

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

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

Підвищення рівня енергетичної безпеки атомної електростанції за  
допомогою застосування автоматизованого моніторингу стану ядерного  
реактора  
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2м курсу, групи ДЕА-ЕБ23мг-1  
спеціальності: 141 Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

\_\_\_\_\_/ Денис ЛАВРІНЕНКО  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник \_\_\_\_\_/ Павло БУДАНОВ  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент \_\_\_\_\_/ Наталія АНТОНЕНКО  
(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 \_\_\_\_\_/ Ігор КИРИСОВ  
(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 Енергетична безпека

**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 Денис ЛАВРІНЕНКО

1. Тема «Підвищення рівня енергетичної безпеки атомної електростанції за допомогою застосування автоматизованого моніторингу стану ядерного реактора»

затверджена наказом по академії № 4801-5/3345 від «12» жовтня 2024 р.

2. Термін здачі закінченої роботи «10» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи/проєкту: Теоретичні та практичні розробки вітчизняних та зарубіжних авторів за темою роботи, періодичні видання

4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):  
ВСТУП; РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОБЛОКУ; РОЗДІЛ 2.  
УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОБЛОКА; ВИСНОВКИ; ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ  
ДЖЕРЕЛ

5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):

Слайди презентації

---

---

6. Консультант:

| Розділ | Консультант | Підпис, дата      |                     | Оцінка<br>(бали) |
|--------|-------------|-------------------|---------------------|------------------|
|        |             | Завдання<br>видав | Завдання<br>прийняв |                  |
|        |             |                   |                     |                  |

7. Дата видачі завдання «12» жовтня 2024р.

Керівник

(підпис)

Павло БУДАНОВ

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Денис ЛАВРІНЕНКО

(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 розділу дипломної роботи                                      | 30.10.24 – 26.11.24 |                                          |
| 5     | Оформлення пояснювальної записки                                                | 27.11.24 – 07.12.24 |                                          |

Студент (ка)

(підпис)

Денис ЛАВРІНЕНКО

(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

(підпис)

Юлія ОЛІЙНИК

(ім'я, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Сторінок тексту – \_\_\_\_\_ ; рисунків – \_\_\_\_\_; таблиць - \_\_\_\_\_;  
літературних джерел – \_\_\_\_\_.

Контроль технологічних параметрів систем підвищеної небезпеки, якими є ядерні енергетичні установки, є найважливішим напрямом забезпечення їх нормального функціонування.

Контроль є першою і основною ланкою в автоматизації виробничого процесу, так як для підтримки встановленого режиму виробництва необхідно знати поточні значення параметрів, що визначають цей режим.

На сьогоднішній день функція контролю забезпечується застосуванням різних контрольно-вимірювальних приладів, що оцінюють параметри технологічних процесів. З процесу вимірювання починаються прості, а часом і дуже складні процеси в автоматизованих системах, і від того, з якою точністю виміряна вихідна величина залежить результат подальшого перетворення в наступних елементах системи

Основним об'єктом розгляду та проведення досліджень у роботі є методи контролю технологічних параметрів енергоблоку атомної електростанції.

Як відомо, для забезпечення безпечної експлуатації атомних електростанцій (АЕС) проводиться постійний контроль та діагностика стану технологічного обладнання енергоблоку, а саме їх технологічних параметрів.

Активну зону реактора АЕС пропонується розглядати як об'єкт з розподіленими параметрами, а для моніторингу параметрів технологічного процесу та застосовувати розроблені методи аналітичного та неруйнівного контролю, методи системного аналізу та обробки інформації, а також методи цілеспрямованого впливу оперативного персоналу на об'єкт управління для здійснення контролю та подальшого аналізу роботи реактора, удосконалення контролю, управління та прийняття рішень з метою підвищення ефективності функціонування реакторної установки та розширення автоматизації технологічних процесів.

Технологічний процес в реакторній установці вимагає забезпечення постійного контролю різних параметрів в активній зоні ядерного реактора.

В даний час пріоритетом атомної енергетики є забезпечення та вдосконалення заходів безпеки.

Високий рівень відповідальності співробітників АЕС при роботі з обладнанням вимагає брати до уваги навіть найнезначніші ризики можливості аварії.

У зв'язку з цим, завдання розробки нових методів та засобів контролю, аналізу та обробки інформації про перебіг технологічного процесу, та завдання розробки нових методів синтезу регуляторів та розрахунку їх налаштувань для управління складними системами даного класу та об'єктами з розподіленими параметрами (ОРП) в цілому є актуальною.

## **ABSTRACT**

Pages of text – \_\_\_\_; pictures – \_\_\_\_; tables – \_\_\_\_;  
literary sources – \_\_\_\_.

Control of technological parameters of high-risk systems, such as nuclear power plants, is the most important direction for ensuring their normal functioning.

Control is the first and main link in the automation of the production process, since to maintain the established production mode, it is necessary to know the current values of the parameters that determine this mode.

Today, the control function is provided by the use of various control and measuring instruments that evaluate the parameters of technological processes. Simple, and sometimes very complex processes in automated systems begin with the measurement process, and the result of further transformation in subsequent elements of the system depends on the accuracy of the measured output value.

The main object of consideration and research in the work are methods for controlling the technological parameters of the power unit of a nuclear power plant.

As is known, to ensure the safe operation of nuclear power plants (NPPs), constant control and diagnostics of the state of the technological equipment of the power unit, namely their technological parameters, are carried out.

It is proposed to consider the core of a nuclear power plant reactor as an object with distributed parameters, and to monitor the parameters of the technological process and apply the developed methods of analytical and non-destructive control, methods of system analysis and information processing, as well as methods of targeted influence of operational personnel on the control object to control and further analyze the operation of the reactor, improve control, management and decision-making in order to increase the efficiency of the reactor plant and expand the automation of technological processes.

The technological process in a reactor plant requires ensuring constant control of various parameters in the core of a nuclear reactor.

Currently, the priority of nuclear power is to ensure and improve safety measures.

The high level of responsibility of nuclear power plant employees when working with equipment requires taking into account even the most insignificant risks of an accident.

In this regard, the task of developing new methods and means of control, analysis and processing of information about the course of the technological process, and the task of developing new methods of synthesizing regulators and calculating their settings for controlling complex systems of this class and objects with distributed parameters (DPP) in general is relevant.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                       |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| ВСТУП.....                                                                                                            |  |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЯ<br>ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОБЛОКУ .....                              |  |
| 1.1 Основні підходи до процесу контролю технологічних<br>параметрів .....                                             |  |
| 1.2 Аналіз сучасних систем контролю технологічних параметрів,<br>які застосовуються на АЕС .....                      |  |
| 1.3 Сучасні підходи до розробки методів контролю технологічних<br>параметрів енергоблоку .....                        |  |
| 1.4 Структура програмного комплексу діагностики режимів<br>технологічного обладнання енергоблоку електростанції ..... |  |
| ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1.....                                                                                            |  |
| РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЯ<br>ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОБЛОКА .....                                |  |
| 2.1 Діагностування технологічного обладнання з використанням<br>параметрів технологічного контролю .....              |  |
| 2.2 Аналіз методів контролю технологічних параметрів .....                                                            |  |
| 2.3 Удосконалення методів контролю технологічних параметрів на<br>основі застосування автоматизованих систем.....     |  |
| ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....                                                                                            |  |
| ВИСНОВКИ.....                                                                                                         |  |
| СПИСОК ПОСИЛАНЬ.....                                                                                                  |  |

## ВСТУП

Контроль технологічних параметрів систем підвищеної небезпеки, якими є ядерні енергетичні установки, є найважливішим напрямом забезпечення їх нормального функціонування.

Контроль є першою і основною ланкою в автоматизації виробничого процесу, так як для підтримки встановленого режиму виробництва необхідно знати поточні значення параметрів, що визначають цей режим.

На сьогоднішній день функція контролю забезпечується застосуванням різних контрольно-вимірювальних приладів, що оцінюють параметри технологічних процесів. З процесу вимірювання починаються прості, а часом і дуже складні процеси в автоматизованих системах, і від того, з якою точністю виміряна вихідна величина залежить результат подальшого перетворення в наступних елементах системи

Основним об'єктом розгляду та проведення досліджень у роботі є методи контролю технологічних параметрів енергоблоку атомної електростанції.

Як відомо, для забезпечення безпечної експлуатації атомних електростанцій (АЕС) проводиться постійний контроль та діагностика стану технологічного обладнання енергоблоку, а саме їх технологічних параметрів.

Активну зону реактора АЕС пропонується розглядати як об'єкт з розподіленими параметрами, а для моніторингу параметрів технологічного процесу та застосовувати розроблені методи аналітичного та неруйнівного контролю, методи системного аналізу та обробки інформації, а також методи цілеспрямованого впливу оперативного персоналу на об'єкт управління для здійснення контролю та подальшого аналізу роботи реактора, удосконалення контролю, управління та прийняття рішень з метою підвищення ефективності функціонування реакторної установки та розширення автоматизації технологічних процесів.

Технологічний процес в реакторній установці вимагає забезпечення постійного контролю різних параметрів в активній зоні ядерного реактора.

В даний час пріоритетом атомної енергетики є забезпечення та вдосконалення заходів безпеки.

Високий рівень відповідальності співробітників АЕС при роботі з обладнанням вимагає брати до уваги навіть найнезначніші ризики можливості аварії.

У зв'язку з цим, завдання розробки нових методів та засобів контролю, аналізу та обробки інформації про перебіг технологічного процесу, та завдання розробки нових методів синтезу регуляторів та розрахунку їх налаштувань для управління складними системами даного класу та об'єктами з розподіленими параметрами (ОРП) в цілому є актуальною.

**Метою** є вдосконалення методу контролю технологічних параметрів енергоблоку електростанції.

**Об'єктом дослідження** у цій роботі є процес контролю технологічних параметрів енергетичної установки.

**Предмет дослідження** є методи контролю технологічних параметрів енергетичної установки.



# **РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОБЛОКУ**

## **1.1 Основні підходи до процесу контролю технологічних параметрів**

Завданням контролю є виявлення подій, що визначають перебіг того чи іншого процесу.

У разі коли ці події виявляються без безпосередньої участі людини, такий контроль називають автоматичним. Найважливішою складовою контролю є вимір фізичних величин, що характеризують перебіг процесу.

Процеси в ядерних енергетичних установках характеризуються значеннями таких основних фізичних величин (змінних) як:

- температура рідини та газу (у потоці та об'ємі), на поверхні та всередині технологічних ліній та агрегатів;
- тиск, (вакуум) у технологічних лініях та агрегатах;
- витрата рідин і газів (пара), в технологічних трубопроводах;
- рівень рідини в ємностях та технологічних трубопроводах;
- хімічний склад та концентрація рідких парових та газових середовищ;
- значення напруги, сили струму та інших електричних величин постійного та змінного струму;
- рівень нейтронного потоку та іонізуючих випромінювань та ін.

Виміряти фізичну величину означає порівняти її з відповідною одиницею вимірювання. Знаходження величини параметра досвідченим шляхом з допомогою спеціальних технічних засобів називається виміром.

Кінцевою метою будь-якого виміру є отримання кількісної інформації про величину, що вимірюється.

У процесі вимірювання встановлюється, у скільки разів вимірювана фізична величина більша або менша однорідною з нею в якісному відношенні фізичної величини прийнятої за одиницю.

Число, що виражає відношення вимірюваної величини до одиниці виміру, називається числовим значенням величини, що вимірюється.

Чим менше обрана одиниця, тим більше для даної вимірюваної величини буде числове значення.

Результат будь-якого виміру є іменованим числом. Тож визначеності написання результату виміру поруч із числовим значенням вимірюваної величини ставиться скорочене позначення прийнятої одиниці виміру.

Управління технологічними процесами, як відомо, неможливе без вимірювання технологічних параметрів.

Вимірювальний пристрій є обов'язковим елементом для будь-якої автоматичної системи регулювання.

Вимірювальний пристрій, за допомогою якого здійснюється процес виміру - це сукупність технічних засобів, з'єднаних у вимірювальний ланцюг

Вимірювальні пристрої за видом інформації, що виробляється ними, діляться на вимірювальні прилади і вимірювальні перетворювачі.

Вимірювальні перетворювачі - це пристрої, призначені для вироблення вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, перетворення, обробки та зберігання сигналу, але не піддається безпосередньому сприйняттю спостерігачем.

На зорі автоматизації людина вела технологічний процес, перебуваючи біля місцевих контрольно-вимірювальних приладів, встановлених безпосередньо на обладнанні та працюючих у прямому контакті з матеріальними потоками

Ці засоби давали можливість більш точно і, головне, об'єктивно оцінювати роботу технологічного об'єкта і, отже, поліпшувати його використання.

Цьому рівню автоматизації технологічного процесу відповідала і архітектура побудови контрольно-вимірювальних приладів. До вимірювальних приладів (ІІ) відносять пристрої, призначені для вироблення

вимірювальної інформації у формі, доступній безпосередньому сприйняттю оператором

Вимірювальними приладами є, наприклад, вольтметр, амперметр і т.д. Оскільки сигнал, призначений для спостереження є вихідним сигналом вимірювального ланцюга, то вимірювальний прилад завжди буває останнім перетворювачем цього ланцюга.

Простий вимірювальний ланцюг складається з одного вимірювального приладу ІП (рис. 1.1).

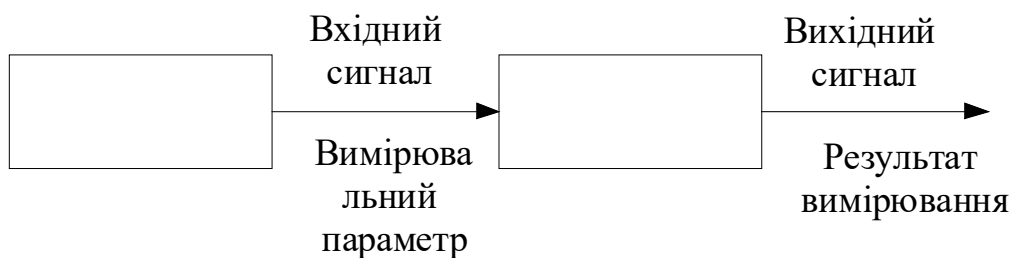


Рисунок 1.1 – Простий вимірювальний ланцюг методу контролю

У складному вимірювальному ланцюгу, складеному з декількох послідовно з'єднаних вимірювальних перетворювачів, перший називається первинним перетворювачем або сенсорним елементом, а інші вимірювальні перетворювачі називають вторинними.

Щоб мати можливість здійснювати автоматичне управління технологічними процесами, необхідно мати кількісну інформацію про відповідність процесу заданим режимам роботи, що протікає.

При цьому інформація повинна надходити на пристрій, що регулює, у вигляді електричного сигналу, який останнім часом є найбільш поширеним у порівнянні з пневматичною формою.

Кількісну форму подання інформації про параметри технологічних процесів, що цікавлять нас, забезпечують датчики.

Датчиком називається пристрій, що сприймає контрольований параметр і перетворює його на електричний сигнал, який легко може бути вимірюваний або зіставлений із заданою величиною.

Датчик може складатися з одного або кількох перетворювачів. Це визначається сенсорним елементом датчика, як якого виступає первинний перетворювач.

Якщо вихідний сигнал первинного перетворювача має електричну форму, тобто. у вигляді струму або напруги, то в цьому випадку відпадає необхідність застосування додаткового вторинного перетворювача для здійснення перетворення проміжної форми сигналу в електричну.

Прикладом такого датчика, що складається з одного перетворювача, є термopара, за допомогою якої вимірюють температуру контрольованого середовища.

Приклад складної конструкції датчика, що складається з декількох вимірювальних перетворювачів, є датчик тиску.

Первинний перетворювач даного пристрою здійснює перетворення вимірюваного тиску в об'єкті контролю відповідні деформаційні зміни мембрани, які призводять до її розтягування або стиснення.

Застосування вторинного тензометричного перетворювача дозволяє перетворити деформаційні впливи на мембрану відповідні зміни опору тензорезисторного перетворювача, які трансформуються в електричний сигнал за допомогою мостової схеми, що є третім перетворювачем в датчику тиску.

В даний час розроблено велику кількість типів і модифікацій датчиків, в основу роботи яких покладено різні варіанти поєднань вимірювальних перетворювачів і відрізняються різними конструктивними і схемними варіантами виконання.

Враховуючи цю обставину, класифікацію датчиків правильно проводити первинного перетворювача, тобто. за принципом дії на якому

засновано роботу сенсорного елемента, що є основним у роботі будь-якого датчика.

Крім того, датчики іноді доцільно класифікувати на вигляд вхідних або вихідних величин.

Таким чином, здійснення автоматизації технологічних процесів на локальному рівні зажадало створення датчиків генеруючих електричний сигнал пропорційний величині технологічного параметра, що реєструється.

В результаті цього в датчиках стали встановлювати вторинні перетворювачі, вихідною характеристикою стали значення аналогового електричного сигналу.

За допомогою вихідного електричного сигналу вдалося відокремити датчик від вимірювального приладу та помістити вимірювальний прилад на щиті оператора, де забезпечені нормальні умови експлуатації.

## **1.2 Аналіз сучасних систем контролю технологічних параметрів, які застосовуються на АЕС**

Характерною рисою сучасного етапу розвитку світової енергетики є збільшення частки АЕС у виробництві електроенергії. Водночас підвищена техногенна небезпека цих потужних енергетичних об'єктів визначає актуальність завдання забезпечення їхнього надійного, ефективного та безпечного функціонування.

Специфіка технологічного процесу на АЕС, обумовлена низкою факторів (необхідністю координованої роботи великої кількості агрегатів основного та допоміжного обладнання, обмеженим доступом до багатьох приміщень станцій, великою одиничною потужністю агрегатів), вимагає високого ступеня автоматизації, що дозволяє порівняно невеликому колективу обслуговуючого персоналу здійснювати управління енергооб'єктом.

Створення системи управління, що автоматично готує оператору вичерпні інформаційні дані, здатної здійснювати пошук оптимальних режимів

при пусках, зупинках та експлуатації енергоблоків у стаціонарних режимах та прогнозувати причини зниження економічності обладнання – проблема, яка очікує свого вирішення [1-3].

Вирішенням цієї проблеми є роботи зі створення нових та вдосконалення існуючих автоматизованих програмних комплексів у складі АСУ ТП енергоблоків ТЕС та АЕС, такі як [3-5].

Ці системи багатофункціональні і, крім традиційних питань контролю, вирішують діагностичні завдання, виступають як система інтелектуальної підтримки прийняття рішень у задачах управління та планування. Основою функціонування більшості таких систем є імітаційна модель енергетичного об'єкта, що дозволяє проводити моделювання різних режимів функціонування.

Електроенергетика України займає значне місце у національній економіці. Частка вироблення електроенергії атомними станціями в Україні становить близько 50% від усієї виробленої електрики [1]. Загалом на 4 АЕС України експлуатується 15 енергоблоків.

Системи автоматичного управління та контролю є невід'ємною частиною сучасних АЕС та відіграють ключову роль у забезпеченні їхньої надійної та безпечної роботи.

Системи автоматичного управління та контролю (далі САУ) є невід'ємною частиною сучасних АЕС та відіграють ключову роль у забезпеченні їхньої надійної та безпечної роботи. Сучасні САУ для АЕС зазвичай служать для вирішення двох основних завдань:

- автоматичне керування технологічними процесами (ТП);
- автоматичний контроль технологічних параметрів та режимів роботи АЕС.

Автоматизація та контроль параметрів технологічного процесу дозволяє істотно збільшити ефективність роботи конкретного обладнання (об'єкта управління) та роботи енергоблоку електростанції в цілому.

Автоматизація технологічного процесу базується на описі технологічних операцій (технологічних алгоритмів), розробленому інженерами-технологами та забезпечує сам ТП.

Технологічні алгоритми зазвичай забезпечують технологію виконання певних дій (операцій) з урахуванням обмежень при управлінні (наприклад, дозволені чи заборонені зони переміщення, технологічні перемикання та операції) та особливостей самого об'єкта управління (його конструкції, меж, способів та умов експлуатації тощо). ), а також порушень ТП.

Автоматизація дозволяє суттєво знизити час, що витрачається на виконання стандартних (заздалегідь визначених) дій (операцій, циклів) автоматизованого обладнання, за рахунок збільшення швидкостей виконавчих механізмів об'єктів управління, відсутності зупинки між виконанням окремих дій частинами, що рухаються, реалізації спільного руху декількох механізмів, оптимізації траєкторії руху керованого обладнання тощо.

Поруч із автоматизацією ТП на АЕС обов'язково реалізується контроль технологічних параметрів технологічного устаткування енергоблока.

Насамперед здійснюється контроль параметрів, що використовуються САУ при управлінні ТП.

До таких параметрів відносяться показання датчиків положення, швидкості, зусиль, контролю температури, рівня, тиску, кінцевих вимикачів та інші сигнали, що передаються обладнання об'єкта управління в САУ. Крім цього, у САУ здійснюється контроль передачі інформації всередині самої системи, контроль ліній зв'язку та інших параметрів.

Також слід зазначити, що традиційно САУ для АЕС проектується з урахуванням основних принципів, регламентованих документом [2]:

- стійкість до одиничної відмови;
- структурне резервування;
- незалежність каналів управління та передачі інформації;
- різноманітність застосовуваних технічних засобів для виключення відмов із загальної причини (технічно виправданою мірою);

- фізичний поділ обладнання САУ двоканальних систем або виконують різні функції у різних шафах чи приміщеннях (технічно виправданою мірою);
- Безпека відмови.

Ще однією вимогою для створення САУ для АЕС є мінімізація впливу персоналу на роботу САУ. При проектуванні, виготовленні та впровадженні САУ зазвичай враховуються такі особливості взаємодії оператора із системою:

- простота / складність необхідних дій;
- підготовка (досвід);
- наявність можливості контролю управління;
- рівень стресу;
- якість інтерфейсу «людина-машина» (зручність зчитування інформації з приладів, що показують, роботи з органами управління та ін.);
- залежність у діях персоналу (виконання неправильної дії внаслідок неправильного зчитування інформації з контрольно-вимірювальних приладів та ін.).

Особливістю сучасних САУ для АЕС України є їхня різноманітність щодо технічних рішень, що в них використовуються.

Насамперед це характерно для атомних станцій, що давно діють, системи управління яких піддавалися неодноразовій модернізації за час експлуатації.

Це зумовлено такими причинами:

- різноманітність виконуваних функцій - управління ТП та обладнанням, реалізація захистів реакторної установки, інформаційна підтримка оперативного персоналу та ін;
- віднесення систем до різних класів безпеки та, як наслідок, наявність різних вимог до реалізації цих систем, викладених у нормативних документах як українських, так і міжнародних (ці вимоги неодноразово змінювалися та вдосконалювалися за останні 20–30 років);



- різноманітність постачальників обладнання для АЕС та застосування ними типових рішень та схем, заснованих, найчастіше, на компонентах власного виробництва;

- безперервне вдосконалення та розвиток насамперед «цифрової» елементної бази, яка значно змінюється кожні кілька років.

Специфікою проектування САУ для АЕС є те, що частина обладнання САУ експлуатується в центральному (реакторному) залі станції або інших приміщеннях, де є радіаційне навантаження або контакт з радіоактивними середовищами, де для дезактивації поверхонь обладнання застосовуються спеціальні розчини, а отже, є підвищена вологість і Температура.

В основному в несприятливих умовах працюють датчики, двигуни та виконавчі механізми. При цьому технічні засоби САУ намагаються винести в «чисті» приміщення, а там, де це неможливо, застосовують вироби, стійкі до перелічених вище зовнішніх впливів, або поміщають їх у захисні оболонки. Системи САУ проектуються з урахуванням вимог до сейсмостійкості. Достатньо жорсткі вимоги висувуються і до надійності САУ. Наприклад, надійність системи керування перевантажувальною машиною характеризується такими показниками:

- ймовірність безвідмовної роботи під час безперервної роботи (720 год) - 0,997;
- середнє напрацювання на відмову (MTBF) - 250 000 год;
- середній час відновлення – 4 год.

Призначений термін служби системи керування перевантажувальної машини становить не менше 30 років. Досягаються ці показники за рахунок застосування комплектуючих виробів з високими показниками надійності, резервування та забезпечення користувача необхідним комплектом запасних частин.

Найбільш важливим аспектом при проектуванні САУ для атомних станцій є їхня класифікація з урахуванням впливу САУ на безпеку АЕС відповідно до вимог ОПБ-88/97.

За впливом САУ як елемента АЕС, на безпеку встановлюються чотири класи безпеки [2].

Клас безпеки 1. До нього відносяться тепловиділяючі елементи (ТВЕЛ) та елементи АС, відмови яких є вихідними подіями запроектованих аварій, що призводять при проектному функціонуванні систем безпеки до пошкодження ТВЕЛ з перевищенням встановлених для проектних аварій меж.

Клас безпеки 2. До нього належать такі елементи АС:

- елементи, відмови яких є вихідними подіями, що призводять до пошкодження ТВЕЛ у межах, встановлених для проектних аварій, при проектному функціонуванні систем безпеки з урахуванням нормованої для проектних аварій кількості відмов у них;

- елементи систем безпеки, поодинокі відмови яких призводять до невиконання відповідними системами своїх функцій.

Клас безпеки 3. До нього відносяться елементи АС:

- системи важливі для безпеки, які не увійшли до класів безпеки 1 та 2;
- містять радіоактивні речовини, вихід яких у навколишнє середовище (включаючи виробничі приміщення АС) за відмов перевищує значення, встановлені відповідно до норм радіаційної безпеки;

- виконують контрольні функції радіаційного захисту персоналу та населення.

Клас безпеки 4. До нього відносяться елементи нормальної експлуатації АС, які не впливають на безпеку та не увійшли до класів безпеки 1, 2, 3. безпеки 4.

САУ АЕС щодо впливу на безпеку зазвичай класифікують за класами: 2, 3 та 4. Класи безпеки 2 та 3 накладають певні вимоги до документації та проектування САУ, а також до оцінки відповідності обладнання, комплектуючих, матеріалів та напівфабрикатів, що поставляються на АЕС [3].

Усі САУ та обладнання, що використовуються на АЕС, за своїм призначенням можна умовно поділити на два види:

- системи та обладнання, що реалізують певні транспортно-технологічні операції, наприклад машини, маніпулятори, для зберігання, транспортування, перетворення та переробки ядерного палива;

- системи, що здійснюють контроль, управління та інформаційну підтримку (отримання, передача, обробка, зберігання інформації) в установках, що реалізують ТП, наприклад, управління реакторної установки, хімоводоочищення, переробки рідких і твердих радіоактивних відходів.

При цьому ТП можуть містити ознаки як першого, так і другого виду. Наприклад, встановлення переробки рідких радіоактивних відходів містить у собі ТП переробки відходів та транспортно-технологічну лінію.

Також САУ класифікують характером виконуваних нею функцій, відповідних її основному призначенню. При цьому кожна з функцій системи повинна бути чітко названа і описана і мати цінність (наприклад, функція діагностики дозволяє користувачеві своєчасно виявляти елементи САУ, що відмовили, що забезпечує ведення ТП без шкоди для технологічного обладнання, рухомих частин обладнання тощо).

Таким чином, системи поділяють за їх функціональним призначенням, наприклад, на керуючі, інформаційні системи безпеки та ін.

Багато САУ на АЕС є системами, у яких реалізація однієї чи двох функцій є пріоритетним завданням. Наприклад, обладнання має забезпечувати керування ТП.

Таким чином, основними функціями САУ є функції управління та безпеки (захист та блокування). Проте це отже, що у САУ неможливо знайти реалізовані додаткові функції — діагностична, інформаційна, технічного обслуговування, архівування, навчання та інших.

У таких випадках додаткові функції не повинні впливати на основні функції САУ.

В окремих САУ, що використовуються на АЕС, функція захисту та блокування може бути реалізована лише за допомогою «жорсткої» релейної логіки або поєднувати наявність декількох каналів захисту, реалізованих на

різних фізичних принципах (наприклад, ПЛК в одному каналі захисту та релейна логіка в іншому).

Ще однією особливістю САУ для АЕС є залежність режиму роботи системи та технологічного обладнання від режиму роботи енергоблока станції, наприклад:

- САУ переробки радіоактивних відходів має періодичний режим роботи, який залежить від кількості накопичених відходів незалежно від режиму роботи енергоблоку.

- система управління перевантажувальною машиною працює під час планово-попереджувального ремонту (ППР) та зупиненого енергоблоку; при цьому необхідно забезпечити найкоротші, економічно вигідніші терміни перевантажувальної операції.

- система автоматичного регулювання захисту турбіни працює при роботі енергоблоку АЕС на потужності та зупинена вчасно ППР.

Оскільки терміни ППР (1–3 місяці на рік) та роботи енергоблоку на потужності (9–11 місяців на рік) різні, то й вимоги до САУ, які працюють у цих режимах, суттєво відрізняються.

Сучасні САУ, що застосовуються на АЕС, зазвичай мають розподілену структуру. Зазвичай виділяють три рівні:

- нижній - датчики, виконавчі механізми та пристрої зв'язку з об'єктом;
- середній - обладнання автоматики, що містить ПЛК і виконує безпосередньо контроль та управління процесом;
- верхній – пульти управління, робочі місця операторів.

Розглянемо докладніше основні елементи САУ. ПЛК є ключовим елементом такої системи та, як правило, складається з дубльованих джерел живлення, дубльованих (резервованих) процесорних модулів, інтерфейсних модулів, комунікаційних процесорів та модулів входів/виходів. У ПЛК завантажується програма управління ТП, захисту та блокування, математичні моделі як самих об'єктів управління, і просторові моделі зон обслуговування транспортно-технологічних об'єктів. На рис. 1.2 показаний приклад ПЛК на

базі контролера Siemens серії S7-300, що широко використовується в системах автоматичного контролю АЕС. Програмний комплекс на базі контролера Siemens серії S7-300, який широко використовується в системах автоматичного контролю АЕС. Робочі місця операторів (РМО) таких систем зазвичай являють собою персональний комп'ютер у промисловому виконанні (або панель управління) із встановленою на ньому операційною системою та спеціалізованим програмним забезпеченням, за допомогою якого може здійснюватись конфігурування САУ.



Рисунок 1.2 – Програмний комплекс на базі контролера Siemens серії S7-300

Робочі місця операторів зазвичай поділяють кілька типів залежно від призначення і розмежування прав доступу.

Наприклад, розрізняють місця операторів, технологів, начальників зміни, інженерів-фізиків, інженерів-хіміків та інших, які контролюють ведення ТП. Одні РМО дозволяють виконувати лише моніторинг, діагностику та відображення інформації, інші – здійснювати управління ТП.

Права доступу в операторів можуть бути різні, але зазвичай вони не мають доступу до налаштувань та управління обладнанням, робота якого може вплинути на безпеку.

Оператор має можливість лише зупинити роботу системи або перевести її в безпечний стан при виникненні аварійних ситуацій.

Крім РМО, до складу САУ включають сервісний ноутбук або інженерну станцію, що дозволяють інженеру-програмісту перепрограмувати ПЛК.

Як приклад РМО оператора на рис. 1.3 наведено пульт управління розвантажувально-завантажувальної машини для АЕС з реакторами типу РБМК. Дане робоче місце дозволяє здійснювати управління розвантажувально-завантажувальною машиною реактора РБМК в автоматизованому режимі, завдяки чому можна уникнути нештатних ситуацій, пов'язаних з відступом від вказівок інструкції з експлуатації, і тим самим підвищити безпеку експлуатації розвантажувально-завантажувальної машини, а також скоротити час, що витрачається на навантаження.

Розглянемо особливості сучасних систем контролю за технологічними параметрами технологічного обладнання енергоблоків.

Сучасні САУ мають низку особливостей, що забезпечують підвищену безпеку та надійність функціонування АЕС. При виході з експлуатації устаткування РМО сучасні САУ забезпечують продовження управління ТП. При необхідності до САУ можна додати умови, за яких відмова РМО оператора призводить до безпечної зупинки ТП.



Рисунок 1.3 – Пульт керування автоматизованого робочого місця системи контролю технологічних параметрів технологічного обладнання енергоблоку електростанції

Мережі передачі даних, що використовуються в сучасних САУ, мають обмежений доступ до інших мереж на АЕС. Можливість підключення знімних носіїв (USB-носії) зазвичай обмежена в обладнанні САУ програмно та фізично. Устаткування САУ немає дисководів, якщо їх наявність не обумовлено окремо замовником у технічному завданні САУ.

Такі заходи забезпечують захист систем від потенційних вірусних загроз та несанкціонованого доступу.

Пульти керування РМО, з яких здійснюється введення завдань, що управляють, не мають стандартної комп'ютерної клавіатури, а забезпечені спеціалізованими клавіатурами, оснащеними тільки необхідними функціональними клавішами. Часто у складі САУ є пульти для ручного чи місцевого керування обладнанням ТП. У пульти управління РМО для спостереження за ТП інтегрується обладнання ТВ-систем різного призначення для зниження (виключення) дозового навантаження на персонал АЕС.

У складі САУ передбачаються програмні та технічні засоби для налагодження та налаштування систем, для автономної перевірки функціонування окремих вузлів системи.

У великих САУ, рознесених за різними приміщеннями АЕС, широко застосовуються оптичні лінії зв'язку, що забезпечують перешкодозахисність та збільшення швидкості обміну даними в системі.

Розглянемо тенденції розвитку системи контролю за технологічними параметрами технологічного обладнання енергоблоку електростанції.

Для будівельних (енергоблок Хмельницької АЕС) та нещодавно введених до ладу енергоблоків АЕС України, основним чинником є прагнення керівництва станцій до зменшення кількості фахівців, які обслуговують обладнання АЕС. Це призводить до того, що проектні організації прагнуть реалізувати всі САУ, які експлуатуються під час роботи енергоблоку на потужності, на дуже обмеженому наборі платформ, прийнятих директивно.

Однією з таких платформ є програмно-технічні засоби, які мають модульну структуру із розподіленими обчисленнями. Причому кожен

функціональний модуль має власний контролер (процесор). Контролер кожного модуля виділено на вирішення завдання контролю та управління, характерної для даного модуля, та обміну даними з іншими модулями. Система ТПТС на вирішення завдань автоматизації має такі функціональні модулі:

- введення/виведення дискретних та аналогових сигналів; управління виконавчими механізмами;
- регуляторів;
- мережевого інтерфейсу RS485.

В рамках однієї стійки (шафи) ТПТС модулі пов'язані між собою по внутрішній шині вводу/виводу стійки. Стійки однієї чи кількох САУ пов'язані між собою шиною EN. Як системний модуль, що забезпечує інформаційний зв'язок між функціональними модулями, пов'язаними з ТП, і між функціональними модулями і системами верхнього рівня, використовується центральний модуль (ЦМ) (рис.1.4).

Переваги розподіленої структури обчислень полягають у наступному:

- при розширенні САУ «обчислювальна потужність» системи зростає пропорційно збільшенню числа керованих механізмів і контрольованих параметрів, так як кожен функціональний модуль, що додається, містить свій процесор;
- зменшення навантаження на шині вводу/виводу;
- висока «живучість» системи - кожен модуль здатний автономно керувати процесом навіть при виході з ладу інших систем;
- прикладні функції кожного модуля задаються та модифікуються незалежно, що призводить до спрощення налагодження системи та її модернізації протягом усього життєвого циклу;
- вбудована глибока самодіагностика модулів та діагностика стану зовнішніх ланцюгів модуля.



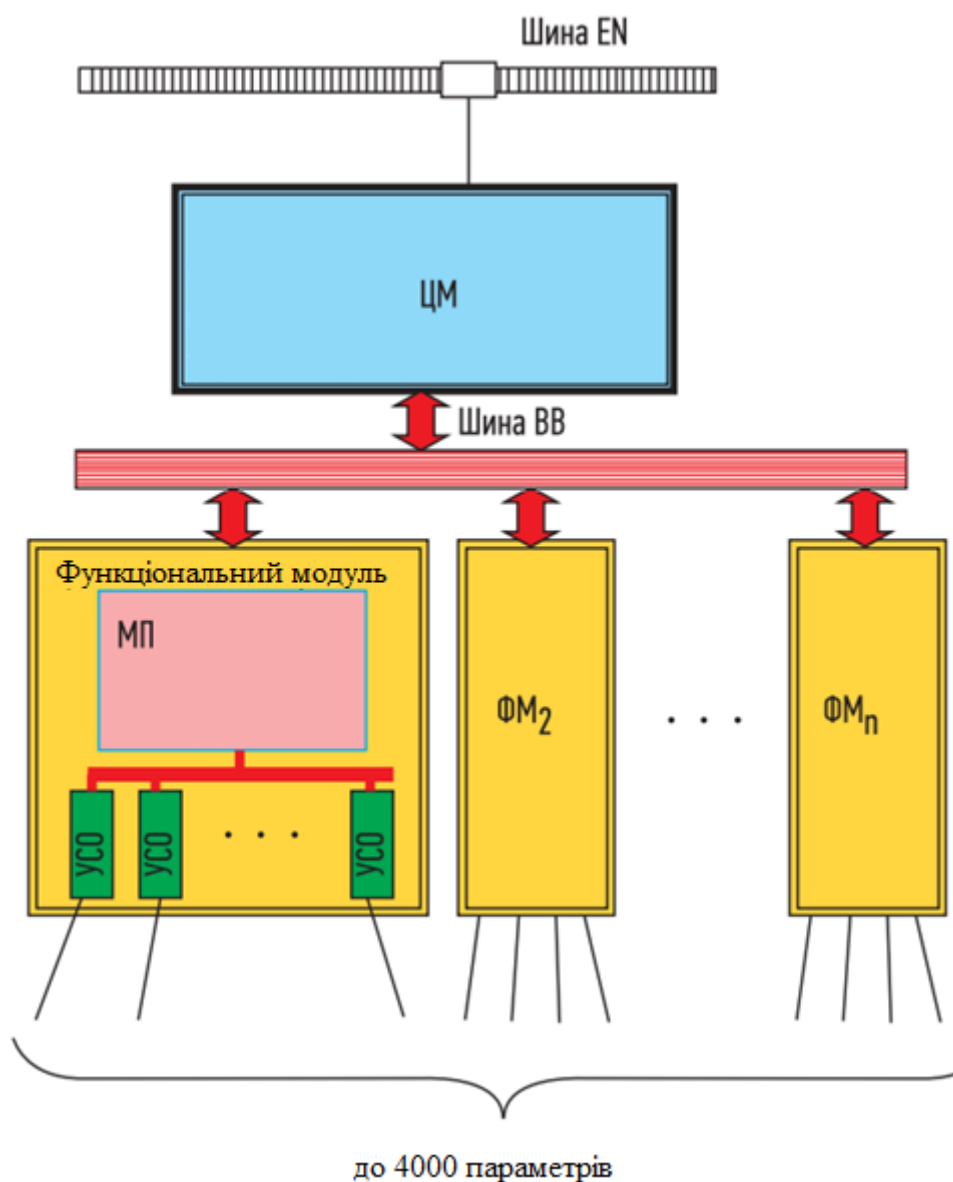


Рисунок 1.4 – Структура програмно-технічних засобів системи контролю технологічних параметрів технологічного обладнання енергоблоку електростанції

Як абоненти шини EN можуть виступати стійки ТПТС та персональні комп'ютери інших систем.

Об'єднання САУ різних технологічних систем АЕС у єдину структуру за допомогою шини EN дозволяє мати єдиний простір даних для всіх САУ енергоблоку АЕС, що полегшує розробку взаємодії між САУ різних технологічних систем та зменшує кількість інженерних станцій для обслуговування обладнання різних САУ.

На рис. 1.5 показаний приклад структури САУ ТП енергоблоку АЕС, реалізованої на засобах ТПТС та поєднує різні технологічні системи. Для проектування алгоритмів роботи САУ, реалізованих ТПТС, застосовується система автоматизованого проектування GET-R.

До основних функцій GET-R належать:

- графічне представлення алгоритму роботи модуля ТПТС у вигляді функціональної схеми, що складається з набору стандартних бібліотечних функцій (графічних елементів);
- запис прикладних програм у вигляді текстових файлів у модулі ТПТС;
- можливість часткової зміни прикладної програми, пов'язаного із зміною окремих параметрів у алгоритмах роботи модулів ТПТС;
- контроль правильності розподілу осередків пам'яті модуля як за відсутності у завданні задіяних каналів модулів, і за її подальшому використанні у проекті;
- перевірка правильності виконання операції завантаження;
- можливість отримання інформації за списками сигналів, що імітуються;
- подання інформації щодо невідповідності завантажених та спроектованих прикладних алгоритмів;
- ведення проектної бази даних;
- автоматизований випуск проектної документації.

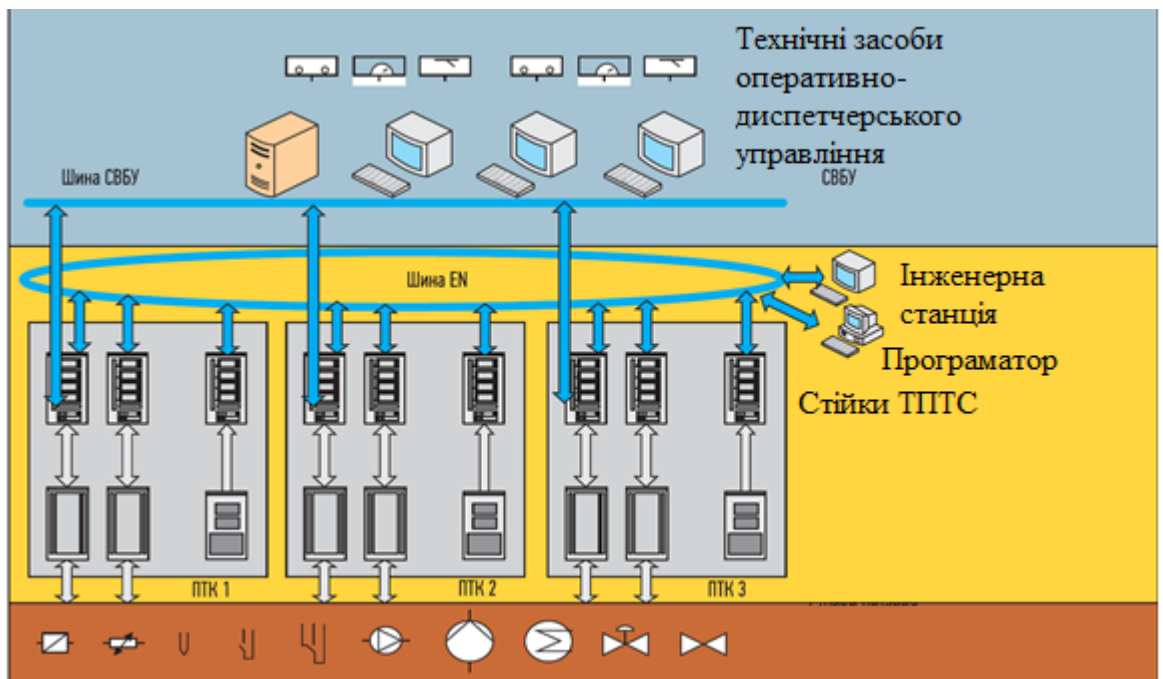


Рисунок 1.5 – Система контролю технологічних параметрів технологічного обладнання енергоблока електростанції (ПТК-програмно-технічний комплекс, СВБР-система верхнього блочного рівня)

Прикладами систем, реалізованих з урахуванням ТПТС, є САУ реакторного відділення; турбінне відділення; спецводоочищення; хімводоочищення; переробки рідких радіоактивних відходів; переробки твердих радіоактивних відходів. Для САУ, що працюють на етапі ППР, вимога щодо обмеження застосовуваних платформ не настільки жорстка, тому що в період ППР істотно розширюється склад обладнання, що реалізує специфічні та спеціалізовані функції.

Реалізація специфічних функцій потребує у ряді САУ значних обчислювальних ресурсів для обробки інформації, наприклад математичних обчислень за просторовою моделлю зони обслуговування при перевантаженні ядерного палива перевантажувальною машиною.

Тому для забезпечення інженерної підтримки експлуатації таких систем зазвичай залучаються спеціалізовані підприємства чи підприємства — розробники даних систем, а при проектуванні таких САУ застосовуються рішення, які добре себе зарекомендували та відпрацьовані на попередніх

проектах САУ для АЕС. Прикладами таких систем є обладнання навантаження ядерного палива; полярний кран; гайковерт. Особливість такого обладнання та систем управління – можливість переведення обладнання у безпечний стан шляхом зупинки у будь-який момент та на будь-якому етапі технологічного циклу. Це дозволяє спростити структуру апаратної частини та програмного забезпечення САУ, не знижуючи рівень безпеки реалізації ТП.

Перевагами таких САУ є:

- компактність;
- скорочення кількості кабелів, оскільки сигнали в САУ передаються ущільненими лініями передачі даних;
- комплексність рішення – замовник отримує САУ як закінчений виріб, включаючи датчики, виконавчі механізми, РМО;
- вбудовані можливості для конфігурування САУ, включаючи можливість редагування алгоритмів управління, логіки спрацьовування та набору захисту та блокування на доступних користувачеві засобах;
- незалежність від постачальника у разі поповнення комплекту запасних частин.

Таким чином, необхідно виділити дві основні тенденції розвитку систем контролю за технологічними параметрами технологічного обладнання енергоблоку електростанції:

- зростання обсягів оброблюваної інформації, зумовлене як ширшим застосуванням «інтелектуальних» датчиків, і природним бажанням експлуатуючого персоналу «збільшити зону (область) контролю» за технологічними параметрами технологічного процесу енергоблока;
- САУ, що розробляються і модернізуються, будуються із застосуванням нових, більш потужних обчислювальних платформ і використанням принципів розподілених обчислювальних систем;
- зниження кількості обслуговуючого персоналу на АЕС, що будуються, і, як наслідок, максимальна уніфікація обладнання, що застосовується для побудови САУ, на АЕС в цілому.

Серед зарубіжних систем контролю на рис. 1.6 представлено сучасну автоматизовану систему управління та контролю технологічними процесами енергоблоку електростанції – SKADA, яка дозволяє проводити контроль технологічних параметрів у режимі реального часу. Крім того, АСУ SKADA може сполучатися з мережею Internet, як показано на рис. 1.7. Загальний вид етапів алгоритму АСУ SKADA показано на рис. 1.8.

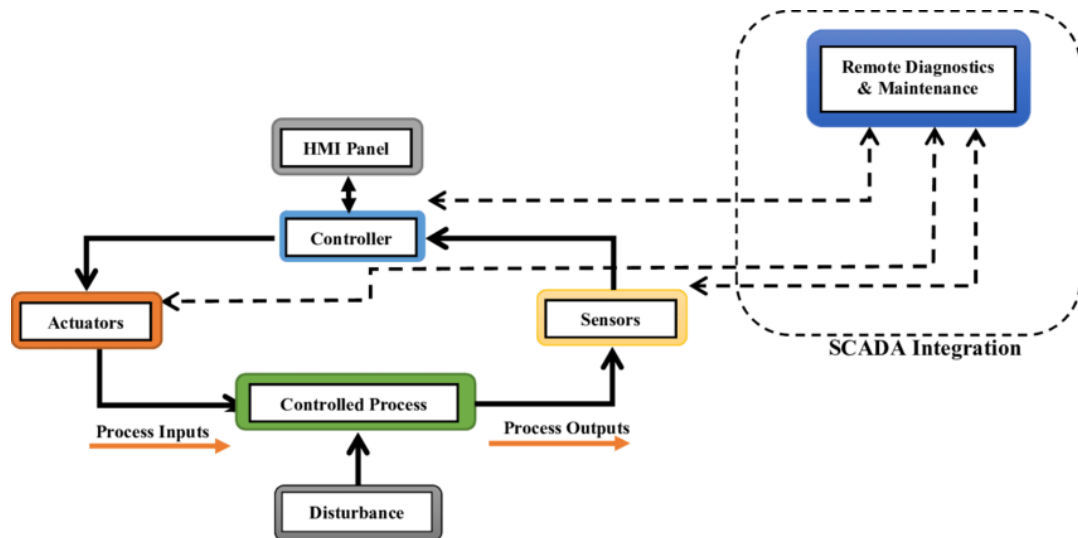


Рисунок 1.6 – Структурна схема АСУ SKADA

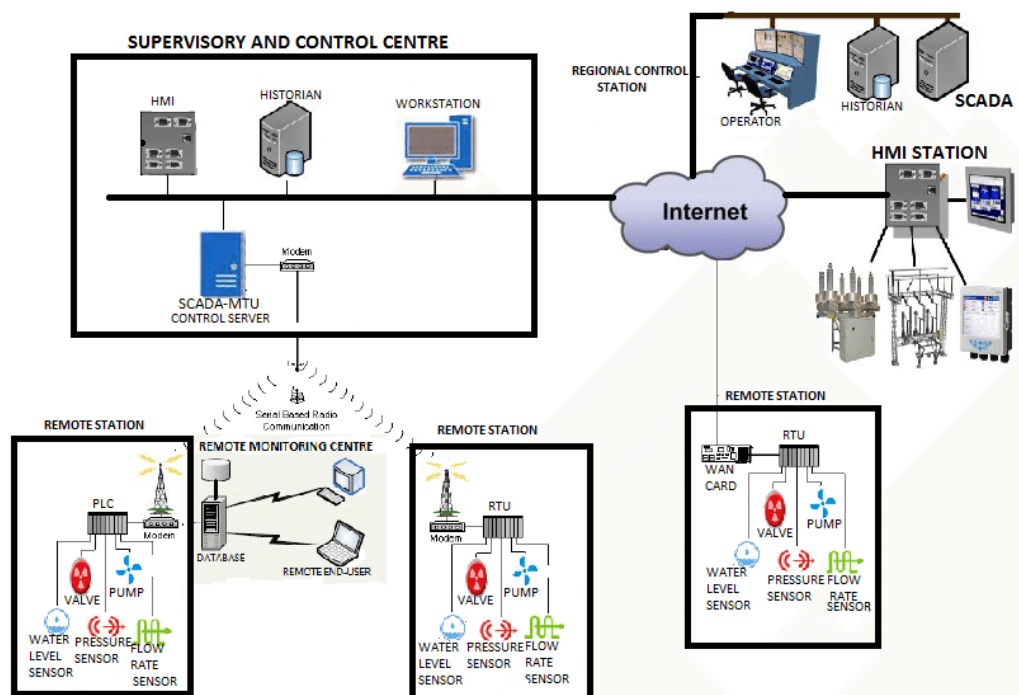


Рисунок 1.7 – Інформаційний зв'язок АСУ SKADA з Internet

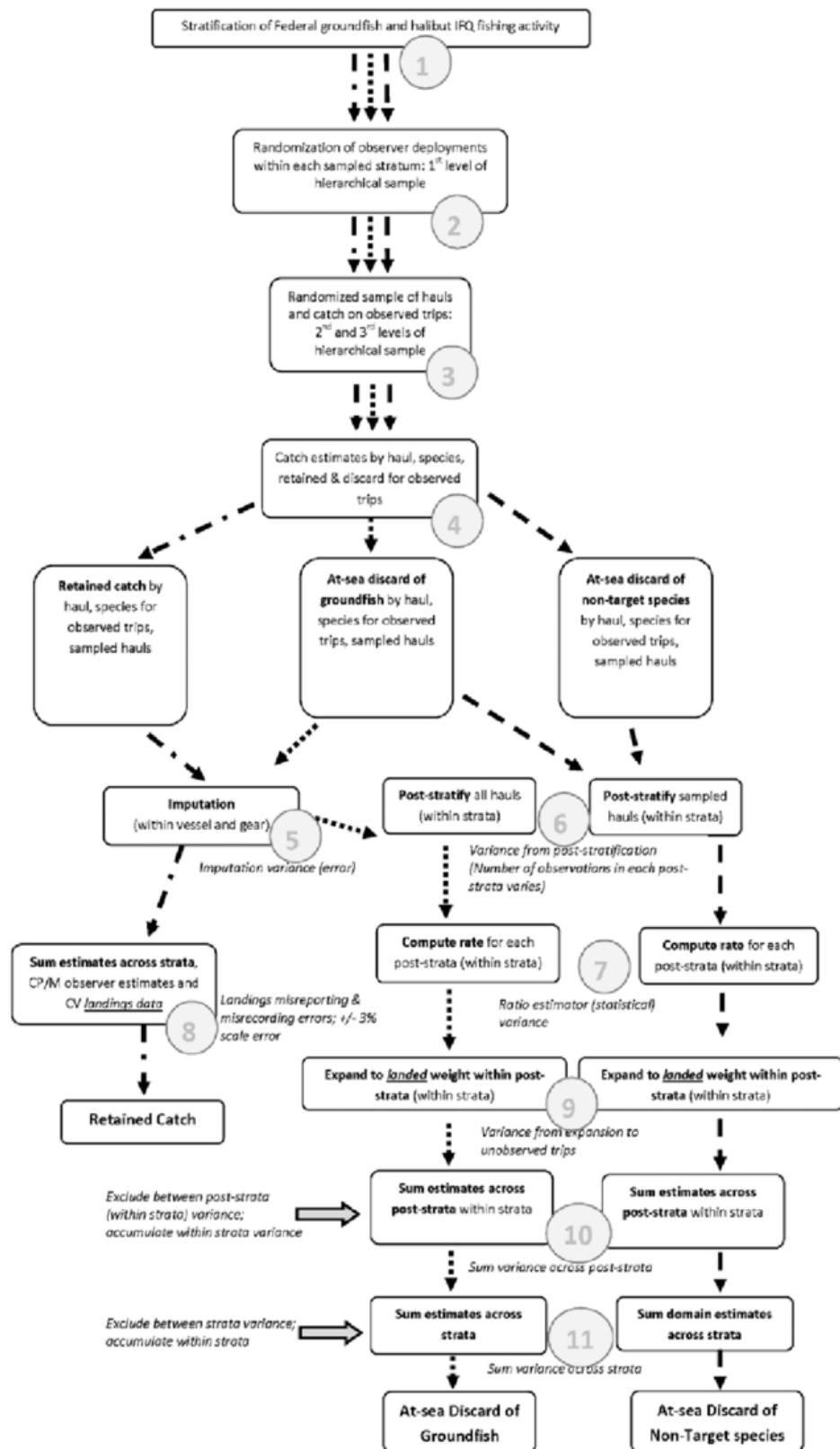


Рисунок 1.8 – Загальний вигляд етапів алгоритму ACU SKADA

### **1.3 Сучасні підходи до розробки методів контролю технологічних параметрів енергоблоку**

Розглянемо підходи розробки методу контролю технологічних параметрів енергоблоку.

Для цього необхідно розробити імітаційну модель енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000 та її реалізації у вигляді автоматизованого програмного комплексу.

Технологічна схема енергоустановки при імітаційному моделюванні розбивається на структурні блоки та об'єкти ієрархічного підпорядкування. Програмний комплекс має модульну структуру.

Характерною рисою сучасного етапу розвитку світової енергетики є збільшення частки АЕС у виробництві електроенергії.

Водночас підвищена техногенна небезпека цих потужних енергетичних об'єктів визначає актуальність завдання забезпечення їх надійного, ефективного та безпечного функціонування.

Специфіка технологічного процесу на АЕС, обумовлена низкою факторів (необхідністю координованої роботи великої кількості агрегатів основного та допоміжного обладнання, обмеженим доступом до багатьох приміщень станцій, великою одиничною потужністю агрегатів), вимагає високого ступеня автоматизації, що дозволяє порівняно невеликому колективу обслуговуючого персоналу здійснювати управління енергооб'єктом.

Створення системи управління, що автоматично готує оператору вичерпні інформаційні дані, здатної здійснювати пошук оптимальних режимів при пусках, зупинках та експлуатації енергоблоків у стаціонарних режимах та прогнозувати причини зниження економічності обладнання – проблема, яка очікує свого вирішення [1], [2].

Вирішенням цієї проблеми є роботи зі створення нових та вдосконалення існуючих автоматизованих програмних комплексів у складі АСУ ТП енергоблоків ТЕС та АЕС, такі як [3], [4] та багато інших.

Ці системи багатофункціональні і, крім традиційних питань контролю, вирішують діагностичні завдання, виступають як система інтелектуальної підтримки прийняття рішень у задачах управління та планування.

Основою функціонування більшості таких систем є імітаційна модель енергетичного об'єкта, що дозволяє проводити моделювання різних режимів функціонування.

В даний час робота з розробки та реалізації у вигляді автоматизованого програмного комплексу єдиної імітаційної моделі технологічних процесів в основному та допоміжному обладнанні енергоблоків станцій опубліковано у роботах [3], [7].

У цих роботах розглядається модель енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000, побудована на основі комплексного методу дослідження складних технічних систем за допомогою сучасної обчислювальної техніки, що включає побудову концептуальних, математичних та програмних моделей, виконання широкого спектра цілеспрямованих чисельних експериментів, обробку та інтерпретацію результатів цих експериментів імітаційного моделювання [8], [9].

При існуючих певних недоліках цього методу (точність імітаційної моделі залежить від достовірності вихідної інформації, вимагає проведення ряду імітаційних експериментів, обмежені можливості розв'язання задач прогнозування за допомогою імітаційного моделювання), він, тим не менш, є одним з найбільш широко використовуваних потужних інструментаріїв, що застосовуються при вирішенні завдань аналізу, управління та синтезу складних систем.

Енергоблок сучасної ядерної установки є складною технічною системою. Даному об'єкту притаманні всі основні ознаки системи: цілісність; наявність підсистем і зв'язків з-поміж них, тобто. наявність структури; можливість відокремлення чи абстрагування від довкілля; зв'язки з довкіллям щодо обміну ресурсами; підпорядкованість усієї організації системи одній меті. Найважливішою системною характеристикою енергоустановки є технологічна схема (рис. 1.9).



Технологічна схема (ТС) енергоблоків АЕС із реактором ВВЕР-1000 має два контури. Перший – радіоактивний – включає реактор типу ВВЕР та чотири циркуляційні петлі охолодження.

Кожна складається з горизонтального парогенератора ПГВ-1000, головного циркуляційного насоса та головного циркуляційного трубопроводу. До однієї з петель приєднаний паровий компенсатор тиску, що підтримує в контурі заданий тиск води

Перший контур призначений для відведення тепла, що виділяється в реакторі, і передачі його в другий контур парогенератор.

Енергія розподілу ядерного палива в активній зоні реактора відводиться теплоносієм, що прокачується через неї головними циркуляційними насосами.

З реактора теплоносій головними циркуляційними трубопроводами надходить у парогенератори, де віддає тепло котловій воді другого контуру і потім головними циркуляційними насосами повертається в реактор. Другий контур технологічної схеми енергоблоку – нерадіоактивний – складається з парогенераторів, турбіни К-1000-60/1500-2 з генератором ТВВ-1000-4 та допоміжного обладнання машинного відділення.

Виробляється в другому контурі парогенераторів насичена пара надходить на турбіну. Проміжна сепарація та двоступінчастий перегрів (добірною та свіжою парою) пари після циліндрів високого тиску виробляються в чотирьох сепараторах пароперегрівачів.

Основний конденсат піддається очищенню на блоковій знесолюючій установці і через чотири ступені поверхневих підігрівачів низького тиску системи регенерації надходить у деаератори.

Після деаераторів вода двома поживними турбонасосами подається до парогенераторів через систему підігрівачів високого тиску.

Процес формалізації дослідження системи реалізується на основі концептуальної моделі, що формулюється в таких термінах як блок, об'єкт, атрибут об'єкта, схема поведінки об'єкта.

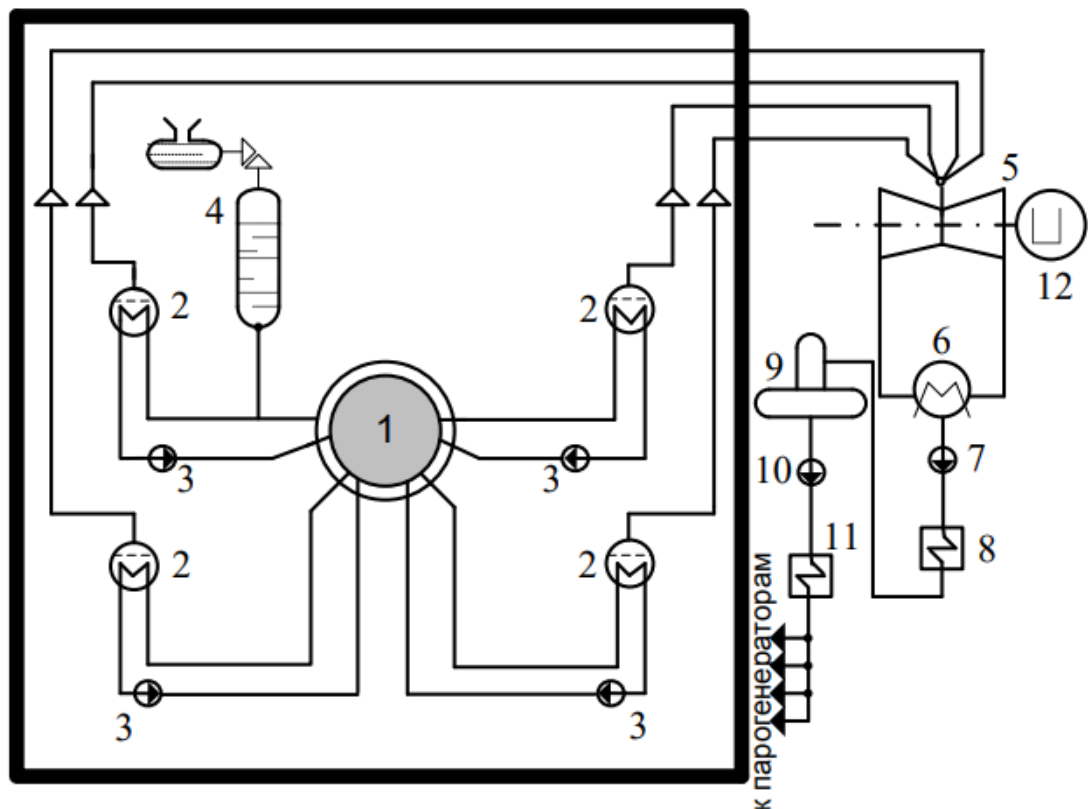


Рисунок 1.9 – Технологічна схема енергоблоку АЕС із ВВЕР1000. 1 – реактор; 2 – парогенератор; 3 – головний циркуляційний насос; 4 – компенсатор обсягу; 5 – турбіна; 6 – конденсатор; 7 – конденсатний насос; 8 – група підігрівачів низького тиску; 9 – деаератор; 10 – живильний насос; 11 – група підігрівачів високого тиску; 12 – електрогенератор.

Так, при структурному поданні схеми енергоустановки утворюються структурні блоки, формуються об'єкти, за допомогою яких описується основне технологічне обладнання і які знаходяться в ієрархічному підпорядкуванні.

Наприклад, блок «Парова турбіна» поєднує об'єкти: «циліндр турбіни» та «клапани та трубопроводи». "Циліндр турбіни", у свою чергу, у своєму підпорядкуванні має об'єкти: відсік сходів, патрубки відборів пари, останній ступінь, вихідний патрубок, кінцеві ущільнення.

Блок «Тепломасообмінного обладнання» включає об'єкти систем регенеративного підігріву живильної води низького та високого тиску, випарник, деаератор, теплофікаційна установка.

В умовах широкого використання парадигми об'єктно-орієнтованого програмування, вказана безліч понять є загальноприйнятим у багатьох мовах та системах програмування. Для передачі формальної структури енергоустановки зручно використовувати орієнтований граф [5, 10].

Вузли графа – технологічне устаткування, яке входить до складу технологічної схеми. Орієнтація дуг графа збігається з напрямком руху теплоносіїв та передачі механічної, теплової та електричної енергії в технологічних зв'язках установки.

Таким чином, структуру технологічної схеми можна подати технологічним графом [5, 10]:

$$G^T \Leftrightarrow \bigcup_{i=1}^m N_i \Leftrightarrow \bigcup_{i=1}^m \bigcup_{j \in R_i} N_j, \quad (1.1)$$

де  $N_i, N_j$  – імена елементів технологічної схеми;

$m$  – кількість елементів у схемі енергоустановки;

$R_i$  – безліч імен елементів, які направляються які з елемента  $N_i$  технологічні зв'язки.

Математична модель технологічної схеми енергоблока є формалізованим записом числових і логічних змінних системи.

Математична модель енергоустановки має вигляд:

$$\{\Omega(\chi) | \varphi_i(\chi) = 0, i = \overline{1, s}\} \quad (1.2)$$

де  $\Omega$  и  $\varphi_i$  – функціональні відносини, що описують якість системи та фізичні процеси, що відбуваються в ній;

$\chi$  – інформаційна структура функціонального стану об'єкта, визначена як п'ятимісний кортеж:

$$\chi = \langle X, Y, G^T, \Lambda, \aleph \rangle, \quad (1.3)$$

де  $X$  та  $Y$  – числові кортежі незалежних та залежних змінних;

$G^T$  – технологічний граф;

$\Lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_r)$  – кортеж зовнішніх зв'язків;

$\aleph$  – кортеж управління – безліч логічних функцій, визначених на предметних змінних  $G^T$ , а також режимних параметрах використання моделі

Змінні інформаційної структури визначаються як нечіткі множини, і тому  $\chi$  є складною нечіткою освітою.

Можливість використання теорії нечітких множин для опису та формалізації, наприклад, областей допустимих режимів роботи обладнання є вкрай важливою.

Це з тим, що завдання жорстких обмежень для АСУ ТП і систем автоматики призводять нині до відключення цих систем диспетчером.

Технологічні процеси, що відбуваються в основному та допоміжному обладнанні енергоблоку, описуються в моделі системою відносин (рівностей, нерівностей, таблиць, логічних умов).

Ця система відносин включає рівняння термодинаміки, теплообміну, рівняння стану води та водяної пари, кінематичних та теплофізичних властивостей робочих середовищ, конструктивних та техніко-економічних залежностей.

Ця система суттєво нелінійна, містить неявні функції. Її кількісний та якісний склад залежить від логічної інформації, що описується графом  $T, G$  та від цілей дослідження (завдання управління, оптимізаційні розрахунки, техніко-економічні дослідження та ін.).

Перелічені особливості характеризують систему відносин, що описує енергоустановку, як багатопараметричну систему зі змінною структурою.

Найбільш ефективним засобом опису структурно-параметричних завдань є логіко-числові оператори, що складаються з гібридних функцій.

Розглянемо розробку програмної моделі, розроблений з урахуванням імітаційної моделі програмний комплекс, має модульну структуру з ієрархічною впорядкованістю (рис. 1.10).

На верхньому рівні знаходиться керуюча програма, що організовує роботу всього комплексу з виконання завдань, які від користувача.

Лексичний та синтаксичний аналіз введених користувачем директив виконує спеціально розроблений транслятор вхідної мови (на кшталт проблемноорієнтованих мов).

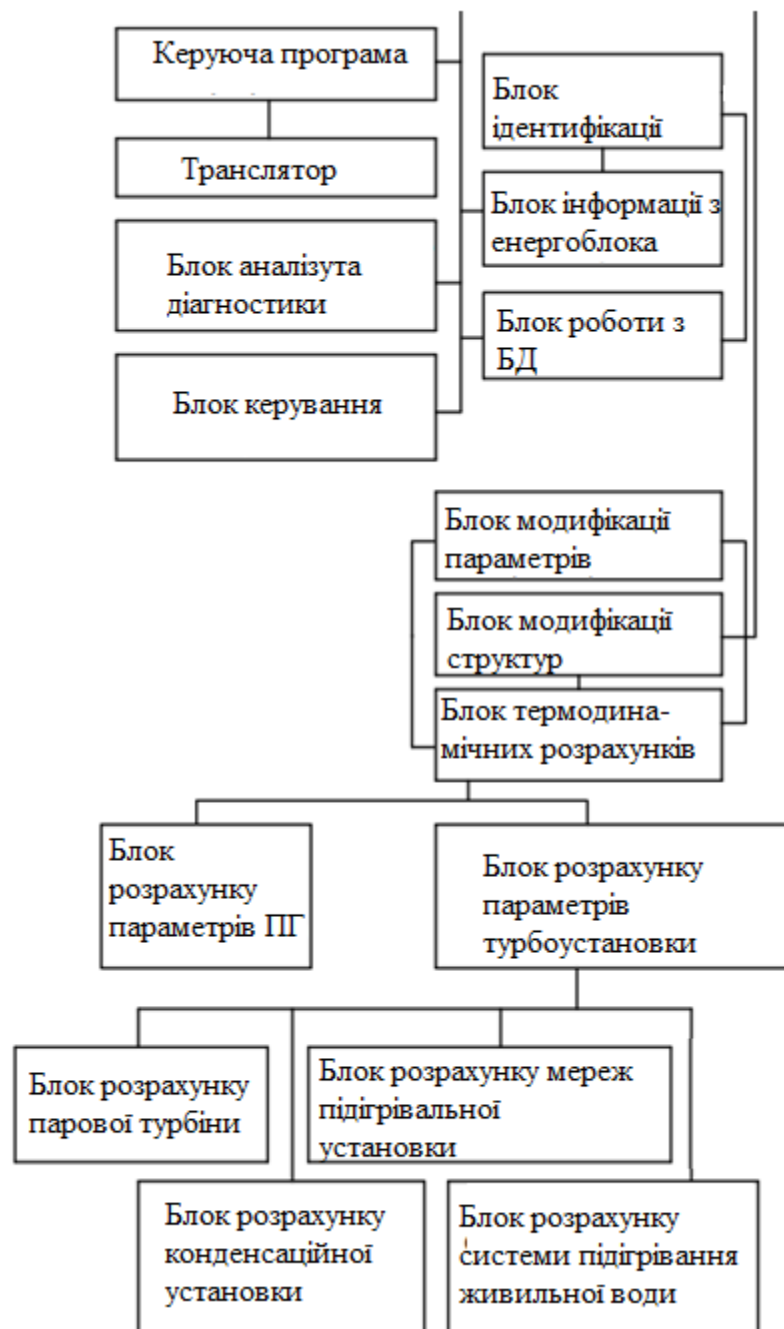


Рисунок 1.10 – Схема основних програмних модулів

Блок програм, що обслуговують базу даних (БД), призначений для зберігання різної інформації, що накопичується у процесі експлуатації енергоустановки.

Структура БД поділяється на власне базу даних, що виконує безпосереднє зберігання останніх, і систему управління БД, яка, використовуючи індексно-довільний метод, забезпечує інтерфейсний доступ до записів, що зберігаються.

Блок програм структурних змін технологічних схем енергоустановки перевіряє можливість зв'язку енергетичного, тепломеханічного, парогенеруючого, насосного та іншого обладнання одне з одним із погляду сенсу технологічного процесу.

Крім того, цей блок керує роботою семантичних підпрограм транслятора, що здійснюють наступні зміни у структурі: підключення, відключення, перемикання, заміну, виключення та включення обладнання до схеми техпроцесу; визначає можливість технологічних зв'язків між устаткуванням.

Блок програм зміни параметрів технологічного процесу керує введенням вихідних даних, необхідних розрахунку параметрів технологічного процесу енергоустановки і проведенням їх корекції, а також керує роботою лексичного і синтаксичного блоків транслятора, що здійснюють відповідну обробку директив, що вводяться користувачем.

Блок програм термодинамічного розрахунку параметрів техпроцесу управляє розрахунком різних схем із визначенням теплових та енергетичних показників.

Програми, що входять до блоку, є програмною реалізацією низки операторів: оператора збереження кількості речовини, що вирішує рівняння витрат робочої речовини або теплоносіїв для кожного елемента технологічної схеми установки – вузла технологічного графа; оператора тиску, який визначає тиск робочої речовини в елементах та зв'язках схеми – вузлах та дугах графа; оператора ентальпії, який визначає ентальпії та робочі температури робочої

речовини в енергетичному та теплообмінному обладнанні, оператора енергії, який визначає теплові та енергетичні показники установки з урахуванням ККД обладнання.

До блоку також включена підпрограма, що забезпечує необхідну для вирішення конкретного завдання точність розрахунків зазначених показників.

Блок розрахунку горизонтального парогенератора ПГВ-1000 здійснює розрахунок параметрів агрегату з відомою геометрією каналів теплопередавальної поверхні на номінальному та часткових режимах експлуатації з метою визначення ентальпій (температур) теплоносія та робочого тіла та паропроодуктивності парогенератора.

Керуюча програма будує структуру теплової схеми всього енергоблоку, організовує обчислювальний процес і запроваджує вихідні дані, необхідних роботи всього комплексу, зокрема розрахунку парогенератора, здійснює взаємодію параметрів ТЗ і даного агрегату.

Вхідною інформацією для розрахунку є значення температури та тиску живильної води, теплоносія на вході в парогенератор, витрати теплоносія через парогенератор.

Для розрахунку теплопередавальної поверхні вихідною інформацією є конструктивні параметри: кількість труб поверхні, середній діаметр труб.

Програма розрахунку теплового балансу передбачає розрахунок параметрів теплоносія та робочого тіла на виході з парогенератора та розрахунок його паропроодуктивності.

До складу програм розрахунку термодинамічних та теплофізичних параметрів теплоносія та робочого тіла входять підпрограми обчислення температури та ступеня сухості води та водяної пари за тиском та ентальпією, розрахунку швидкості, щільності, коефіцієнта динамічної в'язкості теплоносія, критеріїв Рейнольдса, Прандтля, обчислення теплопровідності стін.

Блок розрахунку параметрів обладнання турбоустановки включає: блок програм докладного розрахунку параметрів у проточній частині турбіни, який проводить розрахунок процесу розширення пари в напрямних і робочих

лопатках турбіни за їх перерізами і здійснює зв'язок між розрахунками проточної частини і турбоустановкою в цілому; блоки розрахунку параметрів конденсаційної та мережевої підігрівальної установок, розрахунку системи регенеративного підігріву живильної води.

Крім того, програмами даного блоку здійснюється розрахунок параметрів технологічного процесу в теплообмінному, масообмінному та насосному обладнанні.

До блоку управління імітаційним експериментом включені програми, що реалізують статистичні методи планування експерименту та його обробки за допомогою багатофакторних даних регресійного та дисперсійного аналізів.

Блок програм аналізу розрахунків, діагностики та документації накопичує та друкує результати розрахунку параметрів технологічного процесу, діагностики стану обладнання на основі ймовірнісного прогнозування зміни у часі експлуатаційних характеристик та техніко-економічних показників якості функціонування енергоустановки.

Розробка імітаційної моделі технологічних процесів ядерних енергоблоків є важливим етапом на шляху створення єдиної автоматизованої системи управління енергоблоків АЕС як система інтелектуальної підтримки діяльності експлуатаційного персоналу.

#### **1.4 Структура програмного комплексу діагностики режимів технологічного обладнання енергоблоку електростанції**

Програмне забезпечення вирішення задач діагностики є комплексом модулів, призначених для автоматизації окремих етапів обробки діагностичної інформації, і включає в себе підсистеми:

- передобробки даних;
- візуалізації даних;
- нейромережевої діагностики.



Підсистема передобробки даних формує вхідний вектор нейронної мережі за такою схемою:

- пряме перетворення Фур'є;
- обнулення шумової складової спектра;
- зворотне перетворення Фур'є.

Підсистема візуалізації даних дозволяє отримати:

- відображення сигналу, що розпізнається;
- візуалізацію спектрального сигналу, що моделюється за рівнем шуму;
- візуалізацію двовимірної карти Кохонена;
- візуалізацію тривимірної карти Кохонена.

Особливістю підсистеми візуалізації є те, що вона включає додаткові можливості:

- налаштування моделювання вхідного сигналу для визначення оптимальної розмірності вхідного вектора [6];
- вибір та налаштування параметрів нейронних мереж [7].

Підсистема нейромережевої діагностики складається із 5 модулів (рис. 1.11). Інтерфейсний модуль являє собою набір процедур для роботи користувача з екранними формами: модуль навчання здійснює побудову та навчання нейромережевої моделі; модуль розпізнавання проводить розрахунок параметрів за навченою нейромережевою моделлю; модуль розпізнавання складається із двох модулів, що реалізують моделі нейронних мереж Хеммінга та Кохонена; модуль збереження даних заносить навчальну вибірку базу даних, а модуль завантаження даних, своєю чергою, – завантажує.

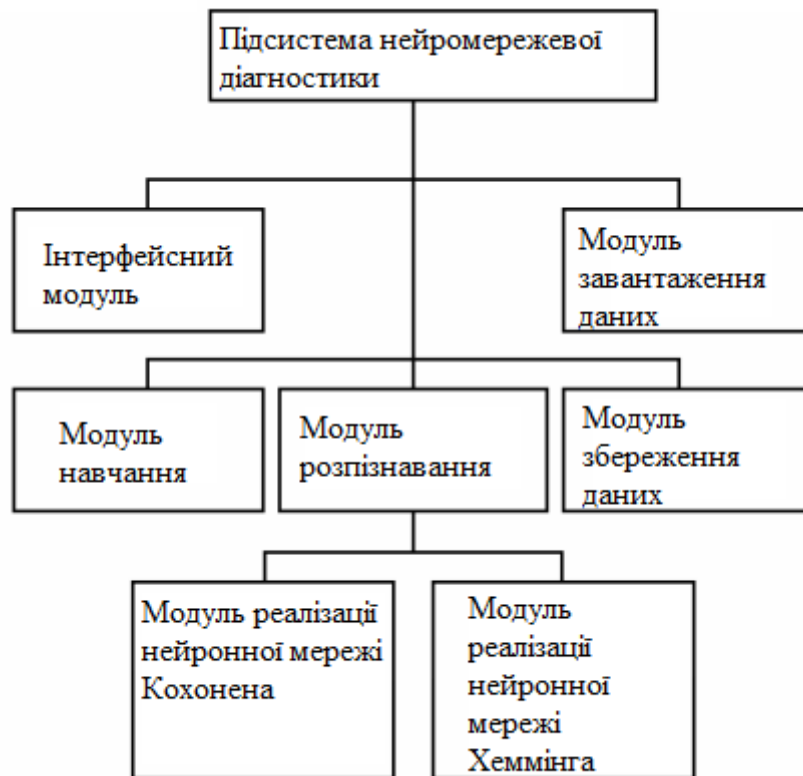


Рисунок 1.11 – Структура підсистеми нейромережевої діагностики

База даних дозволяє зняти обмеження розмір файлів даних, стандартизувати процес введення даних, дозволяє методами SQL запитів проводити вибірки даних за заданими параметрами, і навіть дає можливість використовувати, за необхідності, дані, підготовлені інших програмах.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1:

Виявлено переваги систем контролю технологічних параметрів технологічного процесу на енергоблоці електростанції:

- компактність;
- скорочення кількості кабелів, оскільки сигнали в САУ передаються ущільненими лініями передачі даних;
- комплексність рішення – замовник отримує САУ як закінчений виріб, включаючи датчики, виконавчі механізми, РМО;
- вбудовані можливості для конфігурування САУ, включаючи можливість редагування алгоритмів управління, логіки спрацьовування та набору захисту та блокування на доступних користувачеві засобах;

Виділено дві основні тенденції розвитку систем контролю технологічних параметрів технологічного обладнання енергоблоку електростанції:

- зростання обсягів оброблюваної інформації, зумовлене як ширшим застосуванням «інтелектуальних» датчиків, і природним бажанням експлуатуючого персоналу «збільшити зону (область) контролю» за технологічними параметрами технологічного процесу енергоблока;
- САУ, що розробляються і модернізуються, будуються із застосуванням нових, більш потужних обчислювальних платформ і використанням принципів розподілених обчислювальних систем;
- зниження кількості обслуговуючого персоналу на АЕС, що будуються, і, як наслідок, максимальна уніфікація обладнання, що застосовується для побудови САУ, на АЕС в цілому.

Показано, що програмний комплекс може бути використаний для вирішення прикладних завдань діагностики технологічного обладнання енергоблоку електростанції, а також для моделювання архітектури та параметрів нейронної мережі, оптимальної для вирішення нового завдання розпізнавання сигналів.

## **РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОБЛОКА**

### **2.1 Діагностування технологічного обладнання з використанням параметрів технологічного контролю**

В даний час велика кількість складного промислового обладнання (атомні реактори, турбіни) оснащена автоматизованими системами контролю технологічних параметрів.

У контрольованих параметрах, крім інформації про протікання технологічних процесів, міститься й інформація про поточний стан обладнання, про появу та розвиток різних несправностей [1, 2].

Аналіз змін цих параметрів, що виконується після аварій, позапланових зупинок обладнання, зазвичай показує, що існували ознаки несправностей, що спричинили аварію або зупинку, задовго до самого інциденту [1].

Отже, існує принципова можливість визначення аномальних станів (несправностей) ще до того, як вони призведуть до аварії і, тим самим, запобігти аварії або суттєво зменшити її наслідки.

Такі випадки відомі будь-якому оператору, який контролює технологічні процеси складних промислових об'єктів, але вони мають рідкісний, винятковий характер через обмеженість людських можливостей швидкої обробки великої кількості інформації та відсутність попереднього аналізу процесів при появі та розвитку несправностей.

Автоматизовані системи збирання та обробки інформації значно розширюють як можливості оператора з визначення несправностей, і дозволяють автоматизувати процес їх визначення, тобто. діагностування.

Для цього необхідно мати методику та відповідні їй алгоритми діагностування, які використовують інформацію від датчиків технологічного контролю. Такі методики, алгоритми і реалізують їх програмно-технічні комплекси (ПТК) розробляються кілька десятиліть [1-3].

Реалізовані ПТК ґрунтувалися на створенні переліків (словників) несправностей (станів) конкретного обладнання, в яких кожному стану ставилися у відповідність певні зміни параметрів, що спостерігаються, або комплексних характеристик, одержуваних (обчислюваних) з цих параметрів [1].

Визначені стани вносилися до переліку як з досвіду експлуатації, і з аналізу конструкції устаткування й які у них процесів, як і нормальному, і в аномальних станах.

Діагностування – це виявлення та аналіз відхилень від нормального стану.

Основний стан, який вноситься до переліку у явному чи неявному вигляді – це нормальний стан [1].

Навіть якщо у словнику станів лише 2 стани – нормальний та аномальний – це вже основа для системи діагностування.

Визначення стану процесі функціонування об'єкта – функціональне діагностування, здійснюване пасивними методами, тобто. методами, які потребують додаткового на об'єкт [3].

Сучасний рівень розвитку інформаційних технологій дозволяє розробити універсальну методику діагностування та реалізувати її алгоритми та програми використання параметрів технологічного контролю для автоматичного діагностування промислового обладнання різного типу.

Розглянемо методику діагностування із застосуванням параметрів технологічного контролю.

Методика включає кілька етапів:

- формування нормального стану;
- формування матриці діагностичних ознак;
- пошук несправностей (аномалій).

Основні припущення методики контролю параметрів:

- розглядається стаціонарний стан б'єкта;
- перелік станів вважається кінцевим і вже сформованим.

Розглянемо формування (підготовка) нормального стану. Блок-схему підготовки нормального стану показано на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Блок-схема підготовки нормального стану

Робота будь-якої автоматизованої системи контролю починається з вимірювання параметрів  $P_i$ , ( $i = 1, \dots, n$ ).

У випадку вимірюються як технологічні параметри, а й спеціальні (вібрація, концентрація шкідливих речовин, радіоактивність викидів тощо.).

Кожен параметр, що вимірюється може розглядатися як діагностичний, але для більш ефективного визначення стану об'єкта визначаються також деякі комплексні характеристики об'єкта, що обчислюються з вимірюваних параметрів  $X_j$  ( $j = 1, \dots, m$ , де  $X_j$  – функція від деякої кількості параметрів  $P_i$ ). Це може бути потужність, кількість тепла, перепад тиску, маса тощо.

Перелік визначається на початковій стадії роботи зі створення ПТК відповідно до технологічної схеми, конструкції, наявного досвіду

експлуатації, аналізу безпеки об'єкта [1]. Остаточний перелік діагностичних параметрів складається з обчислених характеристик та вимірюваних параметрів  $d_k \{X_j, P_i\}$  ( $k=1, \dots, l$ , де  $l$  – кількість діагностичних параметрів). У окремих випадках, безліч обчислених показників то, можливо і порожнім, тобто.  $m=0$  тоді  $l=n$ .

Таким чином, блок підготовки діагностичних параметрів може включати підпрограму обчислення комплексних характеристик, яка є специфічною для кожного об'єкта діагностування, але може і не мати цієї підпрограми.

Обов'язковою частиною цього блоку є виділення режимних параметрів (характеристик), що визначають стаціонарний стан. Найчастіше це один із вимірюваних чи обчислюваних параметрів (потужність, витрата, тиск і (або) температура тощо), що визначають технологічний режим роботи об'єкта. Іноді це може бути 2 або більше параметрів, але їхня кількість завжди дуже обмежена.

Критерієм стаціонарності є відхилення режимного параметра  $d_{k0}$  за час  $t_0$  на величину більше  $\Delta d_{k0}$ . Якщо умова стаціонарності виконується, то вважається, що об'єкт знаходиться у нормальному стані та відбувається підготовка (формальне визначення) нормального стану.

Для всього масиву  $d_k$  визначаються математичні очікування  $M_k$  та середньоквадратичні відхилення  $\delta_k$ . Кількість точок вимірювання для визначення  $M_k$  та  $\delta_k$  вибирається з урахуванням часу опитування, виходячи з критеріїв представності вибірки та загального часу визначення (бажано не більше 5 хвилин). Зазвичай це робиться за час, близький до  $t_0$ .

Після визначення вибираються межі нормального стану  $\Delta d_k = a \delta_k$  де  $a=(3-5)$ .

Величина  $a$ , в загальному випадку, вибирається з 2 міркувань, що суперечать один одному:

- виключення випадкового виходу за кордон нормального стану;
- бажання визначити вихід за кордон нормального стану якомога на більш ранній стадії.

Якщо з нормального (Гауссового) розподілу сигналу технологічного параметра, при  $a=3$  ймовірність випадкового виходу межу  $3\delta \leq 0,04$ , якщо  $a=5$ , це ймовірність  $<0,01$ .

Знову ж таки, у загальному випадку, нормальний стан для кожного параметра  $d_k$  визначається двома межами, верхньою та нижньою  $M_k \pm a \cdot \delta_k$ . У більш загальному випадку ці межі не симетричні, тобто. у нормальному стані:

$$M_k - a_{1k} \cdot \delta_k \leq d_k \leq M_k + a_{2k} \cdot \delta_k \quad (2.1)$$

Нормальний стан характеризується математичними очікуваннями  $M_k$ , середньоквадратичними відхиленнями  $\delta_k$  та верхніми та нижніми межами змін параметрів  $a_{1k} \cdot \delta_k$  та  $a_{2k} \cdot \delta_k$ . Ці характеристики нормального стану записуються до архіву нормальних станів і використовуються в подальшому процесі діагностування.

Формування матриці діагностичних ознак. Діагностичною ознакою є вихід будь-якого з діагностичних параметрів за кордон нормального стану. Визначення цих ознак відбувається у кожному циклі вимірів після визначення нормального стану.

При завершенні циклу вимірювання та обчислення діагностичних параметрів проводиться порівняння отриманих параметрів  $d_k$  із межами нормального стану:

$$a_{1k} \cdot \delta_k \leq d_k \leq a_{2k} \cdot \delta_k \quad (2.2)$$

Якщо нерівність виконується у всьому циклі, то фіксується нормальний стан. Якщо не виконується, то заповнюється матриця діагностичних ознак для подальшого порівняння зі словником станів для пошуку причини виходу за межі нормального стану, тобто. пошуку несправності.

Розглянемо пошук несправностей (аномалій). Пошук несправностей, а точніше причин появи діагностичних ознак (аномалій) виробляється з



урахуванням порівняння зафіксованого стану (матриця ознак) з наявним у пам'яті словником, у якому кожному стану поставлено у відповідність сукупність діагностичних ознак, тобто. своя матриця.

При цьому необхідно в першу чергу враховувати такі фактори:

- несправності вимірювальних каналів;
- Зміна режиму роботи об'єкта.

Реальний досвід будь-якого об'єкта показує, що несправності обладнання події є рідкіснішими, ніж зміни режиму роботи або несправність вимірювальних каналів.

Тому вимір кожного параметра має супроводжуватися перевіркою справності вимірювального каналу:

$$p_i^1 < p_i < p_i^2 \quad (2.3)$$

Якщо нерівність (2.3) виконується, то канал справний, а якщо ні, то канал вважається несправним, про що видається повідомлення для усунення несправності, а параметру надається попереднє значення до моменту усунення несправності в каналі вимірювання.

Граничні значення  $p_i^1$  та  $p_i^2$  вибираються з міркувань технічної (технологічної) розумності. Наприклад, температура води при атмосферному тиску не може бути меншою за  $0^\circ\text{C}$  і більше  $100^\circ\text{C}$ .

Відповідно до умов стаціонарності у словнику аномалій необхідна наявність станів – зміна режиму роботи зі своїми діагностичними ознаками.

Виявлення аномалії - "зміна режиму" супроводжується повідомленням, і програма йде на перевірку стаціонарності до моменту виходу на новий режим з визначенням нового нормального стану та подальшим пошуком аномалій.

Підготовка словника станів полягає в аналізі змін діагностичних параметрів за можливих (передбачуваних) аномалій.

Цей аналіз включає вивчення досвіду експлуатації об'єкта, а також розрахунково-експериментальні дослідження об'єкта в умовах появи діагностованих аномалій (станів). У реальній ситуації для

визначення більшості аномалій досить якісного аналізу зміни діагностичних параметрів, подібного до описаного в табл. 1. Тобто, визначається знак зміни та ознакою стає факт виходу за уставку нормального стану (більше/менше).

У разі, коли йдеться про аномалії в дуже малій мірі (порівняної з природними шумами параметрів), що впливають на контрольовані параметри, необхідні ретельніші розрахунки (розрахунково-експериментальні) дослідження [4].

Метод порівняння спостережуваного стану зі словником понад 5 років застосовується в стаціонарних автоматизованих системах контролю діагностування та управління [5], в яких контролюються сигнали п'єзоакселерометрів та великої кількості датчиків технологічного контролю, та використовується програма діагностування [6] як блок визначення великої кількості аномалій зі словника несправностей устаткування, що обертається.

Системи широко застосовуються на підприємствах енергетики та електроенергетики [7 – 9].

Методика використання параметрів технологічного контролю для діагностування значної кількості несправностей обладнання АЕС із реакторами на швидких нейтронах пройшла успішну дослідну експлуатацію на ядерних установках ВВЕР – 1000 [4].

Параметри технологічного контролю промислових об'єктів, крім інформації про технологічний режим роботи, містять велику кількість інформації про технічний стан об'єкта.

Для виявлення та обробки цієї інформації розроблено методику та алгоритми діагностування, що дозволяють на основі аналізу конструкції та технологічних режимів об'єкта скласти переліки (словники) станів (аномалія, несправність, дефект), у яких кожному стану поставлено у відповідність зміни

діагностичних параметрів (діагностичні ознаки). В рамках сучасних програмно-технічних комплексів можлива реалізація розроблених методик та алгоритмів для функціонального діагностування (оперативне визначення поточного стану об'єкта).

Таблиця 2.1 – Стан технологічних параметрів

| Параметр                                      | $X_1=G_1^{ex}$   | $X_2=P_1^{ex}$   | $X_3=t_1^{ex}$ | $X_4=G_1^{sbyx}$    | $X_5=P_1^{sbyx}$    | $X_6=t_1^{sbyx}$    |
|-----------------------------------------------|------------------|------------------|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| нормальний                                    | 0                | 0                | 0              | 0                   | 0                   | 0                   |
| відкладення на стороні 1                      | $X_1 \downarrow$ | $X_2 \uparrow$   | 0              | $X_4 \uparrow$      | $X_5 \downarrow$    | $X_6 \downarrow$    |
| відкладення на стороні 2                      | 0                | 0                | 0              | 0                   | 0                   | $X_6 \uparrow$      |
| течія через поверхню теплообміну зі сторони 1 | $X_1 \uparrow$   | $X_2 \downarrow$ | 0              | $X_4 \downarrow$    | $X_5 \downarrow$    | 0                   |
| Параметр                                      | $X_7=G_2^{ex}$   | $X_8=P_2^{ex}$   | $X_9=t_2^{ex}$ | $X_{10}=G_1^{sbyx}$ | $X_{11}=P_2^{sbyx}$ | $X_{12}=t_2^{sbyx}$ |
| нормальний                                    | 0                | 0                | 0              | 0                   | 0                   | 0                   |
| відкладення на стороні 1                      | 0                | 0                | 0              | 0                   | 0                   | $X_{12} \downarrow$ |
| відкладення на стороні 2                      | $X_7 \downarrow$ | $X_8 \uparrow$   | 0              | $X_{10} \downarrow$ | $X_{11} \downarrow$ | $X_{12} \downarrow$ |
| течія через поверхню теплообміну зі сторони 1 | 0                | 0                | 0              | $X_{10} \uparrow$   | $X_{11} \uparrow$   | $X_{12} \uparrow$   |

Методики та алгоритми використання параметрів технологічного контролю для діагностування об'єктів ядерних енергетичних установок можуть бути вдосконалені та використані на інших об'єктах енергетики та електроенергетики.

## 2.2 Аналіз методів контролю технологічних параметрів

Проведемо аналіз неруйнівних методів контролю, які можуть використовуватися для контролю технологічних параметрів.

Розглянемо неруйнівні методи контролю (НМК), або дефектоскопія, – це узагальнююча назва методів контролю матеріалів (виробів), які використовуються виявлення порушення суцільності чи однорідності макроструктури, відхилень хімічного складу та інших цілей, які потребують руйнації зразків матеріалу чи виробу загалом.

Основні вимоги до неруйнівних методів контролю або дефектоскопії:

- можливість здійснення контролю на всіх стадіях виготовлення, при експлуатації та при ремонті виробів;
- Можливість контролю якості продукції за більшістю заданих параметрів;
- узгодженість часу, який витрачається на контроль, з часом роботи іншого технологічного обладнання;
- висока достовірність результатів контролю;
- можливість механізації та автоматизації контролю технологічних процесів, а також керування ними з використанням сигналів, що видаються засобами контролю;
- висока надійність дефектоскопічної апаратури та можливість використання її в різних умовах;
- простота методик контролю, технічна доступність засобів контролю в умовах виробництва, ремонту та експлуатації.

Основними областями застосування НМК є дефектоскопія особливо відповідальних деталей та пристроїв (атомні реактори, літальні апарати, підводні та надводні плавальні засоби, космічні кораблі тощо); дефектоскопія деталей та пристроїв тривалої експлуатації (атомні електростанції, котли,); безперервна дефектоскопія особливо відповідальних агрегатів та пристроїв (котли атомних, тепло- та електростанцій), контроль підземних виробок; проведення досліджень структури матеріалів та дефектів у виробах з метою удосконалення технології.

Основними методами неруйнівного контролю є:

- магнітний;

- електричний;
- вихрострумний;
- акустичний;
- радіаційний;
- тепловий;
- радіохвильовий;
- оптичний;
- проникаючими речовинами.

Розглянемо візуальний та вимірювальний контроль. Базовий метод дефектоскопії, що відрізняється інформативністю, економічністю та швидкістю. Візуальний та вимірювальний контроль (ВВК) передує іншим методам.

При зовнішньому огляді фахівці перевіряють, наскільки якісно підготовлені заготовки для зварювання та як виконані зварювальні шви, а також визначають якість металу. Візуальний контроль повинен виявити, чи немає видимих дефектів - іржі, напливів, вм'ятин тощо.

Розглянемо ультразвуковий контроль. Один із головних методів неруйнівного контролю. Ультразвукова дефектоскопія охоплює багато сфер, перевіряючи зварні з'єднання, трубопроводи, апарати високого тиску та іншу різноманітну продукцію.

Існує безліч виробів, від стану яких залежить безпека тисяч людей: трубопроводи атомних реакторів та ін. При виробництві та експлуатації такої складної продукції є обов'язковим ультразвуковий контроль. Необхідно сказати про переваги ультразвукового методу порівняно з іншими методами ПК:

Підвищена чутливість, яка дозволяє виявити небезпечні дефекти – тріщини, непровари та ін. Економічність. Безпека здоров'ю (порівняно з рентгенівським методом). Можливість проводити процедуру без переривання робочого процесу. Збереження цілісності об'єкта, що досліджується. Можливість досліджувати матеріали різного походження.

За всіх переваг ультразвуковий метод має і свої недоліки. По-перше, він не дає уявлення ні про реальний розмір дефекту, ні про його характер. По-друге, при контролі металів з крупнозернистою структурою виникають труднощі через розсіюння та згасання ультразвуку та високі вимоги до поверхні контролю.

Провести ВВК можна неозброєним оком або за допомогою оптичних приладів (таких як дзеркало, лупа чи ендоскоп). Метод примітний тим, що йому досить простих вимірювальних засобів.

В даний час для ВВК застосовуються потужніші прилади, здатні виявити навіть незначні дефекти. Візуальний та вимірювальний контроль потрібен, щоб оцінити стан матеріалу та зварних з'єднань. Вимоги щодо виконання процедури перераховані у керівних документах щодо оцінки споруд та технічних пристроїв.

Розглянемо радіографічний контроль, в основі якого лежить залежність інтенсивності проходить через досліджуваний об'єкт гамма-випромінювання від матеріалу та товщини виробу. Про наявність дефектів сигналізує нерівномірність випромінювання, що поглинається.

Робити висновки про будову об'єкта контролю можна, реєструючи розподіл випромінювання на виході. Метод РК дає можливість виявити тріщини, пори, перевищення проплаву, спотворення кореня шва, непровари, сторонні вclusions у зварних з'єднаннях.

Радіографічний метод здатний виявити дефекти мінімальних розмірів, але багато залежить від їхньої форми та місцезнаходження. Найпростіше виявити дефект, довжина якого збігається з пучком випромінювання. У такому разі вдається отримати чітке зображення на знімку кордонів (порівняно з дефектами криволінійної форми).

Розглянемо капілярний контроль, який вважається найбільш чутливим методом контролю, що не руйнує.

Капілярні методи засновані на тому, що спеціальні рідини проникають у поверхневі та наскрізні дефекти.

У процесі індикаторні рідини залишають сліди – їх реєструють візуально або за допомогою перетворювача.

Капілярні методи допомагають визначити, де розташований дефект, яка його довжина та орієнтація на поверхні. Для проведення капілярного контролю створено спеціальні стандарти.

Якщо дефект настільки малий, що його неможливо виявити при ВІК, застосовується капілярна дефектоскопія. Такого методу вдаються під час роботи з об'єктами всіх розмірів і форм. Що стосується матеріалів, використаних для виготовлення об'єктів, то до них відносяться метали та сплави (кольорові та чорні), а також неферромагнітні матеріали (скло, пластмаса та ін.).

Про контроль виконаних із ферромагнітних матеріалів об'єктів треба сказати окремо. Капілярна дефектоскопія допомагає впоратися із завданням, якщо з якоїсь причини використовувати магнітопорошковий метод не можна.

Список областей, де буває задіяний капілярний контроль, дуже широкий: це авіа-, ракето-, авто- та суднобудування, металургія, енергетика, хімічна промисловість. Капілярна дефектоскопія застосовується для моніторингу важливих об'єктів (об'єкти атомної енергетики) перед введенням в експлуатацію і в процесі роботи.

Розглянемо магнітний контроль, який є сукупність способів НК, необхідні виявлення дефектів у ферромагнітних металах і сплавах.

Магнітна дефектоскопія дозволяє виявити включення неметалічного походження, тріщини, волосин, флокени.

Знайти дефекти можна за умови їх знаходження на поверхні виробу або залягання на невеликій глибині (2-3 мм).

Суть магнітних методів полягає у дослідженні магнітних полів розсіювання біля ферромагнітних матеріалів, що пройшли намагнічування.

На місце дефекту вказують перерозподілені магнітні потоки та сформовані магнітні поля розсіювання.

Розглянемо тепловий контроль, в основі якого лежить фіксація та перетворення ІЧ-випромінювання у видимий спектр. Тепловий метод неруйнівного контролю використовують у всіх промислових областях, у яких про стан об'єктів можна судити з неоднорідності теплового поля. Сьогодні тепловий метод дуже затребуваний в електроенергетиці та теплоенергетиці. Після того, як було ухвалено новий закон про регламентування енергоаудиту об'єктів, спрямований на економію ресурсів, інтерес до теплового контролю посилюється. В даний час цей метод є базовим методом для оцінки стану об'єктів.

У теплового контролю маса плюсів – універсальність застосування, оперативність, велика продуктивність. Крім того, тепловий контроль можна здійснювати дистанційно. Є кілька видів методу - контроль густини теплових потоків, контроль температури, контроль теплопровідності та тепловізійний контроль.

Розглянемо вихрострумний контроль, основою для якого служить взаємодія електромагнітних полів - зовнішнього та поля вихрових струмів, створюваних в об'єкті контролю.

Зазвичай джерелами електромагнітного поля стає вихрострумний перетворювач (ВТП) - індуктивна котушка. У котушках діє струм, який створює електромагнітне поле, що збуджує вихрові струми. Їхнє поле діє на ВТП, створюючи в них ЕРС або перетворюючи їх опір. Напруга або опір, що з'явилося на котушках, - ключ до інформації про властивості об'єкта.

За допомогою вихрострумного методу можна не тільки виявити дефекти та оцінити властивості об'єктів контролю. Вихрострумний контроль широко застосовується і при виробництві деталей, і при їх ремонті. Високоточне сучасне обладнання - це можливість обробки та зберігання великого обсягу даних про результати контролю. Системи сканування автоматизовані, що підвищує точність візуалізації об'єкта контролю у багато разів.

Вихрострумним методом досліджують зварні та різьбові з'єднання, деталі різноманітних форм та розмірів для обладнання. Крім того, це метод



контролю корпусного обладнання, згинання трубопроводів, лопаток парових турбін. За допомогою вихрострумowego методу також перевіряють поверхню осьового каналу роторів турбін.

Вихрострумований контроль потрібен, щоб вимірювати товщину захисних покриттів, тонких труб та тонкого листового прокату. Крім цього, за допомогою вихрострумowego методу шукають корозійні ушкодження.

Вихрострумований метод дозволяє оцінити стан металу тепломеханічного обладнання (як вихідний, так і поточний). Метод застосовний і для оцінки якості термообробки; з його допомогою проводять сортування об'єктів та визначають склад контрольованої речовини.

З вихрових струмів вимірюють глибину поверхневих тріщин, виявлених на електропровідних матеріалах.

Усі методи і прилади неруйнівного контролю служать однієї мети - виявити навіть незначні ушкодження, зокрема корозію, розшарування. Затребуваність ПК пояснюється просто: його методи поєднують у собі безліч достоїнств і відповідають суворим вимогам промислової та енергобезпеки.

### **2.3 Удосконалення методів контролю технологічних параметрів на основі застосування автоматизованих систем**

Підтримка параметрів у заданих межах при нормальних експлуатаційних режимах енергоблоку надійно здійснюється серійними автоматичними регуляторами процесу горіння, температури первинної та вторинної пари, живлення парогенераторів водою та ін., призводять до необхідності забезпечення широких діапазонів регулюючих впливів, зберігаючи при цьому достатню точність управління

Розглянемо основні функції АСУ ТП енергоблоком для контролю технологічних параметрів енергоблоку електростанції.

Завдання управління енергоблоками настільки ускладнилися, що людина вже не в змозі забезпечити надійну та економічну роботу енергоблоку

при використанні традиційних способів, що базуються на застосуванні індивідуальних засобів контролю та управління.

Тому системи управління потужними енергоблоками почали створювати на базі нових методів в організації збору, обробки, подання та використання інформації про технологічний процес та роботу енергообладнання.

Одним із перших етапів у цьому напрямку стало використання засобів обчислювальної техніки при побудові різних інформаційних, а потім інформаційно-обчислювальних систем для управління енергоблоками.

Сучасні інформаційно-обчислювальні системи значною мірою вирішують завдання автоматизації контролю над роботою блокової енергоустановки. Застосування подібних систем виключає використання великої кількості показувальних приладів, що займають великі площі і відволікають оперативний персонал від безпосереднього управління енергоблоком, замінюючи безперервне показання значень всіх контрольованих технологічних параметрів сигналізацією та реєстрацією тільки фактів порушення нормального режиму, а відносно невелика кількість самопишучих приладів, велика кількість точок цифровою чи графічною реєстрацією.

Окрім можливості ефективного контролю за ходом виробничого процесу, у оператора з'являється можливість оперативно коригувати цей процес, наближаючи його до оптимальних умов, оскільки інформаційно-обчислювальна машина визначає відповідні техніко-економічні показники в темпі процесу виробництва.

При застосуванні інформаційно-обчислювальної машини блок управляється оператором дистанційно з центрального щита управління. Автоматичне регулювання та технологічний захист виконуються на основі стандартних засобів. Інформаційно-обчислювальна машина проводить збір та обробку інформації про стан технологічного обладнання, а потім видає оператору результати обробленої інформації у вигляді попереджувальної та

аварійної сигналізації, запису окремих параметрів та обчислених техніко-економічних показників на цифрових та аналогових реєстраторах, контролю потрібних параметрів за викликом.

При такому способі керування можна відмовитись від установки громіздкого щита керування з великою кількістю різних приладів і звільнити оператора від безперервного спостереження за багатьма параметрами.

Однією з основних функцій інформаційно-обчислювальних систем є централізований збір інформації, який проводиться шляхом опитування аналогових та дискретних сигналів первинних приладів, що підключаються до ЕОМ за допомогою спеціальних пристроїв зв'язку з об'єктом.

Опитування аналогових сигналів зазвичай проводиться періодично із циклом від 1 до 10 с. Іноді з метою економії часових ресурсів ЕОМ всі аналогові параметри розбиваються на групи з різними циклами опитування (наприклад, 1, 10 і 100 с) або для більшості параметрів задають відносно низьку швидкість опитування в нормальних режимах з подальшим збільшенням її для виділеної групи параметрів у певних режимах (Наприклад, аварійні ситуації або проведення спеціальних експериментів).

Опитування дискретних сигналів також здійснюється періодично з циклом, як правило, рівним циклу опитування аналогових сигналів. Однак, при цьому відсутня можливість оперативно (за близько сотих часток секунди) реагувати на появу аварійних сигналів, що дуже важливо для виконання деяких завдань в системі.

Найбільш ефективним способом досягнення необхідного часу реакції є приєднання частини дискретних сигналів до так званих ініціативних входів ЕОМ. Зміна стану сигналів, приєднаних до цих входів, викликає практично миттєве переривання одних та запуск інших завдань.

Найбільш поширеною формою видачі зібраної інформації оператору є подання інформації на виклик, який здійснюється за адресним або предметним принципом.

У першому випадку параметру (групі параметрів) відповідає цифровий або цифробуквенний код, що набирається на спеціальних набірних полях, а в другому - кожен параметр (група параметрів) має свій орган виклику на мнемосхемі або панелі управління.

Подання інформації здійснюється на цифрових або аналогових приладах, що показують, а також на самопишучих аналогових приладів. Останнім часом для представлення всіх видів інформації почали широко використовувати різні дисплейні пристрої.

Ефективною функцією контролю, особливо для масових параметрів, є подання попередньо відібраної інформації. При здійсненні цієї функції ЕОМ за заданим їй критерієм попередньо відбирає з масиву масових вимірів ті з них, які в цій ситуації є найбільш необхідними, і видає ці відомості на вимогу оператора.

Така форма подання інформації істотно полегшує оператору контроль за станом устаткування, що експлуатується.

В умовах значної кількості контрольованих на енергоблоках даних важливе значення набуває функція сигналізації відхилень параметрів за допустимі межі, що привертає увагу оператора у випадках порушення нормальної роботи обладнання.

У цьому періодично відбувається порівняння вимірних чи розрахованих параметрів з допустимими межами їх змін (уставками).

Зафіксоване відхилення подається оператору за допомогою спеціальних світлових сигналів на мнемосхемі, зміною кольору або миготінням параметрів на екранах ЕЛІ або дисплейних пристроях, підсвічуванням органів предметного виклику індивідуальних параметрів. Сигналізація може бути індивідуальною, коли сигналізується відхилення будь-якого конкретного технологічного параметра, або груповий, коли сигналізується відхилення хоча б одного з технологічних параметрів, що належать до даного агрегату або окремого вузла.

Світлова сигналізація незалежно від способу її здійснення повинна супроводжуватися звуковою сигналізацією.

Використання ЕОМ для виконання функції сигналізації дозволяє збільшити кількість параметрів, що сигналізуються; автоматично змінювати уставки; удосконалити способи повідомлення оператора про факти відхилень, а також скоротити площу оперативних панелей. Істотною перевагою виконання сигналізації за допомогою ЕОМ у порівнянні зі звичайними традиційними засобами є також гнучкість системи, оскільки будь-які зміни в кількості параметрів, що сигналізуються, формі подання інформації, величинах уставок і т.п. фактори можуть бути реалізовані програмним шляхом без переробки системи.

Як правило, інформаційно-обчислювальні системи виконують функції реєстрації безпосередньо вимірюваних та обчислюваних параметрів. При цьому зазвичай здійснюють:

- реєстрацію відхилення параметрів від встановлених меж, що дає змогу проаналізувати режими, що виникають у разі відхилення параметрів від встановлених норм;
- періодичну реєстрацію окремих параметрів, що дозволяє вести статистичний аналіз роботи енергоблоку в процесі експлуатації;
- реєстрацію обчислених техніко-економічних показників для аналізу роботи персоналу та складання необхідної звітності.

Останнім часом за допомогою ЕОМ все ширше застосовують реєстрацію передаварійних та аварійних ситуацій. Це зумовлено тією обставиною, що традиційні методи реєстрації та сигналізації параметрів у цих режимах найчастіше не дозволяють визначити причини аварій, проаналізувати правильність дій оперативного персоналу та здійснити контроль роботи систем автоматики та пристроїв аварійного захисту енергообладнання.

Вивчення аварійних ситуацій у повному обсязі та з достатнім ступенем достовірності значно спрощується при використанні ЕОМ для реєстрації інформації про поточні значення вимірюваних технологічних параметрів,

послідовність спрацьовування захисту енергоблоку, стан двопозиційних органів, а також дії оперативного персоналу. Реєстрація цієї інформації охоплює передаварійний (в межах 5-10 на ТЕС та 25-30 хвилин на АЕС до аварії) та власне аварійний період часу. Подальший аналіз цієї зафіксованої інформації дозволяє зробити об'єктивні висновки про причини виникнення та характер перебігу аварійних ситуацій.

Визначення та аналіз техніко-економічних показників (ТЕП) роботи енергообладнання ТЕС є однією з найважливіших функцій інформаційно-обчислювальних систем.

Застосування цих цілей ЕОМ дозволяє по-новому вирішити ряд завдань, що з розрахунками і математичної обробкою результатів безпосередніх вимірів. Велика швидкодія і значна ємність пристроїв сучасних ЕОМ, що запам'ятовують, дозволяють доручати їм великі обсяги обчислень.

При цьому непрямым шляхом розраховуються показники, які або взагалі не можуть бути визначені за допомогою будь-яких приладів (наприклад, к.п.д. енергоблоку або його окремих частин), або вимірювання яких спричиняє значні технічні труднощі (наприклад, температурна напруга в обладнанні при нестационарних режимах).

Застосування ЕОМ для визначення ТЕП дозволяє скоротити кількість самопишучих приладів, що встановлюються на енергоблоці; виключити суб'єктивні помилки, пов'язані з опрацюванням діаграм цих приладів; зменшити кількість персоналу, зайнятого складанням звітності; отримати більш частію фіксацію основних технологічних параметрів, що характеризують роботу енергоблоку

Принципово новими чинниками під час розрахунку ТЕП з допомогою ЕОМ є виконання розрахунків у темпі перебігу виробничого процесу; періодична видача основних показників оператору, що дозволяє вчасно вносити необхідні корективи в хід технологічних процесів, а також можливість зберігання великих масивів інформації за тривалі терміни з простим доступом до даних.

Отримані таким чином результати можуть бути використані для об'єктивного аналізу роботи оперативного персоналу з використання палива; з метою контролю за зносом та діагностики стану енергообладнання; як критерії оптимізації технологічних процесів і т.д.

Серед основної інформації про роботу енергообладнання, необхідну для його грамотної експлуатації та вирішення багатьох завдань оперативно-диспетчерського управління, важливе місце належить енергетичним характеристикам як енергоблоків загалом, так і їх окремих частин. Ці характеристики можуть визначатися за допомогою спеціально організованих балансових випробувань або під час нормальної експлуатації.

При проведенні випробувань необхідно реєструвати великий обсяг первинної інформації, а також виконувати значну кількість трудомістких обчислень для отримання кінцевих результатів експерименту.

Багато хто з цих робіт доводиться виконувати вручну, що призводить до суттєвого подовження термінів отримання результатів випробувань, не забезпечує їх необхідної точності та значно знижує продуктивність праці працівників, які проводять подібні випробування.

Використання засобів обчислювальної техніки в АСУ енергоблоками дозволяє автоматизувати процес експериментального визначення різних характеристик енергообладнання. При цьому можуть бути реалізовані найкращі плани експериментів та опрацювання їх результатів.

Дуже перспективним є також використання ЕОМ при проведенні різних випробувань обладнання, оскільки при цьому з мінімальними витратами праці можуть бути отримані об'єктивні результати.

У міру накопичення досвіду експлуатації засобів обчислювальної техніки в АСУ енергоблоками, їх подальшого вдосконалення та поліпшення технічних характеристик (особливо, надійних), а також розвитку методів формалізації завдань управління енергообладнанням у різних режимах ЕОМ все більшою мірою починають використовувати для виконання різних функцій, що управляють.

Одним з найпоширеніших способів використання ЕОМ для управління є видача порад оператору з ведення режиму. Необхідність отримання таких порад може виникнути, якщо рішення про зміну режиму приймає оператор або ця зміна відбувається з будь-яких інших причин (наприклад, внаслідок спрацювання аварійних захистів).

У першому випадку оператор з пульта управління (за допомогою клавіатури ЕЛП або друкувального пристрою) повідомляє ЕОМ про необхідність провести ту чи іншу зміну режиму, запускаючи цим відповідну програму.

У другому - програма запускається автоматично при отриманні ЕОМ сигналу спрацювання захисту. Програма видачі інструкцій аналізує стан об'єкта, визначає склад та послідовність операцій із переведення об'єкта в заданий стан, а потім видає необхідні поради оператору за допомогою ЕОМ або друкувальних пристроїв.

Практикується проведення операцій під контролем ЕОМ. У цьому оператор запитує в машини про допустимість на зазначений запірний орган чи механізм, а ЕОМ з урахуванням аналізу стану об'єкта дозволяє чи забороняє оператору проведення відповідних операцій.

Як поради можуть також видаватися і розраховані ЕОМ дані, необхідних оптимізації роботи енергообладнання.

Другим досить поширеним способом участі ЕОМ у процесі управління енергоблоком є її використання для на системи управління нижчих ієрархічних рівнів (локальні аналогові регулятори, пристрої функціонально-групового управління, пристрої захисту). Підвищення якості цих систем з допомогою вдосконалення алгоритмів управління (адаптація системи до змін режиму, реалізація багатозв'язаних систем тощо.) досягається без ускладнення схеми і застосовуваних технічних засобів, тобто. без зниження загальної надійності системи керування. Як приклади подібних ієрархічних систем можуть бути наведені підсистеми оптимізації процесу горіння в топці



парогенератора та підтримання вакууму в конденсаторі турбогенератора на енергоблоках ТЕС.

Найбільш перспективним є використання ЕОМ при безпосередньому управлінні енергоблоком шляхом впливу на регулюючі та запірні органи, а також різні механізми потреб.

Особливо значний ефект при цьому може бути досягнутий за глибоких змін режиму (пуск, зупинка, значні зміни потужності тощо). У літературі опубліковані дані про успішне використання ЕОМ для безпосереднього управління енергоблоками в різних режимах, у тому числі за їх пусках (зупинках) [2, 6, 26].

Пуск та зупинка енергоблоків є найбільш трудомісткими та відповідальними технологічними операціями на електростанціях. Вони вимагають від персоналу високої оперативності в маніпулюванні багатьма регулюючими та запірними органами при одночасному контролі за безліччю інформаційних параметрів.

Аналіз роботи блоків ТЕС потужністю 200 і 300 МВт показує, що 70% їх вимушених простоїв пов'язаний з аваріями парогенераторів та турбін у нестаціонарних режимах, причому причинами цих аварій часто є температурні перенапруги через неточне витримування параметрів пари в пускових режимах, а іноді й просто помилкові дії персоналу.

Слід зазначити, що надійність сучасних засобів обчислювальної техніки така, що реалізація безпосереднього цифрового управління за допомогою ЕОМ виявляється не менш надійною, аніж за використання локальних автоматичних пристроїв. Однак, при відмові одного з них виходить з ладу лише один або, в крайньому випадку, кілька контурів керування, і оператор енергоблоку може взяти на себе функції керування.

При виході з ладу УВМ відмовляють одночасно всі контури управління, що практично виключає можливість ефективного втручання оператора в процес управління та може призвести до аварійної ситуації.

Тому передача УВМ функцій безпосереднього управління енергоблоком у всіх режимах, незважаючи на очевидні потенційні переваги, можлива лише за добре підготовленого теплоенергетичного обладнання та використання високонадійних засобів обчислювальної техніки.

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2:**

Виявлено, що параметри технологічного контролю промислових об'єктів, крім інформації про технологічний режим роботи, містять велику кількість інформації про технічний стан об'єкта.

Показано, що для виявлення та обробки цієї інформації розроблено методику та алгоритми діагностування, що дозволяють на основі аналізу конструкції та технологічних режимів об'єкта скласти переліки (словники) станів (аномалія, несправність, дефект), у яких кожному стану поставлено у відповідність зміни діагностичних параметрів (діагностичні) ознаки). В рамках сучасних програмно-технічних комплексів можлива реалізація розроблених методик та алгоритмів для функціонального діагностування (оперативне визначення поточного стану об'єкта).

Запропоновано методики та алгоритми використання параметрів технологічного контролю використовувати для діагностування технологічних параметрів об'єктів ядерних енергетичних установок, а також можуть бути вдосконалені та використані на інших об'єктах енергетики та електроенергетики.

## ВИСНОВКИ

Виявлено переваги систем контролю технологічних параметрів технологічного процесу на енергоблоці електростанції:

- компактність;
- корочення кількості кабелів, оскільки сигнали в САУ передаються ущільненими лініями передачі даних;
- комплексність рішення – замовник отримує САУ як закінчений виріб, включаючи датчики, виконавчі механізми, РМО;
- вбудовані можливості для конфігурування САУ, включаючи можливість редагування алгоритмів управління, логіки спрацьовування та набору захисту та блокування на доступних користувачеві засобах;

Виділено дві основні тенденції розвитку систем контролю технологічних параметрів технологічного обладнання енергоблоку електростанції:

- зростання обсягів оброблюваної інформації, зумовлене як ширшим застосуванням «інтелектуальних» датчиків, і природним бажанням експлуатуючого персоналу «збільшити зону (область) контролю» за технологічними параметрами технологічного процесу енергоблока;
- САУ, що розробляються і модернізуються, будуються із застосуванням нових, більш потужних обчислювальних платформ і використанням принципів розподілених обчислювальних систем;
- зниження кількості обслуговуючого персоналу на АЕС, що будуються, і, як наслідок, максимальна уніфікація обладнання, що застосовується для побудови САУ, на АЕС в цілому.

Показано, що програмний комплекс може бути використаний для вирішення прикладних завдань діагностики технологічного обладнання енергоблоку електростанції, а також для моделювання архітектури та параметрів нейронної мережі, оптимальної для вирішення нового завдання розпізнавання сигналів

Виявлено, що параметри технологічного контролю промислових об'єктів, крім інформації про технологічний режим роботи, містять велику кількість інформації про технічний стан об'єкта.

Показано, що для виявлення та обробки цієї інформації розроблено методику та алгоритми діагностування, що дозволяють на основі аналізу конструкції та технологічних режимів об'єкта скласти переліки (словники) станів (аномалія, несправність, дефект), у яких кожному стану поставлено у відповідність зміни діагностичних параметрів (діагностичні) ознаки). В рамках сучасних програмно-технічних комплексів можлива реалізація розроблених методик та алгоритмів для функціонального діагностування (оперативне визначення поточного стану об'єкта).

Запропоновано методики та алгоритми використання параметрів технологічного контролю використовувати для діагностування технологічних параметрів об'єктів ядерних енергетичних установок, а також можуть бути вдосконалені та використані на інших об'єктах енергетики та електроенергетики.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Stoppato A., Mirandola A., Meneghetti G., Casto E. On the operation strategy of steam power plants working at variable load: Technical and economic issues // *Energy*. 2017. V 37. P. 228-236.
2. Duy D., Vasseur D. A practical methodology for modeling and estimation of common cause failure parameters in multi-unit nuclear PSA model // *Reliability Engineering & System Safety*. 2018. V 170. P. 159-174.
3. Tondel I., Foros J., Kilskar S., Hokstad P., Jaatun M. Interdependencies and reliability in the combined ICT and power system: An overview of current research // *Applied Computing and Informatics*. 2018. V 14. P. 17-27.
4. Alobaid F., Mertens N., Starkloff R., Lanz T., Heinze C., Epple B. Progress in dynamic simulation of thermal power plants // *Progress in Energy and Combustion Science*. 2017. V. 59. P. 79-162.
5. Wahlstrom B. Systemic thinking in support of safety management in nuclear power plants // *Safety Science*. 2018. V. 109. P. 201-218.
6. Бірюков, Д. С., Бурлаков, В. М. (2012). Влияние современных кибер-угроз на эффективность систем физической защиты критически важных объектов и инфраструктуры. Адаптивні системи автоматичного управління, (21), 9-17.
7. Борона, А. М. (2014). Аналіз оптимального динамічного управління процесом розробки керуючих програм. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС-2014): тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції, Чернігів, 19–21 травня, 247-248.
8. Тимченко, А. А., Савченко, Є. А., Савченко, М. Ю. Системний аналіз життєвого циклу комплексу технічних засобів атомних електростанцій. Друкується за Рішенням виконавчого комітету Славутицької міської ради Київської області від 24.01. 2019 № 22 «Про проведення IV

Міжнародної конференції INUDECO 19»., 240.

9. Hulak, H., Skiter, I., Hulak, Y. (2021). Методологічні засади створення та функціонування центру кібербезпеки інформаційної інфраструктури об'єктів ядерної енергетики. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», 4(12), 172-186.

10. Яцишин, А. В., Яцишин, А. В., Куцан, Ю. Г., Гурєєв, В. О. (2020). Віртуальний науково-навчальний центр для підготовки оперативно-диспетчерського персоналу в енергетиці України. Інформаційні технології і засоби навчання, 5(79), 90-108.

11. Черната, Г. С. (2021). Напрями підвищення ефективності використання персоналу підприємства ВП «Хмельницька АЕС».

12. Книш, Н. О. (2020). Удосконалення роботи системи автоматизації деаератора турбінного відділення атомного енергоблоку в умовах ВП «Запорізька АЕС».

13. Batiuk, S. G. (2022). Simulation modeling and digital twinning of energy cyber-physical systems (cyber-energy systems). Publishing House “Baltija Publishing”.

14. Pranuza, Y. Capacity to build artificial intelligence systems for nuclear energy security and sustainability: Experience of Belarus. In: IFIP International Workshop on Artificial Intelligence for Knowledge Management. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 128-140.

15. Popov, O., Iatsyshyn, A., Sokolov, D., Dement, M., Neklonskyi, I., & Yelizarov, A. (2021). Application of virtual and augmented reality at nuclear power plants. In Systems, decision and control in energy II (pp. 243-260). Cham: Springer International Publishing.

16. Hashemian, H. M. (2011). Nuclear power plant instrumentation and control. Nuclear Power–Control, Reliability and Human Factors, InTech, 49-66.

17. Vataman, V., Petik, T., Beglov, K. (2022). Mathematical model and method for automated power control of a nuclear power plant. Elektronnoe Modelirovanie, 44(4).

18. Schmitt, K. (2012). Automations influence on nuclear power plants: a look at three accidents and how automation played a role. *Work*, 41(Supplement 1), 4545-4551.
19. Skjerve, A. B. M., Skraaning Jr, G. (2004). The quality of human-automation cooperation in human-system interface for nuclear power plants. *International journal of human-computer studies*, 61(5), 649-677.
20. Kitamura, M., Fujita, Y., Yoshikawa, H. (2005). Review of international standards related to the design for control rooms on nuclear power plants. *Journal of nuclear science and technology*, 42(4), 406-417.
21. Alberti, A. L., Agarwal, V., Gutowska, I., Palmer, C. J., Oliveira, C. R. (2023). Automation levels for nuclear reactor operations: A revised perspective. *Progress in Nuclear Energy*, 157, 104559.
22. Pihlanko, P., Sierla, S., Thramboulidis, K., & Viitasalo, M. (2013, September). An industrial evaluation of SysML: The case of a nuclear automation modernization project. In *2013 IEEE 18th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)* (pp. 1-8).
23. Denisova, L. G., Khrennikov, N. N. (2014). Automatic chemical monitoring in the composition of functions performed by the unit level control system in the new projects of nuclear power plant units. *Thermal Engineering*, 61(8), 566-570.
24. Aizatulin, A. I. (2007). Development of software for simulating and designing algorithms for automatic systems for controlling technological processes on the basis of data on the technological systems. *Atomic Energy*, 102(5), 350-352.
25. Nagatani, K., Kiribayashi, S., Okada, Y., Otake, K., Yoshida, K., Tadokoro, S., Kawatsuma, S. (2013). Emergency response to the nuclear accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plants using mobile rescue robots. *Journal of Field Robotics*, 30(1), 44-63.,
26. Ramezani, I., Moshkbar-Bakhshayesh, K., Vosoughi, N., Ghofrani, M. B. (2022). Applications of Soft Computing in nuclear power plants: A review. *Progress in Nuclear Energy*, 149, 104253.



27. Ватаман, В. В., Петік, Т. В., Беглов, К. В. (2023). Analysis of models of an automatic power control system for a pressurized water reactor in dynamic mode with a change in the static control program. Праці Одеського політехнічного університету, (1 (67)), 60-72.

28. Qing, T., Liu, Z., Tang, Y., Hu, H., Zhang, L., Chen, S. (2021). Effects of Automation for Emergency Operating Procedures on Human Performance in a Nuclear Power Plant. Health physics, 121(3), 261-270.

29. Цисельська, Т. О., Ковтун, А. В. (2015). An automated boron management system for WWER-1000 nuclear reactors. Праці Одеського політехнічного університету, (1 (45)), 51-57.

30. Korobkin, V. V., Povarov, V. P. (2017). New generation refueling machine information and control system. Nuclear Energy and Technology, 3(4), 302-306.