visnyk Ukrainy. 2003. Issue 37. P. 236.

6. Fault tolerant emergency control to preserve power system stability / Pedersen A. S., Richter J. H., Tabatabaeipour M., Jóhanns-son H., Blanke M. // Control Engineering Practice. 2016. Vol. 53. P. 151–159. doi: 10.1016/j.conengprac.2015.11.004 Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774 2/9 (92) 201812

7. Park S., Park J., Heo G. Transient Diagnosis and Prognosis for Secondary System in Nuclear Power Plants // Nuclear Engineering and Technology. 2016. Vol. 48, Issue 5. P. 1184–1191. doi: 10.1016/j.net.2016.03.009

8. An analysis of technical security control requirements for digital I&C systems in nuclear power plants / Song J.-G., Lee J.-W., Park G.-Y., Kwon K.-C., Lee D.-Y., Lee C.-K. // Nuclear Engineering and Technology. 2013. Vol. 45, Issue 5. P. 637–652. doi: 10.5516/net.04.2012.091

9. On the use of information quality in stochastic networked control systems / Olsen R. L., Madsen J. T., Rasmussen J. G., Schwefel H.-P. // Computer Networks. 2017. Vol. 124. P. 157–169. doi: 10.1016/j.comnet.2017.06.006

10. Krivanek R., Fiedler J. Main deficiencies and corrective measures of nuclear power plants in ageing management for safe long term operation // Nuclear Engineering and Design. 2017. Vol. 323. P. 78–83. doi: 10.1016/j.nucengdes.2017.07.035

11. Upravlyaemye haos v ustanovivshihsya rezhimah elektroenergeticheskih sistem / Zhilenko E. P., Pruss S. Yu., Fomenko N. Yu., Hristich D. E. // Omskiy nauchniy vestnik. 2013. Issue 2. P. 184–191.

12. Severin V. P., Nikulina E. N., Trubchanova N. V. Identifikaciya parametrov sistemy upravleniya proizvoditel’nost’yu paro-generatora energobloka AES // Visnyk Nats. tekhn. un-tu “KhPI”. Ser.: Avtomatyka ta pryladobuduvannia. 2016. Issue 15. P. 38–44.

13. Fault detection and isolation system for boiler-turbine unit of a thermal power plant / Madrigal-Espinosa G., Osorio-Gordillo G.-L., Astorga-Zaragoza C.-M., Vázquez-Román M., Adam-Medina M. // Electric Power Systems Research. 2017. Vol. 148. P. 237–244. doi: 10.1016/j.epsr.2017.03.021

14. Budanov P. F., Brovko K. Yu. Vliyanie fraktal’nyh svoystv informacionnogo prostranstva na process formirovaniya sluchaynogo signala s priznakami avariynosti // Systemy obrobky informatsiyi. 2016. Issue 1 (138). P. 10–14.

15. Budanov P. F., Brovko K. Yu. Eksperimental’nye issledovaniya prostranstvenno-vremennoy modeli informacionnogo prostranstva dlya processa formirovaniya sluchaynogo signala s priznakami avariynosti // Systemy obrobky informatsiyi. 2016. Issue 3 (140). P. 227–233.

16. Budanov P. F., Brovko K. Yu. Povyshenie nadezhnosti upravleniya tekhnologicheskim processom energoob’ekta sposobom viyav-leniya avariynyh priznakov v neshtatnyh rezhimah funkcionirovaniya na osnove metoda fraktal’nogo obnaruzheniya // Systemy obrobky informatsiyi. 2016. Issue 7. P. 175–180.

17. Budanov P. F., Brovko K. Yu. Sposib vyiavlennia avariynykh oznak u pozashtatnykh rezhymakh funktsionuvannia enerhoo-biekta: Pat. No. 113804 UA. MPK G06F 1/00, G05B 23/02. No. 201609397; declareted: 09.09.2016; published: 10.02.2017, Bul. No. 3.

18. Govorov P. P., Budanov P. F., Brovko K. Yu. Identification Of Emergency Regimes Of Power Equipment Based On The Application Of Dynamic Fractal-Cluster Model // International Scientific Conference UNITECH 2017 Gabrovo: Proceedings. Gabrovo, 2017. Vol. 1. P. 57–58.