

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

Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра електротехніки та електроенергетики

До захисту допущено
Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Артем ЧЕРНЮК
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ДИПЛОМНА РОБОТА)**

на тему:

«РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ
КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ПРОЦЕСУ ЕНЕРГОБЛОКУ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ»

рівень вищої освіти другий (магістерський)

спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

освітньо-професійна програма Електричні станції, мережі та системи

Виконав (ла)

студент (ка) групи ДЕА-Е23мг-1

Іван КУЧЕРЕНКО

Керівник роботи

к.т.н., доцент

Павло БУДАНОВ

Рецензент роботи:

к.т.н., доцент

Засвідчую, що у цій роботі
немає цитат та вилучень з
праць інших авторів без
відповідних посилань
студент(ка) _____

(підпис)

Харків – 2024

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Артем ЧЕРНЮК
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

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

здобувачу вищої освіти Івану КУЧЕРЕНКО

1. Тема «Розробка системи автоматизованого моніторингу для контролю та діагностики параметрів технологічного процесу енергоблоку в режимі реального часу»

затверджена наказом по академії №__ від «__» _____ 20__ р.

2. Термін здачі закінченої роботи «__» _____ 20__ р.

3. Вихідні дані до роботи/проєкту: Схема інформаційно-керуючої системи ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції «Комплекс Титан-2»; характеристики енергоблоку електростанції, характеристики сигналів

4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):

ВСТУП; РОЗДІЛ 1 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ АСУ ТП ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В АВАРІЙНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ; РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЕНЕРГОБЛОКУ ТЕС В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ; ВИСНОВКИ

5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):

Слайди презентації

6. Консультант:

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

7. Дата видачі завдання « ____ » _____ 20 ____ р.

Керівник

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

Завдання прийняв до виконання

_____ Іван КУЧЕРЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної дипломної роботи

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

Студент (ка)

_____ Іван КУЧЕРЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

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

РЕФЕРАТ

Сторінок тексту – ____ ; рисунків – ____ ; таблиць – ____ ;
літературних джерел – ____ .

Сучасні енергетичні системи стикаються з численними викликами, такими як підвищені вимоги до безпеки, надійності та ефективності експлуатації. Зростаюче споживання енергії, старіння інфраструктури та необхідність зменшення негативного впливу на навколишнє середовище обумовлюють необхідність впровадження інноваційних рішень. Автоматизовані системи моніторингу та діагностики відіграють ключову роль у забезпеченні стабільної роботи енергоблоків ТЕС і АЕС, дозволяючи своєчасно виявляти і реагувати на зміни параметрів технологічного процесу. В умовах високого ризику виникнення аварій та надзвичайних ситуацій, здатність оперативно і точно контролювати стан енергоблоку є критично важливою. Розвиток технологій автоматизації та обробки даних відкриває нові можливості для підвищення ефективності та безпеки енергетичних систем, що є особливо актуальним в умовах сучасних техногенних та природних викликів. Інтеграція таких систем дозволяє знижувати витрати на обслуговування, запобігати аварійним ситуаціям та мінімізувати їхні наслідки, забезпечуючи безперервність енергопостачання.

Метою даної магістерської роботи є розробка системи автоматизованого моніторингу для контролю та діагностики параметрів технологічного процесу енергоблоку АЕС в режимі реального часу.

Об'єктом дослідження є технологічний процес енергоблоку, зокрема його ключові параметри (температура, тиск тощо), які потребують безперервного моніторингу для забезпечення безпечної та ефективної експлуатації.

Предметом дослідження є методи та засоби автоматизованого моніторингу параметрів технологічного процесу енергоблоку

ABSTRACT

Pages of text – ____ ; pictures – ____ ; tables – ____ ;
literary sources – ____ .

Modern energy systems face numerous challenges, such as increased requirements for safety, reliability and operational efficiency. Growing energy consumption, aging infrastructure and the need to reduce the negative impact on the environment necessitate the implementation of innovative solutions. Automated monitoring and diagnostic systems play a key role in ensuring the stable operation of TPP and NPP power units, allowing for timely detection and response to changes in process parameters. In conditions of high risk of accidents and emergencies, the ability to promptly and accurately monitor the state of the power unit is critically important. The development of automation and data processing technologies opens up new opportunities for increasing the efficiency and safety of energy systems, which is especially relevant in the context of modern man-made and natural challenges. The integration of such systems allows for reducing maintenance costs, preventing emergencies and minimizing their consequences, ensuring the continuity of energy supply.

The purpose of this master's thesis is to develop an automated monitoring system for monitoring and diagnosing the parameters of the technological process of a nuclear power plant in real time.

The object of the study is the technological process of the power plant, in particular its key parameters (temperature, pressure, etc.), which require continuous monitoring to ensure safe and effective operation.

The subject of the study is methods and means of automated monitoring of the parameters of the technological process of the power plant.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ АСУ ТП ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В АВАРІЙНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ	
1.1 Надійність функціонування інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоків електростанцій	
1.2 Огляд методів забезпечення достовірності інформації в інформаційно-керуючих системах ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції для підвищення надійності роботи електроенергетичного обладнання	
1.3 Алгоритми діагностики та обробки інформації в інформаційно-керуючих системах ПТК АСУ ТП енергоблоків електростанцій ...	
Висновки до розділу 1.....	
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЕНЕРГОБЛОКУ ТЕС В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ	
2.1 Інформаційно-керуюча система ПТК АСУ ТП на базі шаф ТПТС-51 енергоблоку потужністю 325 МВт ТЕС.....	
2.2 Розробка алгоритму для виявлення недостовірної інформації в інформаційно-керуючій системі «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 ПТК АСУ ТП енергоблоку ТЕС потужністю 325 МВт з впровадженням модуля виявлення аварійних ознак.....	
2.3 Методи та етапи створення моделі та алгоритму автоматизованого тренажера для прийняття рішень оперативним персоналом у нештатних аварійних ситуаціях в реальному часі	
Висновки до розділу 2.....	
ВИСНОВКИ.....	
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні енергетичні системи стикаються з численними викликами, такими як підвищені вимоги до безпеки, надійності та ефективності експлуатації. Зростаюче споживання енергії, старіння інфраструктури та необхідність зменшення негативного впливу на навколишнє середовище обумовлюють необхідність впровадження інноваційних рішень. Автоматизовані системи моніторингу та діагностики відіграють ключову роль у забезпеченні стабільної роботи енергоблоків ТЕС і АЕС, дозволяючи своєчасно виявляти і реагувати на зміни параметрів технологічного процесу. В умовах високого ризику виникнення аварій та надзвичайних ситуацій, здатність оперативно і точно контролювати стан енергоблоку є критично важливою. Розвиток технологій автоматизації та обробки даних відкриває нові можливості для підвищення ефективності та безпеки енергетичних систем, що є особливо актуальним в умовах сучасних техногенних та природних викликів. Інтеграція таких систем дозволяє знижувати витрати на обслуговування, запобігати аварійним ситуаціям та мінімізувати їхні наслідки, забезпечуючи безперервність енергопостачання.

Метою даної магістерської роботи є розробка системи автоматизованого моніторингу для контролю та діагностики параметрів технологічного процесу енергоблоку АЕС в режимі реального часу.

Основними **завданнями** дослідження є:

1. Розробка ефективної та надійної системи, здатної здійснювати безперервний збір, обробку та аналіз даних про параметри технологічного процесу.
2. Забезпечення своєчасного виявлення відхилень параметрів від нормальних значень.
3. Розробка методів прогнозування можливих аварійних ситуацій та прийняття превентивних заходів для їх запобігання.

Об'єктом дослідження є технологічний процес енергоблоку, зокрема його ключові параметри (температура, тиск тощо), які потребують безперервного моніторингу для забезпечення безпечної та ефективної експлуатації. Ці параметри мають значний вплив на стабільність та безпеку роботи енергоблоку.

Предметом дослідження є методи та засоби автоматизованого моніторингу параметрів технологічного процесу енергоблоку, включаючи вибір та встановлення датчиків для вимірювання ключових параметрів технологічного процесу, розробку обчислювальних модулів для обробки даних в режимі реального часу, алгоритми обробки даних для виявлення та прогнозування можливих аварійних ситуацій, системи комунікації для забезпечення надійного зв'язку між компонентами системи та централізованою платформою управління.

Наукова новизна

Наукова новизна даного дослідження полягає у розробці нових підходів до моніторингу та діагностики параметрів технологічного процесу енергоблоку на основі сучасних методів обробки даних та алгоритмів. Використання цих підходів дозволяє більш точно та своєчасно виявляти відхилення параметрів, що є ознаками потенційних аварійних ситуацій, та приймати превентивні заходи для їх запобігання.

Практична значущість

Практична значущість дослідження полягає у впровадженні розробленої системи автоматизованого моніторингу на практиці, що забезпечить підвищення рівня безпеки та надійності роботи енергоблоків ТЕС і АЕС. Використання системи дозволить знизити витрати на обслуговування, мінімізувати ризики аварій та надзвичайних ситуацій, а також забезпечити захист навколишнього середовища та здоров'я персоналу.

Таким чином, розробка системи автоматизованого моніторингу для контролю та діагностики параметрів технологічного процесу енергоблоків ТЕС і АЕС є важливим кроком до підвищення стабільності та безпеки роботи

енергетичних систем. Використання сучасних технологій обробки даних дозволяє своєчасно виявляти відхилення від нормальних значень параметрів, прогнозувати можливі аварійні ситуації та приймати превентивні заходи для їх запобігання. Це сприяє підвищенню надійності та стабільності роботи енергоблоків ТЕС і АЕС, захисту навколишнього середовища та забезпеченню здоров'я і безпеки персоналу.

РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ АСУ ТП ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В АВАРІЙНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ

1.1 Надійність функціонування інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоків електростанцій

Для автоматизації процесів виробництва, транспортування та розподілу електроенергії, електростанції (ТЕС, АЕС) повинні бути оснащені автоматизованими системами керування (АСУ) [2, 8]. Згідно з вимогами експлуатації [17, 18], такі системи повинні забезпечувати надійність, безпеку та стійкість енергосистеми, а також відповідати встановленим технічним вимогам [10].

Аналіз спеціальної та науково-технічної літератури [9 – 11] показує, що основною вимогою до структури, функцій і завдань АСУ електростанцій є можливість вирішення інформаційних та/або керуючих завдань виробничо-технологічного, оперативно-диспетчерського й організаційно-економічного управління процесами виробництва, транспортування та розподілу електроенергії.

Ці завдання покладаються на різні АСУ електростанцій, включаючи: автоматизовані системи керування технологічним процесом (АСУ ТП) енергоблоку, інформаційно-вимірювальні системи, інформаційно-обчислювальні системи, керуючі обчислювальні системи, автоматизовані системи діагностики стану технологічного та електричного обладнання, системи внутрішньореакторного контролю, автоматичний контроль нейтронного потоку, автоматичні системи контролю радіаційного стану, засоби радіаційного контролю, системи автоматичного захисту, автоматичні системи регулювання, електронні частини систем регулювання турбін, електрогідравлічні системи регулювання турбін, автоматизовані системи

диспетчерського керування та інші [10].

Особливо важливо зазначити, що інформаційно-вимірювальні системи займаються вимірюванням параметрів та збором інформації про технологічні об'єкти й процеси, яку вони надають користувачеві за запитом. Інформаційно-керуючі системи, окрім обробки та, за необхідності, реєстрації інформації, мають також забезпечувати вироблення керуючих впливів. Такі системи, як підсистеми аварійного та попереджувального захисту, автоматичні системи регулювання, автоматизовані системи диспетчерського керування, повинні видавати інформаційно-керуючі впливи на об'єкт керування для приведення його параметрів у межі експлуатаційних норм або для забезпечення його безпечного стану [11, 13].

Таким чином, інтеграція автоматизованих систем керування в електроенергетичні об'єкти не лише покращує ефективність та надійність управління, але й підвищує загальну безпеку та стійкість енергосистем, забезпечуючи виконання технологічних завдань та відповідність сучасним технічним вимогам.

Система автоматизованого управління (АСУ) електричних станцій забезпечує можливість керування енергооб'єктом як єдиним технологічним комплексом. Для цього АСУ технологічного процесу (ТП) енергоблоку на теплових (ТЕС) та атомних (АЕС) електростанціях повинні бути розподіленими, багатофункціональними, вільно програмованими автоматизованими системами, здатними функціонувати безперервно в реальному часі. Вони реалізують необхідні функції збору, обробки та надання інформації, а також функції керування, регулювання, захисту, блокування та сигналізації [9 – 11].

АСУ ТП енергоблоку електростанції повинна бути створена як єдина система інформації та управління, базуючись на передових системотехнічних принципах, зазвичай на основі єдиного програмно-технічного комплексу. Якщо ж АСУ ТП енергоблоку створюється на розрізнених технічних та програмних засобах, вони повинні бути сумісними між собою для забезпечення

ефективного обміну інформацією та програмного забезпечення, настільки, наскільки це необхідно для створення єдиної інтегрованої системи [11].

Такий підхід забезпечує підвищення надійності та безпеки функціонування електроенергетичного обладнання енергоблоків ТЕС і АЕС. Система АСУ ТП енергоблоку електростанції є багаторівневою системою, побудованою за ієрархічним принципом відповідно до технологічної структури та особливостей компонування технологічного об'єкта управління [10 – 12].

Кількість рівнів в АСУ ТП енергоблоку, а також розподіл функцій і завдань (інтелекту) між ними залежать від структури комплексу технічних і програмних засобів, на основі яких вона створюється. У більшості випадків таких рівнів два: верхній і нижній. При експлуатації інформаційно-керуючих систем програмно-технічних комплексів (ПТК) АСУ ТП енергоблоку електростанції вирішуються функції та завдання з приймання й достовірної обробки інформації під час аналізу аварійних ситуацій та процесів на технологічному обладнанні енергоблоків ТЕС і АЕС [13, 15].

Важливо, що АСУ ТП енергоблоку повинні бути розроблені з урахуванням можливості інтеграції різних технологічних процесів та їх автоматизації. Це забезпечує безперервний контроль та управління, своєчасну реакцію на зміни в технологічних параметрах, а також підвищення загальної ефективності і безпеки експлуатації електростанцій. АСУ ТП також повинні включати системи для діагностики та контролю стану технологічного та електричного обладнання, що сприяє своєчасному виявленню та усуненню несправностей, зменшуючи ризик аварійних ситуацій та збільшуючи надійність і довговічність обладнання.

Таким чином, використання сучасних АСУ ТП енергоблоків на електростанціях забезпечує надійне та ефективне управління технологічними процесами, підвищує безпеку та зменшує ризики, пов'язані з експлуатацією електроенергетичних об'єктів.

Однією з функцій інформаційно-керуючих систем програмно-технічних комплексів (ПТК) автоматизованої системи управління технологічним

процесом (АСУ ТП) енергоблоків електростанцій є аналіз відхилень параметрів технологічного процесу від встановлених значень, відповідних до нормального функціонування обладнання енергоблоків ТЕС та АЕС [15, 16].

Особливістю обробки інформації від датчиків контролю технологічного обладнання енергоблоків є необхідність визначення достовірності отримуваних даних. Це важливо, оскільки недостовірні дані можуть призводити до неправильного формування сигналів управління процесом, що, в свою чергу, може викликати хибні спрацьовування підсистем аварійного та попереджувального захисту ПТК АСУ ТП. Такі відхилення можуть негативно вплинути на надійність роботи електроенергетичного обладнання, зокрема на управління парогенератором і турбогенератором енергоблоків ТЕС та АЕС [2-5].

Для характеристики надійності функціонування ПТК АСУ ТП енергоблоків електростанцій важливими є основні передумови до аварійних ситуацій, такі як: пошкодження, що спричиняють порушення справності технологічного обладнання або його елементів; відмови, особливо неправильні спрацьовування, які можуть порушити працездатність обладнання або призвести до аварій та катастроф [10 – 14].

Основні кількісні показники, що характеризують надійність технологічного обладнання енергоблоків електростанцій, включають коефіцієнт готовності, коефіцієнт технічного використання, параметр потоку відмов, середній час відновлення та ймовірність безвідмовної роботи [12, 16].

Коефіцієнт технічного використання характеризує відношення часу перебування технологічного обладнання або його елементів в працездатному стані до сумарного часу перебування їх у працездатному стані та часу простоїв, обумовлених технічним обслуговуванням та ремонтами за розглянутий період, і визначається за допомогою відповідної формули (1.1) [12]:

$$K_{TB} = \frac{\sum_{i=1}^n \xi_i}{n \cdot \tau_e}, \quad (1.1)$$

де: $\tau_e = \tau_p + \tau_o + \tau_{рем}$ – тривалість експлуатації, яка включає час роботи, технічного обслуговування та ремонтів; ξ_i – час перебування у працездатному стані. Параметр потоку відмов характеризує частоту відмов і визначається як середня кількість відмов ремонтovanого елемента технологічного устаткування енергоблоку електростанції в одиницю часу [12, 18]. Приблизно параметр потоку відмов можна визначити за формулою (1.2) [12]:

$$\omega(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i(\tau + \Delta\tau) - \sum_{i=1}^n m_i(\tau)}{n \cdot \Delta\tau}, \quad (1.2)$$

де: $m_i(\tau + \Delta\tau)$ – число відмов за час $(\tau + \Delta\tau)$; $m_i(\tau)$ – число відмов за час τ .

Необхідно зазначити, що кількість відмов безпосередньо залежить від рівня достовірності інформації щодо параметрів технологічного процесу електростанції (ТЕС і АЕС). Важливо, що параметр потоку хибних спрацьовувань не повинен перевищувати 0,0011 на годину [4, 5].

Середній час відновлення – це середній час вимушеного, нерегламентованого простою, обумовленого пошуком і усуненням однієї відмови. Цей показник є критично важливим для забезпечення надійності та безперервності роботи технологічного обладнання електростанції, оскільки він відображає ефективність заходів з технічного обслуговування та ремонту [2 – 4].

Підвищення достовірності одержуваної інформації про технологічні параметри дозволяє знизити ризики хибних спрацьовувань та збільшити загальну надійність системи управління. Від цього залежить стабільність і безпечність роботи енергетичних об'єктів, а також можливість своєчасного реагування на будь-які відхилення від нормального режиму функціонування. Параметри потоку відмов і середній час відновлення є ключовими показниками, які дозволяють оцінювати ефективність систем керування і технічного обслуговування на електростанціях.

$$\tau_{\text{с}} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \tau_j, \quad (1.3)$$

де: τ_j – час відшукування й усунення відмови j -го елемента; M – число відмов.

Ймовірність безвідмовної роботи протягом часу t визначає ймовірність того, що технологічне обладнання енергоблоку електростанції або його елементи будуть працювати безперебійно протягом цього часу [12,]. Наближена формула для обчислення ймовірності безвідмовної роботи виглядає наступним чином [2 – 4]:

$$P(\tau) = \frac{N(\tau)}{n}, \quad (1.4)$$

де $N(\tau)$ – число об'єктів, що залишилися працездатними до кінця часу τ ;
 n – число об'єктів, за якими велося спостереження [16].

Зазначені вище коефіцієнти готовності та технічного використання враховують лише певні види відмов, залишаючи поза увагою часткові відмови. Для більш повної оцінки надійності технологічного устаткування важливо також враховувати часткові відмови, що можна зробити за допомогою формули (1.5) [12].

$$K_{\text{ч}} = \frac{\Delta W}{W} = \frac{\Delta N \cdot \tau_{\text{ч}}}{N_{\text{с}} \cdot \tau}, \quad (1.5)$$

де: $\Delta W = \Delta N \cdot \tau_{\text{ч}}$ – величина недовідпустки електроенергії в результаті часткової відмови, кВт*год; ΔN – зниження потужності внаслідок часткової відмови, кВт; $\tau_{\text{ч}}$ – тривалість часткової відмови; $N_{\text{с}}$ – встановлена потужність, кВт; τ – планове число годин використання встановленої потужності.

Часткові відмови можуть значно впливати на загальну ефективність і стабільність роботи системи. Вони можуть призводити до тимчасових

переривань або зниження продуктивності, що не відображається у традиційних коефіцієнтах готовності та технічного використання. Таким чином, врахування часткових відмов дозволяє отримати більш точну та реалістичну картину надійності системи.

Розширене врахування часткових відмов є критично важливим для комплексної оцінки надійності та забезпечення безперервності технологічного процесу. Це допомагає виявити слабкі місця в системі та запобігти можливим проблемам заздалегідь, що підвищує загальну надійність і безпеку роботи електростанцій.

Для цього використовують формулу (1.5), яка дозволяє включити часткові відмови в загальний розрахунок надійності, забезпечуючи тим самим більш детальний та точний аналіз стану технологічного обладнання.

Одним із ключових показників надійності функціонування технологічного обладнання енергоблоків електростанції є коефіцієнт готовності.

Цей показник характеризує ймовірність того, що технологічне обладнання або його елемент будуть у працездатному стані в будь-який довільний момент часу [12, 18]. Високе значення коефіцієнта готовності свідчить про високу ймовірність безперебійної роботи обладнання, що є критично важливим для забезпечення надійності та безпеки електростанції.

Коефіцієнт готовності можна розрахувати за допомогою формули (1.6), яка враховує різні аспекти експлуатації та технічного обслуговування [12]. Це дозволяє отримати об'єктивну оцінку готовності обладнання до безперервної експлуатації та вчасного реагування на можливі відхилення.

Таким чином, коефіцієнт готовності є одним із основних параметрів, який використовують для оцінки надійності технологічного обладнання енергоблоків електростанцій. Він дозволяє ефективно планувати технічне обслуговування та ремонти, забезпечуючи стабільну та безперебійну роботу обладнання. Завдяки цьому можна зменшити ризик аварійних ситуацій та підвищити загальну ефективність і безпеку експлуатації електростанцій.

$$K_z = \frac{\tau_0}{\tau_0 + \tau_{\epsilon}}, \quad (1.6)$$

де τ_0 – наробіток на відмову (середній час безвідмовної роботи); τ_{ϵ} – середній час відновлення працездатності.

Аналіз формули (1.6) свідчить, що підвищення надійності функціонування технологічного обладнання енергоблоку електростанції залежить від коефіцієнта готовності. Цього можна досягти за умови мінімального середнього часу відновлення працездатності, що, у свою чергу, підвищує ймовірність виявлення аварійних ознак. Це можливо, коли інформаційно-керуючі системи ПТК АСУ ТП енергоблоку визначають відхилення характеристик технологічних параметрів, що впливають на відмову технологічного обладнання, в реальному часі [2, 3, 6, 10].

Реалізація такого підходу дозволяє своєчасно виявляти відхилення, які можуть вплинути на роботу обладнання, та запобігати можливим аварійним ситуаціям. Відповідно, зниження середнього часу відновлення працездатності та підвищення точності моніторингу параметрів в реальному часі сприяють покращенню загальної надійності та безпеки експлуатації енергоблоків електростанцій.

Отже, визначення відхилень характеристик параметрів технологічного процесу в режимі реального часу залежить від точності визначення достовірності інформації, яку отримують за допомогою апаратно-програмних засобів інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції.

Враховуючи коефіцієнт готовності енергоблоку як ймовірність того, що технологічне устаткування або його елементи будуть у працездатному стані у будь-який момент часу, можна розглядати цей коефіцієнт як сукупність коефіцієнтів готовності окремих елементів: котла, турбіни, електрогенератора і трансформатора. Тобто, коефіцієнт готовності енергоблоку можна визначити як добуток коефіцієнтів готовності кожного з цих елементів (1.7) [12].

Для підвищення точності визначення відхилень параметрів у реальному часі, апаратно-програмні засоби повинні забезпечувати високий рівень достовірності інформації. Це допоможе своєчасно реагувати на відхилення і запобігати можливим аварійним ситуаціям, підвищуючи загальну надійність і безпеку енергоблоку електростанції. Таким чином, інтеграція і ефективна робота всіх компонентів системи є критично важливими для забезпечення безперервної та надійної роботи технологічного обладнання.

$$K_z^B = K_z^{KV} \cdot K_z^T \cdot K_z^{EG} \cdot K_z^{TP} \quad (1.7)$$

Із виразу (1.7) робиться висновок, що надійність і безпека функціонування технологічного устаткування енергоблоку залежить від виявлення динаміки зміни характеристик параметрів технологічного процесу в передаварійній ситуації в режимі реального часу на кожному елементі (котел, турбіна, електрогенератор, трансформатор) енергоблоку електростанції. Одним з основних завдань автоматизованих інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанцій (ТЕС і АЕС) є забезпечення надійності роботи електроенергетичного обладнання енергоблоків ТЕС і АЕС при одночасно-му виявленні відхилення величин характеристик технологічних параметрів, що дозволяє виявляти їхні аварійні ознаки в нештатних режимах функціонування в режимі реального часу [15, 18]. Розглянутий нижче як приклад критерій оптимального управління інформаційно-керуючої системи ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції в нормальному режимі функціонування, описуваний виразом (1.8) [10, 11, 15], показує, що для визначення відхилення характеристик технологічних параметрів, обираються тільки усереднені значення перевищення величини параметра щодо допустимого значення відхилення за інтервал часу, який фіксується тільки початковим та кінцевим моментом часу, що в цілому призводить до неточності в розрахунках, а, отже, впливає на надійність роботи технологічного устаткування [16].

З аналізу формули (1.7) робиться висновок, що надійність і безпека функціонування технологічного устаткування енергоблоку залежить від здатності виявляти динамічні зміни параметрів технологічного процесу у передаварійних ситуаціях в реальному часі для кожного елемента (котел, турбіна, електрогенератор, трансформатор) енергоблоку електростанції.

Одним із основних завдань автоматизованих інформаційно-керуючих систем програмно-технічних комплексів (ПТК) АСУ ТП енергоблоків електростанцій (ТЕС та АЕС) є забезпечення надійної роботи електроенергетичного обладнання, а також своєчасне виявлення відхилень у параметрах технологічного процесу, що дозволяє виявляти аварійні ознаки у нештатних режимах функціонування в реальному часі [15, 18].

Розглянутий критерій оптимального управління інформаційно-керуючої системи ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції в нормальному режимі функціонування, описаний у виразі (1.8) [10, 11, 15], показує, що для визначення відхилень характеристик технологічних параметрів використовуються лише усереднені значення перевищення параметра ΔP щодо допустимого відхилення $\Delta P_{\text{доп}}$ за певний інтервал часу Δt , який фіксується початковим та кінцевим моментами часу. Такий підхід може призводити до неточностей у розрахунках, що в свою чергу впливає на надійність роботи технологічного устаткування [16].

Для підвищення надійності необхідно забезпечити більш точне та оперативне визначення відхилень параметрів у реальному часі, що включає використання передових методів та засобів моніторингу і управління. Це дозволяє своєчасно реагувати на зміни в параметрах технологічного процесу та запобігати аварійним ситуаціям, підвищуючи загальну надійність і безпеку роботи енергоблоків електростанцій.

Таким чином, впровадження сучасних автоматизованих систем управління та моніторингу є ключовим для забезпечення стабільної та ефективної роботи електростанцій, що дозволяє знизити ризики аварійних ситуацій та підвищити безпеку експлуатації технологічного обладнання.

$$\eta_{\text{пуску}} = \frac{A}{\tau} \prod_{i=1}^{i=k} \left[1 + \alpha_i \left(x_{i \text{ don}} - \frac{\sum_{\gamma=1}^r \int_{t_{\gamma 2}}^{t_{\gamma 1}} x_i dt}{\sum_{\gamma=1}^r (t_{\gamma 2} - t_{\gamma 1})} \right) \left(\frac{1 + \text{sign}(x_{i \text{ max}} - x_{i \text{ don}})}{2} \right) \right], \quad (1.8)$$

де A – коефіцієнт пропорційності; τ – час пуску; α_i – коефіцієнт, що враховує зменшення $\eta_{\text{пуску}}$ при підвищенні допустимого граничного значення i -го параметра прогріву; $x_{i \text{ don}}$ – допустиме відхилення параметра; $x_{i \text{ max}}$ – максимальне відхилення параметра за період пуску; $t_{\gamma 1}$ і $t_{\gamma 2}$ – моменти початку й кінця перевищення параметром допустимого значення $x_{i \text{ don}}$; r – число цих перевищень при пуску.

Згідно з аналізом показників надійності, основні вимоги до надійності функціонування інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції на сьогодні такі:

- системи мають бути відновлюваними та ремонтпридатними: Інформаційно-керуючі системи ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції повинні проектуватися як системи, що можуть бути легко відновлені та піддані ремонту, розраховані на тривале функціонування [16].

- способи підвищення надійності при експлуатації: Під час експлуатації інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції слід використовувати такі методи підвищення надійності: забезпечення апаратної, інформаційної, функціональної й алгоритмічної надлишковості; застосування відмовостійких структур; діагностика технічних засобів і програмного забезпечення; захист від видачі неправильних команд та використання недостовірної інформації; передача й обробка інформації у цифровій формі, використання спеціальних кодів для захисту інформації під час обміну та, за необхідності, контроль доставки інформації; контроль інформації на вході, використання надлишковості "два із двох", "два із трьох" у найбільш відповідальних випадках [18].

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що підвищення надійності функціонування інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції є актуальним завданням. Необхідно забезпечити постійний контроль та оперативну діагностику стану технічного устаткування, впроваджуючи сучасні технології та методи захисту інформації. Це дозволить вчасно виявляти та усувати недоліки, знижуючи ризики відмов та підвищуючи загальну надійність і ефективність роботи електростанцій.

1.2 Огляд методів забезпечення достовірності інформації в інформаційно-керуючих системах ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції для підвищення надійності роботи електроенергетичного обладнання

Відомо, що для розв'язання завдань управління за допомогою автоматизованих засобів необхідно описати об'єкт управління через математичну модель. Така модель повинна містити сукупність математичних залежностей, що відображають специфічні властивості та характеристики електроенергетичного об'єкта, істотні для процесу управління та всієї системи керування технологічним процесом [2 – 5].

Основне завдання при створенні моделей управління електроенергетичним обладнанням енергоблоків електростанцій полягає у виділенні найбільш значущих факторів у реальній системі управління технологічним процесом. Вони повинні бути відображені у моделі максимально повно і детально, збігаючись із реальними характеристиками технологічних параметрів. Це дозволить проводити дослідження на моделі швидше, простіше та економічніше, ніж на реальному об'єкті.

Як показують дослідження, випадкові зміни інформаційних сигналів про характеристики технологічних параметрів неможливо описати за допомогою детермінованих і статичних моделей. Використання детермінованих динамічних та стохастичних моделей для вирішення завдань управління

вимагає застосування складного математичного апарату теорії ймовірності та математичної статистики, що не завжди доцільно [11, 12].

Для розв'язання таких завдань варто застосовувати більш спрощені підходи, які водночас забезпечують достатню точність і надійність. Це дозволить ефективно контролювати та управляти технологічними процесами на електростанціях, враховуючи усі необхідні параметри та зміни, що відбуваються під час функціонування системи. Завдяки такому підходу можна досягти високої ефективності та надійності роботи електроенергетичного обладнання.

Аналіз науково-технічної та спеціальної літератури показав, що існує ряд методів обробки інформації в інформаційно-керуючих системах для підвищення надійності роботи електроенергетичного обладнання на енергооб'єктах [16].

Метод обробки інформації для визначення ключових параметрів технічного стану електроенергетичного обладнання [12, 14]: Цей метод спрямований на встановлення таких визначальних параметрів технічного стану, які задовольняють двом основним вимогам:

- параметр служить індикатором працездатності обладнання.
- параметр відновлюється до вихідного (або близького до вихідного) значення після проведення планового технічного обслуговування.

Метод оцінки інформації в системах керування для початку планового технічного обслуговування та ремонту [13, 14]: Цей метод використовує показник, який визначає період до проведення планових робіт з технічного обслуговування. Зазвичай застосовується гамма-процентний наробіток до відмови, який визначається відповідною формулою (1.11) [13].

$$T_{cp} = \mu = \frac{x_{np} - x_0}{a}, \quad T_{\gamma} = \mu X_{\gamma} = X_{\gamma} \cdot \frac{x_{np} - x_0}{a}, \quad (1.11)$$

де коефіцієнт X_{γ} визначається з рівняння $F_{DN}(X_{\gamma}, \mu=1, \nu)=1-\gamma/100$, у

якому $F_{DN}(X_\gamma, \mu=1, \nu)$ – функція розподілу (ймовірність відмови); a – середня швидкість зміни визначальних параметрів технічного стану; μ – параметр масштабу розподілу; ν – параметр форми розподілу, який дорівнює коефіцієнту варіації швидкості зміни визначального параметра й визначається за коефіцієнтом варіації основного процесу деградації; γ – регламентоване значення ймовірності (ступінь запасу) гамма-процентного наробітку на відмову (виражене у відсотках).

Розширене врахування таких методів дозволяє підвищити точність та своєчасність технічного обслуговування, що, у свою чергу, збільшує загальну надійність та ефективність роботи електроенергетичного обладнання. Застосування цих методів сприяє зменшенню ризику відмов обладнання та покращує можливість прогнозування і запобігання можливих аварійних ситуацій. Це особливо важливо для забезпечення стабільної і безпечної роботи електростанцій, де кожна відмова може мати серйозні наслідки для безпеки та ефективності енергетичної системи.

Метод оцінки інформації в інформаційно-керуючих системах для визначення рівня впливу устаткування на безпеку передбачає класифікацію обладнання на три групи за ступенем його впливу на безпеку: високий, середній і низький рівні [3 – 7].

Для кожної групи визначається чисельне значення ступеня впливу аналізованого устаткування на надійність та безпеку. Це значення визначається за допомогою певної формули (1.12), яка враховує різні параметри та фактори, що впливають на загальну безпеку енергетичного об'єкта [14].

$$\Delta ЧП = \int_0^{\infty} ЧП(x) f_{\tau}(x, \tau_{cp}, \sigma) dx, \quad (1.12)$$

де $ЧП(x)$ – функція, що відображає вплив тривалості позапланового ремонту на частоту пошкодження; $f_{\tau}(x, \tau_{cp}, \sigma)$ – функція розподілу тривалості

позапланового ремонту; τ_{cp} – середня тривалість позапланового ремонту устаткування, год; σ – середньоквадратичного відхилення тривалості ремонту устаткування.

Детальне оцінювання рівня впливу устаткування дозволяє більш точно визначити критичні точки в системі та вжити необхідних заходів для забезпечення її надійної роботи. Такий підхід допомагає вчасно виявити потенційні ризики та запобігти можливим аваріям або збоям, підвищуючи загальну ефективність та безпеку експлуатації електроенергетичного обладнання.

Класифікація обладнання за рівнями впливу на безпеку також дозволяє ефективніше планувати заходи з технічного обслуговування і ремонту, спрямовані на підтримання безперебійної роботи системи. Це забезпечує можливість своєчасного реагування на відхилення в роботі устаткування та знижує ризик виникнення аварійних ситуацій. Завдяки цьому метод забезпечує підвищення надійності роботи електроенергетичних об'єктів в цілому.

Метод оцінки інформації в інформаційно-керуючих системах для визначення впливу обладнання на ефективність його експлуатації передбачає кількісну оцінку ступеня цього впливу. Цей метод базується на оцінці показника недовиробітку електроенергії, який виникає внаслідок відмови певного обладнання [14].

Щоб кількісно визначити ступінь впливу, аналізуються наслідки відмови обладнання з точки зору втрат у виробництві електроенергії. Це значення недовиробітку електроенергії розраховується за допомогою спеціальної формули (1.13) [19], яка враховує різні параметри та фактори, що впливають на загальну ефективність енергосистеми.

$$C = \int_{t_{p1}}^{t_{p2}} Q(x, \tau_1, \tau_2, \nu) dx, \quad (1.13)$$

де $Q(x, \tau_1, \tau_2, \nu)$ – функція, яка відображає вплив тривалості

позапланового ремонту на недовиробіток електроенергії; τ_1 – час ремонту устаткування, після якого потужність знижується на величину V ; τ_2 – час ремонту устаткування, після якого потужність знижується до нуля; V – величина зниження потужності при тривалості ремонту більш τ_1 ; t_{p1}, t_{p2} – мінімальний і максимальний час позапланового ремонту.

Запровадження цього методу дозволяє більш точно оцінювати ризики, пов'язані з відмовами обладнання, і планувати відповідні заходи для їхнього зменшення. Це сприяє підвищенню загальної ефективності та надійності роботи електростанцій, оскільки враховуються можливі втрати у виробництві електроенергії і приймаються рішення, спрямовані на мінімізацію таких втрат.

Завдяки цьому методу забезпечується не тільки покращення ефективності експлуатації електроенергетичного обладнання, але й зростання загальної стабільності та безпеки енергосистеми. Цей підхід дозволяє оперативно реагувати на можливі відмови і здійснювати своєчасне технічне обслуговування для запобігання великим втратам та забезпечення безперервної роботи електростанцій.

Загальна процедура та етапність обробки інформації в інформаційно-керуючих системах для визначення впровадження концепції переходу на ремонт за технічним станом [83-87, 132, 134, 140-142, 149, 180-182]:

1. Оцінка поточного стану обладнання: Першим етапом є оцінка поточного технічного стану устаткування за допомогою інформаційно-керуючих систем. Це включає аналіз даних з датчиків та інших засобів моніторингу, щоб визначити параметри, які близькі до гранично допустимих значень.

2. Прогнозування стану обладнання: Наступним кроком є прогнозування технічного стану устаткування на основі зібраних даних. Це дозволяє визначити, коли обладнання досягне межі допустимих значень параметрів і в який момент його необхідно буде ремонтувати.

3. Планування ремонтних робіт: На основі прогнозів планується інтервал

часу, через який має бути проведено ремонт (1.14) [132, 140-142, 149, 180-182]. Це дозволяє оптимізувати графік технічного обслуговування, мінімізувати простої та підвищити ефективність роботи обладнання.

4. Реалізація ремонту: Ремонтні роботи проводяться у визначений час, що забезпечує підтримання обладнання в робочому стані та знижує ризик відмов і аварій.

5. Аналіз результатів: Після проведення ремонту аналізуються результати для визначення ефективності ремонтних робіт і необхідності подальшого вдосконалення методів планування та обробки інформації.

Загальна концепція планування ремонтів полягає в тому, що устаткування необхідно ремонтувати тоді, коли параметри його технічного стану наближаються до гранично допустимих значень. Це дозволяє забезпечити своєчасне та ефективне технічне обслуговування, що підвищує надійність і безпеку роботи електроенергетичних об'єктів. Такий підхід також сприяє зменшенню витрат на обслуговування та запобіганню можливим аваріям, завдяки чому зберігається висока ефективність експлуатації обладнання.

$$T_{\text{рем}} = \min_i \{t_{\gamma i} - t_0\}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1.14)$$

де $t_{\gamma i}$ – гамма-процентний наробіток на відмову за i -м визначальним параметром технічного стану.

Аналіз сучасних методів обробки інформації з використанням інформаційно-керуючих систем програмно-технічних комплексів (ПТК) автоматизованих систем управління технологічним процесом (АСУ ТП) на енергоблоках теплових (ТЕС) та атомних електростанцій (АЕС) виявив, що ці методи в багатьох випадках не відповідають вимогам щодо виявлення недостовірної або неправильної інформації про відхилення характеристик параметрів технологічного процесу в режимі реального часу. Це може призводити до несвоєчасного виявлення аварійних ознак у випадках

нештатного функціонування електроенергетичного устаткування енергоблоків ТЕС і АЕС, і, відповідно, не забезпечувати необхідний рівень надійності для своєчасного реагування на передаварійні та аварійні стани електростанцій.

Важливо зазначити, що ефективність роботи інформаційно-керуючих систем залежить від здатності виявляти та коригувати відхилення в реальному часі, що є критично важливим для підтримання стабільної та безпечної роботи енергоблоків. Недосконалість методів обробки інформації може призводити до затримок у прийнятті рішень, збільшуючи ризик виникнення аварійних ситуацій і знижуючи загальну надійність системи.

Для підвищення надійності функціонування електроенергетичного устаткування необхідно впроваджувати вдосконалені методи обробки інформації, які забезпечують точне і своєчасне виявлення відхилень параметрів у режимі реального часу. Це може включати використання передових алгоритмів для обробки даних, вдосконалених методів діагностики та моніторингу, а також забезпечення високої достовірності інформації, що надходить від сенсорів і інших пристроїв. Такий підхід дозволить оперативно реагувати на зміни в технологічних процесах та підвищити загальну надійність і безпеку експлуатації електроенергетичних об'єктів.

1.3 Алгоритми діагностики та обробки інформації в інформаційно-керуючих системах ПТК АСУ ТП енергоблоків електростанцій

Розглянемо особливості використання алгоритмів обробки інформації в інформаційно-керуючих системах програмно-технічних комплексів (ПТК) автоматизованих систем управління технологічним процесом (АСУ ТП) енергоблоку електростанції, а також їх вплив на управлінські функції.

Особливості застосування алгоритмів обробки інформації:

Реалізація в режимі реального часу: Алгоритми обробки інформації в ПТК АСУ ТП забезпечують обробку великих обсягів даних у реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на зміни у технологічному процесі та

запобігати аварійним ситуаціям.

Інтеграція з сенсорними системами: Алгоритми отримують інформацію від численних датчиків, встановлених на обладнанні енергоблоку, і забезпечують її точну обробку та аналіз, що підвищує загальну ефективність системи.

Виявлення і корекція помилок: Сучасні алгоритми здатні автоматично виявляти та коригувати помилки в даних, що забезпечує високу достовірність інформації та підвищує надійність системи.

Вплив на функції управління:

Оптимізація технологічного процесу: Завдяки точній обробці даних алгоритми дозволяють оптимізувати роботу технологічних процесів, знижуючи витрати ресурсів та підвищуючи продуктивність.

Підтримка прийняття рішень: Алгоритми обробки інформації забезпечують керівників точними даними та аналітичними звітами, що сприяє прийняттю більш обґрунтованих та ефективних рішень.

Моніторинг та діагностика: Алгоритми постійно моніторять стан технологічного обладнання і діагностують можливі відхилення, що дозволяє завчасно вжити заходів для запобігання аварій.

Автоматизація керування: Завдяки високому рівню автоматизації алгоритми можуть самостійно керувати деякими процесами, знижуючи необхідність ручного втручання і тим самим підвищуючи загальну ефективність та безпеку роботи енергоблоку.

Таким чином, застосування алгоритмів обробки інформації в інформаційно-керуючих системах ПТК АСУ ТП енергоблоків електростанцій є важливим кроком для підвищення надійності, ефективності та безпеки управління технологічними процесами.

Управління в режимі поради оператора (рис 1.1) [18].

Сигнали вимірювальної інформації σ_1 та σ_2 , що надходять від електроенергетичного устаткування електростанції, перетворюються за допомогою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) у цифрову форму (код).

Після цього вони використовуються в алгоритмах розрахунків керуючих впливів U . Ці керуючі впливи подаються оператору у наочній формі та реєструються за потреби.

Оператор, керуючись отриманими даними, керує процесом шляхом зміни налаштувань автоматичної системи регулювання, що впливає на систему дистанційного керування регулювальними органами [18 – 20].

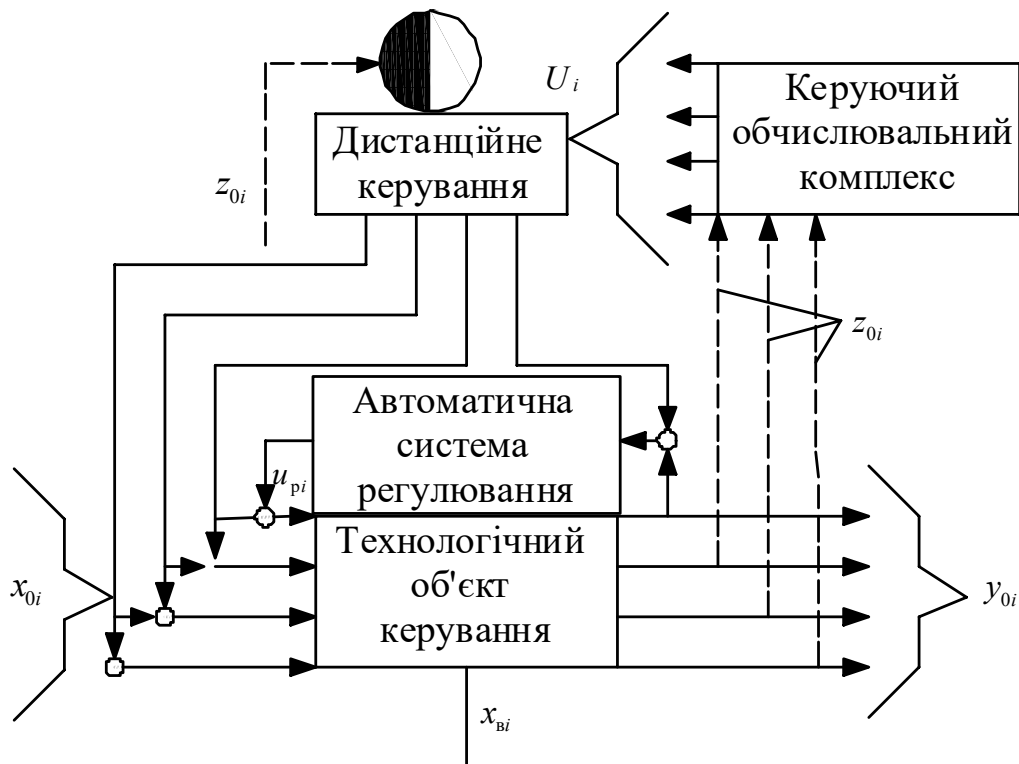


Рисунок 1.1 – Алгоритм керування в режимі поради оператора

Недоліки цього виду управління:

- обмежене число керуючих впливів: Оператор може реалізувати лише обмежену кількість керуючих впливів за одиницю часу, що може знижувати оперативність і ефективність управління.
- ризик людських помилок: Залучення оператора до прийняття рішень може збільшувати ймовірність помилок через людський фактор, особливо в умовах стресу або при високій завантаженості.

Переваги цього виду управління:

- підвищення обізнаності оператора: Оператор отримує візуальне

подання керуючих впливів, що полегшує процес прийняття рішень.

- гнучкість реагування: Оператор має можливість адаптувати керуючі дії залежно від конкретних умов та ситуацій, що виникають на об'єкті.

Управління в режимі поради оператора є важливою складовою системи управління електроенергетичним устаткуванням, забезпечуючи додатковий рівень контролю та можливість оперативного втручання у разі непередбачених обставин. Однак, для підвищення ефективності управління слід враховувати можливі недоліки та розробляти заходи для їх мінімізації.

Супервізійне керування.

У режимі супервізійного керування керуючий обчислювальний комплекс періодично підключається до систем безперервного регулювання. На практиці використовують два варіанти цього режиму: автоматична корекція заданих значень регульованих величин: Вихідні дані включають обмеження на зміну ступінчастого сигналу ΔU та збурення за навантаженням D , а також вид і параметри моделі-еталону. Модель-еталон обирається на основі завдання підсистеми керування верхнього рівня з урахуванням вимог режимного характеру, як показано на рис. 1.2 [17, 19].

Інтеграція з системами безперервного регулювання: Керуючий обчислювальний комплекс забезпечує корекцію регульованих величин на основі аналізу поточних даних та еталонної моделі. Це дозволяє підтримувати технологічний процес в оптимальному режимі, реагуючи на змінні умови і збурення.

Переваги супервізійного керування:

- підвищення точності: Автоматична корекція забезпечує високу точність регулювання технологічних параметрів.

- зниження навантаження на оператора: Оператор має менше втручатися в процес керування, оскільки більшість корекцій здійснюється автоматично.

- підвищення надійності: Підключення обчислювального комплексу до систем безперервного регулювання дозволяє своєчасно виявляти та усувати відхилення від оптимальних параметрів.

Недоліки супервізійного керування:

- складність реалізації: Впровадження таких систем вимагає значних витрат на обладнання та налаштування програмного забезпечення.
- залежність від моделі: Якість керування залежить від точності та адекватності вибраної моделі-еталону.

Супервізійне керування є ефективним методом підтримання стабільності та оптимальності технологічних процесів на електростанціях, але потребує ретельного планування та налаштування для досягнення бажаних результатів.

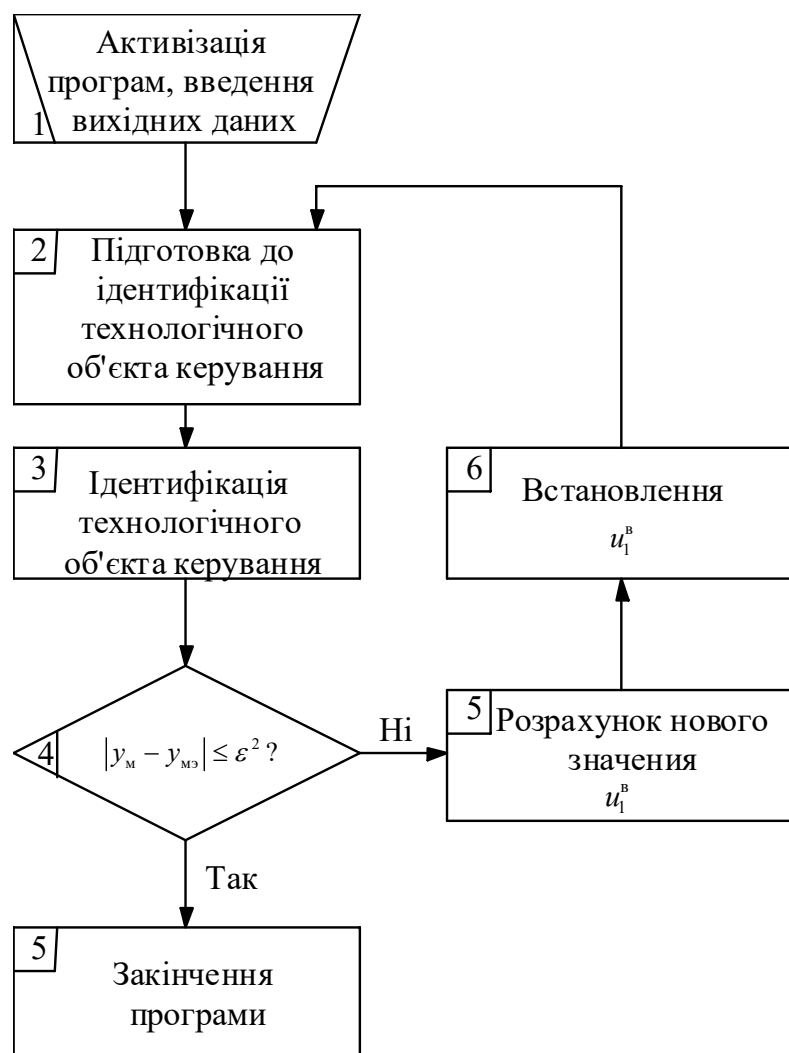


Рисунок 1.2 – Алгоритм формування сигналу завдання з керуючим сигналом u_1^B

Процес формування керуючих дій можна умовно розділити на три етапи:

Визначення координат «навантаження – задане значення»: На першому етапі визначають координати взаємозв'язку між навантаженням та заданими значеннями параметрів регулювання. Це включає збір та аналіз даних для встановлення точних координат.

Розрахунок чисельних значень: На другому етапі здійснюють розрахунки чисельних значень керуючих дій на основі порівняння поточних даних з заданими значеннями. Ці значення передаються в автоматичну систему регулювання, яка використовує їх для корекції параметрів технологічного процесу [206].

Автоматична корекція параметрів налаштувань автоматичної системи регулювання: Цей процес реалізується в самонастроювальній системі за допомогою керуючих обчислювальних комплексів (КОК), як штатного, так і переносного обладнання. На рис. 1.3 показано, як ця система працює [18].

Автоматична корекція параметрів налаштувань автоматичної системи регулювання забезпечує високу точність та оперативність в управлінні технологічним процесом, дозволяючи мінімізувати втручання оператора і забезпечувати стабільність роботи системи в умовах змінних навантажень та інших факторів впливу. Це є важливим етапом у підтриманні оптимальної роботи електроенергетичного обладнання та підвищенні загальної ефективності електростанції.

Централізоване цифрове управління на основі ПТК.

У режимі централізованого цифрового управління сигнал від первинного вимірювального перетворювача передається через аналого-цифровий перетворювач (АЦП) до арифметичного пристрою електронної обчислювальної машини (ЕОМ). Цей сигнал порівнюється із заданим значенням і обробляється згідно з необхідним алгоритмом управління для конкретного контуру, як зображено на рис. 1.4 [19].

Особливості централізованого цифрового управління:

Висока точність та швидкість обробки: Цифрове управління дозволяє забезпечити високу точність і швидкість обробки сигналів, що надходять від

вимірювальних перетворювачів, що значно підвищує ефективність управління технологічними процесами.

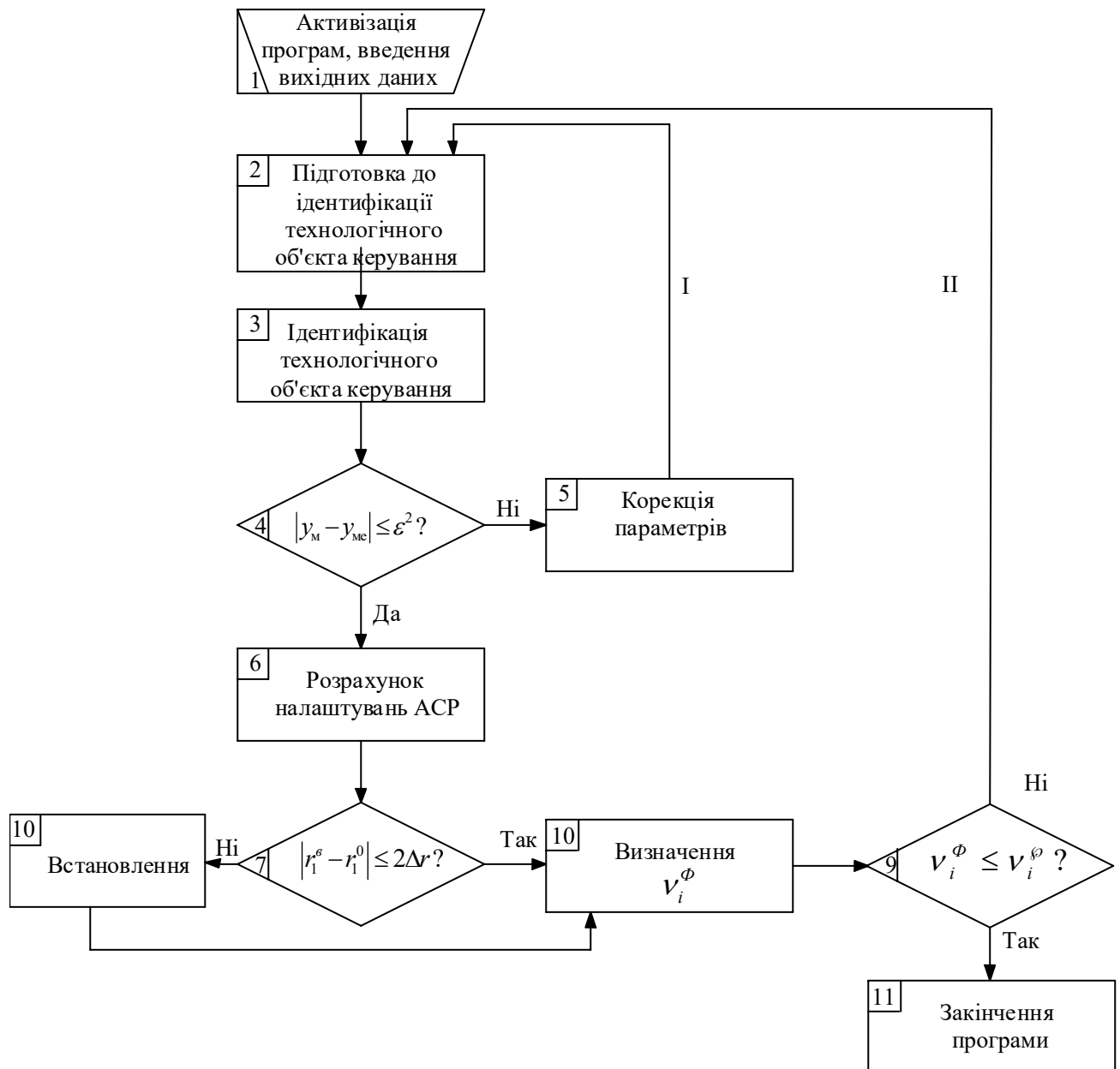


Рис. 1.3 – Алгоритм самонастроювання (адаптації)

Можливість складних обчислень: Використання ЕОМ дозволяє реалізувати складні алгоритми управління, враховуючи всі необхідні параметри і збурення в режимі реального часу. Це забезпечує оптимальне функціонування системи і своєчасне реагування на зміни.

Інтеграція з іншими системами: Централізоване цифрове управління

легко інтегрується з іншими інформаційно-керуючими системами, що дозволяє створювати єдину, злагоджену інфраструктуру для управління всіма аспектами технологічного процесу.

Надійність та безпека: Завдяки централізованій структурі та високій точності обробки даних, це управління забезпечує високу надійність і безпеку роботи електроенергетичного обладнання, що є критично важливим для запобігання аварійним ситуаціям.

Недоліки та виклики:

Вартість та складність впровадження: Впровадження централізованого цифрового управління вимагає значних інвестицій у обладнання та програмне забезпечення, а також високої кваліфікації персоналу для налаштування та обслуговування системи.

Залежність від точності вихідних даних: Для забезпечення високої ефективності управління необхідно, щоб всі вимірювальні перетворювачі надавали точні та надійні дані.

У підсумку, централізоване цифрове управління на основі ПТК є потужним інструментом для оптимізації та підвищення надійності технологічних процесів на електростанціях, хоча й потребує значних ресурсів для його успішної реалізації та підтримання.

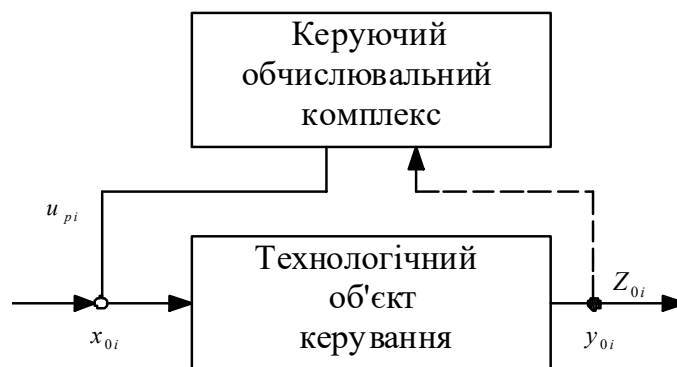


Рисунок 1.4 – Функціональна схема централізованого цифрового керування

Імпульси, що генеруються керуючим обчислювальним комплексом, який реалізує цифрове регулювання, залежать від вихідного впливу еквівалентного

цифрового регулятора у конкретний момент часу. Вони також враховують сигнал помилки, який подається на вхід цифрового регулятора. Цей процес можна представити як комплексний механізм, де кожен імпульс формується з урахуванням поточних параметрів і необхідних корекцій, як показано у рис. 1.4 [206].

Основні аспекти цього процесу включають:

Аналіз сигналу помилки: Вимірювання розбіжності між заданим і фактичним значеннями параметра, що регулюється.

Корекція вихідного впливу: Формування керуючого впливу, який коригується залежно від сигналу помилки для досягнення бажаного результату.

Цифрове регулювання: Використання цифрових алгоритмів для обробки сигналів і генерації імпульсів, що забезпечують точне та стабільне регулювання технологічного процесу.

Цей підхід дозволяє забезпечити високий рівень точності та надійності регулювання, мінімізуючи вплив зовнішніх збурень та інших факторів, що можуть призвести до відхилень у роботі системи. Завдяки інтеграції сучасних цифрових технологій, керуючий обчислювальний комплекс може оперативно реагувати на зміни в технологічному процесі, забезпечуючи стабільність і ефективність роботи електроенергетичного обладнання.

Розподілене керування.

У розподіленому керуванні технологічним процесом через інформаційно-керуючі системи програмно-технічних комплексів (ПТК) автоматизованих систем управління технологічним процесом (АСУ ТП) основна форма управління є цифровою, як показано на рис. А.3 додатка А [19].

Особливості розподіленого керування:

Децентралізована структура: Розподілене керування передбачає децентралізовану структуру, де кожен елемент системи має власні засоби обробки та передачі інформації. Це забезпечує гнучкість і масштабованість системи.

Цифрове управління: Основною формою є цифрове керування, що

забезпечує високу точність і швидкість обробки сигналів, необхідних для ефективного управління технологічним процесом.

Переваги розподіленого керування:

Підвищена стійкість до відмов: У разі відмови одного з елементів системи інші елементи продовжують функціонувати, що знижує ризик повної втрати керування.

Гнучкість і адаптивність: Легко адаптується до змін у технологічному процесі та збурень, що забезпечує стабільну роботу системи.

Недоліки розподіленого керування:

Ризик втрати керування: Основний недолік полягає в тому, що відмова одного з вузлів вищого рівня може призвести до втрати керування в межах усієї ієрархічної системи.

Складність налаштування та обслуговування: Розподілена структура потребує більше ресурсів для налаштування і підтримки, що може збільшити витрати.

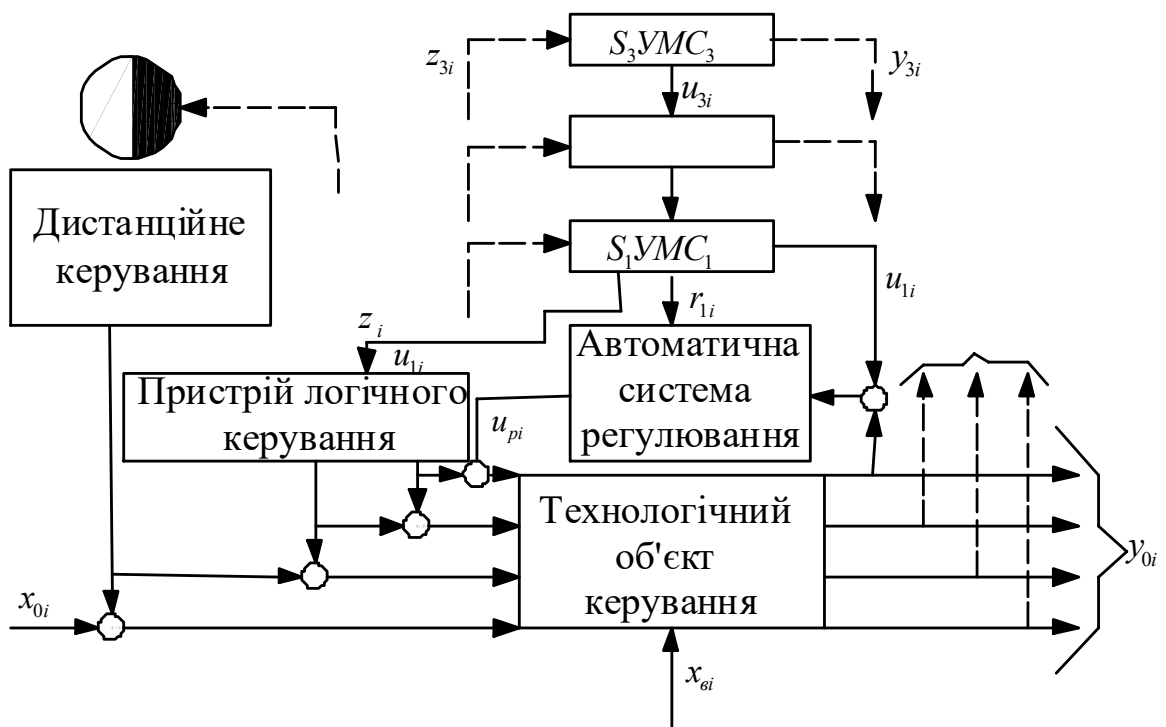


Рисунок 1.5 – Функціональна схема розподіленого керування

Розподілене керування є важливим підходом до управління технологічними процесами, особливо в складних системах, де необхідна гнучкість і стійкість до відмов. Однак для успішного впровадження потрібні значні ресурси та висока кваліфікація персоналу, щоб забезпечити надійну та ефективну роботу всієї системи. Використання цифрових технологій у розподіленому керуванні дозволяє досягти високого рівня точності та оперативності, що є критично важливим для сучасних електростанцій.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1:

На сьогоднішній день інформаційно-керуючі системи ПТК АСУ ТП енергоблоків теплових (ТЕС) і атомних електростанцій (АЕС) оснащені сучасними апаратно-технічними засобами та програмним забезпеченням, що висуває високі технічні вимоги до їхньої надійності. Один із головних критеріїв високої надійності таких систем полягає у здатності виконувати численні алгоритми та програми з обробки інформації про зміни характеристик параметрів технологічного процесу електростанцій з високою точністю в режимі реального часу. Тому процес обробки інформаційного простору технологічного процесу електростанцій для виявлення недостовірної інформації про характеристики технологічних параметрів, використовуючи сучасні інформаційно-керуючі системи ПТК АСУ ТП енергоблоків ТЕС і АЕС, є актуальною науковою проблемою.

У зв'язку з цим у розділі було виконано наступне:

1. Проведено аналіз сучасних підходів та методів підвищення надійності функціонування інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоків електростанцій. Було встановлено, що один із ключових показників надійності, який залежить від достовірності інформації про параметри – параметр потоку помилкових спрацьовувань – не повинен перевищувати 0,0011/год.

2. Проведено аналіз процесу виявлення недостовірної інформації наявними програмними й апаратно-технічними засобами інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоків ТЕС і АЕС України. Аналіз показав, що визначення відхилень величин характеристик параметрів технологічного процесу зазвичай проводиться тільки в установлених значеннях у певні моменти часу та за мажоритарним принципом «2 з 3» або «2 з 4».

3. Аналіз інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоків ТЕС і АЕС показав, що існуючі підходи та методи виявлення недостовірної

інформації не дозволяють відстежувати випадкові зміни інформаційних сигналів про відхилення характеристик параметрів технологічного процесу у різні моменти часу при їх зміні. Це може призвести до недостовірної оцінки інформації про ці відхилення, оскільки не контролюється динаміка зміни величин характеристик параметрів технологічного процесу при досягненні значних відхилень, що спричиняє збільшення помилкових спрацьовувань і, відповідно, впливає на кількість відмов функціонування електрообладнання енергоблоків та знижує надійність функціонування технологічного устаткування.

4. Аналіз методів та алгоритмів діагностики та обробки інформації з використанням інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП на енергоблоках ТЕС і АЕС показав, що вони недостатньо відповідають вимогам виявлення недостовірної інформації про відхилення характеристик технологічних параметрів у режимі реального часу. Це може призвести до несвоєчасного визначення аварійних ознак у нештатних режимах функціонування електроенергетичного устаткування та не забезпечує належної надійності для своєчасного реагування на передаварійний та аварійний стан електростанцій.

5. Аналіз сучасних апаратно-програмних засобів інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоків ТЕС і АЕС показав, що вони не забезпечують достатній рівень надійності щодо зниження помилкових спрацьовувань та відмов, тому потребують нових підходів для вдосконалення методів, моделей та алгоритмів обробки інформації в режимі реального часу.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЕНЕРГОБЛОКУ ТЕС В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

2.1 Інформаційно-керуюча система ПТК АСУ ТП на базі шаф ТПТС-51 енергоблоку потужністю 325 МВт ТЕС

На сьогоднішній день на ТЕС енергоблоки потужністю 325 МВт оснащені інформаційно-керуючою системою ПТК АСУ ТП, що включає шафи ТПТС-51. Зовнішній вигляд цих шаф представлений на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд шаф ТПТС-51, що встановлені на енергоблоці потужністю 325 МВт ТЕС

Система забезпечує автоматизований контроль та управління технологічним процесом, підвищуючи надійність та ефективність експлуатації енергоблоків.

Складові інформаційно-керуючої системи ПТК АСУ ТП на базі шаф ТПТС-51

Станція введення-виведення: Виконує базові функції вимірювання аналогових сигналів, прийому та обробки двійкових сигналів, індивідуального керування виконавчими механізмами та регулювання.

Процесор автоматизації: Відповідає за обмін даними зі станцією введення-виведення та іншими процесорами автоматизації, а також за обчислення технологічних параметрів.

Блок шлюзу сполучення: Забезпечує зв'язок між ПТК низової автоматики та системою верхнього рівня.

Приладові стійки: Включають в себе станції введення-виведення, процесори автоматизації та блоки шлюзу сполучення, встановлені в шафах.

Стойка живлення: Забезпечує електроживлення всіх компонентів системи.

Інженерна станція: Призначена для розробки та коригування прикладних алгоритмів, схем з'єднань, підготовки та коригування документації, а також завантаження прикладних програм.

Діагностична станція: Використовується для налагодження та діагностики системи низової автоматики на всіх етапах її життєвого циклу.

Комплект обладнання для автоматизованої перевірки модулів: Виконує функції перевірки та діагностики модулів, що належать до засобів вимірювання.

Структурні особливості системи «Комплекс Титан-2»

Структурна та структурно-функціональна схема інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт ТЕС представлена на рисунках 2.2 та 2.3.

Система «Комплекс Титан-2» побудована таким чином, що інформація від вимірювальних перетворювачів системи теплотехнічного контролю, у вигляді аналогових та дискретних сигналів, надходить на входи шаф комутуючого субкомплексу зв'язку з об'єктом (ССО-К). У шафах ССО-К відбувається первинна обробка сигналів, після чого інформація передається в аналого-цифрові перетворювачі, де вона конвертується в цифровий двійковий код.

Обробка та порівняння шкал сигналів з уставками здійснюється в мікропрограмному контролері. Отримана інформація по двох незалежних каналах зв'язку передається в шафу управляючого субкомплексу зв'язку з об'єктом (ССО-У), де вона послідовно опитується в шафах специфікованого обчислювального комплексу (СВК) з циклом 4 секунди.

Переваги впровадження модулю визначення аварійних ознак

Впровадження модуля визначення аварійних ознак значно підвищить надійність функціонування інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт ТЕС. Завдяки цьому контроль характеристик параметрів технологічного процесу буде проводитися в режимі реального часу. Інформація про стан технологічного обладнання буде висвітлюватися на табло АРМо у вигляді сигналів «Норма», «Аварія» та «Передаварійна ситуація», що дозволить оперативно реагувати на будь-які відхилення та забезпечити безпеку експлуатації енергоблоку.

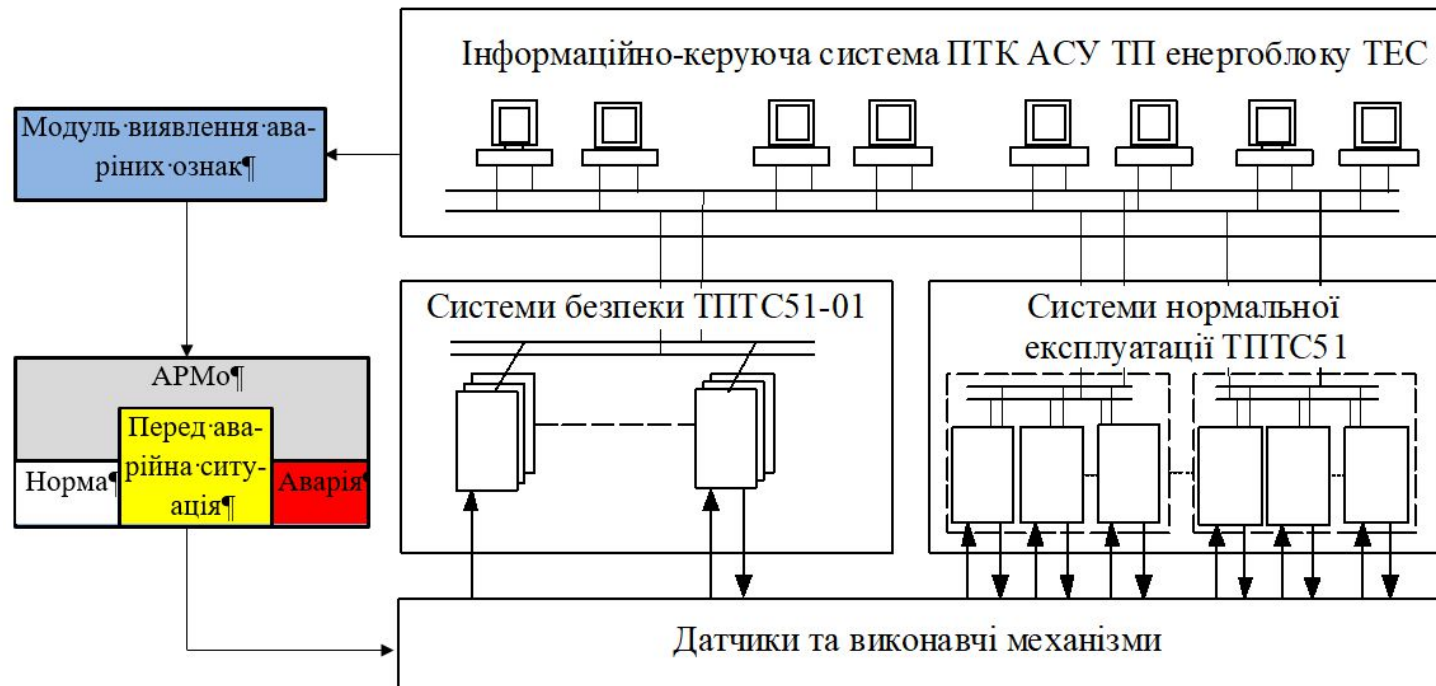


Рисунок 2.2 – Структурно-функціональна схема інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт ТЕС з впровадженням модуля виявлення ознак аварійності

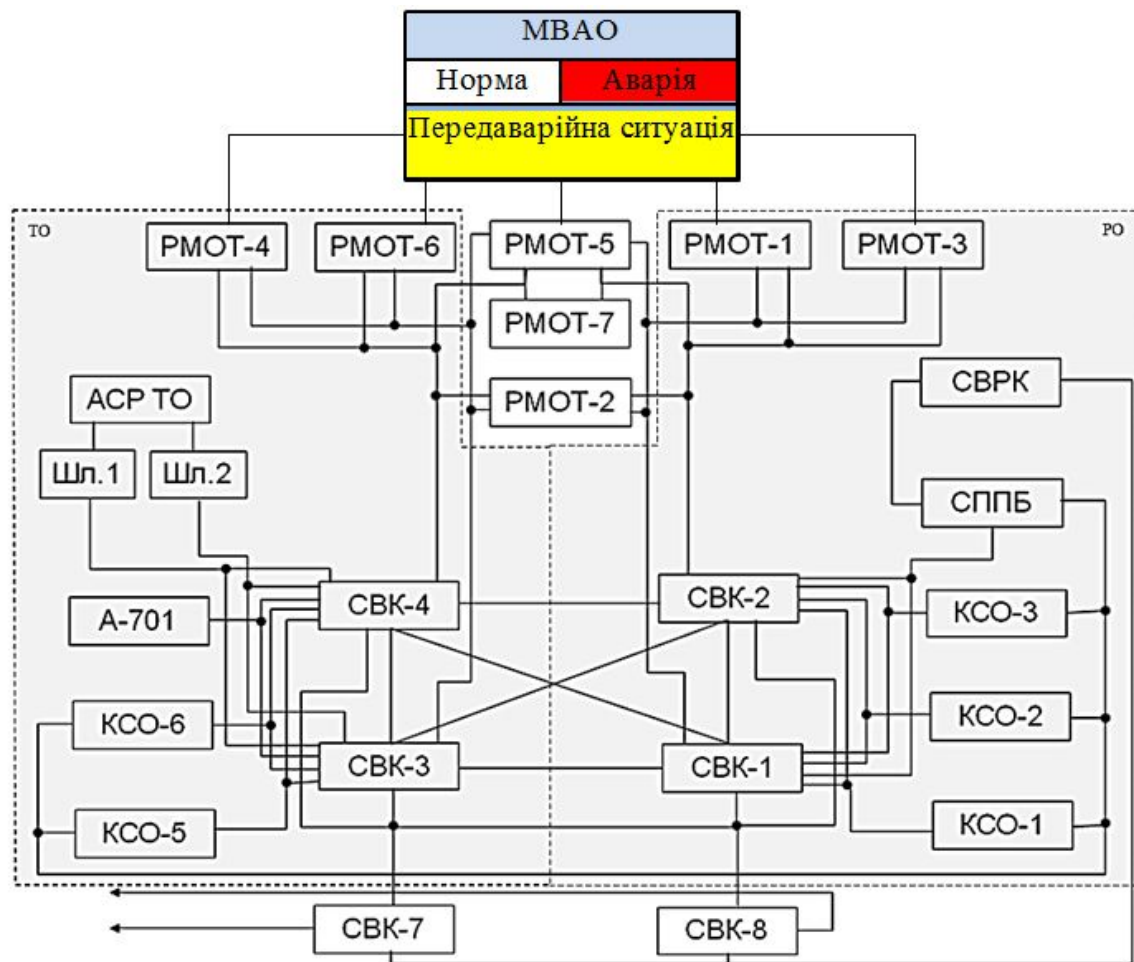


Рисунок 2.3 – Структурна схема інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 ПТК АСУ
ТП енергоблоку потужністю 325 МВт ТЕС з впровадженням модуля виявлення ознак аварійності

Це розширене пояснення підкреслює важливість інформаційно-керуючої системи для забезпечення надійної та безпечної роботи енергоблоку ТЕС, а також деталізує склад і функції компонентів цієї системи.

Для подальшого аналізу розглянемо структурну схему інформаційних потоків для інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2», яка базується на шафах ТПТС-51 ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт ТЕС. Ця схема зображена на рисунку 2.4. Схема спроектована таким чином, що кожній із систем управління (аварійного захисту, технологічного захисту, технологічного блокування, автоматичного введення резерву, авторегулювання, функціонально-групового управління, автоматизованого операторського управління та інших) присвоюється свій пріоритет. Це дозволяє ефективно вирішувати завдання управління, однак такий підхід може вносити похибки при надходженні недостовірної інформації, що призводить до помилкових спрацьовувань.

Впровадження модуля виявлення аварійних ознак (МВАО)

При впровадженні модуля виявлення аварійних ознак (МВАО) інформаційні потоки будуть паралельно оброблятися в МВАО та виводитися оператору на табло АРМо у вигляді сигналів «Норма», «Аварія» та «Передаварійна ситуація». Це значно підвищить надійність функціонування електроенергетичного обладнання енергоблоку електростанції. МВАО дозволяє своєчасно виявляти аварійні ознаки, забезпечуючи таким чином підвищений рівень безпеки.

Склад інформаційно-керуючої системи ПТК АСУ ТП на базі шаф

ТПТС-51

Інформаційно-керуюча система ПТК АСУ ТП, що базується на шафах ТПТС-51, включає наступні модулі:

Вимірювальні модулі: Відповідальні за збір даних про параметри технологічного процесу.

Модулі збору та обробки аналогових і дискретних сигналів:

Здійснюють прийом та первинну обробку сигналів від датчиків.

Модулі індивідуального управління виконавчими механізмами:

Відповідальні за керування окремими механізмами на основі отриманих сигналів.

Модулі групового та підгрупового управління:

Здійснюють координоване управління групами механізмів.

Модулі регулятори:

Виконують функції регулювання технологічних процесів.

Функції стандартних системних програм модулів

Стандартні системні програми модулів інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт ТЕС виконують наступні функції:

Управління резервуванням: Забезпечення безперебійної роботи шляхом управління резервними компонентами системи.

Формування сигналів переривання у функціональних модулях: Генерація сигналів для переривання функціональних модулів у разі необхідності.

Обробка сигналів переривання в модулі EAS: Обробка та аналіз сигналів переривання для оперативного реагування.

Ведення єдиного часу: Синхронізація часу у всіх компонентах системи.

Реалізація мережевих протоколів та обмін інформацією з абонентами мережі: Забезпечення обміну даними між різними компонентами системи та зовнішніми абонентами.

Діагностика технічних і програмних засобів: Контроль і діагностика стану технічного та програмного забезпечення системи.

Структурна та структурно-функціональна схема модуля шафи ТПТС-51 з паралельною роботою модуля виявлення аварійних ознак та представленням інформації на табло АРМо у вигляді сигналів «Норма», «Аварія» та «Передаварійна ситуація» показана на рисунках 2.5 та 2.6.

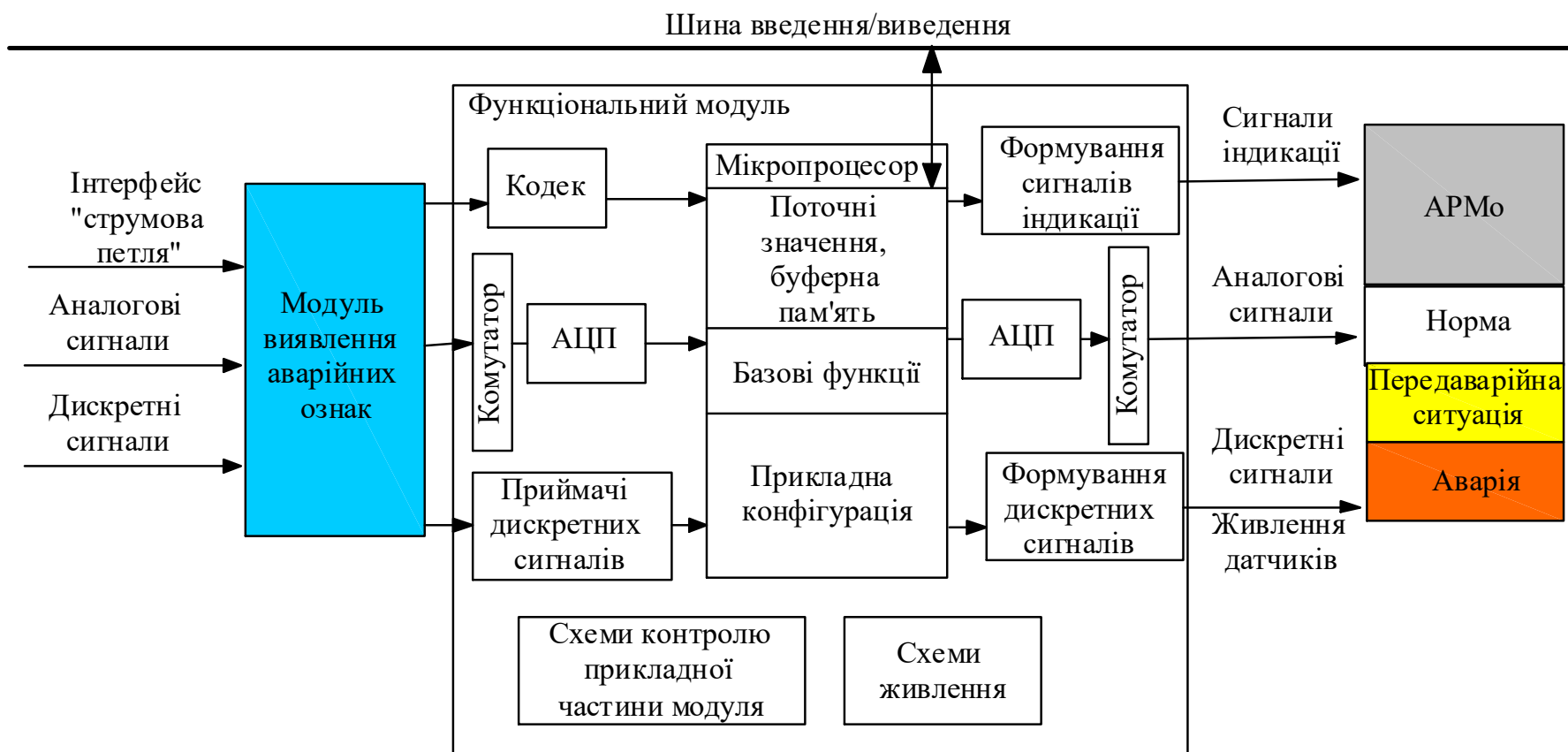


Рисунок 2.5 – Структурна схема функціонального модуля інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт ТЕС з впровадженням модуля виявлення ознак аварійності

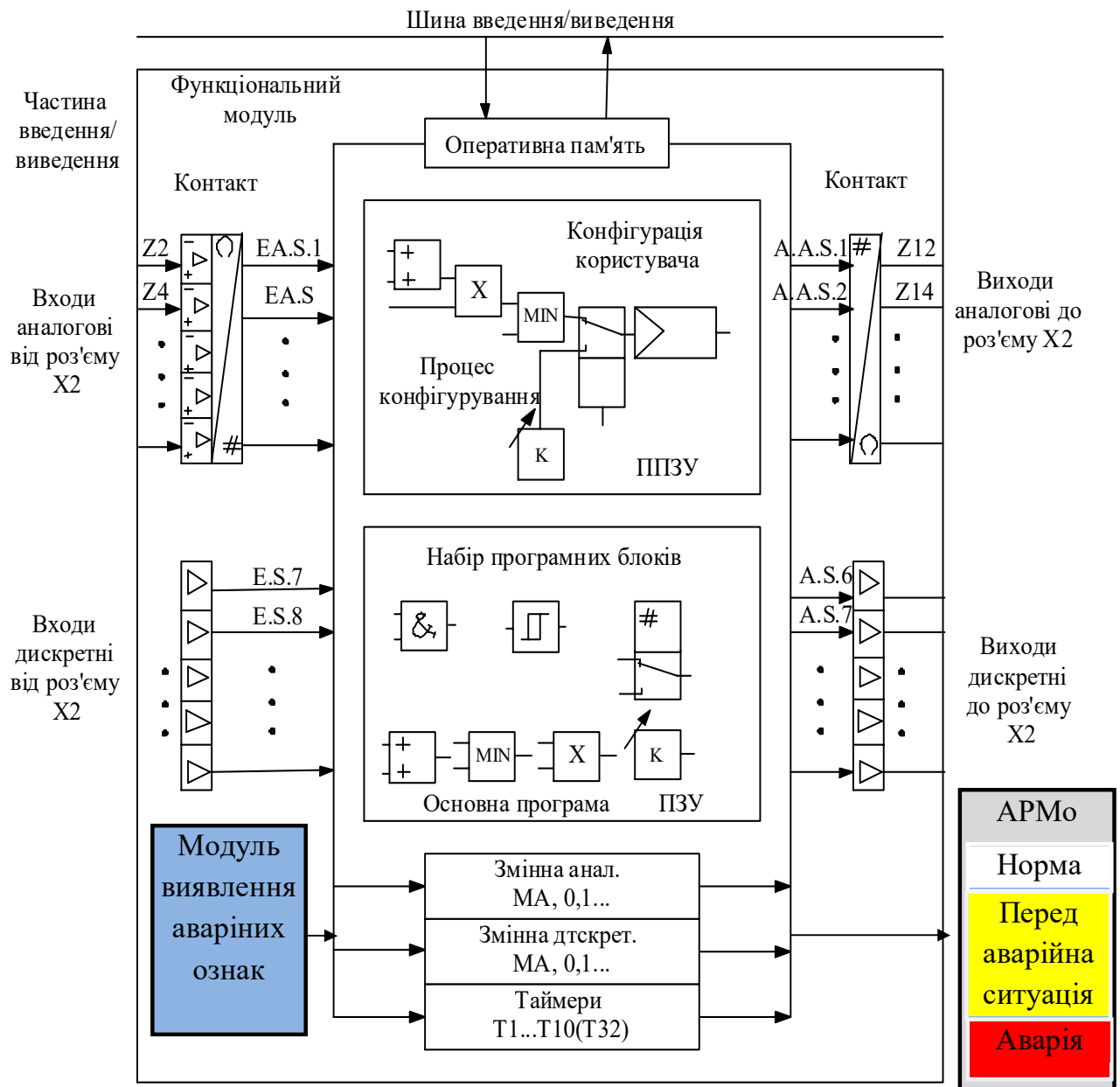


Рисунок 2.6 – Структурно-функціональна схема модуля інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт ТЕС з впровадженням модуля виявлення ознак аварійності

Впровадження модуля виявлення аварійних ознак (МВАО) у інформаційно-керуючу систему «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 значно підвищує надійність та ефективність контролю параметрів технологічного процесу. Це забезпечує своєчасне виявлення та оперативне реагування на аварійні ситуації, що сприяє підвищенню безпеки та

стабільності роботи електроенергетичного обладнання енергоблоку ТЕС.

Для подальшого аналізу розглянемо структурну схему інформаційних потоків для інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2», яка базується на шафах ТПТС-51 ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт ТЕС. Ця схема зображена на рисунку 2.4. Схема спроектована таким чином, що кожній із систем управління (аварійного захисту, технологічного захисту, технологічного блокування, автоматичного введення резерву, авторегулювання, функціонально-групового управління, автоматизованого операторського управління та інших) присвоюється свій пріоритет. Це дозволяє ефективно вирішувати завдання управління, однак такий підхід може вносити похибки при надходженні недостовірної інформації, що призводить до помилкових спрацьовувань.

Впровадження модуля виявлення аварійних ознак (МВАО)

При впровадженні модуля виявлення аварійних ознак (МВАО) інформаційні потоки будуть паралельно оброблятися в МВАО та виводитися оператору на табло АРМо у вигляді сигналів «Норма», «Аварія» та «Передаварійна ситуація». Це значно підвищить надійність функціонування електроенергетичного обладнання енергоблоку електростанції. МВАО дозволяє своєчасно виявляти аварійні ознаки, забезпечуючи таким чином підвищений рівень безпеки.

Інформаційно-керуюча система ПТК АСУ ТП, що базується на шафах ТПТС-51, включає наступні модулі:

Вимірювальні модулі: Відповідальні за збір даних про параметри технологічного процесу.

Модулі збору та обробки аналогових і дискретних сигналів: Здійснюють прийом та первинну обробку сигналів від датчиків.

Модулі індивідуального управління виконавчими механізмами: Відповідальні за керування окремими механізмами на основі отриманих сигналів.

Модулі групового та підгрупового управління: Здійснюють

координоване управління групами механізмів.

Модулі регулятори: Виконують функції регулювання технологічних процесів.

Стандартні системні програми модулів інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт ТЕС виконують наступні функції:

Управління резервуванням: Забезпечення безперебійної роботи шляхом управління резервними компонентами системи.

Формування сигналів переривання у функціональних модулях: Генерація сигналів для переривання функціональних модулів у разі необхідності.

Обробка сигналів переривання в модулі EAS: Обробка та аналіз сигналів переривання для оперативного реагування.

Ведення єдиного часу: Синхронізація часу у всіх компонентах системи.

Реалізація мережевих протоколів та обмін інформацією з абонентами мережі: Забезпечення обміну даними між різними компонентами системи та зовнішніми абонентами.

Діагностика технічних і програмних засобів: Контроль і діагностика стану технічного та програмного забезпечення системи.

Структурна та структурно-функціональна схема модуля шафи ТПТС-51 з паралельною роботою модуля виявлення аварійних ознак та представленням інформації на табло АРМо у вигляді сигналів «Норма», «Аварія» та «Передаварійна ситуація» показана на рисунках 2.5 та 2.6.

Впровадження модуля виявлення аварійних ознак (МВАО) у інформаційно-керуючу систему «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 значно підвищує надійність та ефективність контролю параметрів технологічного процесу. Це забезпечує своєчасне виявлення та оперативне реагування на аварійні ситуації, що сприяє підвищенню безпеки та стабільності роботи електроенергетичного обладнання енергоблоку ТЕС.

2.2 Розробка алгоритму для виявлення недостовірної інформації в інформаційно-керуючій системі «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 ПТК АСУ ТП енергоблоку ТЕС потужністю 325 МВт з впровадженням модуля виявлення аварійних ознак

У роботі пропонується інноваційний метод для визначення достовірної та недостовірної інформації під час аналізу характеристик параметрів технологічного процесу (ХПТП). Основою методу є створення нелінійної динамічної моделі об'єму інформаційного простору, яка містить алгоритм функціонування підсистеми аварійного та попереджувального захисту в інформаційно-керуючій системі «Комплекс Титан-2». Цей алгоритм реалізовано у ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт на ТЕС, з можливістю виявлення відхилень в характеристиках ХПТП (таких як температура і тиск) в режимі реального часу. Модель побудована на фрактально-кластерному представленні структури об'єму інформаційного простору технологічного процесу, що забезпечує точність та надійність виявлення аварійних ситуацій.

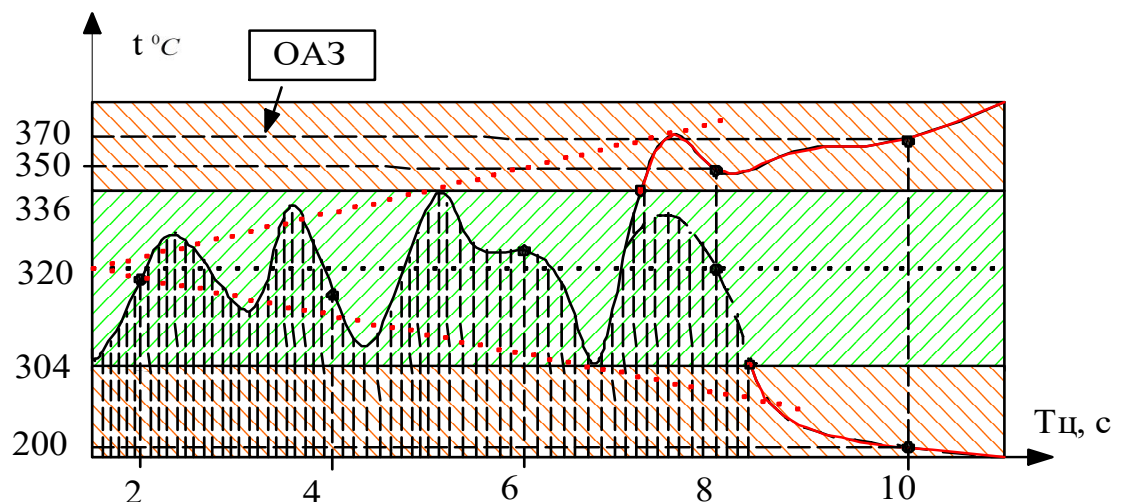


Рисунок 2.7 – Процес зміни випадкового сигналу з аварійними ознаками з контролем зміни у режимі реального часу

Як показано на графіку (рис. 2.7), запропонований алгоритм дозволяє в режимі реального часу контролювати зміну сигналу від нормованих характеристик до відхилень, які можуть призвести до аварійних ситуацій. Це забезпечує моніторинг сигналу протягом всього періоду аварійної ситуації та оперативне формування команд управління для інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт ТЕС з метою запобігання аваріям та катастрофам.

Основу запропонованого алгоритму контролю достовірності аналогової інформації складають такі критерії: граничні значення вимірюваних характеристик параметрів технологічного обладнання енергоблоку електростанції; максимальна швидкість зміни вимірюваних характеристик параметрів; функціональна залежність між аналоговими величинами та логічний зв'язок між аналоговими і дискретними параметрами; порівняння результатів вимірювань від дубльованих датчиків аналогових сигналів; використання еталонних датчиків (періодичне опитування).

За результатами такого контролю, запропонований алгоритм (рис. 2.8) дозволяє формувати узагальнений показник достовірності сигналу. Недостовірність фіксується індивідуально в кожному каналі та кваліфікується як подія, з можливістю оперативного виведення з роботи сигналів від несправних датчиків.

Для реалізації алгоритму виявлення достовірних та недостовірних сигналів, після обробки інформації в структурно-функціональній схемі роботи інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт ТЕС, запропоновано, крім обробки в чотирьох уставках, паралельно обробляти сигнали з відповідним кроком квантування. Для цього введено модуль виявлення аварійних ознак (МВАП), який в залежності від тривалості життєвого циклу технологічного параметра визначає достовірність або недостовірність сигналу та видає відповідну команду в інформаційно-керуючу систему ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт ТЕС.

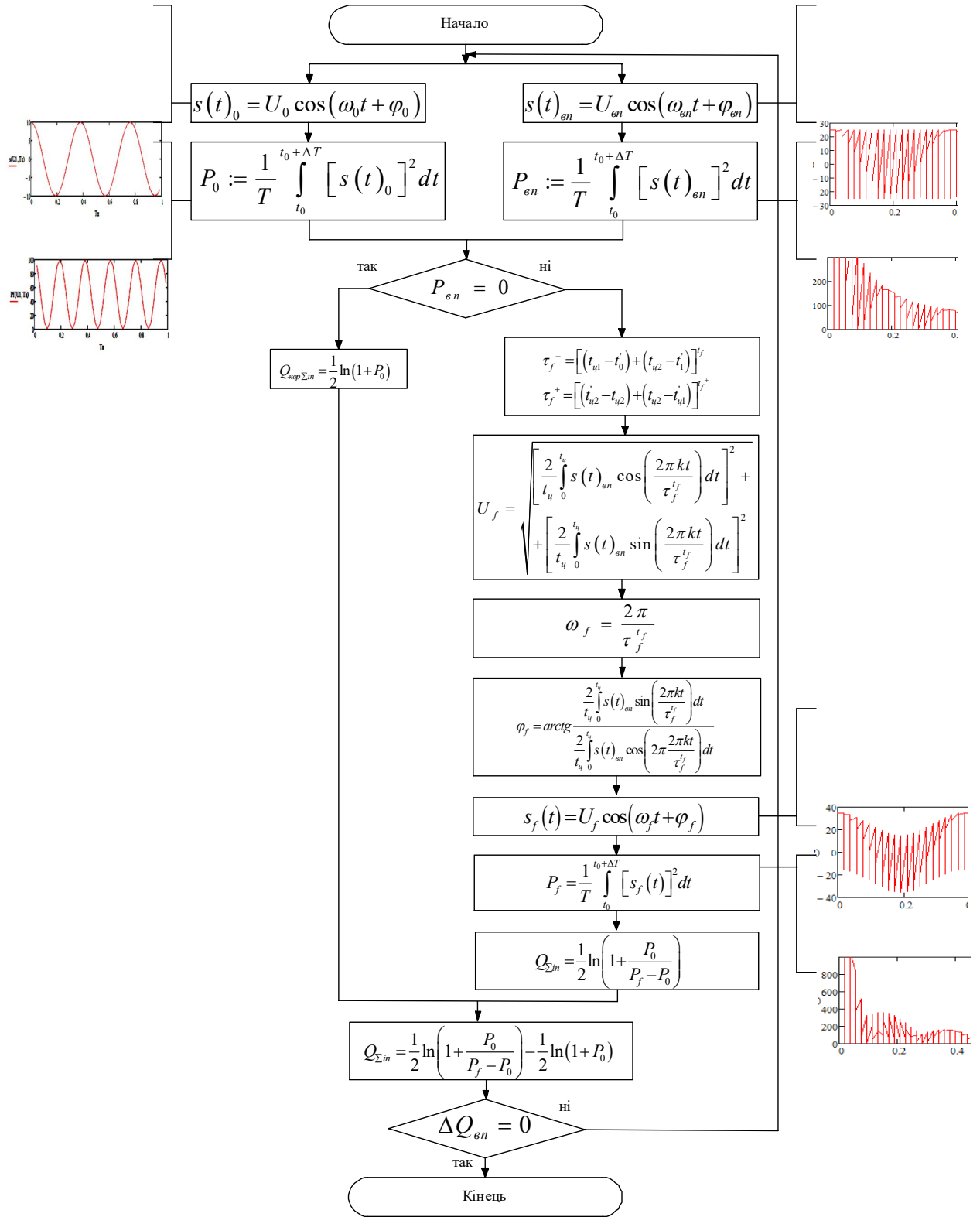


Рисунок 2.8 – Блок-схема алгоритму розрахунків характеристик параметрів технологічного процесу в інформаційно-керуючій системі «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт ТЕС

2.3 Методи та етапи створення моделі та алгоритму автоматизованого тренажера для прийняття рішень оперативним персоналом у нештатних аварійних ситуаціях в реальному часі

Спираючись на результати теоретичних досліджень, пропонується використання динамічної моделі інформаційного простору технологічного процесу з ознаками аварійності для створення моделі алгоритму тренажера, призначеного для підготовки оперативного персоналу електростанцій ТЕС і АЕС при прийнятті рішень у нештатних аварійних ситуаціях у режимі реального часу [17-20].

На основі відомих моделей, методів і критеріїв прийняття рішень в умовах невизначеності [12, 16], були визначені наступні етапи підготовки та прийняття рішень оперативним персоналом електростанції [11-13]:

1. Обробка обсягу оперативної інформації, що надходить з датчиків електроенергетичного обладнання енергоблоку електростанції.
2. Прогнозування та оцінка ситуації на електростанції.
3. Формування оптимальних варіантів рішень на основі оперативної інформації.
4. Вибір основного варіанту рішення.
5. Прийняття рішення.

Схема послідовності процесу підготовки та прийняття рішень зображена на рис. 2.9. Для ефективного управління технологічним процесом необхідно знати його математичну модель для подальшої розробки алгоритму керування. Оскільки реальний технологічний процес може змінюватися, виникає потреба у регулярному створенні нової математичної моделі для підготовки (тренажу) персоналу електричних станцій (ТЕС і АЕС).

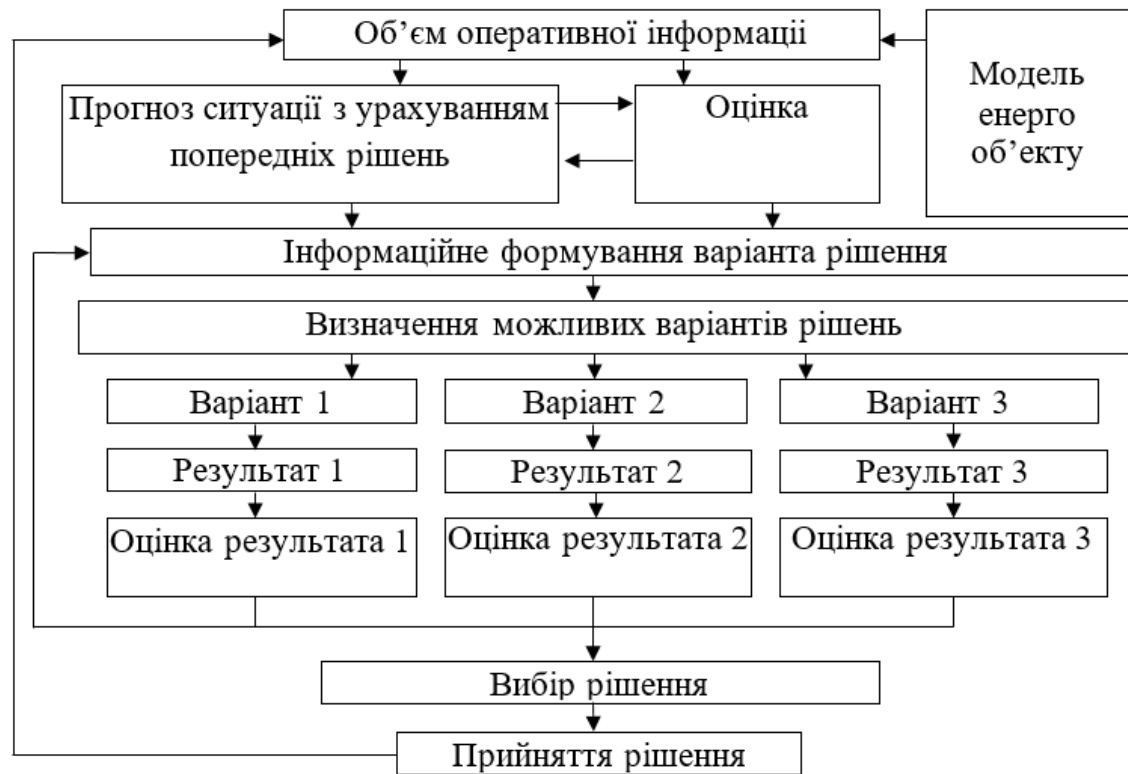


Рисунок 2.9 – Схема етапів процесу підготовки та прийняття рішення



На основі цього, необхідно визначити таку процедуру побудови математичної моделі, яка була б, з одного боку, досить простою у реалізації, а з іншого, забезпечувала достатньо точну й адекватну модель (алгоритм) технологічного процесу електростанції.

Модель підготовки (тренажера) оперативного персоналу електростанції вимагає високої точності та складності, що включає наступні аспекти: забезпечення оператору адекватної інформаційної моделі прототипу об'єкта керування; можливість аналізу інформації та прийняття рішень;

Формування та вдосконалення професійних навичок і умінь оператора при заданих відхиленнях моделі відносно прототипу об'єкта – оригіналу, тобто похибки моделювання, що забезпечують необхідну ефективність навчання оперативного персоналу ТЕС і АЕС.

Для обговорення та обґрунтування основних підходів до розробки проблем математичного моделювання технічних пристроїв і процесів в них, варто попередньо розглянути умовну схему, що визначає послідовність виконання окремих етапів загального алгоритму (рис. 2.10).

Початковою точкою цієї схеми є технічний об'єкт, під яким будемо розуміти технологічний процес (ТП) або явище (наприклад, несправність, аварія). Ці явища повинні бути реалізовані в технічному пристрої (тренажері), де на основі моделі (алгоритму) приймаються рішення щодо керування технічним об'єктом (ТО).

Розглянемо етапи моделювання алгоритму прийняття рішення у тренажері при підготовці оперативного персоналу ТЕС та АЕС:

1. На першому етапі здійснюється перехід від реальних технічних об'єктів до їхніх розрахункових схем (РС) або концептуальних моделей. Обираються ті властивості технічного об'єкта, які відповідають умовам його роботи та відображаються в розрахунковій схемі. При цьому аргументуються допущення і спрощення, що дозволяють не враховувати в РС ті якості об'єкта, вплив яких вважається неістотним у конкретному випадку. При розробці нових технічних об'єктів правильність і повнота обліку їх

властивостей у розрахунковій схемі є основною передумовою для отримання достовірних результатів математичної моделі (ММ).

2. На другому етапі здійснюється формальний математичний опис розрахункової схеми у вигляді математичних співвідношень, що встановлюють зв'язок між обраними технологічними параметрами, які характеризують РС технічного об'єкта, тобто створення математичної моделі.

3. Третій етап включає якісний і кількісний аналіз побудованої математичної моделі, виявлення протиріч, які уточнюються і переглядаються в розрахунковій схемі. Кількісна оцінка може спростити модель, виключивши деякі параметри або складові, враховані в розрахунковій схемі. Корисно побудувати спрощений варіант математичної моделі, який дозволяє отримати або залучити відомий точний розв'язок для подальшого тестування результатів.

4. Четвертий етап полягає у виборі методу кількісного аналізу математичної моделі, розробці ефективного алгоритму керування технічним об'єктом та обчислювального експерименту.

5. П'ятий етап включає розробку та створення працездатної програми, яка реалізує алгоритм керування технічним об'єктом за допомогою засобів інформаційно-керуючої системи програмно-технічного комплексу АСУ ТП.

6. На шостому етапі результати обчислень, отримані внаслідок роботи програми, зіставляються з даними кількісного аналізу спрощеної математичної моделі технічного об'єкта (наприклад, конкретного технологічного циклу з нештатною аварійною ситуацією). Тестування дозволяє виявити необхідність змін у програмі та алгоритмі, коректування розрахункової схеми і відповідної їй математичної моделі.

7. На сьомому етапі за допомогою ланцюга керування «модель – алгоритм – програма» створюються практичні рекомендації оперативному персоналу для прийняття рішень, спрямованих на керування технічним об'єктом у нештатних аварійних ситуаціях, завершуючи таким чином

"технологічний цикл" математичного моделювання.

Запропоновані етапи моделювання алгоритму прийняття рішень оперативним персоналом у нештатних аварійних ситуаціях у тренажері можуть коригуватися і змінюватися в залежності від конкретних технологічних процесів та циклів ТП технічного об'єкта.

На основі вищевикладеного підходу до моделювання алгоритму прийняття рішень, у роботі запропонована структурно-функціональна схема дій оператора під час прийняття рішень в штатних та нештатних ситуаціях (рис. 2.11).

Згідно зі схемою, оператор має оцінювати ситуацію і формувати варіанти рішень для керування технологічним процесом технічного об'єкта не лише залежно від наявності певних сигналів, але й з урахуванням моменту часу їх реалізації. Таким чином, можна стверджувати, що будь-який сигнал інформаційного потоку використовується як завдання для контролю і керування відповідно до часу його реалізації.

Розглянемо шляхи отримання оператором інформації про зміни технологічних параметрів у режимі реального часу на електроенергетичному об'єкті (ТЕС, АЕС). Інформація про енергооб'єкт надходить у вигляді даних з адекватної моделі об'єкта керування (АМОК) для аналізу ситуацій і вибору штатного або нештатного режиму функціонування електроенергетичного обладнання електростанції.

Імітація штатного режиму функціонування електроенергетичного обладнання електростанції здійснюється на основі алгоритму моделі тренажера, яка відповідає алгоритму основного технологічного процесу. Несправності, аварії та катастрофи вводяться з пульта інструктора за допомогою модулів сценаріїв.



Рисунок 2.11 – Структурно-функціональна схема дій особи, що приймає рішення у штатних та нештатних аварійних ситуаціях

У штатному режимі дії оператора з прийняття рішень під час виникнення несправностей і аварій здійснюються відповідно до інструкцій, шляхом формування керуючих впливів на електроенергетичне обладнання електростанції.

Для створення нештатного режиму функціонування запропоновано використовувати модуль імітації аварійних ознак (рис. 2.12), який генерує випадкові хаотичні сигнали, що подаються на пульт оператора для аналізу та прийняття рішень.

У випадку імітації нештатного режиму за допомогою одного з сценаріїв аварій і катастроф (модуль сценарію) пропонується наступний алгоритм модуля тренажера з прийняття рішень (рис. 2.12).

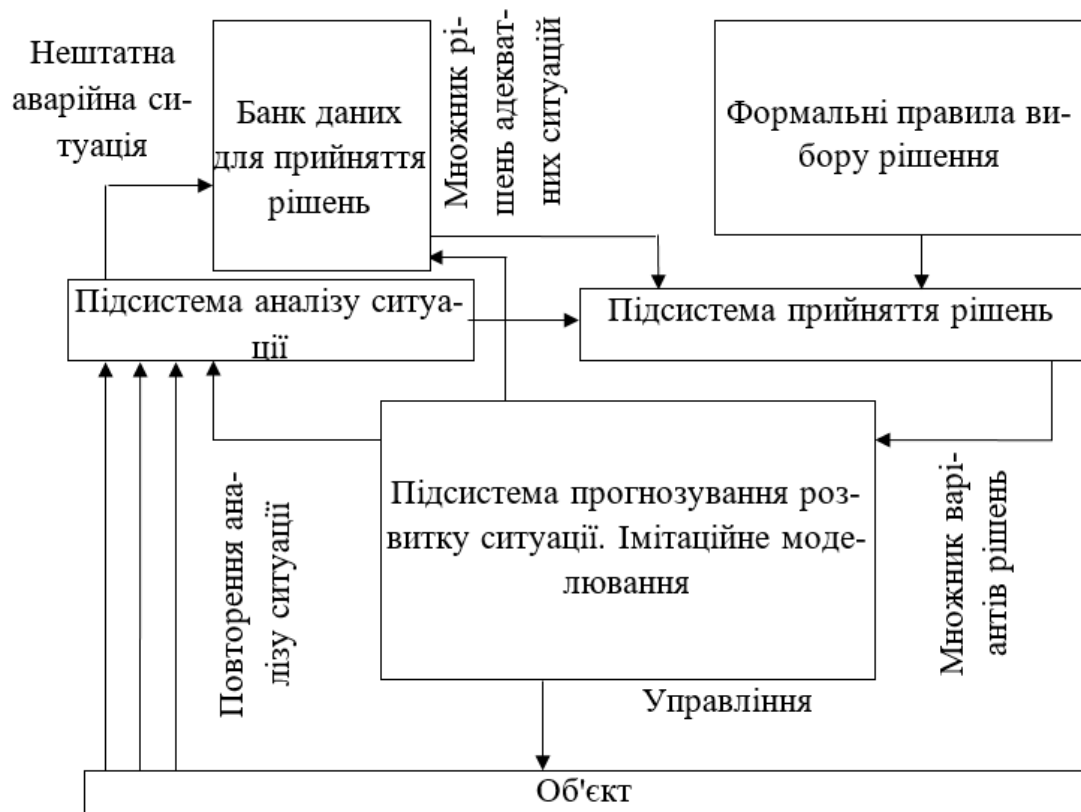


Рисунок 2.12 – Алгоритм модуля моделі тренажу з прийняття рішень

На першому етапі ситуаційного керування імітаційні моделі використовуються для опису та аналізу нештатної аварійної ситуації, яка вводиться з пульта інструктора. Мета логічної обробки цих описів - визначення нештатної аварійної ситуації (НШС) з ознаками аварійності. На другому етапі алгоритму для поточної ситуації за допомогою банку даних для прийняття рішень формується множник інформаційно-знакових моделей, поведінка яких раніше мала місце в частково адекватних модельних ситуаціях.

На третьому етапі алгоритму, на основі формальних правил, приймаються можливі рішення, які порівнюються з рядом рішень, отриманих

із банку даних моделі об'єкта, і обирається обмежена кількість найбільш адекватних рішень, що відповідають ознакам НШС на енергооб'єкті.

Четвертий етап алгоритму включає прогнозування розвитку процесу для кожного з обраних рішень. Оператор оцінює наслідки рішень і формує їхні інтегральні характеристики. У випадку неправильного вибору рішення, тобто неадекватного варіанту можливих рішень, підсистема прогнозування розвитку ситуації подає сигнал на повторний аналіз ситуації, і цикл повторюється.

Однією з характерних рис функціональної математичної моделі для побудови моделі-тренажера є наявність або відсутність в області прийняття рішень параметрів випадкових величин. Якщо такі величини присутні (це можуть бути окремі параметри або групи параметрів: на ТЕС - понад 5000, на АЕС - понад 35000 параметрів), і виникають у критичних нештатних нестандартних ситуаціях у режимі реального часу, то за допомогою запропонованої математичної моделі необхідно вміти їх прогнозувати. Якщо випадкових величин немає, математична модель повинна вміти визначати їх в просторі і часі.

Отже, запропонована методика дозволяє в режимі реального часу обробляти ситуації, формувати можливі рішення і прогнозувати їх наслідки, що є важливим елементом для підготовки і навчання оперативного персоналу електростанцій у тренажерах

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2:

Розроблено програмний модуль для виявлення ознак аварійності характеристик параметрів технологічного процесу. Основою цього модуля є алгоритм, який обчислює залежність змін електрофізичних параметрів технологічного процесу електростанції від геометричних та інформаційних вимірів тривимірного фазового об'єму інформаційного простору технологічного процесу на ТЕС та АЕС.

Впроваджено модуль виявлення ознак аварійності характеристик параметрів технологічного процесу, оброблюваних в інформаційно-керуючій системі «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП на базі шаф ТПТС-51 енергоблоку потужністю 325 МВт ТЕС. У цьому модулі паралельно мікропроцесорній системі обробляються результати порівняння поточних аварійних відхилень електрофізичних параметрів технологічного процесу енергоблоку з даними, попередньо встановленими як граничні уставки в пам'яті мікропроцесорної системи. Ці результати передаються на табло АРМо у вигляді сигналів «Норма», «Аварія» та «Передаварійна ситуація». Впровадження модуля призвело до підвищення надійності функціонування електроенергетичного обладнання за показником «потік помилкових спрацьовувань» на 30 %. Розроблено модель і алгоритм автоматизованого навчального засобу-тренажера для прийняття рішень оперативним персоналом у нештатних аварійних ситуаціях у режимі реального часу. Модель враховує наявність або відсутність в інформаційному просторі параметрів випадкових величин, які виникають у нештатних режимах функціонування електроенергетичного обладнання енергоблоку електростанції в режимі реального часу та здатні їх визначати в просторі й часі. На основі розробленої моделі та алгоритму створено модуль імітації аварійних ознак для повномасштабних тренажерів навчально-тренувальних центрів ТЕС та АЕС. Цей модуль генерує випадкові хаотичні сигнали, що надходять на пульт оператора для аналізу та прийняття рішень.

ВИСНОВКИ

Забезпечення надійності функціонування інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоків електростанцій (ТЕС і АЕС) є критично важливою задачею. Від цих систем значною мірою залежить безпека електростанцій, своєчасне спрацьовування аварійного та попереджувального захисту під час керування технологічним електрообладнанням. Сучасні методи виявлення недостовірної інформації за допомогою існуючих програмних та апаратно-технічних засобів систем аварійного та попереджувального захисту мають свої обмеження. Зазвичай, відхилення параметрів технологічного процесу визначаються за заздалегідь встановленими значеннями (уставками) в певні моменти часу та за мажоритарним принципом. Це може призвести до недостовірної оцінки інформації про відхилення, оскільки не контролюється динаміка змін параметрів технологічного процесу при значних відхиленнях від норми. Таке нехтування динамікою може спричинити збільшення кількості помилкових спрацьовувань через недостовірну інформацію, що, своєю чергою, впливає на кількість відмов у функціонуванні технологічного обладнання енергоблоку електростанції. Зрештою, це призводить до зниження надійності роботи устаткування.

Отже, в роботі поставлено мету підвищити надійність функціонування інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП електроенергетичних об'єктів у нештатних режимах роботи. Це досягається шляхом удосконалення методів обробки інформаційних сигналів про технологічні параметри з ознаками аварійності в інформаційному просторі технологічного процесу. Ключовою складовою цього підходу є вдосконалення динамічної просторово-часової моделі з використанням фрактально-кластерної теорії. Фрактально-кластерна теорія дозволяє врахувати складні динамічні процеси та взаємозв'язки між параметрами, що характеризують стан технологічного процесу, зокрема, в умовах аварійної ситуації.

Впровадження такого підходу дозволить не тільки підвищити точність і надійність виявлення відхилень характеристик параметрів технологічного процесу, але й знизити кількість помилкових спрацьовувань аварійних сигналів, що сприятиме зменшенню кількості відмов у роботі технологічного обладнання. Це, своєю чергою, забезпечить більш ефективне та безпечне функціонування електростанцій, зокрема в умовах нештатних режимів роботи.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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. Електронне 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.

РЕЦЕНЗІЯ
на кваліфікаційну роботу магістра
ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра: Електротехніки та електроенергетики

Іван КУЧЕРЕНКО

Тема: «РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО
МОНІТОРИНГУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРІВ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЕНЕРГОБЛОКУ В РЕЖИМІ
РЕАЛЬНОГО ЧАСУ»

Магістерська робота, присвячена розробці системи автоматизованого моніторингу для контролю та діагностики параметрів технологічного процесу енергоблоку в режимі реального часу, є актуальною і важливою в контексті підвищення ефективності та надійності функціонування енергетичних об'єктів. Автор демонструє глибоке розуміння теми, актуальність вибраної проблеми та пропонує практичні рішення, що сприяють вдосконаленню технологічного процесу.

Теоретична частина роботи написана на основі ретельного вивчення значної кількості літератури як закордонних так і вітчизняних авторів, що дозволило викласти грамотно й обґрунтовано матеріал.

Зауваження: Бракує детальної економічної оцінки впровадження розробленої системи. Це важливо для розуміння її вартості та потенційної економії коштів завдяки зменшенню кількості аварій і підвищенню надійності роботи обладнання.

Магістерська робота є високоякісним науково-дослідним проектом, що має значну наукову та практичну цінність. Автор продемонстрував високий рівень підготовки, глибокі знання та вміння застосовувати їх на практиці. Робота відповідає всім вимогам, що пред'являються до магістерських досліджень, і заслуговує на високу оцінку.

Рецензент:

ВІДГУК
на кваліфікаційну роботу магістра
ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра: Електротехніки та електроенергетики

Іван КУЧЕРЕНКО

Тема: «РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО
МОНІТОРИНГУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРІВ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЕНЕРГОБЛОКУ В РЕЖИМІ
РЕАЛЬНОГО ЧАСУ»

Магістерська робота, виконана Іваном Кучеренком, присвячена розробці системи автоматизованого моніторингу для контролю та діагностики параметрів технологічного процесу енергоблоку в режимі реального часу. Ця тема є надзвичайно актуальною, оскільки забезпечення надійності та ефективності роботи енергетичних об'єктів є одним з ключових завдань сучасної енергетики.

Робота відзначається високою актуальністю та новизною. Розробка та впровадження системи автоматизованого моніторингу має значний потенціал для покращення безпеки та надійності функціонування енергоблоків.

Автор провів всебічний аналіз існуючих підходів до автоматизованого моніторингу та діагностики, що дозволило глибше зрозуміти проблему та визначити основні напрямки дослідження.

Магістрант працював над магістерською кваліфікаційною роботою систематично, сумлінно протягом усього періоду, роботу представляла вчасно. Робота виконана на високому теоретичному рівні. У цілому магістерська кваліфікаційна робота не має істотних недоліків. Відповідає всім вимогам, пропонованим до магістерських кваліфікаційних робіт і при успішному захисті заслуговує оцінки «відмінно».

Науковий керівник :

к.т.н., доц. Буданов П. Ф.