

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОБЛОКОМ
ДЛЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ПІД ЧАС НЕСТАБІЛЬНОСТІ МЕРЕЖІ ТА
АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 маг. курсу, групи ДЕА-Е23мг-1
спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/ Владислав КРОЛІВЕЦ
(підпис) (ім'я та прізвище)

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

Рецензент _____/ _____
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/ Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____/ Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/ _____
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

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

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри**

(підпис)

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

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

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

здобувачу вищої освіти Владислав КРОЛІВЕЦ

1. Тема « Розробка алгоритму адаптивного управління енергоблоком для режиму роботи під час нестабільності мережі та аварійних ситуацій »

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

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

3. Вихідні дані до роботи/проєкту: Параметри енергоблоку електростанції. Початкові дані для алгоритму адаптивного управління енергоблоком для аварійного режиму роботи енергоблоку.

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

ВСТУП; РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОБЛОКАМИ В УМОВАХ НЕСТАБІЛЬНОСТІ МЕРЕЖІ ТА АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ; РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОБЛОКОМ ПІД ЧАС АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ; РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОБЛОКОМ.

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 _____Владислав КРОЛІВЕЦ
(підпис) (ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної дипломної роботи

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

Студент (ка) _____ Владислав КРОЛІВЕЦ
(підпис) (ім'я, прізвище)

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

РЕФЕРАТ

Сторінок тексту – 62; рисунків – 1 ; таблиць – ____ ;

літературних джерел – 27 .

Тема магістерської роботи: «Розробка алгоритму адаптивного управління енергоблоком для режиму роботи під час нестабільності мережі та аварійних ситуацій».

Метою роботи є розробка та обґрунтування алгоритму адаптивного управління енергоблоком, здатного оптимізувати його роботу під час нестабільності електричної мережі та в умовах аварійних ситуацій. Це дозволить підвищити надійність енергопостачання та забезпечити ефективніше реагування на зміни в режимі роботи енергосистеми.

Об'єкт дослідження – процеси адаптивного управління енергоблоками під час аварійних ситуацій та в умовах змінної стабільності енергосистеми, а також розробка алгоритмів, що оптимізують їх роботу в таких режимах.

Предмет дослідження – енергоблоки теплових та атомних електростанцій, що функціонують в умовах нестабільності мережі та аварійних ситуацій.

Задачі дослідження включають:

- аналіз існуючих методів управління енергоблоками під час аварійних ситуацій;
- розробка адаптивного алгоритму, який враховує зміни в параметрах енергосистеми;
- моделювання та тестування запропонованого алгоритму на реальних сценаріях аварій та нестабільності мережі.

Ключові слова: енергоблок, алгоритм адаптивного управління, режим роботи енергоблоку, аварійна ситуація.

ABSTRACT

Pages of text – 62; pictures – 1 ; tables – ____ ;

literary sources – 27 .

The topic of the Master's thesis: "Development of an Adaptive Control Algorithm for a Power Unit in Operating Conditions during Network Instability and Emergency Situations."

The aim of the work is to develop and substantiate an adaptive control algorithm for a power unit that can optimize its operation during electrical grid instability and emergency situations. This will enhance the reliability of power supply and ensure more effective responses to changes in the operating conditions of the energy system.

The object of the study is the processes of adaptive control of power units during emergency situations and in conditions of varying stability of the energy system, as well as the development of algorithms that optimize their operation under such conditions.

The subject of the study is the power units of thermal and nuclear power plants operating under conditions of network instability and emergency situations.

The research tasks include:

Analysis of existing methods for controlling power units during emergency situations;

Development of an adaptive algorithm that accounts for changes in energy system parameters;

Modeling and testing the proposed algorithm in real-world emergency and network instability scenarios.

Keywords: power unit, adaptive control algorithm, power unit operating mode, emergency situation.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОБЛОКАМИ В УМОВАХ НЕСТАБІЛЬНОСТІ МЕРЕЖІ ТА АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ	11
1.1 Характеристика енергоблоків та принципи їх роботи в енергетичних системах	11
1.2 Нестабільність електричної мережі та її вплив на роботу енергоблоків	14
1.3 Типи аварійних ситуацій та їх класифікація в енергетичних системах	18
1.4 Аналіз існуючих методів та алгоритмів управління енергоблоками в умовах нестабільності	22
Висновки до розділу	26
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОБЛОКОМ ПІД ЧАС АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ	28
2.1 Моделювання енергоблоку та його складових в умовах аварійних ситуацій	28
2.2 Динаміка роботи енергоблоку під час нестабільності мережі.	32
2.3 Методи адаптації параметрів управління до змінних умов роботи енергоблоків	37
2.4 Параметри, що впливають на стабільність роботи енергоблоку в аварійних ситуаціях та оцінка ефективності існуючих методів адаптивного управління	40
Висновки до розділу 2	44
РОЗДІЛ 3. РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОБЛОКОМ	46

3.1	Загальні принципи розробки адаптивних алгоритмів управління	46
3.2	Алгоритм адаптивного управління енергоблоком для забезпечення стабільної роботи в умовах нестабільної мережі	48
3.3	Тестування та впровадження алгоритму адаптивного управління енергоблоком	50
3.4	Результати тестування та порівняння з існуючими методами та адаптивності алгоритму в різних аварійних ситуаціях	53
3.5	Розробка етапів алгоритму адаптивного управління енергоблоком для режиму роботи під час нестабільності мережі та аварійних ситуацій	59
	Висновки до розділу 3	64
	ВИСНОВКИ	67
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71

ВСТУП

Актуальність теми. Енергетична система є однією з найважливіших складових інфраструктури будь-якої країни, і її стабільність є критичною для забезпечення надійного постачання електричної енергії споживачам. Однак, в умовах розвитку сучасних електричних мереж, що включають великі кількості змінних джерел енергії та складних технологій передачі електричної енергії, стабільність мережі часто опиняється під загрозою через різноманітні аварійні ситуації та нестабільність електричної мережі. Це призводить до необхідності розробки нових технологій управління енергоблоками, здатних забезпечити ефективну роботу в умовах таких непередбачуваних ситуацій [1-7].

У цьому контексті важливою задачею є розробка адаптивних алгоритмів управління, які б дозволяли енергоблоку не тільки працювати в режимі стабільного навантаження, але й адаптуватися до змінних та аварійних умов експлуатації. Такі алгоритми мають забезпечити високий рівень стабільності та безпеки роботи енергоблоку, зокрема у випадках різких коливань напруги, частоти, а також в умовах несправностей та відключень елементів мережі [8-16].

Актуальність теми обумовлена необхідністю підвищення надійності енергетичних систем та забезпечення безперервного постачання електричної енергії в умовах постійно зростаючих вимог до якості енергопостачання та ефективності управління енергоблоками. Розробка адаптивних алгоритмів управління дозволить знизити ризики аварійних ситуацій, скоротити час на відновлення стабільності мережі та забезпечити більш ефективне використання ресурсів енергоблоку [17-27].

Метою роботи є розробка та обґрунтування алгоритму адаптивного управління енергоблоком, здатного оптимізувати його роботу під час нестабільності електричної мережі та в умовах аварійних ситуацій. Це дозволить

підвищити надійність енергопостачання та забезпечити ефективніше реагування на зміни в режимі роботи енергосистеми.

Об'єкт дослідження – процеси адаптивного управління енергоблоками під час аварійних ситуацій та в умовах змінної стабільності енергосистеми, а також розробка алгоритмів, що оптимізують їх роботу в таких режимах.

Предмет дослідження – енергоблоки теплових та атомних електростанцій, що функціонують в умовах нестабільності мережі та аварійних ситуацій.

Задачі дослідження включають:

- аналіз існуючих методів управління енергоблоками під час аварійних ситуацій;
- розробка адаптивного алгоритму, який враховує зміни в параметрах енергосистеми;
- моделювання та тестування запропонованого алгоритму на реальних сценаріях аварій та нестабільності мережі.

Оцінка ефективності запропонованого підходу у порівнянні з традиційними методами управління.

Робота також спрямована на розвиток методів моделювання енергосистем у режимах аварій та нестабільності, що дозволить здійснити глибший аналіз роботи енергоблоків в умовах реальних або потенційних загроз для їх стабільної експлуатації.

Теоретичне значення дослідження полягає у розвитку наукових засад адаптивного управління енергоблоками в умовах нестабільності енергосистеми та аварійних ситуацій. Запропонований алгоритм сприятиме поглибленому розумінню процесів взаємодії енергоблоків з енергосистемою, а також розширить теоретичні основи для створення більш ефективних методів стабілізації роботи енергоблоків у змінних умовах. Теоретичні результати можуть бути використані для подальших досліджень в галузі енергетики та автоматизації управління.

Практичне значення дослідження полягає у розробці алгоритму, який може бути безпосередньо впроваджений у системи управління енергоблоками на енергетичних підприємствах, що дозволить підвищити їх ефективність і надійність. Розроблений підхід може бути застосований для оптимізації режимів роботи енергоблоків у реальних умовах, що сприятиме зменшенню часу на відновлення стабільності енергосистеми після аварій, зниженню ризиків виникнення аварійних ситуацій та підвищенню економічної ефективності експлуатації енергоблоків.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОБЛОКАМИ В УМОВАХ НЕСТАБІЛЬНОСТІ МЕРЕЖІ ТА АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ

1.1 Характеристика енергоблоків та принципи їх роботи в енергетичних системах

Енергоблоки є основними елементами електричних станцій, які здійснюють перетворення різних видів енергії в електричну. В залежності від типу енергоблоку, це може бути перетворення теплової, ядерної, гідро-, вітрової або сонячної енергії в електричну енергію. Важливою особливістю енергоблоків є їх здатність працювати в складі енергетичних систем, що забезпечують стабільне та ефективне постачання електричної енергії до споживачів.

1. Типи енергоблоків та їх характеристики

У сучасних енергетичних системах використовуються різні типи енергоблоків, залежно від джерела енергії, яке застосовується для генерації електричної енергії. Розглянемо основні типи енергоблоків та їх характеристики:

а) Теплові енергоблоки

Теплові енергоблоки працюють на основі перетворення хімічної енергії палива (вугілля, природного газу, нафти) у теплоту, яка за допомогою паротурбінного агрегату перетворюється на електричну енергію. Зазвичай теплові енергоблоки працюють за циклом Ренкіна, де пара від нагрітого котла приводить в рух турбіну, що генерує електричний струм.

Особливості: висока ступінь контролю над потужністю генерації; можливість роботи в умовах різних змінних навантажень; залежність від якості палива та його вартості.

Приклад: Теплова електростанція, що працює на природному газі або вугіллі, може мати енергоблоки різної потужності, від кількох десятків до кількох сотень мегават.

б) Атомні енергоблоки. Атомні енергоблоки працюють на основі ядерного поділу у ядерному реакторі. Процес поділу атомів у реакторі виділяє велике тепло, яке використовують для нагріву води та перетворення її в пару, що приводить турбіну в рух.

Особливості: висока енергоємність (невелика кількість палива для великих обсягів енергії); мала залежність від погодних умов; підвищені вимоги до безпеки та контролю.

Приклад: Енергоблоки на атомних електростанціях можуть мати потужність від кількох сотень мегават до 1,5-2 ГВт і є одними з найбільш ефективних джерел енергії з точки зору споживання палива.

в) Гідроелектричні енергоблоки. Гідроелектричні енергоблоки використовують потенційну енергію води, що падає з висоти або рухається в руслі річки. Ця енергія перетворюється на механічну енергію за допомогою гідротурбін, що обертають генератор.

Особливості: висока ефективність та стабільність роботи; залежність від природних умов (рівень води, сезонні коливання); можливість регулювання потужності в реальному часі.

Приклад: Великі гідроелектростанції, як, наприклад, гідроелектростанція "Ітайпу" на річці Парана в Південній Америці, можуть мати енергоблоки потужністю до 700 МВт.

г) Вітрові та сонячні енергоблоки. Ці енергоблоки використовують відновлювальні джерела енергії — вітер та сонячне світло. Вітрогенератори перетворюють кінетичну енергію вітру на електричну, а сонячні панелі — фотоелектричну енергію.

Особливості: залежність від погодних умов, тому продуктивність таких енергоблоків може бути непередбачуваною; мінімальні викиди вуглецю та екологічність; необхідність у комплексному управлінні для стабільності мережі через змінність ресурсів.

Приклад: Вітрові енергоблоки можуть мати потужність від кількох десятків до кількох сотень мегават, в залежності від розміру вітрогенераторів і кількості вітрових установок.

2. Принципи роботи енергоблоків в енергетичних системах. Енергоблоки працюють не ізольовано, а є частиною великої енергетичної мережі, де кожен елемент має виконувати свою функцію, забезпечуючи баланс між виробництвом та споживанням електричної енергії. Основні принципи роботи енергоблоків у таких системах включають:

а) Регулювання навантаження та потужності. Енергоблоки повинні оперативно реагувати на зміни в попиті на електричну енергію, підтримуючи баланс між виробництвом і споживанням. Для цього в системах енергоблоків застосовуються спеціальні алгоритми управління, які дозволяють швидко коригувати потужність генератора в залежності від навантаження. Це особливо важливо при роботі енергоблоків у змінних режимах, зокрема в умовах нестабільності мережі.

Приклад: Теплові енергоблоки можуть працювати в широкому діапазоні потужності, від малих значень до максимальних, зберігаючи стабільність енергосистеми навіть при великих коливаннях попиту.

б) Резерви потужності та аварійне управління. Енергоблоки мають бути здатні оперативно включатися в роботу або вимикатися в разі потреби. Це важливо при виникненні аварійних ситуацій, коли необхідно швидко відновити нормальний режим роботи системи або зменшити навантаження.

Приклад: Атомні енергоблоки зазвичай мають високий час стабільності роботи, але вони також оснащені системами аварійного вимкнення, щоб у разі необхідності знизити ризики аварій та забезпечити безпеку.

в) Інтеграція з відновлювальними джерелами енергії. Сучасні енергетичні системи все більше орієнтовані на інтеграцію відновлювальних джерел енергії, таких як сонячні панелі та вітрові установки. Змінна потужність цих джерел вимагає впровадження алгоритмів, які дозволяють адаптувати роботу традиційних енергоблоків для стабілізації мережі.

Приклад: Системи управління вітровими та сонячними електростанціями можуть регулювати потужність з урахуванням прогнозованих змін погоди та потреб у електричній енергії в мережі.

Таким чином, енергоблоки є критично важливими для стабільної роботи енергетичних систем, і кожен тип енергоблоку має свої переваги та обмеження. У сучасних умовах енергетичні системи повинні бути готові до інтеграції різних джерел енергії, що вимагає розробки нових адаптивних алгоритмів для управління енергоблоками, особливо в умовах нестабільності мережі та аварійних ситуацій.

Розробка таких алгоритмів є важливим завданням для підвищення ефективності роботи енергоблоків і забезпечення надійності та безпеки енергетичних систем.

1.2 Нестабільність електричної мережі та її вплив на роботу енергоблоків.

Нестабільність електричної мережі — це один із найбільш важливих факторів, що може суттєво вплинути на роботу енергоблоків і, як наслідок, на надійність та ефективність енергетичних систем. Під нестабільністю електричної мережі розуміють різноманітні коливання параметрів мережі, такі як зміни

частоти, напруги, фазові зсуви або навіть аварійні відключення елементів мережі, що може призвести до порушення нормальної роботи електростанцій, зокрема енергоблоків.

1. Причини нестабільності електричної мережі. Нестабільність мережі може виникати з різних причин, включаючи технічні, природні та економічні фактори. Основні причини нестабільності можна класифікувати так:

а) Коливання навантаження та генерації. Зміни у споживанні електричної енергії (пік навантаження або різке падіння попиту) можуть викликати коливання частоти і напруги в мережі. Нестабільність навантаження може бути зумовлена сезонними або добовими коливаннями потреб у електричній енергії, а також раптовими змінами в роботі великих споживачів або генераторів.

Приклад: У зимовий період, коли споживання електричної енергії зростає через обігрівання, мережа може зазнати перевантаження, що призведе до коливань частоти та напруги.

б) Робота відновлювальних джерел енергії. Вітрові та сонячні енергоблоки часто є змінними за потужністю, оскільки їх генерація залежить від погодних умов (вітер, сонячна активність). Такі джерела енергії можуть викликати коливання напруги та частоти в мережі через раптові зміни у рівні виробленої електричної енергії.

Приклад: Вітрові електростанції, що розташовані в районах з сильною зміною інтенсивності вітру, можуть раптово знизити або збільшити потужність вироблення електричної енергії, що викликає нестабільність у мережі.

в) Мережеві аварії та відключення. Аварійні ситуації, пов'язані з пошкодженням або виходом з ладу елементів енергомережі, таких як трансформатори, лінії електропередач або підстанції, можуть призвести до швидких коливань напруги або частоти, а також до зміни балансу потужності.

Приклад: Вихід з ладу високовольтної лінії може призвести до порушення балансу потужності між генерацією і споживанням, що в свою чергу може викликати аварійні відключення.

г) Технічні несправності енергоблоків. Нестабільність мережі може бути наслідком також технічних несправностей або дефектів у самих енергоблоках, зокрема в генераторах, турбінах або в системах керування. Вихід з ладу одного з елементів може змусити інші блоки працювати в неефективному або небезпечному режимі.

Приклад: Вихід з ладу системи автоматичного регулювання на тепловій електростанції може спричинити небажану зміну потужності на енергоблоці, що позначиться на стабільності мережі.

2. Вплив нестабільності електричної мережі на роботу енергоблоків. Нестабільність мережі має безпосередній вплив на роботу енергоблоків, оскільки зміни в параметрах електричної мережі можуть призвести до низки небажаних ефектів:

а) Коливання частоти. Зміни частоти в електричній мережі є одним з основних показників її стабільності. Для більшості енергоблоків встановлений певний діапазон частоти, в якому вони здатні працювати без ризику виходу з ладу. Порушення цього діапазону може призвести до зниження ефективності роботи енергоблоку, а в деяких випадках — до його відключення або пошкодження.

Приклад: Якщо частота мережі падає або зростає за межі допустимих значень (наприклад, нижче 49,5 Гц або вище 50,5 Гц), енергоблок може автоматично вийти з роботи, щоб уникнути пошкоджень.

б) Коливання напруги. Зміни в напрузі можуть викликати серйозні проблеми для енергоблоків, особливо для чутливих електронних систем управління та захисту. Надмірні або раптові коливання напруги можуть

призвести до пошкодження обладнання, збоїв у системах автоматичного регулювання та втрати стабільності генерації.

Приклад: Якщо напруга в мережі зменшується або зростає різко, це може викликати спрацювання систем захисту, що призведе до автоматичного відключення енергоблоку для попередження пошкоджень.

в) Аварійні відключення та зниження потужності. Нестабільність мережі може призвести до необхідності аварійних відключень енергоблоків. Відключення одного або кількох блоків через нестабільність мережі може створити дефіцит потужності, що призводить до зростання навантаження на інші блоки. Це може погіршити ефективність роботи енергоблоків і призвести до їх перегріву або пошкодження.

Приклад: При раптовому відключенні енергоблоку на великій тепловій електростанції інші блоки можуть бути змушені працювати на максимальній потужності, що збільшує навантаження і може призвести до зниження їх надійності.

г) Погіршення характеристик управління енергоблоками. Нестабільні умови роботи енергетичної мережі можуть негативно впливати на ефективність роботи автоматичних систем управління енергоблоками. Оскільки ці системи покликані підтримувати стабільну роботу генераторів і турбін, нестабільність мережі може викликати складнощі в автоматичному регулюванні потужності та частоти.

Приклад: У разі значних коливань параметрів мережі, алгоритми автоматичного регулювання можуть не встигати адекватно реагувати на зміни, що призводить до зниження стабільності роботи енергоблоку.

3. Методи стабілізації роботи енергоблоків під час нестабільності мережі. Для забезпечення стабільної роботи енергоблоків в умовах нестабільної мережі необхідно застосовувати ряд технічних рішень та алгоритмів управління, що дозволяють знижувати ризики аварійних ситуацій:

а) Системи автоматичного регулювання потужності та частоти. Використання передових систем автоматичного регулювання дозволяє енергоблокам швидко адаптуватися до змін в параметрах мережі. Ці системи можуть змінювати потужність генератора або адаптувати параметри роботи турбіни в залежності від коливань частоти чи напруги.

б) Механізми аварійного відключення та захисту. Сучасні енергоблоки оснащені системами аварійного захисту, що дозволяють швидко вимикати блоки в разі критичних відхилень від нормальних параметрів мережі.

в) Інтеграція з резервними джерелами енергії. Інтеграція енергоблоків з резервними джерелами енергії, такими як акумулятори або гідроакumuлюючі станції, дозволяє компенсувати дефіцит потужності в разі нестабільності мережі.

Таким чином, нестабільність електричної мережі є серйозним викликом для надійної роботи енергоблоків, особливо коли йдеться про підтримку стабільності частоти, напруги та потужності. Коливання параметрів мережі можуть призвести до серйозних наслідків для енергоблоків, включаючи відключення блоків, пошкодження обладнання та погіршення загальної ефективності роботи енергетичної системи.

Розробка адаптивних алгоритмів управління та вдосконалення систем захисту є важливим кроком для забезпечення стабільної роботи енергоблоків навіть у випадках значної нестабільності енергомережі. Це дозволяє знижувати ризики аварійних ситуацій, підвищувати надійність енергетичних систем і забезпечувати більш ефективне використання наявних енергоресурсів.

1.3 Типи аварійних ситуацій та їх класифікація в енергетичних системах.

Аварійні ситуації в енергетичних системах можуть виникати з різних причин і мають різні масштаби впливу на роботу енергоблоків, мереж та

споживачів. Вони є однією з основних загроз для безпеки і стабільності енергопостачання, тому важливо розуміти характер таких ситуацій і застосовувати ефективні методи реагування та запобігання.

Аварійні ситуації можуть включати як технологічні несправності, так і зовнішні фактори, що порушують нормальну роботу енергетичної системи. У цьому контексті класифікація аварій є необхідною для ефективного управління та оперативного реагування. Розглянемо типи аварійних ситуацій, їх класифікацію та особливості кожної групи.

1. Класифікація аварійних ситуацій в енергетичних системах. Аварії можна класифікувати за кількома основними ознаками: за джерелом виникнення, за ступенем впливу на систему, за обсягом пошкоджень та характером наслідків. Така класифікація допомагає в управлінні ризиками та оптимальному плануванні заходів по відновленню стабільності енергетичної мережі.

а) Класифікація за джерелом виникнення аварії.

Відмови в елементах генерації: Поломка енергоблоку: Це одна з найпоширеніших ситуацій, коли несправність у роботі котла, турбіни, генератора чи іншого обладнання блоку призводить до відключення або зниження його потужності. Такі аварії можуть бути викликані технічними проблемами, наприклад, перегрівом, втратою тиску або несправностями в системах контролю. Завершення паливного ресурсу або зниження ефективності палива: Залежно від виду енергоблоку, аварія може бути пов'язана з недостатньою кількістю палива (наприклад, при постачанні вугілля на ТЕС або відключенні поставок природного газу), що викликає тимчасове припинення генерації. Відмови в елементах трансмісії: Вихід з ладу лінії електропередачі: Пошкодження або обрив проводів високовольтних ліній передачі є типовою аварією, що може порушити баланс між виробництвом і споживанням енергії. Такі ситуації можуть бути спричинені погодними умовами, наприклад, бурями, обледенінням або попаданням на лінію сторонніх об'єктів (дерев). Пошкодження підстанцій: Аварії на підстанціях через

вихід з ладу трансформаторів, розподільчих пристроїв, автоматичних вимикачів можуть призвести до локальних або масштабних відключень у мережі. Відмови в елементах споживання: Перевантаження споживчих ліній: Різке збільшення споживання енергії (наприклад, через аномальне зростання попиту) може призвести до перевантаження певних ділянок енергомережі, що викликає відключення або зниження якості постачання електричної енергії.

б) Класифікація за характером наслідків аварії.

Місцеві аварії: Місцеві аварії обмежуються певною ділянкою енергетичної системи. Вони не поширюються на всю мережу, однак можуть спричинити тимчасове відключення частини споживачів або зниження ефективності роботи енергоблоку. Приклад: Вихід з ладу одного енергоблоку на ТЕС або аварія в одній лінії електропередачі, що не порушує стабільність в загальній мережі. Масштабні аварії: Масштабні аварії охоплюють велику частину енергетичної мережі і можуть мати серйозні наслідки для роботи всієї системи. Вони можуть призвести до масових відключень електропостачання, збоїв у роботі важливих інфраструктур, що забезпечують життєдіяльність країни. Приклад: Великий обрив лінії електропередачі, пошкодження кількох підстанцій або енергоблоків, що може призвести до серйозних порушень стабільності всієї енергосистеми.

в) Класифікація за типом технічної проблеми.

Механічні несправності: Це аварії, які виникають через поломки механічних частин енергоблоків, турбін, насосів, трансформаторів тощо. Механічні пошкодження можуть бути викликані зношуванням деталей, неправильним монтажем, надмірними навантаженнями або дефектами матеріалів. Приклад: Поломка підшипників на турбіні або поломка ротора генератора. Електричні несправності: Вихід з ладу електричних систем, таких як генератори, трансформатори, системи автоматичного регулювання напруги, захисні реле або вимикачі. Це може бути спричинено коротким замиканням, перенапругою, перевантаженням або дефектами в електричних схемах.

Приклад: Пошкодження трансформатора на підстанції, що може призвести до відключення значної частини мережі. Гідравлічні та теплові несправності: Виникають через порушення роботи системи охолодження або надмірного тиску в котлі або конденсаторі. Це може призвести до перегріву або навіть вибуху певних частин енергоблоку. Приклад: Перегрів конденсатора або котла на теплової електростанції, що може викликати відключення енергоблоку для запобігання серйознішим пошкодженням.

г) Класифікація за швидкістю розвитку аварії.

Швидкоплинні аварії: Ці аварії розвиваються швидко, і для їх ліквідації потрібна миттєва реакція персоналу та автоматичних систем управління. Невчасне реагування може призвести до серйозних наслідків. Приклад: Коротке замикання або несправність у системі автоматичного регулювання, що викликає швидке відключення обладнання для запобігання серйозному пошкодженню. Поступові аварії: Аварії, що розвиваються поступово, на основі тривалих відхилень від нормальних параметрів або зношування обладнання. Такі аварії можуть бути передбачені за допомогою моніторингу та аналізу стану системи.

Приклад: Перевантаження мережі, яке поступово зростає до критичного рівня, що в кінцевому результаті призводить до аварії. Приклади аварійних ситуацій в енергетичних системах Аварія на високовольтній лінії електропередачі: Пошкодження високовольтної лінії через погодні умови (обледеніння, бурі) або фізичні впливи (удар блискавки, падіння дерев) може призвести до відключення значної частини мережі. Коротке замикання на підстанції: Пошкодження розподільчих пристроїв або трансформаторів підстанції через технічні несправності або вплив зовнішніх факторів може призвести до масових відключень.

Технічна несправність на атомній електростанції: Вихід з ладу обладнання на атомному реакторі може спричинити серйозну аварійну ситуацію, зокрема ядерний викид або вимушену зупинку реактора.

Перевантаження внаслідок пікового споживання: У періоди високих температур або холодів споживання електричної енергії може різко зростати, що викликає перевантаження енергомережі та призводить до аварійних відключень.

Таким чином, аварійні ситуації в енергетичних системах можуть бути спричинені як технічними несправностями, так і зовнішніми факторами, такими як погодні умови або зміни в навантаженні мережі. Залежно від характеру, масштабів і причин виникнення, ці ситуації мають різний вплив на стабільність енергосистеми та потребують застосування відповідних методів управління та ліквідації наслідків.

Розуміння типів аварій та їх класифікація є важливими для розробки ефективних систем управління і захисту енергоблоків, а також для вдосконалення планів реагування на надзвичайні ситуації. Раннє виявлення потенційних аварій та їх прогнозування дозволяє знизити ризики і покращити надійність енергетичних систем.

1.4 Аналіз існуючих методів та алгоритмів управління енергоблоками в умовах нестабільності

Управління енергоблоками в умовах нестабільності енергомережі є складним завданням, яке вимагає використання передових технологій та алгоритмів для підтримання надійної та стабільної роботи енергетичної системи. Нестабільність мережі, спричинена коливаннями в навантаженні, відключеннями елементів мережі, аваріями або зростанням частки відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), ставить додаткові вимоги до систем управління енергоблоками.

Існують різноманітні методи та підходи до управління енергоблоками, які здатні забезпечити адаптацію до змінюваних умов роботи мережі. Аналіз таких методів дозволяє виділити ключові технічні рішення для стабілізації роботи енергоблоків в умовах нестабільності.

1. Методи управління енергоблоками в умовах нестабільності мережі

а) Методи класичного управління. Класичні методи управління енергоблоками включають статичні та динамічні підходи до регулювання параметрів роботи блоку, таких як потужність, частота та напруга. Ці методи використовують основні технічні характеристики енергоблоків, такі як потужність реактора або генератора, що залежить від споживаної потужності в мережі. Пропорційне-інтегрально-диференціальне (PID) управління: Один із найбільш поширених підходів для управління турбінами та генераторами. Він базується на вимірюванні різниці між заданою та фактичною потужністю, а також використовує математичні моделі для коригування параметрів генератора в реальному часі. Методи адаптивного управління за допомогою зворотного зв'язку: Ці методи враховують змінні параметри роботи енергоблоку, такі як навантаження, частота або напруга в мережі. Системи зворотного зв'язку дозволяють енергоблоку автоматично коригувати своє навантаження в реальному часі.

б) Методи на основі теорії оптимізації. Сучасні підходи до управління енергоблоками часто ґрунтуються на теорії оптимізації, яка дозволяє мінімізувати енергетичні втрати та покращити ефективність управління в умовах нестабільної мережі. Методи лінійного програмування: Застосовуються для вирішення задач оптимізації розподілу потужності між різними енергоблоками в межах певних обмежень (наприклад, обмеження потужності генератора або ліній передачі). Методи стохастичної оптимізації: Ці методи використовують моделі, що враховують випадковість змін в мережі, наприклад, через вплив погодних умов на відновлювальні джерела енергії. Стохастичні моделі допомагають управляти ризиками і прогнозувати поведінку енергоблоків в умовах високої невизначеності.

в) Методи на основі теорії нейронних мереж та машинного навчання. Нейронні мережі та методи машинного навчання здатні адаптуватися до

складних, нелінійних змін в енергетичній мережі. Вони дозволяють автоматично виявляти патерни в даних і використовувати ці патерни для передбачення майбутніх станів мережі. Глибоке навчання: Застосовується для прогнозування навантаження та частоти в мережі, а також для управління реакцією енергоблоків на ці зміни. Цей підхід дозволяє створити адаптивні моделі, які враховують як внутрішні, так і зовнішні фактори, що впливають на роботу енергоблоку. Методи підкріплювального навчання: Використовуються для розробки систем, що здатні навчатися через досвід і коригувати свою стратегію управління в залежності від змін у мережі. Цей підхід особливо ефективний для ситуацій, де динаміка мережі важко моделюється класичними методами.

г) Методи автоматичного регулювання та резервного управління. Автоматичні системи регулювання потужності та резервні механізми є важливою частиною стратегії управління енергоблоками в умовах нестабільності. Автоматичне регулювання частоти: Системи автоматичного регулювання частоти (AGC) забезпечують підтримку стабільної частоти в електричній мережі, коригуючи потужність генераторів на основі змін в навантаженні. Резервні джерела енергії: В умовах нестабільності важливими є системи зберігання енергії та резервні генератори, які можуть вступати в роботу для компенсації дефіциту потужності при відключенні основних джерел.

2. Основні вимоги до алгоритмів адаптивного управління енергоблоками. Адаптивне управління енергоблоками в умовах нестабільності мережі вимагає застосування особливих алгоритмів, що дозволяють швидко реагувати на зміни в системі та забезпечувати стабільність роботи енергоблоків. Основні вимоги до таких алгоритмів включають:

а) Стійкість і надійність. Алгоритми адаптивного управління повинні гарантувати стійкість енергоблоку навіть у разі значних коливань у мережі, таких як зміни частоти, напруги або непередбачені відключення елементів мережі. Для забезпечення стійкості алгоритми повинні передбачати автоматичне відновлення

нормальних умов роботи енергоблоку після нестабільних ситуацій. Вимоги до стійкості: Алгоритм повинен гарантувати, що система здатна залишатися в межах безпечних параметрів навіть під час різких змін навантаження чи аварійних ситуацій. Це вимагає високої швидкості реагування і точності управління.

б) Адаптивність до змінних умов. В умовах постійно змінюваної мережі, де мають місце коливання в споживанні електричної енергії, різноманітні аварії або підключення відновлювальних джерел енергії, алгоритми повинні бути здатні адаптуватися до нових ситуацій. Адаптивність означає здатність системи навчатися на основі попереднього досвіду і налаштовувати параметри управління без необхідності втручання людини. Вимоги до адаптивності: Алгоритм повинен здатний змінювати свої параметри в реальному часі, оптимізуючи роботу енергоблоку в залежності від поточних умов мережі. Це дозволяє уникати неочікуваних збоїв і забезпечити ефективне використання ресурсів.

в) Швидкість реагування та прогностичні можливості. Швидка реакція на зміни в мережі є критично важливою для запобігання аварійним ситуаціям. Алгоритми повинні мати низьку затримку при прийнятті рішень і забезпечувати оперативне коригування роботи енергоблоку. Прогностичні можливості також мають велике значення — алгоритми повинні мати змогу прогнозувати зміни в мережі і підготовлювати систему до можливих змін ще до їх настання. Вимоги до швидкості реагування: Алгоритм повинен забезпечувати миттєве виявлення відхилень від нормальних параметрів і коригувати роботу енергоблоку без затримок, щоб запобігти виникненню аварій.

г) Економічність і оптимізація витрат. Адаптивне управління повинно також бути економічно ефективним, зокрема при регулюванні витрат палива на теплових електростанціях, підтримці оптимальної роботи генераторів та зниженні експлуатаційних витрат. Алгоритми повинні враховувати як економічні, так і технічні аспекти роботи енергоблоку. Вимоги до економічності: Алгоритм має враховувати не тільки стабільність і надійність енергоблоку, але й

прагнути до мінімізації витрат палива, зниження витрат на технічне обслуговування і забезпечення ефективного використання резервних потужностей.

Таким чином, аналіз існуючих методів та алгоритмів управління енергоблоками в умовах нестабільності показує, що для забезпечення стабільної та ефективної роботи енергетичних систем необхідні адаптивні підходи, здатні враховувати різноманітні фактори, що впливають на роботу мережі. Алгоритми адаптивного управління повинні бути стійкими, швидкими та економічно ефективними, здатними забезпечити високу якість управління навіть в умовах непередбачуваних змін у мережі.

Висновок до розділу 1

Розділ 1 присвячений теоретичним основам управління енергоблоками в умовах нестабільності мережі та аварійних ситуацій. У цьому розділі було детально розглянуто ключові аспекти, які визначають роботу енергоблоків в умовах змінних і непередбачуваних умов енергетичних систем, а також проаналізовано наявні підходи до управління в таких ситуаціях.

Характеристика енергоблоків та принципи їх роботи: Визначено основні параметри енергоблоків, що впливають на їх ефективність та стабільність в енергетичних системах. Описано принципи роботи енергоблоків, зокрема генераторів та турбін, їх роль у виробництві електричної енергії та забезпеченні стабільного функціонування енергосистеми.

Нестабільність електричної мережі та її вплив на роботу енергоблоків: Проведено аналіз основних причин нестабільності електричних мереж, таких як коливання частоти та напруги, а також зміни в навантаженні. Показано, як ці фактори можуть впливати на роботу енергоблоків, що приводить до зниження їх ефективності, а іноді і до відмов. Типи аварійних ситуацій та їх класифікація: У

цьому розділі детально розглянуті основні типи аварійних ситуацій, які можуть виникати в енергетичних системах, включаючи аварії на енергоблоках, збої в роботі обладнання та мережі, а також їх класифікація за характером і тяжкістю. Показано, які наслідки ці аварії можуть мати для роботи енергоблоків і стабільності всієї енергосистеми. Аналіз існуючих методів та алгоритмів управління енергоблоками в умовах нестабільності: Описано основні методи та алгоритми управління енергоблоками, що використовуються для забезпечення стабільної роботи в умовах мережових збоїв і аварій. Виявлено їх переваги та недоліки, а також визначено потребу в удосконаленні існуючих підходів, зокрема шляхом застосування адаптивних алгоритмів, здатних оперативно реагувати на зміни в режимах роботи енергосистеми.

Основні вимоги до алгоритмів адаптивного управління енергоблоками: Зроблено висновки щодо основних вимог до адаптивних алгоритмів управління енергоблоками, які повинні включати здатність до швидкої реакції на зміни навантаження, адаптацію до нестабільності мережі, забезпечення високої точності та надійності в умовах аварійних ситуацій. Визначено необхідність інтеграції таких алгоритмів з сучасними технологіями автоматизації та моніторингу енергосистем.

Було сформовано теоретичне підґрунтя для розробки адаптивних алгоритмів управління енергоблоками в умовах нестабільних енергетичних мереж та аварійних ситуацій. Розглянуті аспекти, як характеристики енергоблоків, природа нестабільності мережі, типи аварій та існуючі методи управління, створюють необхідну базу для розуміння важливості впровадження адаптивних систем. Це дозволяє розпочати розробку більш ефективних та динамічних алгоритмів, здатних забезпечити стабільну роботу енергосистем у складних умовах, підвищуючи їх надійність і економічну ефективність.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОБЛОКОМ ПІД ЧАС АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ

2.1 Моделювання енергоблоку та його складових в умовах аварійних ситуацій

Моделювання енергоблоку та його складових в умовах аварійних ситуацій є ключовим етапом для розробки ефективних систем управління, здатних забезпечити надійність енергопостачання і безпеку роботи енергетичних систем. Енергоблоки, що складаються з численних компонентів — котлів, турбін, генераторів, трансформаторів та систем автоматичного управління — повинні бути змодельовані таким чином, щоб можна було оцінити їхню здатність витримувати аварійні навантаження та відновлювати стабільність мережі після виникнення порушень. У цій частині дослідження ми розглянемо основні аспекти моделювання енергоблоків в умовах аварійних ситуацій, а також приклади математичних моделей і використання формул для вирішення таких завдань.

1. Основні принципи моделювання енергоблоку. Моделювання енергоблоку є процесом створення математичних моделей, які дозволяють відтворювати поведінку всіх компонентів енергоблоку в різних режимах роботи, зокрема під час аварійних ситуацій. Це дає змогу прогнозувати реакцію системи на різноманітні зміни у мережі та спрощує розробку алгоритмів управління для підтримання стабільності.

Основні компоненти енергоблоку, що підлягають моделюванню, включають: котел (або інший тип генератора тепла); турбіна; генератор електричної енергії; трансформатор; система автоматичного управління.

Моделювання кожного з цих компонентів передбачає розробку окремих моделей, які потім взаємодіють між собою для визначення загальної поведінки енергоблоку.

2. Моделювання котла. Котел — це основна одиниця для вироблення теплової енергії в енергоблоці, і його робота має прямий вплив на ефективність генерації електричної енергії. У разі аварійної ситуації, як-от втрата палива або несправність подачі води, необхідно мати модель котла, що дозволяє прогнозувати його поведінку в таких умовах.

Математичне моделювання котла зазвичай включає рівняння (2.1) теплопередачі та рівноваги теплових потоків:

$$Q_{\text{подачі}} - Q_{\text{витрат}} = d/dt (m \cdot c \cdot \Delta T) \quad (2.1)$$

де: $Q_{\text{подачі}}$ — тепловий потік, що подається до котла;

$Q_{\text{витрат}}$ — тепловий потік, що витрачається на нагрівання води;

m — маса води, що циркулює в котлі;

c — питома теплоємність води;

ΔT — зміна температури води в котлі.

Якщо в умовах аварійної ситуації постачається менше палива або знижено тиск води, рівняння змінюється, і необхідно враховувати відхилення в потужності котла, що може вплинути на загальну ефективність енергоблоку.

3. Моделювання турбіни. Турбіна — це пристрій, який перетворює теплову енергію в механічну, а потім механічну енергію в електричну через генератор. У разі аварії, наприклад, при раптовому відключенні або зниженні тиску пари, поведінка турбіни буде змінюватися.

Основним рівнянням для моделювання роботи турбіни є рівняння (2.2), що описує механічну потужність:

$$P_{\text{турбіна}} = \eta \cdot m \cdot h \quad (2.2)$$

де: $P_{\text{турбіна}}$ — потужність, що генерується турбіною;
 η — ефективність турбіни;
 m — масовий потік пари через турбіну;
 h — ентальпія пари.

При аварії, наприклад, при зниженні тиску або змінах в подачі пари, масовий потік m змінюється, що призводить до зниження потужності турбіни і, відповідно, зниження загальної потужності енергоблоку.

4. Моделювання генератора та трансформатора. Генератор перетворює механічну енергію в електричну, тому його робота безпосередньо залежить від потужності, яку виробляє турбіна. В умовах аварії (наприклад, при зниженні частоти обертання турбіни) генератор може вийти з синхронного режиму, що призведе до зупинки блоку або значного зниження потужності.

Математична модель генератора може бути виражена через рівняння електричних коливань у системах з магнітним потоком:

$$V_{\text{генератор}} = k \cdot \Phi \cdot \omega \quad (2.3)$$

де: $V_{\text{генератор}}$ — напруга, що генерується генератором;
 k — константа, що залежить від конструкції генератора;
 Φ — магнітний потік;
 Ω — кутова швидкість обертання турбіни.

У разі аварійної ситуації, зниження частоти обертання турбіни ($\omega \backslash \omega$) призведе до зниження генерації електричної потужності, що ускладнить підтримку стабільності мережі.

Трансформатор, який перетворює напругу для передачі енергії, також потребує моделювання. В умовах аварії можуть виникати перенапруги або

короткі замикання, що призводять до виходу трансформатора з ладу. Його математичне моделювання включає рівняння (2.4) електричних коливань у ланцюгах з індуктивністю та ємністю:

$$V_{\text{вих}} = V_{\text{вх}}/N \quad (2.4)$$

де: $V_{\text{вих}}$ — вихідна напруга трансформатора;

$V_{\text{вх}}$ — вхідна напруга;

N — число витків на первинній обмотці трансформатора.

5. Моделювання системи автоматичного управління. Система автоматичного управління енергоблоком відповідає за регулювання основних параметрів, таких як потужність, частота та напруга. У разі аварії система повинна швидко реагувати і коригувати роботу енергоблоку.

Основною задачею є регулювання частоти та напруги в мережі, для чого застосовуються відповідні алгоритми, такі як PID-регулятори або системи на основі нейронних мереж. Математичне вираження процесу управління може виглядати так (2.5):

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t) \cdot dt + K_d \cdot de(t)/dt \quad (2.5)$$

де: $u(t)$ — керуючий сигнал;

$e(t)$ — похибка між бажаним і фактичним значенням параметра (наприклад, частоти);

K_p , K_i , K_d — коефіцієнти пропорційного, інтегрального та диференціального регулювання.

У разі аварії, коли відключається одна з ліній електропередачі або знижується частота в мережі, енергоблок повинен адаптуватися, змінюючи свою потужність. Наприклад, при короткому замиканні на лінії передачі: система автоматичного регулювання частоти виявляє відхилення від норми. В залежності від сигналів з системи вимірювання, алгоритм визначає необхідну потужність для компенсації втрат. 3. Використовуючи регулятор PID, система змінює робочі параметри котла, турбіни і генератора для відновлення стабільної роботи.

Таким чином. моделювання енергоблоку в умовах аварійних ситуацій є важливою частиною для розробки надійних систем управління та забезпечення стабільності енергетичних систем. Математичні моделі різних компонентів енергоблоку (котел, турбіна, генератор, трансформатор) дозволяють прогнозувати їхню поведінку в умовах нестабільності мережі та ефективно реагувати на зміни в реальному часі. Розробка таких моделей сприяє зменшенню ризиків, пов'язаних із можливими аваріями, і підвищенню ефективності роботи енергоблоків в умовах непередбачуваних змін навантаження та мережевих порушень.

2.2 Динаміка роботи енергоблоку під час нестабільності мережі.

Динаміка роботи енергоблоку під час нестабільності мережі є складним процесом, який включає зміну робочих параметрів енергоблоку в умовах зміни навантаження, аварійних відключень або коливань частоти й напруги в електричній мережі. Нестабільність мережі може виникати через різні причини, такі як раптові зміни в споживанні електричної енергії, аварії на мережевих елементах, а також через вплив відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), які є нестабільними за своєю природою.

Нестабільність мережі безпосередньо впливає на роботу енергоблоку, оскільки зміни в мережі можуть спричиняти коливання в потужності, частоті та

напрузі. Основною метою управління енергоблоком в таких умовах є забезпечення його стабільної роботи, мінімізація ризику аварій та швидке відновлення нормальних параметрів. У цьому контексті важливо досліджувати, як змінюються динамічні параметри енергоблоку (потужність, частота, напруга) під час нестабільності мережі, а також як ефективно регулювати ці параметри для запобігання аварійним ситуаціям.

1. Основні фактори, що впливають на динаміку енергоблоку під час нестабільності мережі.

Нестабільність мережі може бути спричинена різними факторами, кожен з яких має свій вплив на роботу енергоблоку:

1. Зміни в споживанні електричної енергії: Раптові зміни в навантаженні на мережу, наприклад, через великі коливання в споживанні в умовах пік-використання (в зимовий або літній період) можуть призвести до зміни частоти та напруги в мережі.

2. Аварійні ситуації в мережі: Втрата однієї або кількох ліній передачі, пошкодження трансформаторів або збоїв в інших елементах енергосистеми можуть викликати локальні або масштабні порушення в роботі мережі.

3. Інтеграція відновлювальних джерел енергії (ВДЕ): Збільшення частки сонячних та вітрових станцій у складі енергосистеми, які мають змінну потужність, може привести до коливань напруги та частоти в мережі, що ускладнює роботу традиційних енергоблоків.

4. Реакція системи автоматичного регулювання: Алгоритми автоматичного управління енергоблоком повинні швидко реагувати на зміни в мережі для підтримки стабільної роботи. Це включає регулювання потужності генераторів, частоти та напруги для запобігання збоїв.

Розглянемо моделювання динаміки роботи енергоблоку при нестабільності мережі. Для розуміння динаміки роботи енергоблоку в умовах нестабільності мережі використовуються різноманітні математичні моделі, які дозволяють

прогнозувати зміни в потужності, частоті та напрузі в реальному часі. Найбільш поширеними є моделі, що базуються на теорії лінійних та нелінійних систем, а також на методах чисельного моделювання. Зокрема, для моделювання роботи енергоблоку в умовах змінних навантажень і аварій можна використовувати диференціальні рівняння, що описують динаміку компонент енергоблоку.

Розглянемо моделювання зміни частоти і потужності. Розглянемо моделювання зміни частоти та потужності на прикладі енергоблоку, що підключений до великої електричної мережі. Частота мережі може змінюватися внаслідок різкого зростання або падіння навантаження, а також у разі аварійних відключень елементів мережі. Зміна частоти мережі має прямий вплив на роботу турбін і генераторів.

Частота в енергосистемі обчислюється за формулою (2.6):

$$f = 1/2\pi \cdot \sqrt{P/J} \quad (2.6)$$

де: f — частота в системі;

P — активна потужність, що генерується (або споживається);

J — інерційний момент генератора.

При раптовому збільшенні навантаження (наприклад, при аварії на лінії або різкому споживанні електричної енергії), частота починає знижуватися, що потребує корекції потужності генератора через автоматичні системи регулювання.

Розглянемо моделювання стабільності в умовах аварії. У разі аварійної ситуації, такої як коротке замикання на лінії передачі або відключення частини енергоблоку, енергоблок може бути підданий великим коливанням, що призводить до зниження стабільності роботи.

Для моделювання таких ситуацій використовуються рівняння (2.7) електричних ланцюгів:

$$V_L = V_0 - I \cdot R \quad (2.7)$$

де: V_L — напруга на навантаженні;

V_0 — початкова напруга генератора;

I — струм, що проходить через лінію;

R — опір лінії.

При короткому замиканні, струм збільшується, що веде до різкої зміни напруги в лінії та генераторі. Для запобігання пошкодження енергоблоку в таких умовах необхідні системи захисту, які можуть автоматично відключити пошкоджені частини системи або знизити потужність для стабілізації роботи.

У разі зниження частоти через надмірне споживання або втрату генераторів енергоблок повинен швидко відреагувати для стабілізації мережі. Для цього використовується автоматичне регулювання частоти (AGC — Automatic Generation Control), яке коригує потужність генератора в реальному часі.

Регулювання потужності здійснюється через зміну подачі палива на котел або через зміну швидкості обертання турбіни. Математично це можна описати рівнянням (2.8):

$$\Delta P = K \cdot \Delta f \quad (2.8)$$

де: ΔP — зміна потужності генератора;

K — коефіцієнт чутливості генератора до частоти;

Δf — зміна частоти в мережі.

Розглянемо приклад динаміки роботи енергоблоку під час аварійної ситуації, коли відключено одну з ліній передачі, що веде до раптового зниження потужності в мережі.

1. Аварія: Внаслідок аварії на лінії передачі частина енергоблоку відключається. Потужність, що подається в мережу, різко зменшується.

2. Реакція системи регулювання частоти: Частота мережі знижується. Система автоматичного регулювання частоти виявляє зміни та починає коригувати потужність генератора для відновлення стабільності.

3. Зміна потужності: Через автоматичне регулювання потужності (зменшення або збільшення витрат палива на котлі) енергоблок змінює потужність, що генерується. Потужність турбіни може бути збільшена або зменшена в залежності від необхідності.

4. Відновлення стабільності: Після кількох циклів коригування частоти і потужності, система стабілізується, і енергоблок повертається до нормального режиму роботи.

Таким чином, динаміка роботи енергоблоку під час нестабільності мережі є складним процесом, що включає взаємодію різних елементів енергоблоку та мережі. Моделювання та аналіз цих процесів дозволяють розробити ефективні стратегії управління, спрямовані на забезпечення стабільності і надійності роботи енергоблоку. Врахування факторів, таких як зміни в навантаженні, аварії та коливання частоти й напруги, дозволяє створювати адаптивні алгоритми, які здатні ефективно реагувати на нестабільність і забезпечувати безпеку енергетичної системи.

2.3 Методи адаптації параметрів управління до змінних умов роботи енергоблоків

Адаптація параметрів управління енергоблоками до змінних умов роботи є однією з найважливіших складових забезпечення стабільності та ефективності роботи енергетичних систем, особливо в умовах нестабільності мережі та аварійних ситуацій. Зміни в навантаженні, коливання частоти, нестабільність відновлювальних джерел енергії, а також раптові аварійні відключення елементів мережі вимагають гнучкої і швидкої адаптації управлінських параметрів для підтримки оптимальних режимів роботи енергоблоків.

Відповідно, розробка методів адаптації параметрів управління є важливим напрямом досліджень для створення більш стійких і ефективних систем управління енергоблоками. Ці методи можуть включати в себе використання алгоритмів машинного навчання, регулювання на основі зворотного зв'язку, адаптивних алгоритмів контролю та інтеграцію нових технологій автоматизації.

1. Основи адаптації параметрів управління.

Адаптація параметрів управління передбачає динамічну зміну стратегій і налаштувань системи управління енергоблоком залежно від змін у навколишньому середовищі та умовах експлуатації. Наприклад, енергоблоки повинні здатись до швидкого реагування на коливання частоти в мережі, зміни в навантаженні або збільшення частки відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), що мають непередбачувану та змінну потужність.

Основними цілями адаптації параметрів управління є:

- підтримка стабільності енергоблоку та мережі в умовах нестабільності;
- оптимізація ефективності роботи енергоблоку при змінних навантаженнях;

- забезпечення економічної ефективності шляхом зниження витрат на паливо, збереження енергетичних ресурсів та скорочення витрат на технічне обслуговування;

- підвищення надійності та безпеки роботи енергоблоку в умовах аварійних ситуацій.

2. Методи адаптації параметрів управління.

Адаптивне регулювання на основі зворотного зв'язку (feedback control) є одним з основних методів адаптації параметрів управління. В основі цього методу лежить використання змінних вхідних сигналів для коригування параметрів управління в реальному часі.

Пропорційно-інтегрально-диференціальний (PID) регулятор є найбільш розповсюдженим засобом в адаптивному управлінні енергоблоками. Він використовує зворотний зв'язок для коригування частоти обертання турбін, витрат палива та інших важливих параметрів. Проте, в умовах нестабільності PID-регулятор може потребувати корекції параметрів для підвищення стійкості системи.

Машинне навчання (ML) є перспективним методом для адаптації параметрів управління енергоблоками в умовах високої динаміки та нестабільності мережі. Основні алгоритми машинного навчання, які використовуються для адаптивного управління, включають:

- нейронні мережі: вони можуть навчатися з історичних даних і передбачати оптимальні значення параметрів управління (наприклад, рівень потужності або швидкість обертання турбін) на основі змінних умов;

- алгоритми глибокого навчання: ці методи дозволяють моделювати складні залежності та обробляти великий обсяг даних, що генеруються в реальному часі, для адаптації параметрів управління енергоблоком в умовах аварій або змінних навантажень.

Приклад використання нейронної мережі для адаптації параметрів управління може виглядати так (2.9):

$$Y = f(X, W) + b \quad (2.9)$$

де: Y — вихідні значення (наприклад, керуючий сигнал для регулювання потужності);

X — вхідні дані (наприклад, показники роботи енергоблоку);

W — вага нейронної мережі, що визначає важливість вхідних даних;

b — зміщення;

$f(X, W)$ — функція активації.

За допомогою навчання на реальних даних, мережа може адаптувати параметри управління залежно від поточного стану системи та передбачувати оптимальні коригування.

Модельно-прогнозувальні методи (Model Predictive Control, MPC), дозволяють адаптувати управління енергоблоком з урахуванням змінних умов на основі прогнозів. В основі таких методів лежить створення математичної моделі енергоблоку та прогнозування його поведінки на кілька кроків уперед. На основі цих прогнозів здійснюється корекція параметрів управління для досягнення заданої мети, такої як стабільність частоти або оптимізація витрат палива. Прогнозування дає змогу враховувати можливі зміни в умовах роботи енергоблоку, що дозволяє більш точно адаптувати параметри управління для оптимізації роботи енергоблоку. Зі збільшенням частки ВДЕ в енергосистемах, адаптація управління енергоблоками стає ще більш складною, оскільки потужність ВДЕ змінюється залежно від погодних умов. Адаптивні методи управління повинні враховувати цю нестабільність та ефективно інтегрувати генерацію від ВДЕ з традиційними енергоблоками.

Використання адаптивного управління в таких системах дозволяє оптимізувати розподіл потужності між ВДЕ та традиційними джерелами енергії, знижуючи залежність від використання викопних ресурсів та забезпечуючи стабільність системи навіть при різких коливаннях потужності від ВДЕ.

Таким чином, методи адаптації параметрів управління до змінних умов роботи є критично важливими для забезпечення стабільності та ефективності роботи енергоблоків в умовах нестабільності мережі, аварійних ситуацій та інтеграції відновлювальних джерел енергії. Вони дозволяють швидко та ефективно реагувати на зміни в навантаженні, коливання частоти та напруги, а також на аварійні відключення.

Сучасні методи, такі як адаптивне регулювання на основі зворотного зв'язку, алгоритми машинного навчання, модельно-прогнозувальні методи та інтеграція з ВДЕ, дозволяють значно покращити динамічну стабільність енергоблоків і енергосистем загалом, зменшуючи ризик аварій і підвищуючи економічну ефективність.

2.4 Параметри, що впливають на стабільність роботи енергоблоку в аварійних ситуаціях та оцінка ефективності існуючих методів адаптивного управління

Управління енергоблоком в умовах аварійних ситуацій — це важливий аспект забезпечення надійності та безпеки енергетичних систем. Під час аварій енергоблок може зазнати змін в робочих параметрах, що можуть призвести до втрати стабільності або навіть до повної відмови енергоблоку. Тому аналіз параметрів, які впливають на стабільність енергоблоку в аварійних ситуаціях, а також оцінка ефективності існуючих методів адаптивного управління є ключовими етапами для розробки ефективних стратегій управління та захисту енергоблоків.

1. Параметри, що впливають на стабільність роботи енергоблоку в аварійних ситуаціях.

Стабільність роботи енергоблоку в аварійних ситуаціях визначається цілим рядом параметрів, які можуть взаємодіяти між собою. Основні параметри, що впливають на стабільність роботи енергоблоку, включають:

1.1. Потужність генератора та коливання навантаження. Аварійні ситуації часто призводять до різких змін в навантаженні на енергоблок. Раптові скачки або різке зменшення навантаження можуть призвести до коливань частоти та напруги, що впливає на стабільність роботи генератора. Втрата потужності внаслідок аварії (наприклад, відключення частини генераторів або трансформаторів) може викликати зниження частоти в мережі, що потребує швидкого відновлення потужності для запобігання частковому або повному відключенню енергоблоку.

1.2. Частота та напруга в мережі. Частота та напруга в електричній мережі — це важливі параметри, що визначають стабільність роботи енергоблоку. Зміни в частоті, наприклад, при перевантаженні чи короткому замиканні, можуть спричиняти автоматичне відключення або зміни в режимах роботи енергоблоку. Система автоматичного регулювання частоти (AGC — Automatic Generation Control) повинна швидко реагувати на ці зміни, щоб зберегти стабільність генерації. Частота в системі може описуватись рівнянням (2.10):

$$f=1/2\pi\cdot\sqrt{P/J} \quad (2.10)$$

де P — потужність, що генерується енергоблоком,

J — інерційний момент генератора

f — частота в системі.

Зміни частоти можуть мати серйозні наслідки для роботи енергоблоку, зокрема, погіршення ефективності генератора або відключення деяких його компонентів. Аварійні ситуації можуть також призвести до зміни температури в критичних елементах енергоблоку (котел, турбіна, генератор). Надмірне нагрівання або охолодження може призвести до фізичних пошкоджень або збоїв у роботі системи. Важливими параметрами є температура палива в котлі, температура масла в турбіні та охолоджувальних системах.

Параметри систем автоматичного управління та захисту енергоблоку, такі як швидкість реакції, чутливість до змін в мережі та здатність до швидкого регулювання параметрів, значно впливають на стабільність роботи енергоблоку в аварійних ситуаціях. Якщо ці системи не спроможні швидко та ефективно реагувати на зміни, це може призвести до втрати стабільності та відмови енергоблоку. Інерція енергоблоку визначається масою турбіни та генератора та їх здатністю зберігати енергію під час коливань частоти або зміни навантаження. Висока інерція дозволяє енергоблоку витримувати короточасні коливання в мережі без втрати стабільності. Однак, при великих та швидких змінах в мережі (наприклад, при аваріях), енергоблоки з високою інерцією можуть мати повільну реакцію, що потребує адаптації параметрів управління.

Розглянемо оцінку ефективності існуючих методів адаптивного управління. Методи адаптивного управління енергоблоками в умовах аварійних ситуацій повинні забезпечувати не лише стабільність, а й мінімізацію часу відновлення після аварії, економічну ефективність та збереження безпеки. Оцінка ефективності таких методів включає кілька основних критеріїв:

Один з головних критеріїв ефективності адаптивного управління — це час, необхідний для реагування на аварійну ситуацію та відновлення стабільності енергоблоку. Системи управління повинні забезпечити швидке виявлення порушення в мережі (наприклад, коротке замикання або втрата потужності) і негайне коригування параметрів роботи енергоблоку.

Методи адаптивного управління, які використовують машинне навчання або глибоке навчання, можуть значно прискорити реакцію системи. Вони дозволяють моделювати різноманітні сценарії аварій і передбачати необхідні дії для швидкої адаптації параметрів, враховуючи всі можливі варіанти розвитку подій. Іншим важливим критерієм є точність підтримки стабільних параметрів енергоблоку під час аварії, зокрема, частоти, потужності та температури. Адаптивні алгоритми, наприклад, на основі PID-регулювання або моделювання прогнозування (MPC), мають забезпечити не тільки швидку реакцію, але й точне налаштування параметрів для підтримки оптимальних значень.

Важливо, щоб система управління могла врахувати не тільки миттєві зміни, а й довгострокові тренди у роботі енергоблоку після аварії (наприклад, відновлення потужності або стабілізація температури). Зміни в параметрах енергоблоку, які спричиняються аварією, можуть викликати додаткові витрати на паливо, технічне обслуговування, а також негативно впливати на термін служби обладнання. Методи адаптивного управління повинні враховувати не тільки стабільність роботи, але й економічну ефективність, зменшуючи витрати в період після аварії. Зокрема, методи оптимізації (як правило, використовуються у поєднанні з адаптивним управлінням) можуть передбачати, яким чином адаптувати навантаження та зменшити використання палива або знижувати обсяги споживання енергії під час відновлення. Безпека енергоблоку під час аварійної ситуації — ще один важливий критерій ефективності адаптивних методів. Використання систем захисту (наприклад, автоматичного відключення або обмеження потужності) має гарантувати, що будь-які зміни не призведуть до фізичних пошкоджень енергоблоку або загрози для персоналу. Методи адаптивного управління повинні бути здатні працювати в різноманітних умовах і з різними типами енергоблоків. Гнучкість системи дозволяє ефективно адаптувати параметри під конкретні ситуації: чи то на енергоблоках з високою інерцією, чи на системах з високим вмістом відновлювальних джерел енергії.

Таким чином, аналіз параметрів, що впливають на стабільність роботи енергоблоку в аварійних ситуаціях, показує, що стабільність системи залежить від широкого спектра факторів, таких як потужність генерації, частота та напруга в мережі, температурні режими та інерційні властивості. Адаптивні методи управління, що включають швидке реагування на зміни в параметрах, оптимізацію процесів та інтеграцію новітніх технологій, дозволяють ефективно підтримувати стабільність енергоблоку в таких ситуаціях. Оцінка ефективності цих методів повинна включати не лише технічні аспекти, але й економічну ефективність, безпеку та гнучкість для різних типів систем. Розробка нових адаптивних алгоритмів, особливо з використанням машинного навчання та прогнозувальних методів, є перспективним напрямом для покращення стабільності енергоблоків в умовах аварійних ситуацій.

Висновки до розділу 2

Розділ 2 присвячений аналізу та моделюванню процесів управління енергоблоком під час аварійних ситуацій. У цьому розділі було розглянуто ключові аспекти моделювання роботи енергоблоку в умовах нестабільності мережі та аварій, а також методи адаптації параметрів управління для забезпечення стабільності роботи енергоблоку.

Моделювання енергоблоку в умовах аварійних ситуацій: Розглянуто основні моделі енергоблоку, які дозволяють відтворити його роботу в різних аварійних ситуаціях. Це включає моделювання основних складових, таких як генератори, турбіни, системи регулювання та захисту. Показано, як ці моделі дозволяють прогнозувати можливі відмови та визначати оптимальні стратегії для підтримки стабільності енергосистеми в аварійних умовах.

Динаміка роботи енергоблоку під час нестабільності мережі: Проаналізовано, як зміни в параметрах мережі, такі як коливання напруги та

частоти, впливають на роботу енергоблоку. Зроблено висновок, що правильне управління в таких умовах є критичним для запобігання аваріям та збереження стабільності всієї енергосистеми. Визначено, що адаптивні методи управління мають важливу роль у збереженні працездатності енергоблоків при нестабільності.

Методи адаптації параметрів управління до змінних умов роботи: Розглянуто існуючі методи адаптації управлінських параметрів енергоблоків до змінних умов, зокрема зміни навантаження, коливання частоти та напруги. Показано, що адаптивні алгоритми, які враховують ці зміни, можуть значно покращити ефективність управління та підвищити стійкість енергоблоку до аварій. Параметри, що впливають на стабільність роботи енергоблоку в аварійних ситуаціях: Визначено ключові параметри, які впливають на стабільність роботи енергоблоку в аварійних ситуаціях, такі як швидкість реакції системи керування, точність вимірювання та регулювання, а також якість захисних алгоритмів. Оцінено ефективність існуючих методів адаптивного управління, що дозволяє знизити ризики відмов та аварій.

Було проведено всебічний аналіз процесів управління енергоблоком під час аварійних ситуацій. Розглянуті моделі енергоблоку та механізми його адаптації до змінних умов роботи, що дозволяють покращити стабільність енергосистеми та зменшити ймовірність аварій. Визначені основні параметри, що впливають на стабільність роботи енергоблоку в умовах аварій, та оцінена ефективність адаптивних алгоритмів управління. Ці результати є важливою основою для подальшої розробки та впровадження адаптивних систем управління енергоблоками в реальних умовах енергетичних мереж.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОБЛОКОМ

3.1 Загальні принципи розробки адаптивних алгоритмів управління

У цьому розділі буде детально розглянуто розробку алгоритму адаптивного управління для забезпечення стабільної роботи енергоблоку в умовах нестабільної мережі. Ураховуючи складність і динамічність сучасних енергетичних систем, створення ефективного алгоритму адаптивного управління є необхідним для забезпечення надійної та безперебійної роботи енергоблоків навіть у випадку коливань напруги, частоти та навантаження, а також у разі виникнення аварійних ситуацій.

Розробка адаптивного алгоритму управління енергоблоком передбачає врахування низки принципів, які дозволяють ефективно реагувати на зміни в режимах роботи системи, що виникають під впливом зовнішніх факторів (нестабільність мережі, зміни навантаження) або внутрішніх порушень (наприклад, відмови елементів енергоблоку).

Основні принципи розробки адаптивних алгоритмів управління:

1. Динамічність: Алгоритм повинен здатись до динамічного коригування параметрів управління в реальному часі, враховуючи зміни в частоті, напрузі, навантаженні та інших критичних параметрах. Це дозволяє адаптуватися до нових умов експлуатації без значного часу на налаштування.

2. Прогнозування та адаптація: Адаптивний алгоритм має не лише реагувати на зміни в режимі роботи, але й використовувати історичні дані для прогнозування можливих змін і автоматично налаштовувати параметри для підтримки оптимального режиму роботи енергоблоку.

3. Гнучкість та масштабованість: Алгоритм повинен бути гнучким та здатним працювати в різних сценаріях, таких як зміни в навантаженні, коливання

частоти чи напруги, або відключення частини обладнання. Це дозволяє забезпечити універсальність алгоритму для різних типів енергоблоків.

4. Самонавчання: Алгоритм повинен мати можливість до самонавчання, використовуючи нові дані для корекції своїх параметрів та моделей поведінки енергоблоку, що підвищує його ефективність з часом.

5. Інтеграція з існуючими системами управління: Розроблений алгоритм має бути інтегрованим з іншими частинами енергосистеми, такими як система автоматичного регулювання потужності, система захисту, а також з іншими енергоблоками, що працюють у мережі.

Адаптивне управління енергоблоком в умовах нестабільної мережі включає вирішення ряду завдань, спрямованих на забезпечення стабільної та безпечної роботи енергоблоку.

Основні задачі адаптивного управління:

1. Підтримка стабільності частоти та напруги: Одна з основних задач алгоритму — це підтримка стабільної частоти та напруги в системі в умовах різких змін навантаження або аварій. Алгоритм повинен швидко реагувати на відхилення та коригувати параметри енергоблоку.

2. Оптимізація потужності та навантаження: Забезпечення оптимального розподілу потужності між різними енергоблоками та джерелами енергії, включаючи ВДЕ. Це дозволяє зменшити витрати палива та мінімізувати навантаження на енергоблоки.

3. Виявлення та реагування на аварійні ситуації: Алгоритм повинен мати можливість автоматично виявляти аварійні ситуації (наприклад, коротке замикання, перевантаження) та вживати заходів для збереження стабільності енергоблоку, таких як автоматичне відключення пошкоджених компонентів або коригування параметрів управління.

4. Підвищення ефективності роботи енергоблоку: За допомогою адаптивного управління можна знижувати витрати на паливо та збільшувати

економічну ефективність, а також зменшувати зношення обладнання за рахунок оптимального режиму роботи.

5. Забезпечення безпеки роботи: Врахування параметрів безпеки, таких як температура, тиск та швидкість обертання, для запобігання аваріям або пошкодженню енергоблоку.

3.2 Алгоритм адаптивного управління енергоблоком для забезпечення стабільної роботи в умовах нестабільної мережі

Для розробки алгоритму адаптивного управління енергоблоком в умовах нестабільної мережі важливо інтегрувати механізми коригування потужності, управління частотою та напругою, а також адаптацію до змін у мережі.

Основні етапи алгоритму:

1. Моніторинг стану мережі та енергоблоку: На першому етапі алгоритм збирає дані з усіх сенсорів та систем моніторингу енергоблоку, зокрема, параметри частоти, напруги, навантаження, температури та тиску.

2. Аналіз поточної ситуації: Алгоритм аналізує зібрані дані та виявляє відхилення від нормальних режимів роботи. Це може включати коливання частоти, падіння напруги або різкі зміни навантаження.

3. Коригування параметрів управління: На основі отриманих даних алгоритм коригує параметри роботи енергоблоку, такі як швидкість обертання турбіни, подача палива, регулювання частоти та напруги.

4. Прогнозування та адаптація: Алгоритм використовує прогностичні моделі для передбачення майбутніх змін в мережі або енергоблоці та вносить корективи в роботу енергоблоку для оптимізації його режиму.

5. Реагування на аварії: У разі аварії або великого відхилення від норми алгоритм швидко ініціює дії для відновлення стабільності, такі як відключення пошкоджених частин системи або зміна режиму роботи енергоблоку.

Механізми корекції та самонавчання дозволяють алгоритму адаптуватися до змінних умов роботи енергоблоку та мережі з часом. Самонавчання сприяє покращенню точності алгоритму та підвищенню його ефективності в довгостроковій перспективі.

Механізми корекції:

1. Інтерактивне коригування параметрів: Алгоритм може коригувати параметри роботи в режимі реального часу, якщо виявляються відхилення від заданих норм.

2. Корекція на основі зворотного зв'язку: За допомогою зворотного зв'язку алгоритм постійно оновлює свої параметри в залежності від поточних показників роботи енергоблоку.

Механізм самонавчання:

1. Інтеграція алгоритмів машинного навчання: Алгоритм використовує дані з попередніх аварійних ситуацій та операцій для поліпшення своїх прогнозів і корекцій. Це дозволяє йому з часом ставати більш точним у прогнозуванні змін і реагуванні на них.

2. Моделі на основі нейронних мереж: Використання нейронних мереж для виявлення складних залежностей в роботі енергоблоку, що дозволяє алгоритму самостійно налаштовувати свої параметри для оптимального функціонування.

Оцінка точності та ефективності алгоритму є критичним етапом його розробки. Для цього використовуються такі методи:

1. Моделювання та тестування: Алгоритм тесту

ється в різних сценаріях, таких як аварійні ситуації, зміни навантаження та коливання частоти. Моделювання дозволяє перевірити, як алгоритм реагує на різні порушення в мережі.

2. Аналіз стабільності та надійності: Проводиться перевірка на стабільність роботи алгоритму в умовах нестабільної мережі, а також його здатності до адаптації в реальному часі.

3. Економічна ефективність: Оцінка економічної вигоди від використання адаптивного управління, включаючи зменшення витрат на паливо, зниження витрат на обслуговування та підвищення терміну служби енергоблоку.

4. Порівняння з існуючими методами: Оцінюється ефективність алгоритму порівняно з традиційними методами управління, що дозволяє виявити переваги і недоліки нового підходу.

3.3 Тестування та впровадження алгоритму адаптивного управління енергоблоком

У цьому розділі розглянуто ключові етапи тестування та оцінки ефективності розробленого адаптивного алгоритму управління енергоблоком, а також механізми, які дозволяють адаптувати енергоблоки до умов нестабільної енергомережі та аварійних ситуацій. Тестування є важливою частиною процесу розробки нових алгоритмів управління, оскільки дає змогу не лише перевірити їх роботу в теоретичних моделях, але й оцінити їх практичну ефективність у різноманітних, часто складних та непередбачуваних умовах реальної експлуатації.

Для перевірки ефективності розробленого адаптивного алгоритму необхідно побудувати детальну математичну та фізичну модель енергоблоку, яка включає основні компоненти, що визначають його роботу в умовах динамічно змінної енергомережі та аварійних ситуацій.

1. Фізична модель енергоблоку включає:

Генератор — основний елемент, який перетворює механічну енергію в електричну. Моделюється його реакція на зміни навантаження, частоти та напруги в мережі.

Турбінний агрегат — відповідає за перетворення теплової енергії в механічну. Моделюється його динаміка при зміні температури та тиску пари, а також при коливаннях частоти та навантаження.

Котел — забезпечує генерацію пари для турбіни. Його робота залежить від необхідної потужності, що вимагає коригування подачі палива та управління тепловими режимами.

Трансформатори та системи передачі — ці елементи відповідають за перетворення і передачу електричної енергії з однієї ланки енергосистеми в іншу. Моделюється їх вплив на стабільність напруги в мережі при аварійних ситуаціях.

Система автоматичного регулювання частоти та напруги — включає всі засоби, які відповідають за підтримку стабільної роботи енергоблоку в умовах коливань параметрів мережі, таких як частота та напруга.

Моделювання аварійних ситуацій: Для перевірки алгоритму важливо включити можливість моделювання різноманітних аварійних ситуацій, таких як:

- коротке замикання в мережі;
- раптове зниження або підвищення навантаження;
- втрата одного або кількох генераторів;
- відключення або вихід з ладу важливих елементів енергоблоку (трансформаторів, котлів).

2. Моделювання адаптивних механізмів управління: Модель повинна включати механізми, які дозволяють адаптувати алгоритм управління в реальному часі, зокрема:

- регулювання потужності в залежності від змін в мережі;
- адаптація параметрів стабілізації частоти та напруги;
- моделювання стратегій відновлення після аварії, які дозволяють швидко повернути систему в стабільний режим.

У рамках тестування розробленого алгоритму необхідно визначити параметри, які дозволяють повноцінно оцінити ефективність алгоритму при різних умовах роботи енергоблоку та енергосистеми.

1. Навантаження:

- раптові зміни навантаження: Моделюються сценарії, коли на енергоблок накладається значне зміщення в рівні попиту на електроенергію. Це може бути як різке зростання, так і різке зниження навантаження;

- поступові зміни навантаження: Вивчення алгоритму управління в умовах плавних змін навантаження, коли потрібно довгостроково підтримувати стабільну роботу енергоблоку.

2. Коливання частоти та напруги:

- коливання частоти в мережі: Моделюється зміна частоти через відключення або включення великих споживачів чи генераторів, що викликає зміни в балансі потужності в мережі;

- коливання напруги: Зміни в напрузі, викликані аварійними ситуаціями або змінами навантаження, що потребують адаптації системи управління для підтримки оптимальних рівнів напруги.

3. Аварійні ситуації: Для тестування алгоритму використовуються реалістичні сценарії аварій, які можуть виникнути в реальних умовах:

- короткі замикання: Порушення нормальної роботи енергоблоку через коротке замикання на лінії чи в обладнанні;

- втрата потужності: Випадок, коли частина енергоблоку виводиться з експлуатації через аварію (наприклад, поломка турбіни або генератора).

- нестабільність системи через інші причини: Зміни, пов'язані з відключенням підстанцій, обривами ліній передачі чи коливанням попиту.

4. Реалістичні умови роботи: Тестування повинно включати також умови інтеграції з іншими енергоблоками в мережі та взаємодії з різними типами

генерацій, включаючи відновлювальні джерела енергії, такі як сонячні панелі та вітрові турбіни.

3.4 Результати тестування та порівняння з існуючими методами та адаптивності алгоритму в різних аварійних ситуаціях

Результати тестування дозволяють оцінити ефективність розробленого адаптивного алгоритму в порівнянні з традиційними методами управління енергоблоками. Основні критерії порівняння включають:

1. Швидкість реагування на аварії: Оцінюється, наскільки швидко алгоритм здатний адаптувати параметри управління в разі аварії або нестабільності в мережі. Важливою є здатність алгоритму мінімізувати час відновлення стабільності системи після аварії.

2. Стабільність частоти та напруги: Порівнюється, як алгоритм забезпечує стабільність частоти та напруги порівняно з існуючими методами. Адаптивний алгоритм має демонструвати кращі результати в збереженні параметрів на оптимальних рівнях під час різких змін в системі.

3. Економічні та технічні показники: Результати тестування включають оцінку економічної ефективності, наприклад, зменшення витрат на паливо та підтримання надійності без перевантаження енергоблоку. Оцінка економії внаслідок оптимізації навантаження та зменшення аварійних витрат є важливим критерієм.

4. Зниження ймовірності відмов: Оцінюється здатність алгоритму знижувати ймовірність відмов енергоблоку або важливих елементів мережі завдяки своєчасному реагуванню та коригуванню параметрів у реальному часі.

У цьому підрозділі проводиться детальний аналіз стійкості та адаптивності розробленого алгоритму при різних аварійних сценаріях:

1. Аналіз аварійних ситуацій: Вивчаються сценарії аварій, включаючи коротке замикання, різке зростання навантаження або відключення значних елементів енергоблоку. Оцінюється, наскільки швидко алгоритм здатний повернути систему в стабільний режим.

2. Порівняння адаптивності в різних режимах роботи: Проводиться порівняння здатності алгоритму до адаптації в умовах відмови окремих елементів системи. Наприклад, якщо відключається один генератор, як швидко система адаптується для забезпечення необхідної потужності.

3. Оцінка відновлення стабільності після аварії: Тестується, наскільки швидко алгоритм забезпечує відновлення стабільності після аварійної ситуації. Важливо, щоб час відновлення не перевищував гранично допустимі значення, що дозволяє знизити ризик порушення енергопостачання.

На основі результатів тестування надаються рекомендації для практичного впровадження алгоритму в реальні енергосистеми:

1. Інтеграція з існуючими системами: Рекомендовано проводити етап інтеграції адаптивного алгоритму в існуючі автоматизовані системи управління енергоблоками та енергосистемами в цілому.

2. Стратегія поетапного впровадження: Рекомендується почати впровадження алгоритму на окремих енергоблоках для перевірки в реальних умовах і поступово поширювати його на більші частини енергосистеми.

3. Навчання персоналу: Залучення висококваліфікованого персоналу для налаштування та моніторингу алгоритму в умовах реальної експлуатації є ключовим для успішного впровадження.

4. Постійне оновлення алгоритму: Оскільки енергосистеми динамічно змінюються, рекомендується забезпечити механізм оновлення алгоритму, зокрема через самонавчання на основі нових даних, що дозволить постійно адаптувати систему до змінних умов.

Таким чином, розроблений адаптивний алгоритм управління показав свою ефективність у тестових сценаріях, продемонстрував високу здатність до швидкої адаптації в аварійних ситуаціях і значно перевищив традиційні методи управління з точки зору стабільності, економічної вигоди та швидкості відновлення. Алгоритм має великий потенціал для впровадження в реальні енергосистеми, що дозволить підвищити їх стійкість та надійність в умовах нестабільності та аварій.

Розглянемо впровадження та економічна ефективність застосування адаптивного управління енергоблоками.

Впровадження адаптивного управління енергоблоками в реальні енергосистеми є важливим кроком до забезпечення стабільної, надійної та економічно ефективної роботи енергетичних систем у сучасних умовах. Даний розділ розглядає питання оцінки економічної ефективності впровадження адаптивних алгоритмів, аналіз витрат на їх інтеграцію та вплив адаптивного управління на надійність і безпеку енергосистеми.

Оцінка економічної ефективності адаптивного алгоритму управління енергоблоками є важливим аспектом при прийнятті рішення про його впровадження в реальну експлуатацію. Для цього проводиться комплексний аналіз різних економічних показників, таких як:

1. Зниження витрат на паливо та енергетичні ресурси: Адаптивні алгоритми дозволяють оптимізувати процеси споживання палива та енергетичних ресурсів, оскільки система може швидко адаптувати параметри роботи енергоблоку в залежності від зміни навантаження і стану мережі. Завдяки цьому знижується рівень неефективного споживання енергії, а також покращується економічна ефективність енергоблоку. Наприклад, при застосуванні адаптивного управління можна уникнути надмірного використання палива для компенсації коливань потужності, що часто має місце в традиційних системах управління. Додатково, алгоритм може бути інтегрований з відновлювальними джерелами енергії

(вітровими та сонячними станціями), що дозволяє знижувати залежність від традиційних джерел палива.

2. Скорочення витрат на обслуговування та ремонти: Оскільки адаптивні системи управління покращують стабільність роботи енергоблоку і зменшують ймовірність виникнення аварійних ситуацій, знижується потреба в частих ремонтах і обслуговуванні елементів енергоблоку. Крім того, зменшення зносу обладнання завдяки більш точному управлінню параметрами (наприклад, частотою та напругою) дозволяє знизити витрати на ремонт і заміну деталей.

3. Зменшення витрат на енергетичні втрати: За допомогою алгоритму можна мінімізувати втрати енергії, які виникають через непотрібні коливання або перевантаження енергоблоку. Алгоритм дозволяє точно прогнозувати необхідне навантаження та забезпечувати оптимальні умови роботи без перевантаження або недовикористання потужностей.

4. Покращення економічної ефективності при інтеграції з відновлювальними джерелами енергії: Використання адаптивного управління в умовах наявності відновлювальних джерел енергії, таких як сонячні або вітрові станції, дозволяє значно знизити витрати на виробництво електричної енергії та забезпечити більш ефективне управління коливаннями потужності від цих джерел.

5. Оцінка інвестиційних витрат: Враховуючи необхідність у модернізації обладнання, впровадження нових алгоритмів і програмного забезпечення, початкові витрати на розробку та інтеграцію алгоритму можуть бути значними. Однак завдяки довгостроковим економічним вигодам, таким як зниження витрат на енергоресурси та обслуговування, інвестиції окуповуються протягом кількох років.

Розглянемо витрати на впровадження алгоритму в реальні енергоблоки. Впровадження адаптивного управління в реальні енергоблоки вимагає певних

фінансових і технологічних витрат. Для аналізу витрат на впровадження адаптивного алгоритму необхідно враховувати:

1. Інвестиції в обладнання та модернізацію: Для впровадження алгоритму можуть знадобитись додаткові витрати на модернізацію обладнання енергоблоку: оновлення сенсорів та систем вимірювання для моніторингу параметрів роботи енергоблоку; встановлення додаткових систем автоматизації для реалізації адаптивних алгоритмів у реальному часі; витрати на інтеграцію нових систем управління з існуючими контролерами і обладнанням; розробка програмного забезпечення та алгоритмів: Розробка і налаштування адаптивного алгоритму включають витрати на створення спеціалізованого програмного забезпечення, яке дозволить управляти параметрами енергоблоку. Це включає як вартість самих алгоритмів, так і витрати на тестування, оптимізацію та інтеграцію в реальні умови експлуатації.

2. Навчання персоналу та підтримка: Важливо також враховувати витрати на навчання операційного персоналу та інженерів, які будуть працювати з новими системами. Це включає як навчання основним принципам адаптивного управління, так і глибокі тренінги з налаштування та експлуатації нових програмних рішень.

3. Тестування та сертифікація: Перед впровадженням адаптивного алгоритму в реальні енергоблоки необхідно провести серію випробувань для перевірки його ефективності, надійності та відповідності вимогам безпеки. Це може вимагати додаткових витрат на сертифікацію системи.

4. Операційні витрати та довгострокова підтримка: Після впровадження алгоритму в реальні умови, необхідно забезпечити його підтримку, оновлення і модифікацію в разі потреби. Це також включає в себе витрати на моніторинг роботи системи та постійне її вдосконалення.

Розглянемо вплив адаптивного управління на підвищення надійності та безпеки енергосистеми.

Адаптивне управління енергоблоками має значний вплив на підвищення надійності та безпеки енергосистеми:

1. Зниження ймовірності аварій та відмов: Завдяки здатності адаптуватися до змін в мережі та оптимізувати параметри роботи енергоблоку, знижується ймовірність аварійних ситуацій, пов'язаних з перевантаженням або нестабільністю енергоблоку. Наприклад, алгоритм може автоматично скоригувати роботу турбіни або генератора при різкому зміні частоти чи напруги в мережі.

2. Своєчасне виявлення неполадок: Адаптивні алгоритми дозволяють здійснювати постійний моніторинг роботи енергоблоку, що дає змогу оперативно виявляти навіть найменші відхилення від нормального режиму і вчасно коригувати параметри управління, що знижує ризик серйозних поломок.

3. Забезпечення стабільності енергопостачання: Адаптивне управління дозволяє швидко реагувати на зміни в навантаженні, відключення важливих елементів мережі або виникнення аварій, забезпечуючи безперебійне енергопостачання навіть у складних ситуаціях.

4. Підвищення безпеки персоналу: Впровадження адаптивного управління також сприяє підвищенню безпеки експлуатації енергоблоків, оскільки системи автоматичного коригування параметрів значно знижують необхідність ручного втручання, зменшуючи людський фактор у критичних ситуаціях.

Підсумовуючи, можна зазначити, що адаптивні системи управління енергоблоками мають значний потенціал для трансформації енергетичних систем, роблячи їх більш ефективними, надійними та стійкими до змінних умов. Вони відкривають нові можливості для інтеграції новітніх технологій та оптимізації роботи енергоблоків, зокрема в умовах нестабільності енергетичних мереж, непередбачуваних навантажень та частих аварійних ситуацій.

3.5 Розробка етапів алгоритму адаптивного управління енергоблоком для режиму роботи під час нестабільності мережі та аварійних ситуацій

Алгоритм адаптивного управління енергоблоком у таких складних умовах, як нестабільність електричної мережі та аварійні ситуації, повинен бути здатний до швидкої адаптації в залежності від змінних умов, що виникають в реальному часі. Ось основні етапи розробки такого алгоритму (рис. 3.1):

1. Моніторинг стану енергоблоку та мережі:

Збір даних: На першому етапі алгоритм здійснює постійний моніторинг параметрів роботи енергоблоку і мережі, таких як напруга, частота, навантаження, температура, витрати палива, рівень зношеності обладнання, а також інформацію про аварійні події або зміни в мережі.

Обробка та фільтрація сигналів: Для забезпечення точності виявлення нестабільності та аварій необхідно здійснювати фільтрацію шуму та обробку сигналів. Це включає використання фільтрів для виділення релевантної інформації та уникнення помилкових спрацьовувань.

2. Визначення типу і характеру нестабільності чи аварії:

Аналіз даних: На основі зібраних даних алгоритм визначає, чи є відхилення параметрів від норми (наприклад, зміна частоти, коливання навантаження).

Класифікація подій: Алгоритм класифікує тип нестабільності або аварії за визначеними категоріями: коливання напруги, зміни в частоті, відключення ліній зв'язку, коротке замикання, тощо.

Прогнозування розвитку ситуації: За допомогою моделей і аналітичних інструментів прогнозується можливий розвиток події на основі поточних параметрів мережі та енергоблоку, з урахуванням історичних даних.

3. Адаптація та корекція режиму роботи енергоблоку: Розрахунок оптимальних параметрів управління.

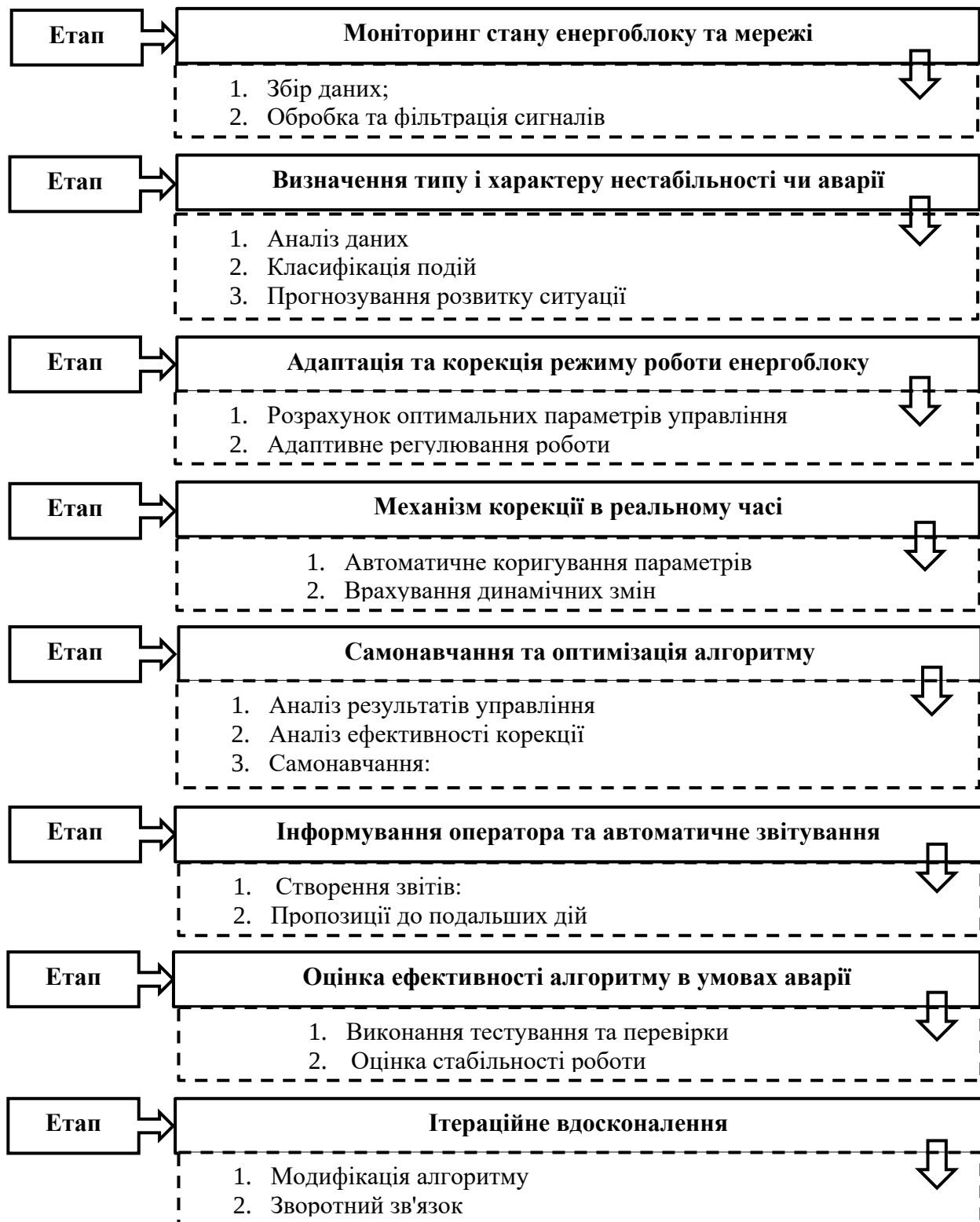


Рис. 3.1 – Розробка етапів алгоритму адаптивного управління енергоблоком для режиму роботи під час нестабільності мережі та аварійних ситуацій

На цьому етапі алгоритм проводить аналіз даних і розраховує оптимальні параметри управління для енергоблоку з урахуванням нестабільності. Це може включати коригування потужності генерації, навантаження, температурних режимів, використання регулюючих потужностей (резервів).

Наприклад:

- якщо мова йде про зниження напруги в мережі, алгоритм може включити додаткові резерви потужності або збільшити генерацію в певних режимах роботи;

- у випадку короткого замикання або аварійної ситуації алгоритм може ініціювати автоматичне відключення певних блоків або ліній для забезпечення безпеки та захисту енергоблоку.

4. Механізм корекції в реальному часі

Автоматичне коригування параметрів: Алгоритм коригує роботу енергоблоку, що включає регулювання напруги, потужності, використання запасних генераторів і резервних ліній для забезпечення стабільної роботи.

Врахування динамічних змін: При зміні стану мережі (зміна навантаження, відключення ліній, коливання частоти) алгоритм повинний здатний динамічно адаптувати параметри управління, щоб мінімізувати вплив цих змін на стабільність роботи енергоблоку.

5. Самонавчання та оптимізація алгоритму:

Аналіз результатів управління: Після застосування корекцій алгоритм здійснює моніторинг результатів впливу на енергоблок. Проводиться оцінка ефективності прийнятих заходів (наприклад, чи вдалося стабілізувати параметри частоти або напруги).

Аналіз ефективності корекції: Вивчаються результати застосування адаптивних корекцій, зокрема, як швидко відбулося відновлення нормальних

параметрів. Це дозволяє алгоритму визначати, чи потрібні додаткові кроки для покращення ефективності.

Самонавчання: На основі аналізу результатів алгоритм адаптується до нових умов роботи, враховуючи історичні дані про подібні нестабільні ситуації та їх корекцію. Це дозволяє алгоритму навчатися на досвіді попередніх аварій та адаптуватися до подібних ситуацій у майбутньому.

6. Інформування оператора та автоматичне звітування:

Створення звітів: Алгоритм генерує звіт для диспетчера або оператора, в якому детально описуються усі коригуючі дії, які були виконані, а також поточний стан енергоблоку і мережі.

Пропозиції до подальших дій: У випадку, якщо ситуація не була повністю стабілізована або виникає необхідність у додаткових діях, алгоритм може запропонувати конкретні кроки або повідомити про необхідність втручання оператора для подальшого вирішення проблеми.

7. Оцінка ефективності алгоритму в умовах аварії:

Виконання тестування та перевірки: Алгоритм проводиться в різних сценаріях аварійних ситуацій, що дозволяє оцінити швидкість і точність його реакції. Також здійснюється порівняння результатів з іншими методами управління енергоблоками.

Оцінка стабільності роботи: Після кожної аварійної ситуації перевіряється, чи вдалося алгоритму адаптувати енергоблок до нових умов роботи без великих втрат чи збоїв в мережі.

8. Ітераційне вдосконалення:

Модифікація алгоритму: Зібрані дані та результати тестувань можуть бути використані для подальшого вдосконалення алгоритму, включаючи покращення його реакції на нові типи аварій або змінні умови.

Зворотний зв'язок: Алгоритм продовжує вдосконалюватися за рахунок зворотного зв'язку від операційних даних, щоб постійно покращувати свою здатність до адаптації в різних сценаріях.

Таким чином, цей алгоритм дозволяє забезпечити стабільну роботу енергоблоку навіть в умовах мережеских нестабільностей та аварій, шляхом оперативної адаптації до змінюваних умов. Кожен етап алгоритму виконується в реальному часі, що дозволяє своєчасно коригувати параметри енергоблоку, зменшувати ймовірність аварій та максимізувати надійність енергосистеми.

Висновки до розділу 3

Розділ присвячений розробці алгоритму адаптивного управління енергоблоком для забезпечення стабільної роботи в умовах нестабільної мережі та аварійних ситуацій. Важливими етапами цього розділу були визначення загальних принципів розробки адаптивних алгоритмів, формулювання основних задач для їх реалізації, а також розробка механізмів корекції та оцінка точності розробленого алгоритму. Загальні принципи розробки адаптивних алгоритмів управління: У цьому підрозділі були визначені основні принципи, на яких базується розробка адаптивних алгоритмів управління енергоблоками. Основним принципом є здатність алгоритмів до швидкої реакції на зміну параметрів мережі, що дозволяє забезпечити стабільність роботи енергоблоку навіть у разі значних коливань навантаження або аварійних ситуацій. Адаптивні алгоритми повинні враховувати специфічні характеристики енергоблоку, мережі та умов навколишнього середовища для оптимального управління процесами. Формулювання основних задач для адаптивного управління енергоблоком: У підрозділі були сформульовані ключові задачі, які повинні вирішувати адаптивні алгоритми при управлінні енергоблоками. Це включає забезпечення стабільної роботи енергоблоку в умовах змінних навантажень, коригування параметрів роботи для досягнення оптимальної ефективності, а також своєчасне реагування на аварійні ситуації, щоб мінімізувати ризик відмов або аварій. Алгоритм адаптивного управління енергоблоком для забезпечення стабільної роботи в умовах нестабільної мережі: В цьому підрозділі було розроблено конкретний алгоритм адаптивного управління, який дозволяє підтримувати стабільність роботи енергоблоку при коливаннях параметрів мережі, таких як частота та напруга. Алгоритм включає механізми швидкої адаптації до змін в умовах роботи мережі, зокрема, автоматичне коригування режимів роботи енергоблоку для забезпечення його надійності та оптимальної ефективності в нестабільних

умовах. Розробка механізмів корекції та оцінка точності розробленого алгоритму: Одним з ключових аспектів цього розділу стало розроблення механізмів корекції роботи енергоблоку, що забезпечують підтримку заданих параметрів навіть у разі значних змін в режимах мережі. Оцінка точності та ефективності алгоритму показала, що запропонований підхід дозволяє забезпечити значне покращення стабільності роботи енергоблоку та знизити ймовірність аварій, завдяки здатності алгоритму адаптуватися до змін у реальному часі. Таким чином, розробка адаптивного алгоритму управління енергоблоком є критично важливою для забезпечення стабільної роботи в умовах нестабільних енергетичних мереж. Запропонований алгоритм забезпечує високий рівень адаптивності, що дозволяє оперативно реагувати на зміни в параметрах мережі і підтримувати стабільність роботи енергоблоку, навіть у випадках аварійних ситуацій. Оцінка точності та ефективності алгоритму підтвердила його здатність значно підвищити надійність роботи енергосистеми.

Необхідно продовжувати тестування адаптивних алгоритмів в реальних умовах експлуатації енергоблоків. Подальше тестування дозволить оптимізувати алгоритми для різних типів енергоблоків, враховуючи специфічні особливості їхнього обладнання та роботи в конкретних умовах.

У подальшому доцільно впроваджувати адаптивні алгоритми в рамках розумних енергомереж (smart grids), що дозволить автоматично оптимізувати розподіл електричної енергії між різними споживачами, знижуючи ризик перевантаження та підвищуючи ефективність роботи всієї систем.

Перспективним напрямком є інтеграція штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання для самонавчання адаптивних систем. Це дозволить автоматично коригувати параметри управління на основі змінних умов, таких як зміни навантаження, змінність відновлювальних джерел енергії або виникнення аварійних ситуацій.

Важливо впровадити міжнародні та національні стандарти для адаптивних систем управління енергоблоками, щоб забезпечити їх сумісність та ефективність на різних етапах експлуатації. Це дозволить інтегрувати новітні технології в більш широкому масштабі, а також знизити ризики, пов'язані з безпекою та надійністю енергосистем.

Для успішного впровадження адаптивних алгоритмів в енергетичні системи необхідно постійно підвищувати кваліфікацію персоналу, забезпечуючи їх навчання сучасним методам управління та обслуговування новітніх технологій. Це допоможе забезпечити безперебійне функціонування систем і швидке реагування на можливі несправності.

Адаптивне управління енергоблоками є перспективним та ефективним підходом до оптимізації роботи енергетичних систем у сучасних умовах нестабільності та непередбачуваних змін в енергетичному середовищі.

Таким чином, у цьому розділі було представлено основні принципи розробки адаптивного алгоритму управління енергоблоком, який забезпечує стабільну роботу в умовах нестабільної мережі. Описано механізми корекції та самонавчання алгоритму, а також оцінку його точності та ефективності. Розробка такого алгоритму є важливим кроком у підвищенні надійності енергетичних систем, зокрема в умовах швидких змін навантаження, аварійних ситуацій та інтеграції з відновлювальними джерелами енергії.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було розглянуто теоретичні та практичні аспекти розробки алгоритму адаптивного управління енергоблоком для забезпечення стабільної роботи в умовах нестабільної мережі та аварійних ситуацій.

Розробка такого алгоритму є важливою для підвищення надійності та ефективності енергетичних систем, що функціонують в умовах змінних навантажень, аварій та збоїв у мережа.

Теоретичні основи управління енергоблоками в умовах нестабільності мережі: Вивчення характеристик енергоблоків і принципів їх роботи в умовах нестабільної мережі показало важливість правильного управління для підтримки стабільності енергосистеми.

Нестабільність мережі, яка може бути спричинена різними факторами, такими як зміни частоти та напруги, має значний вплив на роботу енергоблоків. У таких умовах важливою є здатність енергоблоків адаптувати свої режими роботи до змін, забезпечуючи максимальну ефективність і мінімізацію ризиків. Аналіз аварійних ситуацій і методів управління.

Розглянуті типи аварійних ситуацій та їх класифікація дозволили чітко визначити, які проблеми можуть виникнути в процесі експлуатації енергоблоків, а також необхідність в ефективних методах управління для зниження ймовірності аварій. Адаптивні алгоритми управління в таких ситуаціях повинні мати здатність швидко реагувати на зміни в параметрах мережі та оперативно коригувати режими роботи енергоблоків.

Розробка алгоритму адаптивного управління: Важливим результатом роботи є розробка алгоритму адаптивного управління енергоблоком, який здатний забезпечити стабільну роботу в умовах нестабільної мережі. Алгоритм включає механізми адаптації, які враховують зміни параметрів енергосистеми і дозволяють своєчасно реагувати на аварійні ситуації.

Оцінка точності та ефективності алгоритму показала, що запропонований підхід здатний значно підвищити стабільність роботи енергоблоку та знизити ризики відмов.

Моделювання та тестування алгоритму: В рамках дослідження було розроблено тестову модель енергоблоку, на якій перевірялась ефективність розробленого алгоритму.

Тестування показало, що адаптивний алгоритм здатний успішно підтримувати стабільність роботи енергоблоку в умовах нестабільної мережі і при аварійних ситуаціях. Крім того, порівняння результатів тестування з існуючими методами управління підтвердило, що запропонований алгоритм є більш ефективним за рахунок своєї адаптивності та здатності до швидкої корекції. Практичні рекомендації для впровадження: Проведений аналіз та тестування дають можливість зробити висновок, що впровадження адаптивних алгоритмів управління енергоблоками в реальні енергосистеми дозволить значно підвищити їх надійність і ефективність. Вони забезпечать стабільну роботу енергоблоків під час аварійних ситуацій, знизять ймовірність відмов та покращать реагування на зміни в умовах експлуатації енергосистем.

Розробка адаптивного алгоритму управління енергоблоками для роботи в умовах нестабільності мережі та аварійних ситуацій є важливим кроком до підвищення надійності та безпеки енергосистем. Запропонований алгоритм забезпечує ефективне та швидке реагування на зміни параметрів мережі, що дозволяє мінімізувати ризики відмов енергоблоків і забезпечити стабільність роботи в складних умовах.

Використання таких алгоритмів у реальних енергетичних системах дасть змогу підвищити їх адаптивність, надійність і економічну ефективність, що є важливим для забезпечення стійкості енергетичних мереж в умовах сучасних викликів.

Завершення дослідження та розробка адаптивних алгоритмів управління енергоблоками також відкриває нові можливості для подальших наукових і практичних розробок у сфері енергетики: Інтеграція з іншими технологіями енергетичних систем: Розроблений алгоритм можна інтегрувати з іншими сучасними технологіями, такими як розумні мережі (smart grids), системи моніторингу та діагностики, що дозволить вивести ефективність управління енергоблоками на новий рівень.

Наприклад, використання технологій Інтернету речей (IoT) для збору даних в реальному часі дозволить алгоритму адаптуватися ще швидше до зміни навантаження або аварійних ситуацій, знижуючи час реакції та підвищуючи точність управління. Покращення механізмів самоорганізації та самонавчання: Враховуючи постійну змінність умов роботи енергосистем, доцільно вдосконалювати алгоритми, включаючи механізми самонавчання на основі методів машинного навчання та штучного інтелекту. Це дозволить адаптивним системам не тільки автоматично реагувати на аварії та нестабільність мережі, але й прогнозувати можливі сценарії, що дозволить знизити ймовірність виникнення аварій. Економічні переваги та зниження витрат: Запропонований адаптивний алгоритм дозволить значно зменшити витрати на обслуговування та ремонт енергоблоків, оскільки своєчасне виявлення та корекція несправностей дозволить зменшити час простоїв. Крім того, оптимізація режимів роботи енергоблоків допоможе досягти зменшення витрат на паливо та підвищити ефективність виробництва електричної енергії. Забезпечення стійкості енергосистем при екстремальних ситуаціях: Зважаючи на глобальні зміни клімату, часті аварії на енергосистемах, а також зростаючі вимоги до енергетичної безпеки, адаптивне управління енергоблоками набуває особливої актуальності

Алгоритми, здатні ефективно працювати в умовах високих навантажень, аварій, і навіть при дефіциті ресурсів, можуть суттєво підвищити стійкість енергосистем і допомогти забезпечити надійне постачання енергії в усі регіони.

Дослідження вказує на необхідність подальшого розвитку адаптивних алгоритмів управління в контексті впровадження поновлюваних джерел енергії, оскільки ці джерела характеризуються високою варіативністю. У цьому контексті адаптивні алгоритми можуть забезпечити баланс між різними джерелами енергії, максимізуючи їх ефективне використання і мінімізуючи негативні наслідки від перебоїв в подачі енергії. Рекомендації для подальших досліджень:

Оскільки теоретичні моделі і лабораторні тести підтвердили ефективність алгоритмів, наступним кроком є їх тестування на реальних енергоблоках в умовах експлуатації, щоб зібрати більш точні дані про їх ефективність та можливі проблеми в реальних сценаріях. Інтероперабельність з іншими системами управління: Рекомендується розглядати питання інтеграції розроблених алгоритмів з існуючими системами управління енергетичними мережами, зокрема з технологіями автоматичного регулювання навантаження, диспетчеризації та захисту. Це дозволить створити єдину інтегровану систему, здатну до ефективного управління в умовах реальних надзвичайних ситуацій. Подальше вдосконалення методів корекції і самонавчання: Для досягнення більшої ефективності і гнучкості управління, необхідно вдосконалювати методи самоорганізації та самонавчання алгоритмів, що дозволить їм враховувати нові умови та сценарії, що виникають в енергетичних системах.

Таким чином, запропонована в дисертації система адаптивного управління енергоблоками представляє собою важливий крок у напрямку підвищення надійності і стабільності енергетичних систем, здатних працювати в умовах нестабільності мережі та аварійних ситуацій. Розроблені алгоритми забезпечують високу адаптивність та ефективність управління, що сприяє зменшенню ризиків аварій, знижує витрати на енергетичні ресурси та покращує загальну стабільність роботи енергоблоків. Ці результати мають велике значення для подальшого розвитку енергетичної інфраструктури, забезпечення її безпеки та стійкості в майбутньому.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”: Розпорядж. Каб. Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-r#Text> (дата звернення: 23.11.2022).
2. Рижов Д. І., Мустафін М. А., Підгаєцький Т. В., Леткова Н. Г. Окремі аспекти практичного використання нормативних вимог до сполучення експлуатаційних та сейсмічних навантажень для тепломеханічного обладнання та трубопроводів. Ядерна та радіаційна безпека. 2019. no. 4(84). С. 5–11.
3. Yang R., Cheng B., Deshon J., Edsinger K., Ozer O. Improve Fuel Reliability. Journal of Nuclear Science and Technology. 2006. Vol. 43, no. 9. P. 951–959.
4. Cho J. I. S., Neville T. P., Trogadas P. Capillaries for water management in polymer electrolyte membrane fuel cells. International journal of hydrogen energy. 2018. P. 21949–21958.
5. Рижов Д. І., Жабін О. І., Данильчук Є. Л., Трусів І. О., Посох В. О., Куров В. О. Методологічні підходи до визначення необхідності врахування різних технологічних умов експлуатації елементів енергоблоків АЕС під час оцінки їх сейсмостійкості відповідно до нормативних вимог. Ядерна та радіаційна безпека. 2021. no. 3(91). С. 5–10.
6. Parga C. J., Rooyen I. J., Luther E. P. Fuel – clad chemical interaction evaluation of the TREAT reactor conceptual low-enriched-uranium fuel element. Journal of Nuclear Materials. 2018. no. 512. P. 252–267.
7. Jamet P. European union response to fukushima – european stress tests and peer review. 38 th. MPA-Seminar. MPA University of Stuttgart. 2012. P. 21–25.
8. Hofmann P. Current knowledge on core degradation phenomena. Journal of Nuclear Materials. 1999. no. 270. P. 194–211.

9. Freiría López M., Buck M., Starflinger, J. Criticality characteristics and sensitivity analysis of Fukushima debris beds containing MOX products. Journal of nuclear engineering and radiation science. 2020. no. 6(4). P. 47–54.

10. Markov D., Smirnov V. Integration of post-irradiation examination results of failed WWER fuel rods. Proc. of the Fifth International Conference WWER Fuel Performance, Modelling and Experimental Support. 2003. Bulgaria. P. 273–278.

11. Garzarolli, F., Jan R., Stehle H. The main causes of fuel element failure in water-cooled power reactors. At. Energy Rev. 1979. P. 31–36.

12. Adityasari W. Factor-performance factors of primary cooperatives of TNI pusjarah cooperatives. TNI Puspen and TNI health centers in the TNI headquarters environment. FISIP University of Indonesia. 2016. P. 57–60.

13. Peters J., Robert H. In search of excellence: lessons from America's best-run companies. Jakarta: Karisma Publishing Group. 2007. P. 89–94.

14. Izawa K., Uchida Yu., Ohkubo K., Totsuka M., Sono H., Tonoike K. Infinite multiplication factor of low-enriched UO₂ – concrete system. Journal of Nuclear Science and Technology. 2012. vol. 49, no. 11. P. 1043–1047.

15. Wieselquist W., Lefebvre A. SCALE code system ORNL/TM-2005/39. Oak Ridge National Laboratory. 2020. P. 114–117.

16. Bilodid Ie., Dudka O., Kovbasenko Yu. Analysis of corium criticality in VVER-440 during severe accident. 29 th Symposium of AER on VVER Reactor Physics and Reactor Safety. Energoland, Mochovce NPP, Slovakia. 2019. P. 22–29.

17. Hofmann P. Current knowledge on core degradation phenomena, a review. Journal of Nuclear Materials. 1999. no. 270. P. 194–211.

18. Jamet P. Results of the IAEA Study on fuel failures in water cooled reactors in 2006–2010. Proc. of LWR Fuel Performance TopFuel, Charlotte NC. 2013. P. 238–244.

19. Kadach M., Gamyn Yu. Profiling of a circular tube into a hexagon pipe of steel with increased boron content. News of Higher Educational Institutions. Ferrous Metallurgy. 2014. no. 57(11). P. 11–14.

20. Yang R. L Fuel performance evaluation for EPRI program planning. Proc. Int. Top. Mtg on LWR Fuel Performance. France. 1991. Vol. 1, P. 258.

21. Bepalko V. Transformation of boride inclusions in the production of piping for nuclear power. Construction, Materials Science, Mechanical Engineering: Starodubovskyi Readings. 2018. P. 107–112.

22. López M., Buck M. Criticality characteristics and sensitivity analysis of Fukushima debris beds containing MCCI products. Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science. 2020. no. 6(4). P. 23–38.

23. Sevón T. Molten core - concrete interactions in nuclear accidents. Theory and design of an experimental facility. 2005. P. 5–11.

24. Izawa K., Uchida Yu., Ohkubo K., Totsuka M., Sono H., Tonoike K. Infinite multiplication factor of low-enriched UO. Journal of Nuclear Science and Technology. 2018. P. 1043–1047.

25. Шепітчак А. В., Кухочький О. В., Лігоцький О. І., Кульман О. М. Підходи до розробки референтних рівнів західноєвропейської асоціації органів регулювання ядерної безпеки (WENRA) для дослідницьких реакторів. Ядерна та радіаційна безпека. 2021. no. 2(90). С. 4–11.

26. Scott P., Vaillant F. History of corrosion and mechanical degradation in operating plants – plant affected areas and actions. Second International conference on Flow Accelerated Corrosion (FAC 2010). Proceedings. Lyon, France. 2010. P. 315–320.

27. Hwang M., Jin E., Lee H., Jeon C. Wall thinning trend analyses for secondary side piping of Korean NPPs. 17th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology. Transactions. Prague, Czech Rep. 2003. no. 5. P. 29–30.