



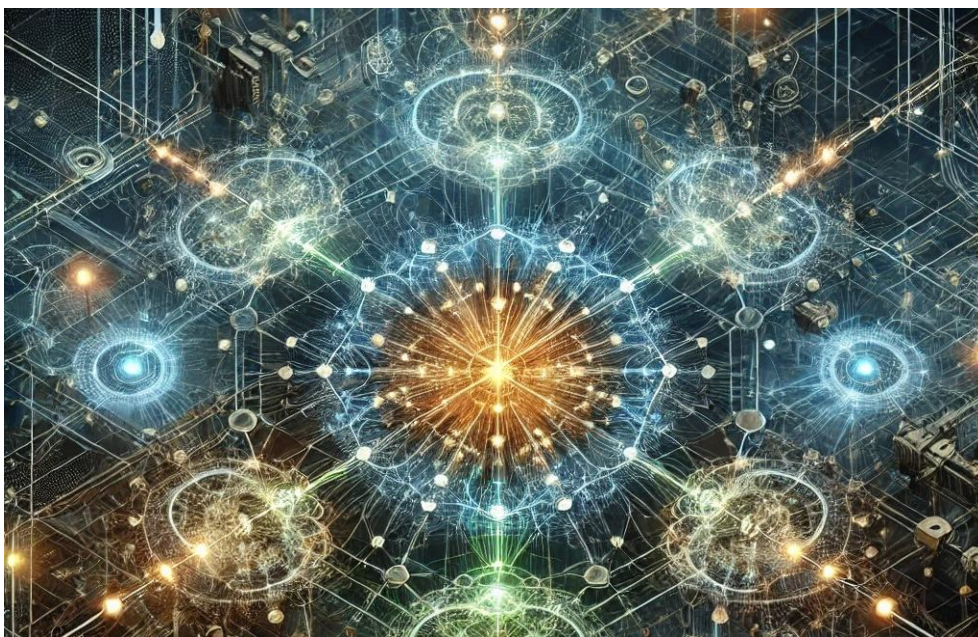
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В. Н. КАРАЗІНА



Фрактально-кластерний аналіз енергосистем

Навчально-методичний посібник
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за спеціальністю G3 «Електрична інженерія»

Електронний ресурс



Харків – 2025

УДК 621.7(075.8)

Ф 82

Рецензенти:

Антоненко Н. С. – к. т. н., доцент, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна;

Єгорова О. Ю. – к. т. н., доцент, доцент кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

*Затверджено до розміщення в мережі Інтернет рішенням Науково-методичної ради
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № 9 від 23 квітня 2025 року)*

Фрактально-кластерний аналіз енергосистем : навчально-методичний
Ф 82 посібник для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю G3 «Електрична інженерія» [Електронний ресурс] / укладачі П. Ф. Буданов, К. Ю. Бровко. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2025. – (PDF 129 с.)

Навчально-методичний посібник розроблено відповідно до програми дисципліни «Фрактально-кластерний аналіз енергосистем» як однієї з важливих у циклі підготовки студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності G3 «Електрична інженерія» освітньо-професійної програми «Електричні станції, мережі та системи».

Видання містить тези лекцій, завдання до практичних занять, перелік тем для самостійної роботи, питання для поточного та підсумкового контролів знань і вмінь, рекомендовану літературу.

УДК 621.7(075.8)

© Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна, 2025

© Буданов П. Ф., Бровко К. Ю., уклад., 2025

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	5
ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ.....	6
СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ.....	8
ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ.....	10
ЗМІСТ ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ.....	13
Лекція 1. Вимоги й критерії оцінки до показників надійності функціонування інформаційно-керуючих систем програмно-технічних комплексів автоматизованих систем керування технологічним процесом енергоблоку електростанцій.....	13
Лекція 2. Аналіз сучасних підходів і методів з підвищення надійності функціонування інформаційно-керуючих систем програмно-технічних комплексів автоматизованих систем керування технологічним процесом енергоблоку електростанцій	22
Лекція 3. Огляд методів, моделей і алгоритмів систем керування технологічним процесом на електричних станціях.....	40
Лекція 4. Підходи та розробка кластерної моделі структури інформаційного простору технологічного процесу на електричних станціях.....	56
Лекція 5. Дослідження залежності об'єму інформаційного простору технологічного процесу від зміни просторових координат у режимі реального часу	62
Лекція 6. Дослідження впливу часових характеристик інформаційних сигналів про технологічні параметри на визначення ознак аварійності в технологічному процесі електричних станцій	67
Лекція 7. Підходи з дослідження процесів зміни електрофізичних характеристик технологічних параметрів при проходженні інформаційних сигналів крізь об'єм інформаційного простору з фрактальними властивостями	75
Лекція 8. Дослідження залежності електрофізичних характеристик параметрів від зміни амплітуди, фази та частоти інформаційних випадкових сигналів	79
Лекція 9. Розробка та впровадження модуля виявлення ознак аварійності характеристик параметрів технологічного процесу, що обробляються в інформаційно-керуючій	

системі «Комплекс титан-2» ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС.....	90
Лекція 10. Підходи й етапи до розробки моделі й алгоритму автоматизованого навчального засобу – тренажера при прийнятті рішень оперативним персоналом у нештатних аварійних ситуаціях у режимі реального часу.....	104
ТЕМИ І ЗМІСТ ПРАКТИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ КУРСУ.....	114
Практичне заняття: Виконання розрахунків енергетичної системи за допомогою фрактально-кластерної моделі	114
Практичне заняття: Застосування методів фрактально-кластерного аналізу для проведення моніторингу стану безпеки ядерного реактору АЕС.....	118
Практичне заняття: Розрахунок і оптимізація систем контролю герметичності ТВЕЛ ТВЗ ядерного реактору АЕС	122
ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ.....	126
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	127

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Фрактально-кластерний аналіз енергосистем є сучасним підходом до дослідження складних енергетичних структур, що забезпечує нові можливості для їхнього оптимального управління та розвитку. Впровадження цих методів дозволяє підвищити ефективність функціонування електроенергетичних систем, мінімізувати втрати енергії та підвищити їхню надійність. У сучасних умовах глобальної енергетичної трансформації використання фрактально-кластерного аналізу стає невід'ємною складовою стратегії стійкого розвитку енергетики.

Традиційні підходи до аналізу енергетичних систем нерідко виявляються недостатньо ефективними через їхню статичність і неспроможність урахувувати складну ієрархічну структуру енергомереж. Використання фрактально-кластерного аналізу дозволяє моделювати енергосистеми з урахуванням їхньої неоднорідності, нелінійної динаміки та самоорганізації. Це сприяє створенню адаптивних і стійких до зовнішніх впливів систем управління.

З метою якісної підготовки студентів за спеціальністю G3 «Електрична інженерія» освітньо-професійної програми «Електричні станції, мережі та системи» необхідні комплексні знання та навички, що охоплюють усі аспекти застосування фрактально-кластерного аналізу. Висока якість підготовки фахівців передбачає здобуття теоретичних знань, практичних умінь, здатність до критичного мислення та швидкого реагування на зміни в енергетичній сфері. Важливими є навички роботи з сучасними аналітичними інструментами та методами оцінки ефективності енергетичних систем.

Методичні рекомендації, наведені в цьому посібнику, розроблені на основі сучасних наукових досліджень і практичного досвіду. Вони містять лекційні матеріали, практичні завдання, теми для самостійного вивчення, контрольні запитання та список рекомендованої літератури. Основна мета посібника – сприяти підготовці студентів до практичних занять, розвитку їхніх дослідницьких навичок і забезпеченню ґрунтовного засвоєння матеріалу.

Навчально-методичний посібник може використовуватися не лише в процесі навчання здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, а й при підвищенні кваліфікації спеціалістів у сфері електроенергетики. Він також стане у пригоді науковцям, які досліджують проблеми ефективного функціонування та розвитку енергетичних систем.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Програма навчальної дисципліни «Фрактально-кластерний аналіз енергосистем» розроблена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів за спеціальністю G3 Електрична інженерія освітньо-професійної програми «Електричні станції, мережі та системи».

Основною метою курсу є забезпечення студентів знаннями, вміннями та навичками, необхідними для фрактально-кластерного аналізу енергосистем, а також управління енергетичними ресурсами. Надати основи розуміння процесів виробництва та використання енергетичного обладнання, аналізу його життєвого циклу, а також підходів до сталого розвитку та зменшення негативного впливу на енергоресурси.

Завдання курсу:

1. Формування знань про сучасні методи фрактально-кластерного аналізу енергосистем та технології режимів експлуатації, враховуючи специфіку різних типів енергетичних систем.
2. Розвиток навичок використання фрактально-кластерного аналізу життєвого циклу енергетичного обладнання, що охоплює процеси та технології режимів експлуатації.
3. Ознайомлення з нормативно-правовою базою та стандартами, що регулюють виробництво, експлуатацію енергосистем.
4. Вивчення принципів сталого розвитку та методів зменшення впливу енергетичних об'єктів на навколишнє середовище, зокрема, через впровадження сучасних технологій фрактально-кластерного аналізу енергосистем.
5. Формування професійних компетентностей для ухвалення рішень у галузі управління енергосистемами, включаючи оцінку ефективності енергетичних систем і оптимізацію їхньої роботи.
6. Розвиток практичних навичок з використання кластерного аналізу енергосистем та технології режимів експлуатації та технічного обслуговування енергетичного обладнання, забезпечення його надійності та безпечної роботи.

В результаті вивчення навчальної дисципліни студенти **мають набути таких компетентностей, як:**

Загальні компетентності:

1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
2. Здатність застосовувати знання в практичних ситуаціях.
3. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
4. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

5. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних систем та мереж, електричної частини станцій і підстанцій та техніки високих напруг.
6. Усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.
7. Здатність оперативно вживати ефективні заходи в умовах надзвичайних (аварійних) ситуацій в електроенергетичних та електромеханічних системах.

Фахові компетентності спеціальності:

1. Вирішення науково-технічних проблем і задач електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.
2. Здатність досліджувати та визначити проблему і ідентифікувати обмеження, включаючи ті, що пов'язані з проблемами охорони природи, сталого розвитку, здоров'я і безпеки та оцінками ризиків в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.
3. Здатність розуміти і враховувати соціальні, екологічні, етичні, економічні та комерційні міркування, що впливають на реалізацію технічних рішень в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.
4. Здатність оцінювати показники надійності та ефективності функціонування електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних об'єктів та систем.
5. Здатність розробляти плани і проекти для забезпечення досягнення поставленої певної мети з урахуванням всіх аспектів проблеми, що вирішується, включаючи виробництво, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію обладнання електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних комплексів.

СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с. р.		л	п	лаб	інд	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Основи фрактально-кластерного аналізу енергосистем												
Тема 1. Вступ до дисципліни: поняття та значення фрактально-кластерного аналізу енергосистем	19	4	6			9						
Тема 2. Загальні питання фрактально-кластерного аналізу енергосистем	19	4	6			9						
Тема 3. Вихідні положення концепції фрактально-кластерного аналізу енергосистем	17	2	6			9						
Тема 4. Напрями досліджень і розробок в області фрактально-кластерного аналізу енергосистем	19	4	6			9						
Тема 5. Сучасні пристрої та засоби для проведення фрактально-кластерного аналізу електроенергетичної системи	17	2	6			9						
Разом за розділом 1	91	16	30			45						
Розділ 2. Використання фрактально-кластерного аналізу для забезпечення системи безпеки атомних і теплових електростанцій												
Тема 1. Сучасні методи фрактально-кластерного аналізу енергосистем.	17	2	6			9						
Тема 2. Система методів фрактально-кластерного аналізу енергосистем для проведення моніторингу стану системи безпеки АЕС, ТЕС, ТЕЦ, СЕС, ГРЕС	19	4	6			9						
Тема 3. Контроль параметрів технологічних процесів за допомогою методів фрактально-кластерного аналізу енергосистем в умовах експлуатації теплових,	19	4	6			9						

електричних та ядерних енергетичних установок												
Тема 4. Управління режимами функціонування енергосистем за допомогою методів фрактально-кластерного аналізу енергосистем.	17	2	6			9						
Тема 5. Перспективи розвитку енергетичних технологій за допомогою методів фрактально-кластерного аналізу енергосистем.	17	2	6			9						
Разом за розділом 2	89	14	30			45						
Усього годин	180	30	60			90						

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Розділ 1. Основи фрактально-кластерного аналізу енергосистем

Тема 1. Вступ до дисципліни: поняття та значення фрактально-кластерного аналізу енергосистем. Огляд енергетичних систем. Основні поняття і визначення електроенергетичних систем і мереж. Перспективи розвитку електроенергетики. Особливості джерел генерації. Структурна схема електроенергетичної системи.

Тема 2. Загальні питання фрактально-кластерного аналізу енергосистем. Аналіз сучасних досліджень енергосистем. Поняття кластерного підходу для досліджень енергосистем. Поняття фрактальних систем для дослідження енергосистем.

Тема 3. Вихідні положення концепції фрактально-кластерного аналізу енергосистем. Функціональні характеристики фрактально-кластерного аналізу енергосистем. Базові підходи ключових вимог в концепції фрактально-кластерного аналізу. Функціональні властивості енергосистеми на базі фрактально-кластерного аналізу. Розробка технології оперативного контролю для автономних енергосистем на базі фрактально-кластерного аналізу.

Тема 4. Напрями досліджень і розробок в області фрактально-кластерного аналізу енергосистем. Порівняльна характеристика функціональних властивостей сьогоденної енергетичної системи і системи на базі фрактально-кластерного аналізу. Цілі і завдання технологічної платформи, уточнені, актуалізовані виходячи зі складу і структури напрямків фрактально-кластерного аналізу енергосистем. Групи технологій, які передбачається розвивати в рамках фрактально-кластерного аналізу. Обладнання та програмно – апаратні комплекси для проведення фрактально-кластерного аналізу енергосистем. Інноваційні технології та компоненти фрактально-кластерного аналізу електроенергетичної системи.

Тема 5. Сучасні пристрої для проведення фрактально-кластерного аналізу електроенергетичної системи. Вимірювальні прилади та пристрої для проведення фрактально-кластерного аналізу енергосистем. Побудова мікропроцесорних систем для курування енергосистемою. Мікропроцесорні лічильники електричної енергії в системах АСКОЕ. Структура багатотарифних інтегрованих приладів обліку електроенергії.

Розділ 2. Використання фрактально-кластерного аналізу для забезпечення системи безпеки атомних и теплових електростанцій

Тема 6. Сучасні методи фрактально-кластерного аналізу енергосистем. Основи фрактального аналізу: визначення фракталів, приклади фрактальних структур в енергосистемах, застосування фрактальної геометрії. Основи кластерного аналізу: визначення кластерів, методи кластеризації, застосування кластерного аналізу в енергосистемах. Сучасні методи та підходи: огляд найновіших методів та алгоритмів, які використовуються для фрактально-кластерного аналізу.

Тема 7. Система методів фрактально-кластерного аналізу енергосистем для проведення моніторингу стану системи безпеки АЕС, ТЕС, ТЕЦ, СЕС, ГРЕС. Специфіка моніторингу стану безпеки різних типів енергосистем: особливості моніторингу АЕС, ТЕС, ТЕЦ, СЕС, ГРЕС. Виявлення аномалій та відхилень від норми: методи ідентифікації відхилень, алгоритми обробки даних для виявлення аномалій. Оцінка ефективності методів моніторингу: критерії ефективності, порівняння різних методів, результати застосування на практиці.

Тема 8. Контроль параметрів технологічних процесів за допомогою методів фрактально-кластерного аналізу енергосистем в умовах експлуатації теплових, електричних та ядерних енергетичних установок. Технологічні процеси в енергетичних установках: огляд основних процесів, що потребують контролю. Методи контролю параметрів технологічних процесів: алгоритми та технології контролю, застосування фрактально-кластерного аналізу для підвищення точності контролю. Приклади успішного застосування методів: реальні кейси, результати впровадження методів на практиці.

Тема 9. Управління режимами функціонування енергосистем за допомогою методів фрактально-кластерного аналізу енергосистем. Режими функціонування енергосистем: визначення режимів, їхня класифікація та особливості. Методи управління режимами: алгоритми управління, оптимізація режимів функціонування за допомогою фрактально-кластерного аналізу. Переваги застосування фрактально-кластерного аналізу: підвищення надійності, ефективності та безпеки енергосистем.

Тема 10. Перспективи розвитку енергетичних технологій за допомогою методів фрактально-кластерного аналізу енергосистем. Новітні досягнення в області енергетичних технологій: огляд останніх досліджень та розробок.

Потенціал та перспективи застосування методів: можливості подальшого розвитку методів, інноваційні підходи до фрактально-кластерного аналізу. Виклики та можливості майбутніх досліджень: аналіз проблем та перспектив, нові напрямки досліджень.

ЗМІСТ ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

ЛЕКЦІЯ 1. ВИМОГИ Й КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ДО ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ЕНЕРГОБЛОКУ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Для автоматизації процесів виробництва, транспортування й розподілу електроенергії, електричні станції (ТЕС, АЕС) повинні бути оснащені автоматизованими системами керування.

Автоматизовані системи керування (АСУ) електроенергетичних об'єктів, що працюють в енергетичній системі, відповідно до вимог з експлуатації повинні забезпечувати надійність, безпеку і стійкість енергосистеми, відповідати технічним вимогам, що встановлені для цієї системи.

Аналіз спеціальної й науково-технічної літератури показав, що на сьогоднішній день, основною вимогою до структури, функцій і завдань АСУ електричних станцій є можливість забезпечення розв'язку інформаційних і/або керуючих завдань виробничо-технологічного, оперативно-диспетчерського й організаційно-економічного керування виробництвом, транспортуванням і розподілом електроенергії.

Розв'язок цих завдань покладають відповідно на такі АСУ електричних станцій, як: автоматизовані системи керування технологічним процесом (АСУ ТП) енергоблоку електростанції; інформаційно-вимірювальні системи; інформаційно-обчислювальні системи; керуючі обчислювальні системи; автоматизовані системи діагностики стану технологічного й електричного устаткування; системи внутрішньореакторного контролю; автоматичний контроль нейтронного потоку; автоматичні системи контролю радіаційної обстановки; засоби радіаційного контролю; системи автоматичних захистів; автоматичні системи регулювання; електронні частини систем регулювання турбін; електрогідравлічні системи регулювання турбін; автоматизовані системи диспетчерського керування та ін. При цьому необхідно відзначити, що якщо

інформаційно-вимірювальні системи здійснюють тільки вимір параметрів, збір інформації (відомостей) про технологічні об'єкти й процеси і представляють їх користувачеві за його запитом, то інформаційно-керуючі системи повинні здійснювати також обробку й при необхідності реєстрацію цієї інформації. Інформаційно-керуючі системи (ІКС), крім того, повинні здійснювати виробіток керуючих впливів, а такі ІКС, як підсистеми аварійного й попереджувального захисту, автоматичні системи регулювання, автоматизовані системи диспетчерського керування – також видачу інформаційно-керуючих впливів на об'єкт керування для приведення параметрів, що характеризують його функціонування, в експлуатаційні межі або для приведення об'єкта керування в безпечний стан.

Система АСУ електричних станцій забезпечує можливість керування енергооб'єктом, як єдиним технологічним комплексом, тому АСУ ТП енергоблоку ТЕС і АЕС повинні бути розподіленими, багатофункціональними, вільно-програмувальними автоматизованими системами, розрахованими на тривале безперервне функціонування в реальному масштабі часу, що й реалізують необхідні функції збору, обробки й надання інформації, а також функції керування, регулювання, захисту, блокування та сигналізації.

Система АСУ ТП енергоблоку електростанції повинна створюватися, як єдина система інформації й керування на основі передових системотехнічних принципів і, як правило, на базі єдиного програмно-технічного комплексу. У тих випадках, коли АСУ ТП енергоблоком електростанції створюється на розрізних технічних і програмних засобах, вони повинні бути сумісні між собою в частині обміну інформації й програмного забезпечення настільки, наскільки це необхідно для створення єдиної інтегрованої АСУ ТП.

Такий підхід забезпечує підвищення надійності й безпеки функціонування електроенергетичного обладнання енергоблоків ТЕС і АЕС. Система АСУ ТП енергоблоком електростанції являє собою багаторівневу систему, побудовану за ієрархічним принципом, відповідно до технологічної структури й особливостей компонування технологічного об'єкта керування.

Кількість рівнів АСУ ТП енергоблоку електростанції, а також розподіл функцій і завдань (інтелекту) між ними, залежить від структури комплексу технічних і програмних засобів, на базі якого вона створюється. У більшості випадків таких рівнів два: верхній і нижній. При експлуатації інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції, як правило, повинні вирішуватися функції й завдання з приймання й достовірної обробки інформації при аналізі аварійних ситуацій і процесів на технологічному устаткуванні енергоблоків ТЕС і АЕС.

Однією з функцій інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції є аналіз відхилення характеристик параметрів технологічного процесу від встановлених значень, відповідних до нормального функціонування технологічного устаткування енергоблоків ТЕС та АЕС.

Особливістю процесу обробки інформації від датчиків контролю технологічного устаткування енергоблоку електростанції є встановлення достовірності й недостовірності одержуваної інформації, що може суттєво впливати на формування сигналів керування технологічним процесом, що призводить до неправильних спрацьовувань технічних засобів підсистеми аварійного та попереджувального захисту інформаційно-керуючої системи ПТК АСУ ТП, а, отже, в цілому впливає на надійність функціонування електроенергетичного обладнання, особливо на керування парогенератором і турбогенератором енергоблоку ТЕС та АЕС.

Для характеристики надійності функціонування інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції важливими є основні передумови до аварійних ситуацій, такі як: пошкодження, що полягають у порушенні справності технологічного устаткування енергоблоку або його елементів; відмови, а особливо, неправильні спрацьовування, що полягають у порушенні працездатності технологічного устаткування енергоблоку, або, що призводять до аварії та катастрофи.

Основними кількісними показниками, що характеризують надійність технологічного устаткування енергоблоку електростанції, є коефіцієнт готовності

(K_z), коефіцієнт технічного використання K_{TB} , параметр потоку відмов $\omega(\tau)$, середній час відновлення τ_e , ймовірність безвідмовної роботи $P(\tau)$.

Коефіцієнт технічного використання K_{TB} , який характеризує відношення часу перебування технологічного устаткування енергоблоку електростанції або його елемента в працездатному стані ξ_i до часу перебування їх у працездатному стані й часу простоїв, обумовлених технічним обслуговуванням, а також часом ремонтів за розглянутий період і визначається виразом (1.1):

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

де: $\tau_e = \tau_p + \tau_o + \tau_{рем}$ – тривалість експлуатації, яка складається з часу роботи, технічного обслуговування й ремонтів; ξ_i – часу перебування у працездатному стані. Параметр потоку відмов, що характеризує частоту відмов, – це середня кількість відмов ремонтowanego елемента технологічного устаткування енергоблоку електростанції в одиницю часу. Приблизно параметр потоку відмов можна визначити за формулою (1.2):

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

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

Необхідно відзначити, що число відмов прямо залежить від ступеня визначення достовірності інформації, про характеристики параметрів технологічного процесу електричної станції (ТЕС і АЕС), при цьому, параметр потоку помилкових спрацьовувань не повинен перевищувати 0,0011/год.

Середній час відновлення – це середній час змушеного, нерегламентованого простою, викликаного відшукуванням і усуненням однієї відмови:

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

де: τ_j – час відшукування й усунення відмови j -го елемента; M – число відмов. Ймовірність безвідмовної роботи за час τ є ймовірність того, що технологічне устаткування енергоблоку електростанції або його елемент будуть працювати безвідмовно протягом часу τ . Наближена формула досвідченого визначення ймовірності безвідмовної роботи має вигляд (1.4):

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

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

Згадані вище коефіцієнти готовності $K_{\text{г}}$ й технічного використання $K_{\text{ТВ}}$ враховують тільки певні відмови й не відображають часткові відмови. Врахування часткових відмов виконується за формулою (1.5):

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

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

Однак одним із основних показників надійності функціонування технологічне устаткування енергоблоку електростанції є коефіцієнт готовності $K_{\text{г}}$, що характеризує ймовірність того, що технологічне устаткування або його елемент виявляться працездатними в довільний момент часу. Значення коефіцієнта готовності $K_{\text{г}}$ можна визначити за формулою (1.6) відповідно:

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

де τ_0 – наробіток на відмову (середній час безвідмовної роботи); τ_{ϵ} – середній час відновлення працездатності. Аналіз формули (1.6) показує, що для підвищення надійності функціонування технологічного устаткування енергоблоку електростанції, коефіцієнт готовності $K_z \rightarrow 1$, а цього можна домогтися при середньому часі відновлення працездатності $\tau_{\epsilon} \rightarrow 0$, тоді ймовірність визначення аварійних ознак $P(\tau) \rightarrow 1$. Це можливо, коли відхилення характеристик технологічних параметрів, які впливають на відмову технологічного устаткування, будуть визначатися в режимі реального часу в інформаційно-керуючих системах ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції.

Таким чином, зроблено висновок, що визначення відхилення характеристик параметрів технологічного процесу в режимі реального часу буде залежати від точності визначення достовірності інформації за допомогою апаратно-програмних засобів інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції.

Тому, розглядаючи коефіцієнт готовності енергоблоку, як імовірність того, що технологічне устаткування енергоблоку або його елементи, виявляться працездатними в довільний момент часу, то його можна представити, в якості прикладу, як сукупність, що полягає з коефіцієнта готовності котла K_z^{KV} , коефіцієнта готовності турбіни K_z^T , коефіцієнта готовності електрогенератора K_z^{EG} й коефіцієнта готовності трансформатора K_z^{TP} , тобто можна визначити як добуток коефіцієнтів готовності кожного з названих елементів (1.7):

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

Із виразу (1.7) робиться висновок, що надійність і безпека функціонування технологічного устаткування енергоблоку залежить від виявлення динаміки зміни

характеристик параметрів технологічного процесу в передаварійній ситуації в режимі реального часу на кожному елементі (котел, турбіна, електрогенератор, трансформатор) енергоблоку електростанції.

Одним з основних завдань автоматизованих інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанцій (ТЕС і АЕС) є забезпечення надійності роботи електроенергетичного обладнання енерголоків ТЕС і АЕС при одночасному виявленні відхилення величин характеристик технологічних параметрів, що дозволяє виявляти їхні аварійні ознаки в нештатних режимах функціонування в режимі реального часу.

Розглянутий нижче як приклад критерій оптимального управління інформаційно-керуючої системи ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції в нормальному режимі функціонування, описуваний виразом (1.8), показує, що для визначення відхилення характеристик технологічних параметрів Δx_i , обираються тільки усереднені значення перевищення величини параметра $\bar{x}_{ус\ переv}$ щодо допустимого значення відхилення $x_{i\ доп}$ за інтервал часу $\Delta t = t_{\gamma 2} - t_{\gamma 1}$, який фіксується тільки початковим та кінцевим моментом часу, що в цілому призводить до неточності в розрахунках, а, отже, впливає на надійність роботи технологічного устаткування.

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

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

при пуску. Виходячи із вищепроведеного аналізу показників надійності, основними вимогами до надійності функціонування інформаційно-керуючої системи ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції на сьогодні є:

- інформаційно-керуючі системи ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції повинні створюватися як відновлювані й ремонтпридатні системи, розраховані на тривале функціонування;

- при експлуатації інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції повинні бути використані наступні способи підвищення надійності: наявність апаратної, інформаційної, функціональної й алгоритмічної надлишковості; застосування відмовостійких структур; діагностика технічних засобів і програмного забезпечення; захист від видачі неправильних команд і використання недостовірної інформації; передача й обробка інформації в цифровій формі, використання спеціальних кодів для захисту інформації в процесі обміну і при необхідності контроль доставки інформації; контроль інформації на вході, використання надлишковості "два із двох", "два із трьох" у найбільш відповідальних випадках.

Тому зроблено висновок, що проблема підвищення надійності функціонування інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції є актуальною.

Питання для самоперевірки

1. Що таке надійність функціонування інформаційно-керуючих систем (ІКС)?
2. Які основні показники надійності функціонування ІКС використовуються для оцінки їхньої ефективності?
3. Які вимоги ставляться до показників надійності функціонування ІКС?
4. Яким чином проводиться оцінка надійності ІКС в автоматизованих системах керування технологічним процесом?
5. Які методи використовуються для аналізу надійності програмно-технічних комплексів?
6. Які фактори можуть впливати на надійність функціонування ІКС?
7. Наведіть приклади критеріїв оцінки надійності ІКС в енергоблоках електростанцій.

8. Які основні етапи процесу оцінки надійності ІКС?
9. Як здійснюється моніторинг та підтримка надійності ІКС в реальному часі?
10. Яким чином результат оцінки надійності ІКС впливає на загальну ефективність роботи енергоблоку?

ЛЕКЦІЯ 2. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ І МЕТОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ЕНЕРГОБЛОКУ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Як відомо, до інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції висуваються досить високі вимоги з достовірності інформації, що вводиться, від датчиків контролю технологічного електроенергетичного устаткування:

- діагностування наявності живлячої напруги й справності всіх пристроїв, що входять у канал проходження інформації: датчика, сполучних ліній, аналого-цифрового перетворювача, модулів введення/виведення й т.п.;
- перевірка параметрів сигналу в межах припустимого діапазону відхилень $\pm 1..5\%$ (від min до max значення) для різних режимів функціонування технологічного устаткування енергоблоку електростанції;
- перевірка параметрів сигналу в межах допустимого діапазону відхилень за технологічними границями, які можуть залежати від поточного стану технологічного устаткування енергоблоку електростанції;
- перевірка того, що швидкість зміни значення сигналу перебуває в припустимих межах, обумовлених з урахуванням поточного стану об'єкта керування;
- перевірка наявності (відсутності) початкового значення електричного сигналу величиною 4 мА (для датчиків струмового сигналу 4...20 мА);
- перевірка відповідності сигналу його значенню з обліком його параметрів.

При виконанні вищевказаних умов і вимог різниця значень сигналів порівнюється із припустимим значенням розбіжності між сигналами, а у випадку перевищення цього значення обидва інформаційних сигнали оголошуються недостовірними, але інформація про значення кожного з них зберігається. Якщо не виконується одна з умов, зазначених вище, сигнал оголошується

недостовірним і проводиться запам'ятовування його останнього представленого значення.

Для перевірки достовірності троїрованих сигналів, крім операцій з кожним із сигналів вимірювань, проводяться додаткові перетворення, що дозволяють виявити недостовірний сигнал, який відкидається, а подальший до відновлення відповідає дубльованим вимірам. Недостовірна інформація повинна відтворюватись й викликати дію попереджувальної сигналізації, а керуючі дії, пов'язані з даною інформацією, мають блокуватися. Контроль достовірності дискретної інформації забезпечується в основному порівнянням альтернативних сигналів: "включений" - "відключений". В окремих випадках достовірність сигналу визначається спеціальними алгоритмами порівняння параметрів.

Дослідження показують, що виявлення недостовірної інформації повинне викликати формування попереджувального сигналу. Керуючі впливи, пов'язані з даною інформацією, мають блокуватися. Контроль достовірності, як правило, повинен проводитися із циклом введення аналогових сигналів. Для кожного з дубльованих або троїрованих каналів повинні передбачатися процедури виявлення недостовірних значень. Недостовірність фіксується індивідуально по кожному каналу, кваліфікується як подія й реєструється функцією "Реєстрація подій". У випадку недостовірності по всіх каналах (одному, двох або трьох) одного параметра має бути сформована узагальнена ознака недостовірності параметра, який кваліфікується як подія й реєструється функцією "Реєстрація подій".

На основі достовірних значень одного параметра, отриманих по двох або трьох каналах, у кожному циклі опитування формується поточне результуюче значення параметра. Це результуюче значення повинне обчислюватися відповідно до технічного завдання в інформаційно-керуючих системах ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції.

Контроль відхилення достовірних сигналів за технологічні уставки, як правило, повинен виконуватися із циклом їх введення або з періодом запуску програми перевірки на достовірність. Для кожного сигналу повинна

передбачатися можливість завдання чотирьох і більше технологічних уставок (на підвищення або зниження в будь-якій комбінації). Значення аналогових параметрів, для яких існують технологічні уставки, повинні контролюватися на вихід за встановлені межі й повернення до норми. Повинні формуватися ознаки виходу за уставку й повернення до норми з виключенням "брязкоту" за рахунок введення зони повернення, яка задається при розробці системи та її налаштуванні. Ознаки відхилення за уставку фіксуються, кваліфікуються як події й реєструються функцією "Реєстрація подій". Корекція значень параметрів для окремих інформаційних сигналів, що перелічуються в завданні на конкретну інформаційно-керуючу систему ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції, виконується розрахунковим шляхом із циклом їх введення в ПТК.

Аналіз застосовуваних апаратно-технічних засобів інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку АЕС і ТЕС показує, що процес встановлення відхилення технологічних параметрів від встановлених значень (уставок) відбувається відповідно до алгоритмів, які побудовані на статичних простих моделях, де не враховуються випадкові зміни параметрів і перехідні процеси в режимі реального часу (життєві цикли протікання конкретних параметрів технологічного процесу) і не відображається вплив на технологічний процес значень вхідних впливів не тільки в даний, але й у минулий моменти часу, тобто коли всі процеси в об'єкті керування або їх частина повинні описуватися випадковими функціями часу.

Аналіз процесів виявлення недостовірної інформації в існуючих програмних й апаратно-технічних засобах підсистеми аварійного й попереджувального захисту інформаційно-керуючої системи ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції

Розглянемо процес обробки інформації про характеристики параметрів технологічного процесу з використанням інформаційно-керуючих систем, які застосовуються на сучасних ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанцій. Поточна інформація, що надходить від датчиків контролю величин характеристик

технологічних параметрів (на ТЕС: більш 5000, на АЕС: більш 50000), зазнає первинної обробки, яка містить у собі, як правило, алгоритми усереднення (інтегрування), контролю достовірності, а також корекції недостовірної інформації.

Завдання усереднення вхідної інформації зводиться до обчислення інтеграла по всіх вимірюваних технологічних параметрах (2.1):

$$\overline{X} = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} x(t) dt, \quad (2.1)$$

де T_0 – інтервал усереднення; $x(t)$ – поточне значення усередненої величини (параметра технологічного процесу).

Оскільки в апаратурі інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанцій кожний параметр представлений послідовністю своїх значень у дискретні моменти часу $0, t_0, 2t_0, \dots, nt_0$ (t_0 – період квантування), то інтеграл (2.1) обчислюється лише наближеними методами (за допомогою квадратних формул). Найчастіше використовують метод прямокутників. При використанні цього методу формула приймає вигляд (2.2):

$$\overline{X} = \frac{t_0}{T} \sum_{i=1}^n x(t_i) \quad (2.2)$$

Період квантування t_0 визначається з умови припустимої похибки та обирається загальним для всіх технологічних параметрів. Після усереднення технологічних параметрів реалізується алгоритм контролю достовірності й корекції спотвореної інформації. Найпоширенішим способом перевірки достовірності інформації – використання граничних значень технологічного параметру ($X_{\min}$ і $X_{\max}$). Виконання умови $X_{\min} < \overline{X}(T) < X_{\max}$ вказує на достовірність параметра. Для їхнього визначення будують розподіл значень технологічного параметра за досить довгий проміжок часу, потім визначають

мінімальне й максимальне значення характеристики параметра, ймовірність появи яких досить мала. Використання в таких алгоритмах усереднених значень технологічних параметрів знижує витрати машинного часу, але в той же час зменшує надійність функціонування інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції.

Для перевірки достовірності вхідної інформації використовуються також методи поздовжньої й поперечної діаграми. Їхня сутність полягає в порівнянні взаємозалежних технологічних параметрів. Рівнятися між собою можуть параметри як однойменні (температура середовища на паралельних потоках), так і різнойменні (електрична потужність блоку – паропроодуктивність котла). Згідно з вимогами керівних документів з надійного захисту технологічного устаткування об'єкта керування (н-д: активної зони ядерного реактора АЕС) від недопустимих відхилень основних параметрів у реакторній установці, до підсистеми аварійного й попереджувального захисту інформаційно-керуючої системи ПТК АСУ ТП енергоблоку АЕС, висуваються вимоги з забезпечення швидкого переведення активної зони реактора в підкритичний стан і підтримка її в цьому стані.

Для розв'язку цього завдання дуже важливим моментом є перевірка на достовірність інформації про відхилення характеристик технологічних параметрів у випадку нештатних режимів функціонування електроенергетичного устаткування енергоблоку АЕС. Інформація про поточний стан об'єкта керування надходить в інформаційно-керуючі системи ПТК АСУ ТП енергоблоку АЕС по десятках, а іноді й сотнях інформаційно-вимірювальним каналах. Зі збільшенням їх числа росте ймовірність вступу в систему недостовірної інформації, у зв'язку із чим однією з функцій первинної обробки інформації в інформаційно-керуючих системах ПТК АСУ ТП енергоблоку АЕС є контроль її достовірності.

Аварійний і попереджувальний захист реактора це функція надійності й безпеки, яка запобігає спрацюванню аварійного захисту й забезпечує повне або часткове зниження потужності реактора. Розглянемо роботу апаратно-програмних засобів підсистеми аварійного й попереджувального захисту інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку АЕС з визначення недостовірної

інформації про відхилення характеристик технологічних параметрів у випадку нештатних режимів функціонування електроенергетичного устаткування на прикладі енергоблоку Запорізької АЕС, схеми якої показані на рис. 2.1. Зі схеми видно, що інформаційно-керуючі сигнали підсистеми аварійного та попереджувального захисту (АЗ ПЗ) інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку АЕС, що надходять на апаратно – технічні засоби підсистеми АЗ ПЗ викликають падіння всіх органів регулювання під дією власної ваги до крайнього нижнього положення. При цьому необхідно відзначити, що час падіння органів регулювання становить $t = 1.5...4$ с. і дія АЗ ПЗ не припиняється незалежно від того, чи знялася першопричина спрацьовування чи ні.

Слід відзначити, що при такій обробці не аналізується першопричина спрацьовування, тобто немає аналізу відхилення величини характеристик технологічних параметрів у часі (н-д.: період розгону реактора – менш 10 с.; у випадку зниження рівня в кожному з парогенераторів при працюючому головному циркуляційному насосі даної петлі головного циркуляційного контуру менш 650 мм нижче номінального – витримка часу 5 с.), а фіксується тільки початкові (1,5 с.) і кінцеві (4 с.) точки часу або їх мінімальні й максимальні значення (5с.; 10с.).

Тому робиться висновок, що при такому підході не є можливим визначення достовірної або недостовірної інформації про відхилення величин характеристик технологічних параметрів у нештатних режимах функціонування електроенергетичного устаткування електростанцій у режимі реального часу з використанням існуючих на сьогодні інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоків ТЕС і АЕС.

Для розв'язку проблеми надійності функціонування електроенергетичного устаткування електричних станцій, тобто визначення достовірності або недостовірності інформації, одержуваної після обробки в інформаційно-керуючих системах ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції і на підставі якої формуються керуючі командні інформаційні сигнали, необхідно використовувати складний математичний апарат теорії ймовірності й математичної статистики, що

в реальних умовах дуже важко й дорого, а іноді просто неможливо (н-д: при вивченні поведінки системи в аварійних ситуаціях).

Перелік елементів функціонально-структурної схеми апаратно-програмних засобів підсистеми АЗ ПЗ інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП енергоблоку Запорізької АЕС представлений у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Перелік елементів функціонально – структурної схеми

Абревіатура елемента схеми	Розшифрування позначення
СРТ	– система регулювання турбіни;
АРМ	– автоматизоване робоче місце;
СГІК	– система групового й індивідуального керування;
СКП	– система контролю перевантаження;
СК КЕМ	– система керування кроковим електромагнітом;
ДПЛ	– датчик положення лінійний;
ПКП	– пристрій контролю положення;
ОР	– органи регулювання;
СВЧ	– струмовиділяючі частини;
БД	– база даних;
АКНП	– апаратура контролю нейтронного потоку;
УКТЗ	– уніфікований комплекс технічних засобів;
РОП	– розвантаження й обмеження потужності;
ППЗ	– прискорений попереджувальний захист;
БЩК	– блоковий щит керування;
НУ-17,55,52,16,18	– панелі пульта оператора блокового щита керування;

Досвід показує, що такі дослідження зі змінами характеристик параметрів технологічного процесу можна проводити на стадії розробки й випробувань або ж у період після капітального ремонту й регламенту технологічного устаткування енергоблоку електростанції. Технічна реалізація з виявлення відхилення технологічних параметрів від встановлених значень проводиться в уніфікованому комплексі технічних засобів, структурно-функціональна схема роботи підсистеми АЗ ПЗ інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції показана на рис. 2.2.

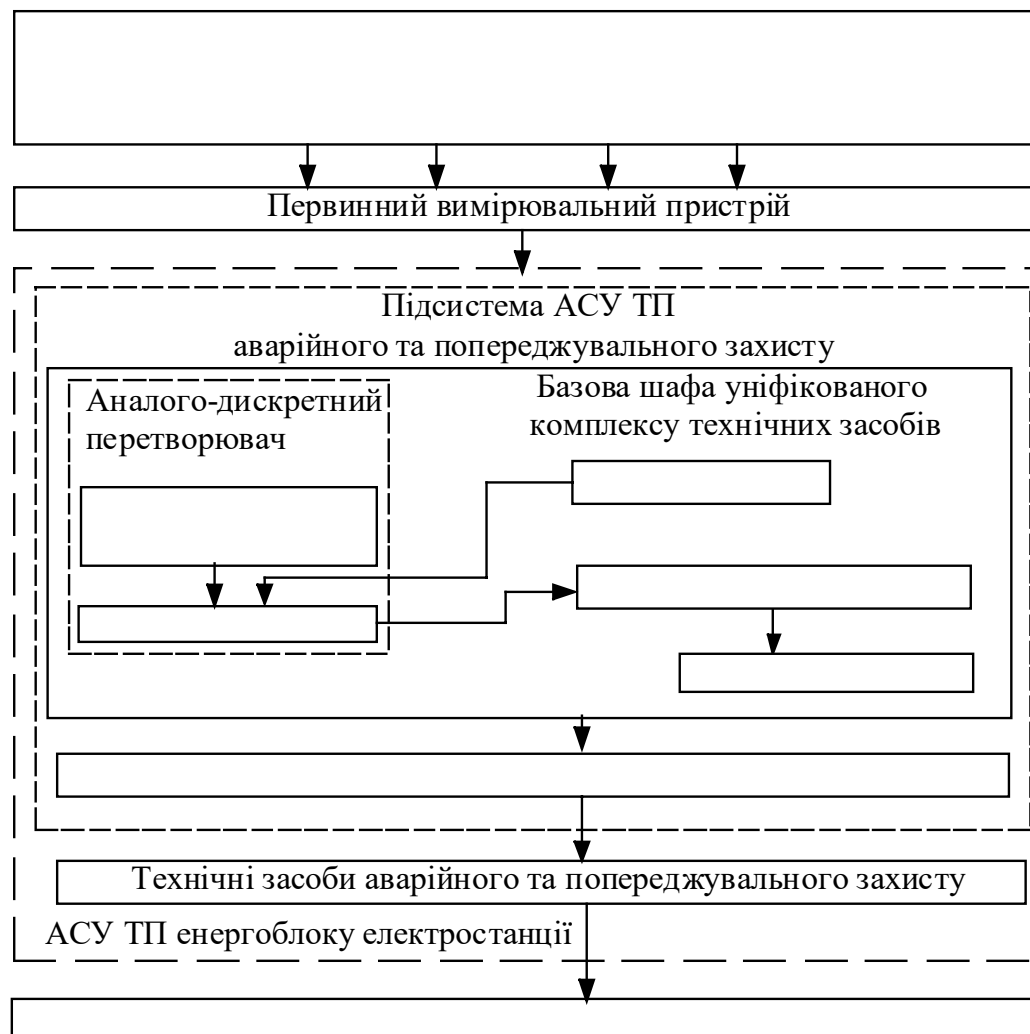


Рис. 2.2 – Структурно – функціональна схема роботи підсистеми аварійного та попереджувального захисту інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції

Інформаційні сигнали, що надходять із датчиків первинних джерел інформації про функціональний стан технологічного устаткування енергоблоку електростанції, надходять у підсистему аварійного й попереджувального захисту інформаційно-керуючої системи ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції на входи блоків аналого-дискретних перетворювачів, розташованих у базових шафах уніфікованих комплексів технічних засобів і далі в блоці перетворення сигналів, аналоговий сигнал перетворюється в дискретний і передається у вигляді цифрового коду в блок логічний, де здійснюється порівняння сигналу з уставкою з пам'яті даних, відповідної до заданого значення параметра (н-д: температура теплоносія першого контуру 320 °С), як показано на графіку рис. 2.3.

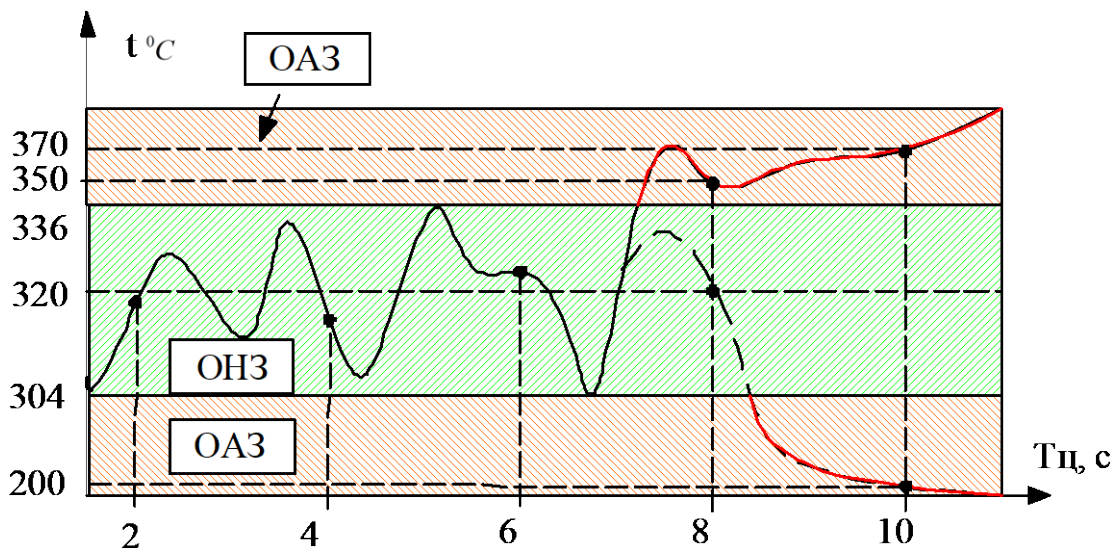


Рис. 2.3 – Графік зміни температури теплоносія першого контуру реактору ВВЕР-1000 енергоблоку АЕС

При відхиленні значення параметра від заданої уставки на виході аналого-дискретних перетворювачів формується дискретний сигнал, відповідний до значення логічної «1». Інформаційні сигнали від кожного аналого-дискретного перетворювача надходять на входи блоку формування команд, у якому здійснюється їх обробка за мажоритарним принципом «2 з 3», «2 з 4». У випадку формування на виходах будь-яких двох із чотирьох сигналів, відповідних до рівня логічної «1», на виході блоку формування команд з'являється сигнал логічної «1»,

який надходить у блоки реле вихідних, де формуються дискретні інформаційні сигнали, для передачі в шафу формування сигналів команд керування на схеми захистів і сигналізації.

Таким чином, робиться висновок, що функціонування технічних засобів уніфікованого комплексу технічних засобів підсистеми аварійного та попереджувального захисту інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції, дозволяє визначати відхилення величин характеристик параметрів технологічного процесу (ХП ТП) тільки за завчасно встановленими значеннями (уставках, н-д: температура теплоносія першого контуру реактора ВВЕР-100 енергоблоку АЕС 320 °С; уставка $\min=304$ °С, уставка $\max=336$ °С) величин ХП ТП у строго певні моменти часу (н-д: 2с., 4с., 6с., 8с...nT+2с), як показано на графіку, рис.2.3.

Крім того, процес виявлення достовірної або недостовірної інформації здійснюється за, так званим, мажоритарним принципом «2 з 3», «2 з 4», коли порівняння інформації з каналів йде на оцінці однакових значень цифрових кодів, що не завжди можна оцінити, як достовірність або недостовірність інформації (н-д: достовірна інформація може прийти по одному каналу, а по двох інших – недостовірна, або по одному недостовірна, а по двох – достовірна).

При такому підході, описаному вище, не є можливим відстежити значні відхилення величин характеристик параметрів технологічного процесу (ХП ТП) в інші моменти часу зміни величин ХП ТП, що може призвести до недостовірної оцінки інформації про відхилення величин ХП ТП, тому що не буде контролюватися динаміка зміни величин ХП ТП при досягненні значних відхилень величин ХП ТП від норми, що спричинить збільшення неправильних спрацьовувань за недостовірною інформацією, а, отже, вплине на число відмов функціонування технологічного електроустаткування, відповідно до формул (1.1)-(1.7), а, як наслідок, приведе до зниження надійності функціонування інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції.

Як приклад реалізації захисту з використанням інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції

розглянемо процес формування інформаційного керуючого сигналу захисту активної зони ядерного реактора Запорізької АЕС за наступних умов: 1) різниця температур першого й другого контуру $\Delta T > 75^{\circ}\text{C}$; 2) тиск у другому контурі $P_{2к} < 50 \text{ кгс/см}^2$; 3) температура в першому контурі $T_{1к} > 200^{\circ}\text{C}$. Алгоритм роботи схеми формування інформаційного керуючого сигналу захисту активної зони ядерного реактора Запорізької АЕС представлений на рис. 2.4.

Захист реалізований за чотириканальною схемою й призначений для ініціалізації запуску системи аварійного охолодження активної зони ядерного реактора при розриві паропроводів свіжої пари, розташованих у реакторному відділенні енергоблоку. Інформація від чотирьох первинних вимірювальних перетворювачів температури теплоносія першого контуру реактору ВВЕР-1000 надходить в автоматичні компенсатори температури «вільних» кінців термоперетворювачів. Далі компенсовані інформаційні сигнали у вигляді постійної напруги надходять у перетворювачі, що нормують, Ш78, призначені для перетворення напруги, що надходить від термоелектричного термометра в нормований струмовий сигнал $4 \div 20 \text{ мА}$. Перелік елементів функціональної схеми формування інформаційного керуючого сигналу захисту активної зони ядерного реактора Запорізької АЕС наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Перелік елементів функціональної схеми

Елемент схеми	Розшифрування позначення
1	2
УКМ	– автоматичні компенсатори температури «вільних» кінців термоперетворювачів;
Ш78	– перетворювачі, що нормують;
РС	– шафа для розміщення блоків розмноження струмового сигналу
АДП	– аналого-дискретний перетворювач;
БФК	– блок формування команд;
БРВ	– блоки реле вихідних;
БПК	– блок приймання команд
УА, УС, ТХ	– маркування первинних вимірювальних перетворювачів.

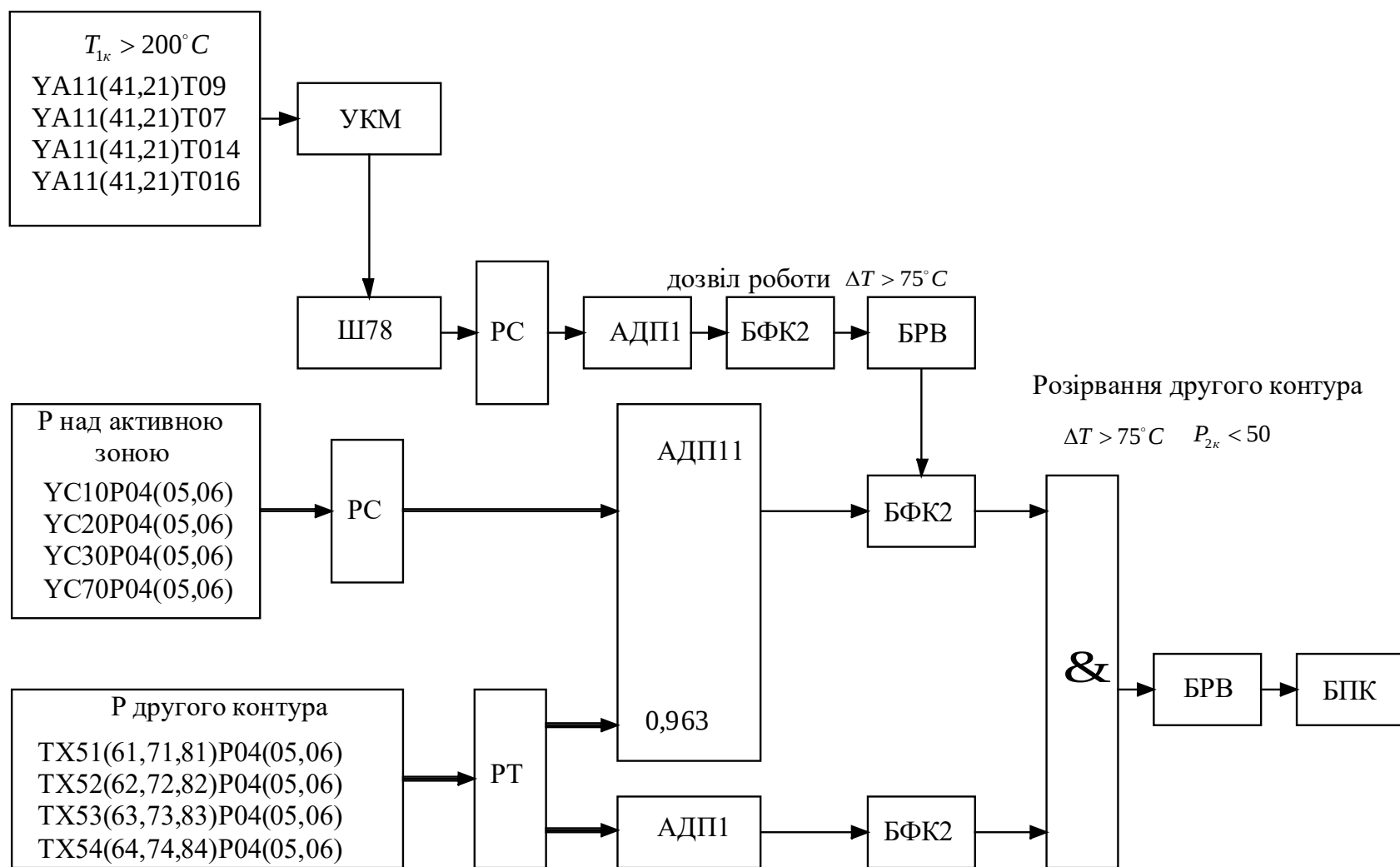


Рис. 2.4 – Функціональна схема формування інформаційного керуючого сигналу захисту активної зони ядерного реактору ВВЕР-1000 енергоблоку Запорізької АЕС

Інформація у вигляді струмових сигналів надходить у блоки реле струму, що розташовані в шафах розміщення блоків розмноження струмового сигналу уніфікованого комплексу технічних засобів. У блоках розмноження струмового сигналу здійснюється розмноження інформаційних сигналів для використання різними споживачами цієї інформації, що входять до складу інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП енергоблоку Запорізької АЕС.

Інформаційні сигнали про величини характеристик технологічних параметрів, які застосовувані для формування захисту, надходять на входи блоків аналого-дискретних перетворювачів, розташованих у базових шафах уніфікованого комплексу технічних засобів. У блоці аналого-дискретного перетворювача здійснюється порівняння вхідного аналогового сигналу з уставкою, відповідної до заданого значення (н-д: 200 °C). При перевищенні контрольованою температурою заданого значення на виході аналого-дискретного перетворювача переформується дискретний сигнал, відповідний до значення логічної «1».

Інформаційні сигнали від кожного з аналого-дискретного перетворювача надходять на входи блоку формування команд, у якому здійснюється їхня обробка за мажоритарним принципом «2 з 4». Блок формування команд також розташований у базовій шафі уніфікованого комплексу технічних засобів. У випадку формування на виходах будь-яких двох із чотирьох інформаційних сигналів, відповідних до рівня логічної «1», на виході блоку формування команд з'являється інформаційний сигнал логічної «1». Цей інформаційний сигнал надходить у блоки реле вихідних, що розташовані у базовій шафі уніфікованого комплексу технічних засобів. Блок реле вихідних формує дискретні сигнали, що свідчать про досягнення контрольованим параметром заданого значення й призначені для передачі в інші схеми захистів і сигналізації.

Досліджено, що такий підхід до обробки інформації про характеристики параметрів технологічного процесу в існуючих інформаційно-керуючих системах

ПТК АСУ ТП не забезпечує потрібний рівень надійності функціонування електроенергетичного обладнання енергоблоку електростанції.

Аналіз методів та способів процесу обробки інформаційних випадкових сигналів в інформаційно-керуючій системі ПТК АСУ ТП енергоблоків ТЕС та АЕС

У процесі обробки інформації про поточні значення параметрів технологічного процесу в апаратно-програмних засобах інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанцій (ТЕС та АЕС) широке застосування знайшли методи й способи передачі даних про результати обробки інформації у вигляді інформаційних сигналів, які представлені цифровим кодом у вигляді комбінації (0 і 1) і характеризуються посиленою розробкою й широким застосуванням класу хаотичних, а особливо випадкових хаотичних сигналів, які мають специфічні властивості змінювати свої характеристики в інформаційному просторі в режимі реального часу. Процеси, точні закони яких не можуть бути використані для їхнього опису, ми змушені розглядати як випадкові. Отже, назва «випадковий» носить у певному змісті часовий характер, оскільки процес перестає бути випадковим, як тільки для його опису можна використовувати точні закони, яким він підкоряється.

Таким чином, відзначається, що будь-який інформаційний випадковий сигнал при певних обставинах може бути як достовірним, так і недостовірним, що має важливе значення для подальшої його обробки в інформаційно-керуючих системах ПТК АСУ ТП в керуванні енергоблоком ТЕС і АЕС.

З вищесказаного аналізу робиться висновок про те, що в якості поняття «недостовірної інформації» в дисертаційній роботі, необхідно приймати інформацію, яка спотворена в цифровому коді й формує ознаки аварійності в інформаційному просторі при відхиленні величин характеристик параметрів технологічного процесу і дозволяє бачити динаміку зміни інформаційного випадкового сигналу в просторі й часі.

Проаналізуємо процес виявлення недостовірної інформації у випадку виявлення інформаційного випадкового сигналу при обробці апаратно-програмними засобами інформаційно-керуючих систем у стійках СЗО-К комплексу зв'язку з об'єктом (КЗО М64) і керуючого логічного пристрою (КЛП 2) підсистеми аварійного й попереджувального захисту інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанцій ТЕС і АЕС, який показано на рис. 2.5.

З рис 1.6. видно, що інформаційний сигнал про поточну характеристику технологічного параметра, який відповідає нормі (н-д: діапазон температур теплоносія першого контуру в межах $304^{\circ}\text{C} < T < 336^{\circ}\text{C}$) у вигляді позитивних і негативних імпульсів передається комбінацією цифрового коду (н-д: $T_{\text{ном}} = 320^{\circ}\text{C}$) [0000000101000000] (рис. 2.5а).

Однак у випадку значного відхилення від норми заданого параметра (н-д: в область низьких температур $T < T_{\text{min}} = 304^{\circ}\text{C}$ рис. 1.5в; в область високих температур $T > T_{\text{max}} = 336^{\circ}\text{C}$ рис. 1.5д), який нижче ($T_{\text{min}} = 304^{\circ}\text{C}$) або вище ($T_{\text{max}} = 336^{\circ}\text{C}$) уставки встановленої для даного параметра, не можна відстежити динаміку зміни інформаційного сигналу по зміні комбінації цифрового коду.

Таким чином, робиться висновок, що даний підхід до обробки інформаційних випадкових сигналів про зміну параметрів технологічного процесу у застосовуваних на сьогодні програмно-апаратних засобах ПТК АСУ ТП, не дозволяє виявити недостовірні інформаційні сигнали у вигляді цифрового коду й тим самим впливають на виявлення аварійних ознак технологічних параметрів у нештатних режимах функціонування та в цілому знижує надійність функціонування інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоків електростанцій (ТЕС та АЕС).

а) Інформаційний сигнал без відхилення параметра від норми $\overline{0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0}\ T_{\text{норм}} = 320^{\circ}\text{C}$

б) Відхилення характеристики параметра



в) Інформаційний випадковий сигнал



г) Відхилення характеристики параметра



д) Інформаційний випадковий сигнал



Рис. 2.5 – Процес виявлення недостовірної інформації у випадку виявлення інформаційного випадкового сигналу при обробці інформаційного простору

Питання для самоперевірки

1. Які основні сучасні методи підвищення надійності функціонування інформаційно-керуючих систем (ІКС)?
2. Як кластерний аналіз використовується для підвищення надійності ІКС?
3. Що таке фрактальний аналіз та як його застосовують для моніторингу енергосистем?
4. Які переваги інтеграції фрактального та кластерного аналізу для забезпечення надійності ІКС?
5. Які методи автоматичного виявлення та корекції помилок використовуються для підвищення надійності ІКС?
6. Яким чином використовуються сучасні алгоритми машинного навчання для покращення функціонування ІКС?
7. Які технології використовуються для моніторингу та діагностики стану ІКС в режимі реального часу?

8. Як впровадження новітніх інформаційних технологій впливає на надійність роботи ІКС?
9. Які методи використовуються для прогнозування стану та надійності ІКС?
10. Які заходи вживаються для забезпечення кібербезпеки інформаційно-керуючих систем?

ЛЕКЦІЯ 3. ОГЛЯД МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ І АЛГОРИТМІВ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ НА ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЯХ

Як відомо, для розв'язку завдань керування за допомогою засобів автоматизації необхідно описати об'єкт керування з достатньою сукупністю математичних залежностей, тобто математичною моделлю, яка відображає особливості і властивості електроенергетичного об'єкта, які істотні для досліджуваного процесу керування та в цілому системи керування технологічним процесом.

Тому, основне завдання при складанні моделей керування електроенергетичним обладнання енергоблоків електростанцій, полягає у виділенні найбільш важливих факторів у реальній системі керування технологічним процесом, які повинні бути відображені в моделі з найбільшою повнотою й деталізацією, і збігатися з реальними характеристиками технологічних параметрів, що значно дозволить простіше, швидше й дешевше проводити дослідження на об'єкті моделі, ніж на об'єкті реальної системи.

Облік випадкових змін інформаційних сигналів про характеристики технологічних параметрів, не можна описати за допомогою детермінованих і статичних моделей, однак і використання детермінованих динамічних і стохастических моделей для розв'язку завдань керування, коли всі процеси в об'єкті описуються випадковими функціями часу, доводиться використовувати складний математичний апарат теорії імовірності й математичної статистики, що також не є доцільним.

Аналіз методів обробки інформації на достовірність в інформаційно-керуючих системах ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції для підвищення надійності роботи електроенергетичного обладнання

Аналіз науково-технічної й спеціальної літератури показав, що існують наступні методи обробки інформації в інформаційно-керуючих системах для

підвищення надійності роботи електроенергетичного обладнання на енергооб'єктах.

Метод обробки інформації для встановлення визначальних параметрів технічного стану електроенергетичного обладнання.

Метою методу є встановлення таких визначальних параметрів технічного стану, які задовольняють двом основним вимогам:

- 1) параметр служить індикатором працездатності устаткування;
- 2) параметр відновлюється до вихідного (близького до вихідного) значення в результаті проведення планового технічного обслуговування.

Метод оцінки інформації в системах керування для початку планового технічного обслуговування й ремонту. У якості показника, що визначає період до проведення планових робіт з технічного обслуговування, застосовується показник – гамма-процентний наробіток до відмови, який визначається виразом (3.1):

$$T_{cp} = \mu = \frac{x_{np} - x_0}{a}, \quad T_{\gamma} = \mu X_{\gamma} = X_{\gamma} \cdot \frac{x_{np} - x_0}{a}, \quad (3.1)$$

де коефіцієнт X_{γ} визначається з рівняння $F_{DN}(X_{\gamma}, \mu=1, \nu)=1-\gamma/100$, у якому $F_{DN}(X_{\gamma}, \mu=1, \nu)$ – функція розподілу (ймовірність відмови); a – середня швидкість зміни визначальних параметрів технічного стану; μ – параметр масштабу розподілу; ν – параметр форми розподілу, який дорівнює коефіцієнту варіації швидкості зміни визначального параметра й визначається за коефіцієнтом варіації основного процесу деградації; γ – регламентоване значення ймовірності (ступінь запасу) гамма-процентного наробітку на відмову (виражене у відсотках).

Метод оцінки інформації в інформаційно-керуючих системах для визначення ступеня впливу устаткування на безпеку. При даному методі устаткування ділиться на три групи за рівнем (ступенем) його впливу на безпеку (високий, середній і низький рівні).

Чисельне значення ступеня впливу аналізованого устаткування на надійність і безпеку визначається за виразом (3.2):

$$\Delta ЧП = \int_0^{\infty} ЧП(x) f_{\tau}(x, \tau_{cp}, \sigma) dx, \quad (3.2)$$

де $ЧП(x)$ – функція, що відображає вплив тривалості позапланового ремонту на частоту пошкодження; $f_{\tau}(x, \tau_{cp}, \sigma)$ – функція розподілу тривалості позапланового ремонту; τ_{cp} – середня тривалість позапланового ремонту устаткування, год; σ – середньоквадратичного відхилення тривалості ремонту устаткування.

Метод оцінки інформації в інформаційно-керуючих системах для визначення ступеня впливу устаткування на ефективність експлуатації. Кількісна оцінка ступеня впливу можлива на основі оцінки значення недовиробітку електроенергії за умови відмови аналізованого устаткування.

Ступінь недовиробітку електроенергії при відмові аналізованого устаткування оцінюється за виразом (3.3):

$$C = \int_{t_{p1}}^{t_{p2}} Q(x, \tau_1, \tau_2, \nu) dx, \quad (3.3)$$

де $Q(x, \tau_1, \tau_2, \nu)$ – функція, яка відображає вплив тривалості позапланового ремонту на недовиробіток електроенергії; τ_1 – час ремонту устаткування, після якого потужність знижується на величину ν ; τ_2 – час ремонту устаткування, після якого потужність знижується до нуля; ν – величина зниження потужності при тривалості ремонту більш τ_1 ; t_{p1}, t_{p2} – мінімальний і максимальний час позапланового ремонту.

Загальна процедура й поетапність обробки інформації в інформаційно-керуючих системах для визначення ступеня впровадження концепції переходу на ремонт за технічним станом.

Загальна концепція планування ремонтів полягає в наступному: устаткування необхідно ремонтувати тоді, коли визначають параметри його технічного стану близькі до гранично припустимих значень. Планування ремонту проводиться через інтервал часу (3.4):

$$T_{\text{рем}} = \min_i \{t_{\gamma i} - t_0\}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3.4)$$

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

Проведений аналіз існуючих на сьогодні методів обробки інформації з використанням інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП на енергоблоках ТЕС і АЕС показав, що вони недостатньо відповідають вимогам з виявлення недостовірної (неправильної) інформації про відхилення величин характеристик параметрів технологічного процесу в режимі реального часу, і це може призвести до несвоєчасного визначення аварійних ознак у нештатних режимах функціонування електроенергетичного устаткування енергоблоків ТЕС і АЕС і тим самим не забезпечити ступінь надійності за своєчасним реагуванням на процес передаварійного й аварійного стану електростанцій.

Аналіз існуючих динамічних просторово-часових моделей інформаційного простору інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоків електростанцій

На сьогоднішній день існують різні моделі для опису технологічних процесів і формування критеріїв керування на локальних, блокових і загальностанційних рівнях керування ТЕС і АЕС.

Як показав аналіз, найбільш доцільною моделлю для опису інформаційного простору технологічного процесу є просторово-часова модель об'єкта керування, яка в заданий момент часу відображає стан технологічного циклу в будь-якій точці простору, навіть у такій, доступ до якої на працюючому устаткуванні фізично неможливий.

Як показано в роботах, математичну модель електростанції можна записати наступним виразом (3.5):

$$S_{EC} : X_{EC} \rightarrow Y_{EC} \quad (3.5)$$

Стосовно до кожного енергоблоку кінцева безліч вхідних впливів $x = \{x_i\} \in X$ – зміни витрат води, палива й повітря, тощо, до безлічі вихідних впливів (сигналів) $y = \{y_i\} \in Y$ відносять зміни технологічних параметрів, таких як: електрична потужність паропродуктивності котлів, тиск, температура, ентальпія, тощо.

Для розробки моделей визначають канали передачі регулюючих, керуючих та обурюючих впливів для технологічного об'єкта керування. При цьому передбачається, що в якості об'єкта керування, що характеризує технологічний процес на електростанції, обирають, як правило, типовий енергоблок, у якому технологічний процес протікає в паровому котлі й турбогенераторі.

Необхідно відзначити, що модель електростанції в основному представлена у вигляді сімейства однорівневих моделей агрегованого (узагальненого) блоку з єдиним технологічним процесом, що складається із двох послідовних процесів у котлі й турбіні.

Для опису технологічних процесів електростанції використовують моделі статичні, які описують, встановлений стан, і моделі динаміки, що описують перехідні режими.

Моделі статичні

Розглянемо особливості застосування типових моделей статичні в інформаційно-керуючих системах ПТК АСУ ТП електроенергетичного устаткування енергоблоку електростанції і їх вплив на функції керування.

Модель витрати пари на вході в турбіну представлена виразом (3.6):

$$G_0 = N_e / \sum \alpha j H_i \eta_m \eta_r, \quad (3.6)$$

де N_e – задана електрична потужність турбогенератора; η_m, η_g – механічний КПД турбіни й генератора; αjH_i – внутрішня робота на 1 кг свіжої пари.

Модель витрати пари на виході турбіни представлена виразом (3.7):

$$G_{кт} = \alpha_{кт} G_0, \quad (3.7)$$

де $\alpha_{кт}$ – відносний пропуск пари в конденсатор; G_0 – витрата пари на вході в турбіну.

Модель витрати пари на вторинний перегрів можна записати у вигляді виразу (3.8):

$$G_{вп} = \alpha_{вп} G_0, \quad (3.8)$$

де $\alpha_{вп}$ – відносна маса витрати пари на вторинний перегрів; G_0 – витрата пари на вході в турбіну.

Модель витрати пари на виході котла представлена виразом (3.9):

$$G_{пп} = \alpha_k G_0, \quad (3.9)$$

де $\alpha_k \approx 0,02$; G_0 – витрата пари на вході в турбіну.

Модель теплового навантаження котла представлена виразом (3.10):

$$Q_k = G_{пп} (h_0 - h_{пв}) + G_{вп} (h_{вп}^T - h_{вп}^0), \quad (3.10)$$

де $h_{вп}^T - h_{вп}^0$ – різниця ентальпій після й до вторинного перегріву; $G_{пп}$ – витрата пари на виході котла; $h_0 - h_{пв}$ – різниця ентальпій на виході котла; $G_{вп}$ – витрата пари на вторинний перегрів.

Модель витрати теплоти на турбоустановку можна записати у вигляді виразу (3.11):

$$Q_T = G_T (h_0 - h_{\text{пв}}) + G_{\text{вп}} (h_{\text{вп}}^T - h_{\text{вп}}^0), \quad (3.11)$$

де $h_{\text{вп}}^T - h_{\text{вп}}^0$ – різниця ентальпій після й до вторинного перегріву; G_T – витрата пари на турбіну; $h_0 - h_{\text{пв}}$ – різниця ентальпій на виході котла; $G_{\text{вп}}$ – витрата пари на вторинний перегрів.

Модель витрати теплоти на електроенергію можна записати у вигляді виразу (3.12):

$$Q_T^3 = Q_T - (Q_T^{\text{пот}} + Q_T^{\text{д}}), \quad (3.12)$$

де $Q_T^{\text{пот}}, Q_T^{\text{д}}$ – витрати теплоти на заповнення втрат і одержання дистилляту; Q_T – витрата теплоти на турбоустановку.

Модель втрат теплоти в конденсаторі турбіни можна записати у вигляді виразу (3.13):

$$Q_T^{\text{к}} = G_{\text{кт}} (h_{\text{к}} - h_{\text{к}}'), \quad (3.13)$$

де $G_{\text{кт}}$ – витрата пари на виході турбіни; $h_{\text{к}} - h_{\text{к}}'$ – різниця ентальпій.

З перерахованого вище аналізу моделей статистики, для опису технологічного процесу на електричних станціях (ТЕС і АЕС) видно, що їм властиві наступні основні недоліки: громіздкість розрахунків, невизначеність у фізичній інтерпретації коефіцієнтів, складність при оцінці похибки обчислення, відсутність проміжного контролю характеристик технологічних параметрів в інформаційному просторі технологічного процесу (контроль первинних і кінцевих значень параметрів), а найбільш суттєвим недоліком є відсутність часових характеристик.

І виходячи з цього, робиться висовок про недоцільність застосування моделей статистики в інформаційно-керуючих системах ПТК АСУ ТП енергоблоку

електростанції для опису процесів обробки інформації про стан функціонування технологічного електрообладнання ТЕС і АЕС.

Моделі динаміки

Розглянемо особливості застосування типових моделей динаміки в інформаційно-керуючих системах ПТК АСУ ТП електроенергетичного устаткування енергоблоку електростанції і їх вплив на функції керування.

Модель нейтронно-фізичних процесів представлена виразом (3.14):

$$M_k : \begin{cases} \frac{dn}{dt} = \frac{1}{l} \rho n - \frac{1}{l} \beta n + \sum_{i=1}^2 \lambda_i C_i, \\ \frac{dC_i}{dt} = \frac{1}{l} \beta_i n - \lambda_i C_i, \\ \rho = \alpha_r (\theta_c - \theta_{c0}) + \alpha_r (\theta_r - \theta_{r0}) + \alpha_p \mu_p, \\ i = 1, 2. \end{cases}, \quad (3.14)$$

де n – нейтронний потік; l – середній ефективний час життя нейтронів у реакторі; C_i – концентрація джерел запізнілих нейтронів i -ї групи; β_i – постійні розпаду джерел запізнілих нейтронів i -ї групи; λ_i – постійна розпаду ядра-випромінювача i -ї групи; β – загальна частка запізнілих нейтронів щодо повного числа миттєвих нейтронів; ρ – реактивність реактора; α_r, α_r – температурні коефіцієнти реактивності теплоносія й пального відповідно; θ_r, θ_c – температура горючого й середня температура теплоносія; α_p – коефіцієнт ефективності регулюючих стержнів; μ_p – відносне переміщення цих стержнів.

Модель теплофізичних процесів в активній зоні реактора можна записати у вигляді виразу (3.15):

$$M_{\tau,p} : \begin{cases} T_1 \frac{d\theta_r}{dt} = n - n_0 - a_6 (G - G_0) - a_7 \theta_r + a_8 \theta_{cp}, \\ T_2 \frac{d\theta_{cp}}{dt} = a_9 \theta_r - a_8 \theta_{cp} + a_{10} \theta_{ex,p} + a_{11} (G - G_0), \\ T_3 \frac{d\theta_{ex,p}}{dt} = (a_{12} \theta_{cp}^{пр} - a_{13} \theta_{ex}^{пр} - \theta_{ex,p}) G, \\ \theta_{ex,p} = a_{14} \theta_{cp} - a_{15} \theta_{cp}. \end{cases}, \quad (3.15)$$

де $\theta_{ex,p}$, $\theta_{ex,p}$ – температура теплоносія на виході й вході в активну зону реактора; $\theta_{ex}^{пр}$, $\theta_{ex}^{пр}$ – температура теплоносія на вході й виході парогенератора; $T_1 - T_3$ – постійні часу; $a_6 - a_{15}$ – постійні коефіцієнти; G – витрата теплоносія через реактор; $\theta_{cp}^{пр}$ – середня температура теплоносія в трубках парогенератора; θ_r – теплова потужність, виділювана в пальному.

Модель теплофізичних процесів у першому контурі парогенератора можна записати у вигляді виразу (3.16):

$$M_{n1} : \begin{cases} T_4 \frac{d\theta_{cp}^{пр}}{dt} = a_{16} (G - G_0) + a_{17} \rho_{пр} + a_{18} \theta_{ex}^{пр} + a_{19} \theta_{cp}^{пр}, \\ T_5 \frac{d\theta_{ex}^{пр}}{dt} = (a_{20} \theta_{cp}^{пр} - a_{21} \theta_{ex,p} - \theta_{ex}^{пр}) G. \end{cases}, \quad (3.16)$$

де T_4, T_5 – постійні часу; $a_{16} - a_{21}$ – постійні коефіцієнти; $\rho_{пр}$ – відхилення тиску пари в парогенераторі; G – витрата теплоносія через реактор; $\theta_{ex}^{пр}$, $\theta_{ex}^{пр}$ – температура теплоносія на вході й виході парогенератора; $\theta_{ex,p}$, $\theta_{ex,p}$ – температура теплоносія на виході й вході в активну зону реактора.

Модель теплофізичних процесів у другому контурі парогенератора можна записати у вигляді виразу (3.17):

$$M_{n2} : \begin{cases} \frac{d\rho_{\text{пр}}}{dt} = a_{22}\mu_{\text{п.в}} + a_{23}G_{\text{п}} + a_{24}G_{\text{д.в}} + a_{25}\rho_{\text{пр}} + a_{26}\theta_{\text{ср}}^{\text{пр}}, \\ \frac{dH}{dt} = a_{27}\mu_{\text{п.в}} + a_{28}G_{\text{п}} + a_{29}G_{\text{д.в}} + a_{30}\rho_{\text{пр}} + a_{31}\theta_{\text{ср}}^{\text{пр}}, \\ \frac{dG_{\text{3.п}}}{dt} = a_{32}\mu_{\text{п.в}} + a_{33}G_{\text{п}} + a_{34}G_{\text{д.в}} + a_{35}\rho_{\text{пр}} + a_{36}\theta_{\text{ср}}^{\text{пр}}, \\ T_6 \frac{d\rho_{\text{к}}}{dt} = G_{\text{п}} - (G_{\text{т}} - G_{\text{т0}}) - k_{\text{БРУ-К}}\mu_{\text{БРУ-К}}, \\ G_{\text{п}} = a_{39}\rho_{\text{пр}} - a_{40}\rho_{\text{к}}. \end{cases} \quad (3.17)$$

де $G_{\text{п.в}}, G_{\text{п}}, G_{\text{т}}$ – витрати живильної води, пари з парогенератора, пари на турбіну; $G_{\text{д.в}}$ – витрата пари із дзеркала випару; $\mu_{\text{п.в}}, \mu_{\text{БРУ-К}}$ – переміщення живильних клапанів і клапанів БРУ-К; $\rho_{\text{к}}$ – тиск у паровому котлі; $a_{22} - a_{40}$ – постійні коефіцієнти; $\rho_{\text{пр}}$ – відхилення тиску пари в парогенераторі.

Модель динамічних процесів у турбіні представлена виразом (3.18):

$$M_{\text{т}} : \begin{cases} T_{\text{в}} \frac{d\rho_{\text{в}}}{dt} = G_{\text{т}} - \rho_{\text{в}}, \\ T_{\text{с}} \frac{d\rho_{\text{с}}}{dt} = \rho_{\text{в}} - \rho_{\text{с}} F_3(\mu_3), \\ T_{\text{н}} \frac{d\rho_{\text{н}}}{dt} = \rho_{\text{с}} F_3(\mu_3) - \rho_{\text{н}}, \\ m_{\text{т}} = k_{\text{в}}\rho_{\text{в}} + k_{\text{н}}\rho_{\text{н}}. \end{cases} \quad (3.18)$$

де $\rho_{\text{в}}, \rho_{\text{н}}, \rho_{\text{с}}$ – тиск у відсіках циліндра високого тиску, циліндра низького тиску й сепаратора-пароперегрівника; μ_3 – відносне переміщення регулювальних клапанів заслінок проміжного перегріву; $F_3(\mu_3)$ – нелінійна функція; $T_{\text{в}}, T_{\text{с}}, T_{\text{н}}$ – постійні часу відповідних елементів; $k_{\text{в}}, k_{\text{н}}$ – коефіцієнти, що характеризують частку циліндру високого і низького тиску у потужності турбіни; $G_{\text{т}}$ – витрати пари на турбіну.

Модель динамічних процесів у циркуляційному контурі можна записати у вигляді виразу (3.19):

$$M_{\text{ц.к}} : \begin{cases} T_{\text{п}} \frac{dG_{\text{ц}}}{dt} = a_{49}\omega_{\text{н}}^2 + a_{50}\omega_{\text{н}}G_{\text{ц}} + a_{51}G_{\text{ц}}^2 + a_{52}G - \delta\rho_p - \delta\rho_{\text{п}}, \\ T_{\text{ж}} \frac{d\omega_{\text{н}}}{dt} = m_{\text{э}} - m_{\text{с}}, \\ m_{\text{с}} = a_{53}\omega_{\text{н}}G_{\text{ц}} + a_{54}G_{\text{ц}}^2 + a_{55}\frac{1}{\omega_{\text{н}}}G_{\text{ц}}^3. \end{cases}, \quad (3.19)$$

де $T_{\text{п}}, T_{\text{ж}}$ – постійні часу теплоносія й механічної інерції двигуна; $m_{\text{э}}, m_{\text{с}}$ – електромагнітний момент та момент опору двигуна; $a_{49}-a_{55}$ – постійні коефіцієнти; $G, G_{\text{ц}}$ – витрати теплоносія через реактори петлю циркуляції; $\delta\rho_p, \delta\rho_{\text{п}}$ – гідростатичні напори в реакторі й петлі циркуляції; $\omega_{\text{н}}$ – швидкість обертання насоса.

З перерахованого вище аналізу інформаційних моделей динаміки для опису технологічного процесу на електричних станціях (ТЕС і АЕС) видно, що їм властиві наступні основні недоліки:

- у моделях не враховується динаміка зміни характеристик параметрів технологічного процесу в просторі й часі в режимі реального часу;
- в аналітичних виразах моделей, для виміру характеристик технологічних параметрів використовують, як правило, нижню й верхню границі цих характеристик, що не дозволяє визначати достовірність (недостовірність) інформації випадково прийнятих значень;
- у моделях не враховуються внутрішні й зовнішні властивості зміни функціонування електроенергетичного устаткування енергоблоку електростанції при зміні структури фазового інформаційного простору технологічного процесу, а, отже, не будуть визначені аварійні ознаки технологічних параметрів, що може призвести, як наслідок до важких аварій і катастроф.

Отже, враховуючи названі вище недоліки, представлені вище динамічні моделі, відмічається, що вони не повною мірою відповідають вимогам з визначення достовірної (недостовірної) інформації про характеристики параметрів технологічного процесу електричних станцій (ТЕС і АЕС), тому необхідно вдосконалити динамічні моделі, які дозволять описувати процеси

обробки інформаційних сигналів про технологічні параметри в режимі реального часу відповідно до розроблених нових вимог.

Алгоритми обробки інформації з використанням інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції

Розглянемо особливості застосування алгоритмів обробки інформації з використанням інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції і їх вплив на функції керування.

Керування в режимі поради оператора. Сигнали вимірювальної інформації $x_0 = \{x_{0i}\} \in X$ й $z_0 = \{z_{0i}\} \in Z$, що надходять із електроенергетичного устаткування електростанції, перетворюються за допомогою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) в цифрову форму (код). Далі їх використовують в алгоритмах розрахунків керуючих впливів $u = \{u_i\} \in U$. Останні надаються операторові в наочній формі й реєструються, якщо буде потреба. Оператор, керуючись отриманими даними, управляє процесом за допомогою зміни завдання автоматичної системи регулювання, впливаючи на систему дистанційного керування регульовальними органами.

Недолік даного керування в тому, що обмежено число керуючих впливів, які може реалізувати оператор в одиницю часу.

Супервізійне керування. У режимі супервізійного керування керуючий обчислювальний комплекс періодично підключають до систем безперервного регулювання. На практиці використовують два варіанти цього режиму:

- автоматична корекція заданих значень регульованих величин, де в якості вихідних даних використовуються обмеження, що накладаються на зміни значення y_{0z} , ступінчастого сигналу u_n й на збурювання за навантаженням x_n , вид і параметри моделі – еталона, обраної на основі завдання підсистеми керування верхнього рівня з урахуванням вимог режимного характеру, як показано на рис. 3.1.

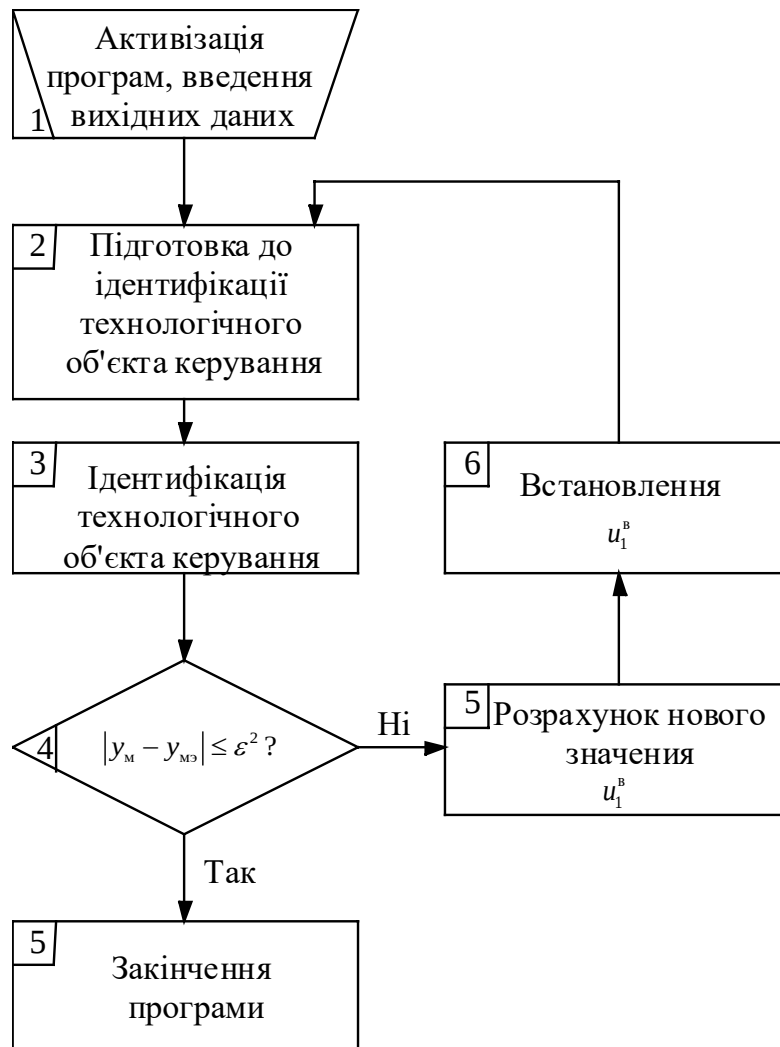


Рис. 3.1 – Алгоритм формування сигналу завдання з керуючим сигналом u_1^B

Процес формування u_1^B умовно розділяють на два етапи: на першому з них визначають координати «навантаження – задане значення y_{03} », на другому здійснюють розрахунки чисельного значення u_1^B за результатами порівняння y_M й y_{Me} , і передача u_1^B в автоматичну систему регулювання.

- автоматична корекція параметрів налаштування автоматичної системи регулювання, яку здійснюють у самонастроювальній системі, реалізованої за допомогою КОК, «штатної» і переносної апаратури (рис. 3.1).

Централізоване цифрове керування на основі ПТК:

При даному керуванні сигнал від первинного вимірювального перетворювача через АЦП надходить в арифметичний пристрій ЕОМ,

порівнюється із заданим значенням і перетвориться відповідно до необхідного алгоритму керування для даного контуру, як показано на рис. 3.2.

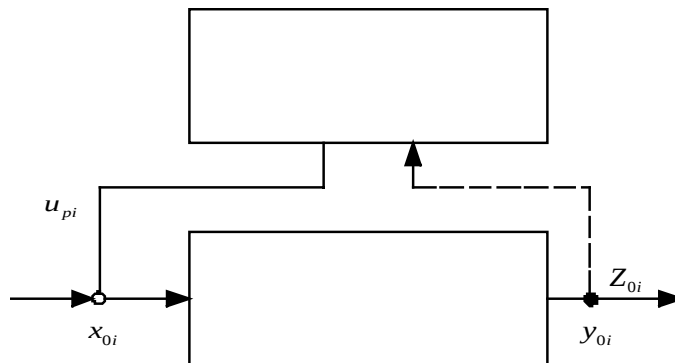


Рис.3.2 – Функціональна схема централізованого цифрового керування

Імпульси, що формуються в керуючому обчислювальному комплексі, який реалізує цифрове регулювання, залежать від вихідного впливу еквівалентного цифрового регулятора в момент часу та сигналу помилки на вході в цифровий регулятор.

Розподілене керування. При даному виді керування технологічним процесом за допомогою інформаційно-керуючої системи ПТК АСУ ТП основною формою служить цифрове керування.

Можна відзначити, що основним недоліком даної форми керування є те, що відмова одного з ланок вищого рівня веде до втрати керування в межах усієї ієрархічної системи.

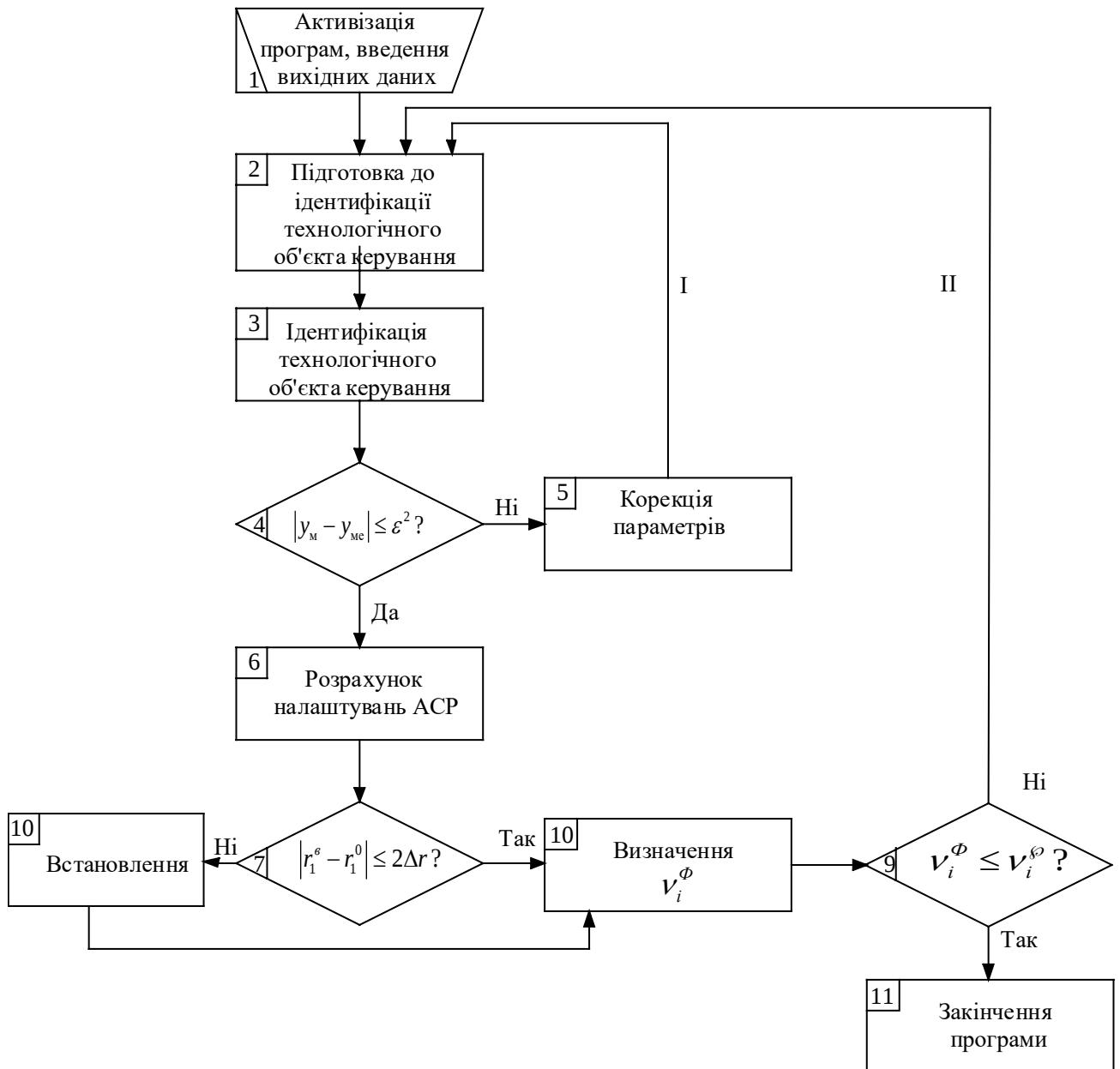


Рис. 3.3— Алгоритм самонастроювання (адаптації)

Питання для самоперевірки

1. Що таке система керування технологічним процесом на електричній станції?
2. Які основні методи керування використовуються в системах керування технологічним процесом на електричних станціях?
3. Які моделі керування найбільш поширені в сучасних електричних станціях?
4. Як алгоритми керування впливають на ефективність роботи електричних станцій?

5. Які переваги і недоліки використання різних методів керування технологічними процесами на електричних станціях?
6. Які фактори впливають на вибір моделі керування для конкретної електричної станції?
7. Як здійснюється моніторинг і діагностика стану систем керування технологічним процесом?
8. Які алгоритми використовуються для автоматизації керування технологічними процесами на електричних станціях?
9. Як сучасні інформаційні технології впливають на розвиток систем керування технологічним процесом?
10. Які перспективи розвитку методів, моделей і алгоритмів систем керування технологічними процесами на електричних станціях?

ЛЕКЦІЯ 4. ПІДХОДИ ТА РОЗРОБКА КЛАСТЕРНОЇ МОДЕЛІ СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НА ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЯХ

Для дослідження відхилень величин параметрів технологічного процесу на енергоблоках ТЕС і АЕС запропоновано використовувати поняття об'єму інформаційного простору про технологічний процес, який є сукупністю інформаційних сигналів, що несуть інформацію про аварійні ознаки про відхилення параметрів технологічного процесу електричних станцій, тому в роботі була запропонована кластерна модель структури об'єму інформаційного простору на основі використання апарата фрактально-кластерної теорії.

Як відомо, апарат фрактально-кластерної теорії дозволяє представляти об'єм інформаційного простору у вигляді кластер-кластерних агрегацій, тобто у вигляді сукупності кластерів з різними ознаками. Тому в роботі було запропоновано розглядати об'єм інформаційного простору технологічного процесу (ТП) електроенергетичного обладнання електростанції $Q_{V\Sigma in}$, що обробляється за допомогою інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП, у вигляді сукупності кластерів, при цьому кластери з нормованими значеннями сигналів про параметри ТП утворюють об'єм кластер-кластерних агрегацій з об'ємом - $Q_{V_{kkH}}$, а кластери з ознаками аварійності утворюють кластер-кластерні агрегації з об'ємом - $Q_{V_{kkBn}}$, як показано на рис. 4.1.

Із рис. 4.1 видно, кластери окремих інформаційних сигналів про технологічні параметри утворюють певний об'єм кластер-кластерних агрегацій з нормованими значеннями параметрів $Q_{V_{kkH}}$, а інші з аварійними ознаками (випадковими значеннями параметрів $Q_{V_{kkBn}}$), звідки слідує, що в цьому випадку, повний сумарний об'єм інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$ можна представити, як суму об'ємів кластер-кластерних агрегацій з нормованими значеннями параметрів $Q_{V_{kkH}}$ і об'ємів кластер-кластерних агрегацій з ознаками аварійності (випадковими хаотичними значеннями параметрів $Q_{V_{kkBn}}$), згідно з виразом (4.1):

$$Q_{V\Sigma\kappa\kappa} = Q_{V\kappa\kappa H} + Q_{V\kappa\kappa Bn} \quad (4.1)$$

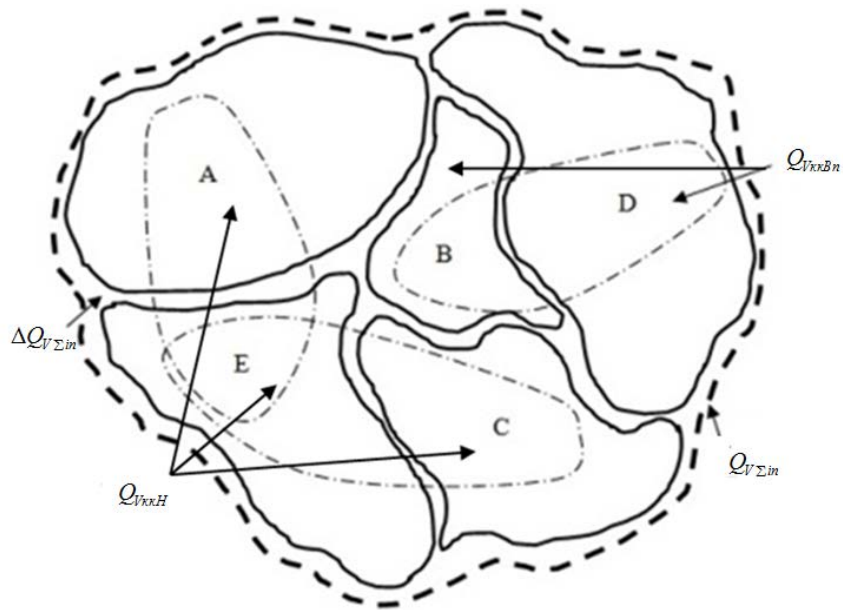


Рис.4.1 – Графічне представлення формування кластер-кластерних агрегацій в об'ємі інформаційного простору

Звідки слідує, що на сигнали з аварійними ознаками (випадкові хаотичні сигнали) доводиться частина незаповненого об'єму інформаційного простору $\Delta Q_{V\Sigma in}$, як показано у виразі (4.2):

$$\Delta Q_{V\Sigma in} = Q_{V\kappa\kappa Bn} = Q_{V\Sigma\kappa\kappa} - Q_{V\kappa\kappa H} \quad (4.2)$$

Згідно фрактально-кластерної теорії, у якості кількісної фізичної величини, яка характеризує ступінь заповнення всього об'єму інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$ відповідними інформаційними сигналами про технологічні параметри, є інформаційна фрактальна розмірність d_{fi} .

Оскільки в роботі прийнято допущення, що кожен кластер обмежений своїм об'ємом, тому об'єм $Q_{V\Sigma in}$ інформаційного простору інформаційно-керуючих

систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції з кількістю інформації $Q_{f\Sigma in}$ можна представити у вигляді виразу (4.3):

$$Q_{V\Sigma in} = (Q_{VA} + Q_{VB} + Q_{VC} + Q_{VD} + Q_{VE})^{d_{fi}}, \quad (4.3)$$

де Q_{VA}, Q_{VE}, Q_{VC} – об'єми кластерів з інформаційними сигналами про нормовані значення параметрів, Q_{VB}, Q_{VD} – об'єми кластерів з аварійними ознаками (випадковими хаотичними значеннями параметрів).

Таким чином, з виразу (4.3) слідує, що об'єм $Q_{V\Sigma in}$ інформаційного простору інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанцій перебуває в ступеневій залежності від інформаційної фрактальної розмірності d_{fi} , і отже, структура об'єму $Q_{V\Sigma in}$ інформаційного простору має фрактальні властивості, крім того, вводиться обмеження на кількість інформації $Q_{f\Sigma in}$ в цьому об'ємі $V_{\Sigma in}$ (н-д: кількість інформації $Q_{f\Sigma in}$, що знаходиться в об'ємі пам'яті даних в мікропроцесорній системі інформаційно-керуючої системи ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції).

Розробка структури кластерної моделі інформаційного простору технологічного процесу

Згідно з теорією передачі сигналів, кількість інформації $Q_{\Sigma in}$ в об'ємі тривимірного фазового інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$ з фрактальними властивостями тотожна зміні енергії E_c й потужності P_c сигналів, що проходять через структуру цього об'єму, тобто $\Delta Q_{V\Sigma in} \sim \Delta E \sim \Delta P \sim \Delta Q$., як показано на рис. 4.2.

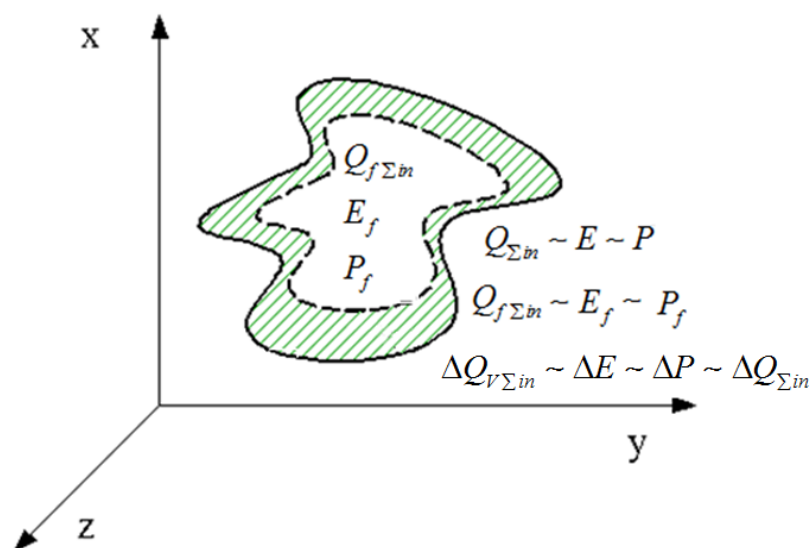


Рис. 4.2 – Процес зміни кількості інформації $\Delta Q_{\Sigma in}$, енергії ΔE та потужності ΔP в об'ємі фазового тривимірного інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$

Звідки випливає, що зміни енергії й потужності $\Delta E, \Delta P$ інформаційних сигналів залежать від зміни кількості інформації $\Delta Q_{\Sigma in}$ в об'ємі тривимірного фазового інформаційного простору $V_{\Sigma in}$ інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції.

Отже, можна зробити висновок про те, що й зміна енергії й потужності випадкового сигналу $\Delta E, \Delta P$, що проходить через структуру об'єму інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$, як показано на рис 4.2, що має фрактальні властивості, і відповідно виразу (4.3) також пов'язані зі зміною кількісної величини – інформаційною фрактальною розмірністю d_{fi} . На підставі вищесказаного при дослідженні об'єму тривимірного фазового інформаційного простору $V_{\Sigma in}$ згідно фрактально-кластерної теорії й теорії динамічних систем була вирішена пряма задача і показано, що інформаційна фрактальна розмірність d_{fi} інформаційного простору залежить від збільшення кількості інформації $\Delta Q_{\Sigma in}$ в інформаційному сигналі, часу повернення характеристик параметрів технологічного процесу до нормованих значень τ_f й прирощення часу циклу Δt_q , як показано виразом (4.4):

$$d_{fi} \cong d_{0fi} \cdot 2^{(\ln 2) |\Delta \overline{Q_{\Sigma in}}| (\tau_f - \Delta t_u)}, \quad (4.4)$$

де d_{0fi} – початкове значення інформаційної фрактальної розмірності при нормованих значеннях параметрів; Δt_u – прирощення часу життєвого циклу параметру; τ_f – час повернення характеристик параметрів до нормованих значень параметрів; $\Delta Q_{\Sigma in}$ – прирощення кількості інформації в об'ємі інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$ при проходженні випадкового інформаційного сигналу.

З формули (4.4) видно, що зміна інформаційної фрактальної розмірності d_{fi} пов'язана зі зміною кількості інформації $\Delta Q_{\Sigma in}$ в об'ємі інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$, як показано на рис. 4.3.

Необхідно зазначити, що при відсутності зміни кількості інформації ($\Delta Q_{\Sigma in} = 0$) не відбувається зміна інформаційної фрактальної розмірності, тобто $d_{fi} = d_{0fi}$, а $\tau_f = t_u$, що свідчить про відсутність сигналів з ознаками аварійності параметрів в технологічному процесі. Звідки була вирішена зворотна задача за знаходженням зміни кількості інформації $\Delta Q_{\Sigma in}$ в об'ємі інформаційного простору $V_{\Sigma in}$, як показано виразом (4.5):

$$|\Delta \overline{Q_{\Sigma in}}| \cong \frac{\ln \frac{d_{fi}}{d_{0fi}}}{(\ln^2 2)(\tau_f - \Delta t_u)} \quad (4.5)$$

З виразу (4.5) випливає, що при проходженні через об'єм інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$ випадкового інформаційного сигналу, з'являється збільшення кількості інформації $\Delta Q_{V\Sigma in}$ й утворюється локальна інформаційна неоднорідність у вигляді дивного атрактора з площею S , що свідчить про наявність ознак аварійності у випадку виявлення фрактальних інформаційних сигналів, які

проходять через об'єм інформаційного простору, при цьому інформаційна фрактальна розмірність d_{fi} відмінна від початкового значення d_{0fi} на величину Δd_i , як показано на рис.4.3.

Питання для самоперевірки

1. Що таке кластерна модель структури інформаційного простору технологічного процесу?
2. Які основні підходи використовуються для створення кластерної моделі на електричних станціях?
3. Які переваги кластеризації інформаційного простору технологічних процесів?
4. Як кластерний аналіз допомагає виявити приховані закономірності та аномалії в технологічних процесах?
5. Які методи кластеризації використовуються для створення інформаційних моделей на електричних станціях?
6. Як побудувати кластерну модель інформаційного простору технологічного процесу?
7. Які фактори впливають на якість кластерної моделі?
8. Як здійснюється моніторинг та оновлення кластерної моделі в реальному часі?
9. Які інструменти та програмне забезпечення використовуються для розробки кластерних моделей?
10. Які перспективи розвитку кластерних моделей в контексті покращення ефективності та надійності роботи електричних станцій?

ЛЕКЦІЯ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ОБ'ЄМУ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІД ЗМІНИ ПРОСТОРОВИХ КООРДИНАТ У РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Як було встановлено, тривимірний фазовий об'єм інформаційного простору інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції $Q_{V\Sigma in}$ має фрактальні властивості, та ступінь його заповнення характеризується кількісною величиною інформаційною фрактальною розмірністю d_{fi} . Виходячи з вищевказаних припущень, отримаємо вираз (5.1) для визначення об'єму, описуваного сферою:

$$Q_{V0\Sigma in} = \frac{4}{3} \pi r_0^3 \quad (5.1)$$

Необхідно звернути увагу на те, що зміна початкового об'єму інформаційного простору $Q_{V0\Sigma in}$ залежить від зміни радіуса r_0 , а особливо його ступеневого показника, що дорівнює трьом r_0^3 .

З цього випливає, що для дослідження зміни енергії випадкового хаотичного інформаційного сигналу ΔE , що проходить через об'єм $Q_{V\Sigma in}$ в режимі реального часу, необхідно встановити зв'язок між зміною середнього значення радіуса кореляції Δr_{cp} тривимірного фазового об'єму інформаційного простору інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції $Q_{V\Sigma in}$ та зміною інформаційної фрактальної розмірності Δd_{fi} .

В роботі отримана наступна залежність для зміни середнього значення радіуса кореляції Δr_{cp} , як показано виразом (5.2):

$$\Delta r_{cp} = r_{2cp.p.kl} - r_{1cp.p.kl}, \quad (5.2)$$

де $r_{2cp.p.kl}$ – зовнішній радіус кластер-кластерної агрегації; $r_{1cp.p.kl}$ – внутрішній радіус кластер-кластерної агрегації.

Показано, що кластер-кластерна агрегація об'єму інформаційного простору $Q_{V0\Sigma in}$ з локальною інформаційною неоднорідністю, має фрактальні властивості, тобто геометричні відстані ℓ_{kka}^{geom} (середня відстань між кластерами різних кластер-кластерних агрегацій) та ℓ_{kl}^{geom} (середня відстань між кластерами всередині кластер-кластерної агрегації) відрізняються від евклідових на $\Delta\ell$ та є фрактальними довжинами відповідно ℓ_{fkl} та ℓ_{fkka} .

Зміна фрактальних довжин $\Delta\ell_x, \Delta\ell_y, \Delta\ell_z$ еквівалентна зміни просторових координат $\Delta x, \Delta y, \Delta z$, отже, можна зробити висновок, що зміна радіуса r_f для фрактального тривимірного фазового об'єму інформаційного простору інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції $Q_{V\Sigma in}$ приблизно дорівнює зміні фрактальних довжин l_f фрактального об'єму $Q_{V\Sigma in}$, тобто $r_f \approx l_f$, а, отже, радіус r_f можна виразити через зміну фрактальних довжин $\Delta\ell_x, \Delta\ell_y, \Delta\ell_z$, та вираз (5.2) можна представити в наступному вигляді:

$$Q_{V\Sigma in} = \frac{4}{3} \pi \left(\sqrt{\Delta\ell_x + \Delta\ell_y + \Delta\ell_z} \right)^{d_f} \quad (5.3)$$

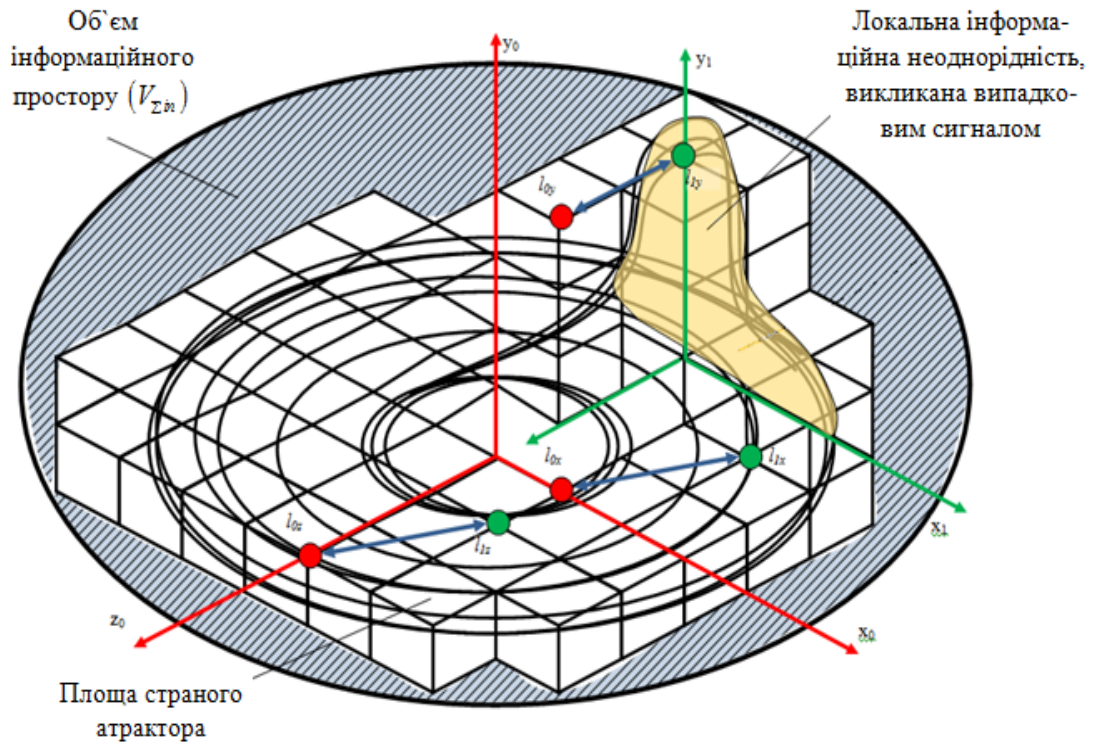


Рис. 5.1 – Структура моделі тривимірного фазового об'єму інформаційного простору

З виразу (5.3) випливає, що тривимірний фазовий об'єм інформаційного простору $Q_{V_{\Sigma in}}$ інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції залежить від зміни фрактальних довжин $\Delta\ell_x, \Delta\ell_y, \Delta\ell_z$, які пов'язані із середньою відстанню між кластерами різних кластер – кластерних агрегацій $\ell_{кка}$ та середньою відстанню між кластерами всередині кластер – кластерної агрегації $\ell_{кл}$, тобто $\ell_{фкл} = \ell_{кл} + \Delta\ell_{кл}$, а $\ell_{фкка} = \ell_{кка} + \Delta\ell_{кка}$.

Ця обставина дозволяє визначати аварійні ознаки інформаційних сигналів про характеристики параметрів технологічного процесу, що проходять через об'єм інформаційного простору $Q_{V_{\Sigma in}}$ інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції, а саме: відсутність сигналів з ознаками аварійності при повному заповненні об'єму $V_{\Sigma in}$ інформаційного простору за рівності геометричних та фрактальних довжин $\ell_{кка} = \ell_{фкка}$ та $\ell_{кл} = \ell_{фкл}$; а ознака аварійності визначається при нерівності $\ell_{кка} \neq \ell_{фкка}$. Оскільки процес зміни

інформаційних сигналів досліджується в просторі та часі, то зміну радіуса r_0 в часі доцільно уявити не у вигляді зміни фрактальних довжин $\Delta\ell_x, \Delta\ell_y, \Delta\ell_z$, а у вигляді зміни просторових координат $\Delta x, \Delta y, \Delta z$. $(x_0 \dots x_1, y_0 \dots y_1, z_0 \dots z_1)$, а саме $r_0 = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2}$. З урахуванням зміни просторових координат $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ об'єм інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$ інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції може визначатися виразом (5.4):

$$Q_{V\Sigma in} = \frac{4}{3} \pi \left(\sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2} \right)^{d_{0\beta} - \Delta d} = \frac{4}{3} \pi \left(\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \right)^{d_{\beta}} \quad (5.4)$$

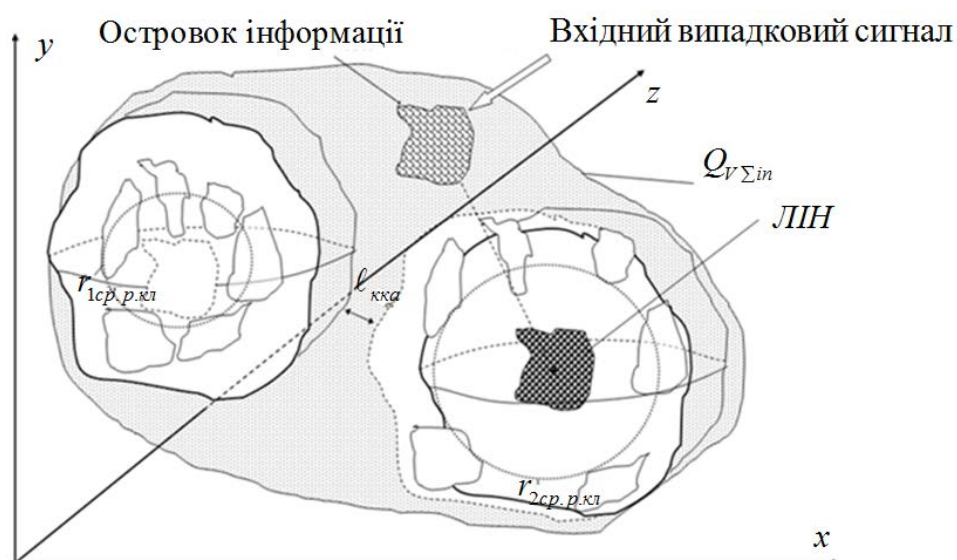


Рис. 5.2 – Розташування кластерів кластер-кластерних агрегацій в об'ємі інформаційного простору

Таким чином, з виразу (5.4) можна зробити висновок, що об'єм інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$ інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції залежить від ступеневого показника d_{β} зміни просторових координат $\Delta x, \Delta y, \Delta z$.

Питання для самоперевірки

1. Що таке інформаційний простір технологічного процесу?
2. Як змінюються об'єм та структура інформаційного простору під час зміни просторових координат?
3. Які основні параметри впливають на об'єм інформаційного простору технологічного процесу?
4. Як проводиться вимірювання об'єму інформаційного простору в режимі реального часу?
5. Які методи використовуються для аналізу залежності об'єму інформаційного простору від просторових координат?
6. Як змінюються параметри технологічного процесу під час зміни просторових координат?
7. Які інструменти та програмне забезпечення використовуються для моніторингу та аналізу інформаційного простору?
8. Як результати дослідження залежності об'єму інформаційного простору можуть бути застосовані для підвищення ефективності технологічних процесів?
9. Які виклики виникають під час аналізу об'єму інформаційного простору в режимі реального часу?
10. Які перспективи розвитку методів аналізу інформаційного простору технологічного процесу?

ЛЕКЦІЯ 6. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ПРО ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ НА ВИЗНАЧЕННЯ ОЗНАК АВАРІЙНОСТІ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

Одним із основних критеріїв для виявлення параметрів із ознаками аварійності є час, протягом якого відхилення характеристик параметрів технологічного процесу повертаються до нормованих значень (при незначних випадкових збуреннях).

Як показали дослідження кластерної моделі інформаційного простору із застосуванням фрактально-кластерної теорії, час повернення характеристик параметрів технологічного процесу (ТП) до нормованих значень τ фактично залежить від часу утворення кластер-кластерних агрегацій $t_{кл}$ (кластерів) в об'ємі тривимірного фазового інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$ і може бути різним для характеристик параметрів ТП, в залежності від тривалості протікання ТП (часу циклу – t_u) утворюється область локальної інформаційної неоднорідності дивного атрактору з площею S .

Тому виходячи з вищесказаного, в роботі було зроблено припущення, що час повернення характеристик параметрів технологічного процесу до нормованих значень τ є по суті фрактальним часом τ_f , який знаходиться в ступеневій залежності від фрактальної розмірності часу t_f , тобто $\tau_f = \tau^{t_f}$. Як відомо, зміну характеристик параметрів технологічного процесу можна описати в просторі та часі за допомогою певного моменту часу t_i та стану в точці просторових координат $V_{Q_i(x_i, y_i, z_i)}$ в об'ємі тривимірного фазового інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$.

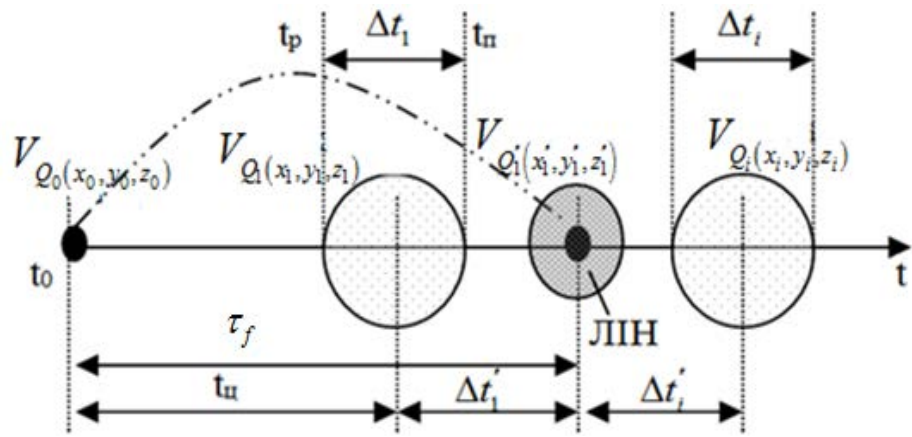
Таким чином, ґрунтуючись на вищесказаному і враховуючи те, що процес відхилення характеристик параметрів технологічного процесу є випадковим, запропоновано представити процес зміни характеристик параметрів

технологічного процесу в динаміці з урахуванням просторових координат у просторі та часі у вигляді рис. 5.1, де показані різні варіанти випадкового розподілу характеристик параметрів технологічного процесу в залежності від фрактального часу τ_f , тобто в області початкового стану $V_{Q_0(x_0, y_0, z_0)}$.

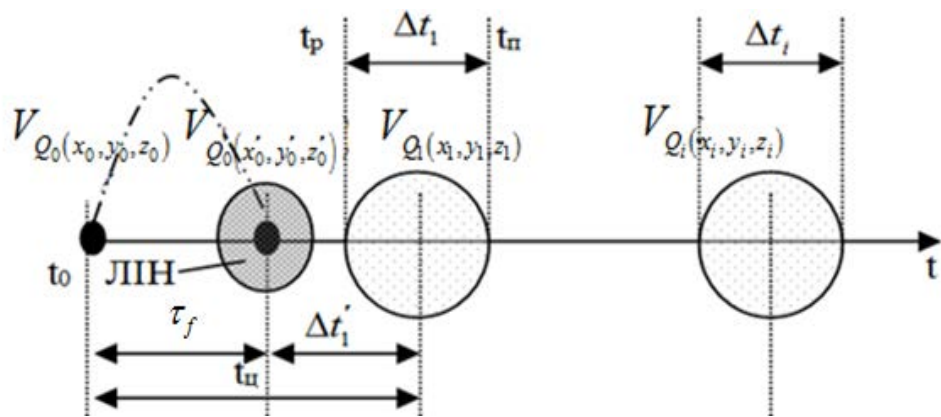
На рис. 6.1а показано процес зміни характеристик параметрів технологічного процесу, коли параметр відхилився від області нормованих значень і перевищив час протікання циклу технологічного процесу t_u на Δt при досягненні області стану $V_{Q_1(x_1, y_1, z_1)}$ в певний момент часу t_1 , тобто ця обставина говорить про те, що при формуванні наступного сигналу, що виходить з області стану $V_{Q_1(x_1, y_1, z_1)}$ в момент часу t_1 не враховуються зміни попереднього інформаційного сигналу, що входить до області стану $V_{Q_i(x_i, y_i, z_i)}$, тобто отримуємо вираз $t_u < \tau_f$, або $\tau_f = t_u + \Delta t$.

На рис. 6.1б показано процес зміни характеристик параметрів технологічного процесу, коли характеристика параметра, що відхилилася від області нормованих значень за фрактальний час τ_f менший за величину часу протікання циклу технологічного процесу t_u , тобто ця обставина говорить про те, що при формуванні наступного сигналу, що виходить з області стану $V_{Q_1(x_1, y_1, z_1)}$ в момент часу t_1 не враховується попередній сигнал, що досяг за час t_u тільки області стану $V_{Q_1'(x_1', y_1', z_1')}$, тобто отримуємо вираз $t_u > \tau_f$, або $\tau_f = t_u - \Delta t$.

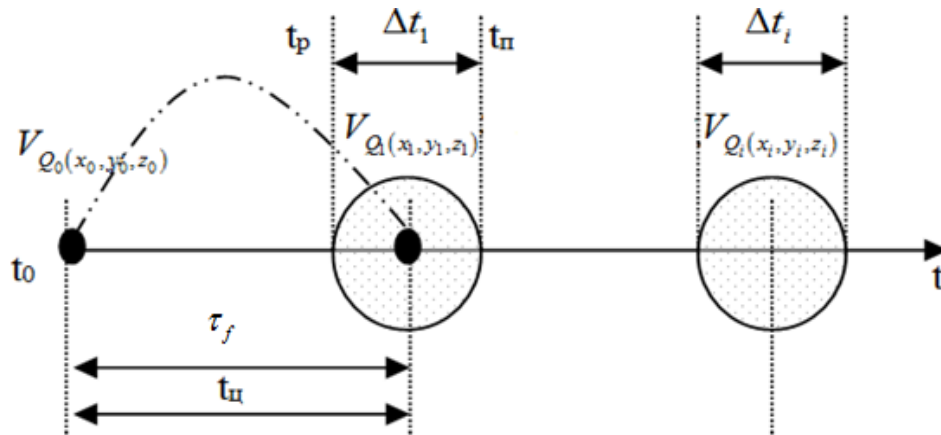
Таким чином, визначення аварійних ознак характеристик параметрів технологічного процесу залежить від відхилення характеристик параметрів технологічного процесу від припущення в часі Δt , при цьому, коли $\Delta t = 0$, тобто $t_u = \tau = \tau_f$, характеризує протікання процесу в нормальному режимі функціонування (рис.6.1в).



а)



б)



в)

Рис. 6.1 – Процес зміни характеристик параметрів технологічного процесу в залежності від зміни просторових координат та часу (t_p - ранній час, t_n - пізній час)

Розглянемо зв'язок фрактального часу τ_f зі ступенем заповнення об'єму тривимірного фазового інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$, який характеризується кількісною величиною – інформаційною фрактальною розмірністю d_{fi} . Виходячи з того, що інформаційний простір може складатися з різних структурних елементів (тобто: параметри, або нормовані, або з ознаками аварійності), запропоновано розглядати об'єм такого простору $V_{\Sigma in}$, як неоднорідну структуру, а отже, структуру, що володіє специфічними властивостями, які враховують ступінь заповнення простору, тобто фрактальність.

Як видно з вищевикладених міркувань, основу неоднорідної структури об'єму тривимірного фазового інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$ випадковим чином можуть утворювати області стану $V_{Q'_0(x'_0, y'_0, z'_0)}$ та $V_{Q'_1(x'_1, y'_1, z'_1)}$, отримані у випадку, коли характеристики параметрів технологічного процесу за часом (тривалістю) не досягають нормованих значень та утворюють локальні інформаційні неоднорідності, які свідчать про наявність ознак аварійності.

Крім того, згідно фрактально-кластерної теорії, встановлено, що кластером є елемент з неоднорідною структурою (для нашого випадку – локальна інформаційна неоднорідність), звідси можна зробити наступне припущення про те, що формування кластер-кластерної агрегації з ознаками аварійності відбувається на основі утворення і злиття численних локальних інформаційних неоднорідностей (кластерів) областей станів $V_{Q'_0(x'_0, y'_0, z'_0)}$ та $V_{Q'_1(x'_1, y'_1, z'_1)}$ з певним ступенем заповнення об'єму тривимірного фазового інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$ кластер-кластерної агрегації за час прирощення $\Delta\tau_f$.

Як відомо, кількісною величиною, що визначає ступінь заповнення інформаційного простору, є інформаційна фрактальна розмірність d_{fi} , тому важливим фактором є встановлення зв'язку (просторово-часового) між зміною в часі характеристик параметрів технологічного процесу і ступенем заповнення об'єму інформаційного простору, тобто між кількісними величинами: фрактальним часом τ_f та фрактальною інформаційною розмірністю d_{fi} , яка

характеризує ступінь заповнення об'єму тривимірного фазового інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$.

Звідки витікає, що умовою виникнення неоднорідності (фрактальності) інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$ є фрактальний час $\tau_f \left| \begin{matrix} t_u + \Delta t \\ t_u - \Delta t \end{matrix} \right|$. При виконанні цієї умови можна говорити про ознаки аварійності у фрактально-кластерній структурі об'єму тривимірного фазового інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$ технологічного процесу енергооб'єктів. Спостерігаючи за технологічним циклом технологічного процесу, важливою величиною є час протікання циклу t_u (початковий), який, як правило, задається для кожного параметра в режимі реального часу.

Проте в разі відхилення характеристик параметрів технологічного процесу від нормованих значень і повернення в початковий стан буде витрачено часу більше, ніж задане початкове t_u . Тому в якості еталону зміни часу Δt виберемо еталон – фрактальний час τ_f .

Як відомо, детермінований хаос з'являється в дисипативних системах (об'єм фазового простору скорочується з часом) при зміні зовнішнього управляючого параметра. Тому передбачається, що з часом утворюються особливі області фазового простору – атрактори, які є геометричними образами детермінованих неперіодичних процесів у тривимірному об'ємі інформаційного простору технологічного процесу. Розглянемо залежність зміни величини характеристик параметрів технологічного процесу в області атрактора від фрактального часу τ_f .

Як було встановлено, збереження нормованих значень технологічних параметрів в області атрактора з площею S за час t_u залежить від фрактального часу τ_f , отже, необхідно знайти залежність між часом протікання циклу t_u , впродовж якого змінюються характеристики параметрів технологічного процесу і часом їх повернення до нормованих або ненормованих значень. На діаграмах рис. 5.2 представлені варіанти станів характеристик параметрів технологічного процесу залежно від щільності розподілу середнього часу повернення

характеристик параметрів (фрактального часу) τ_f в області станів $V_{Q(x,y,z)}$ нормованих або аварійних значень $V_{Q'(x',y',z')}$.

Іншими словами, існує деяка ступенева залежність часу протікання циклу t_u від фрактального часу τ_f , яка може визначатися, як $t_u = \tau_f^{t_f}$, де t_f - фрактальна розмірність часу.

В роботі визначені умови значень величин характеристик параметрів технологічного процесу: при $t_f = 1$ витікає, що час протікання циклу дорівнює фрактальному часу $t_u = \tau_f$; при $t_f > 1$: $t_u < \tau_f$; при $t_f < 1$: $t_u > \tau_f$.

В якості еталону фрактального часу τ_f виберемо час протікання циклу t_u . Для електромагнітних процесів фрактальна розмірність часу дорівнює одиниці (рис. 6.2а.). Тоді $t_u = \tau_f^{t_f^-} = \tau_f - \Delta t$ для випадку, показаного на рис. 6.2б, а $t_u = \tau_f^{t_f^+} = \tau_f + \Delta t$ для випадку показаного на рис. 6.2в.

Виходячи з вищесказаного можливе визначення позитивного та від'ємного часу повернення для значень величин характеристик параметрів технологічного процесу, як показано у формулах (6.1, 6.2):

$$\tau_f^- = \left[(t_{u1} - t_0') + (t_{u2} - t_1') \right]^{t_f^-} \quad (6.1)$$

$$\tau_f^+ = \left[(t_{u2}' - t_{u2}) + (t_{u2} - t_{u1}') \right]^{t_f^+} \quad (6.2)$$

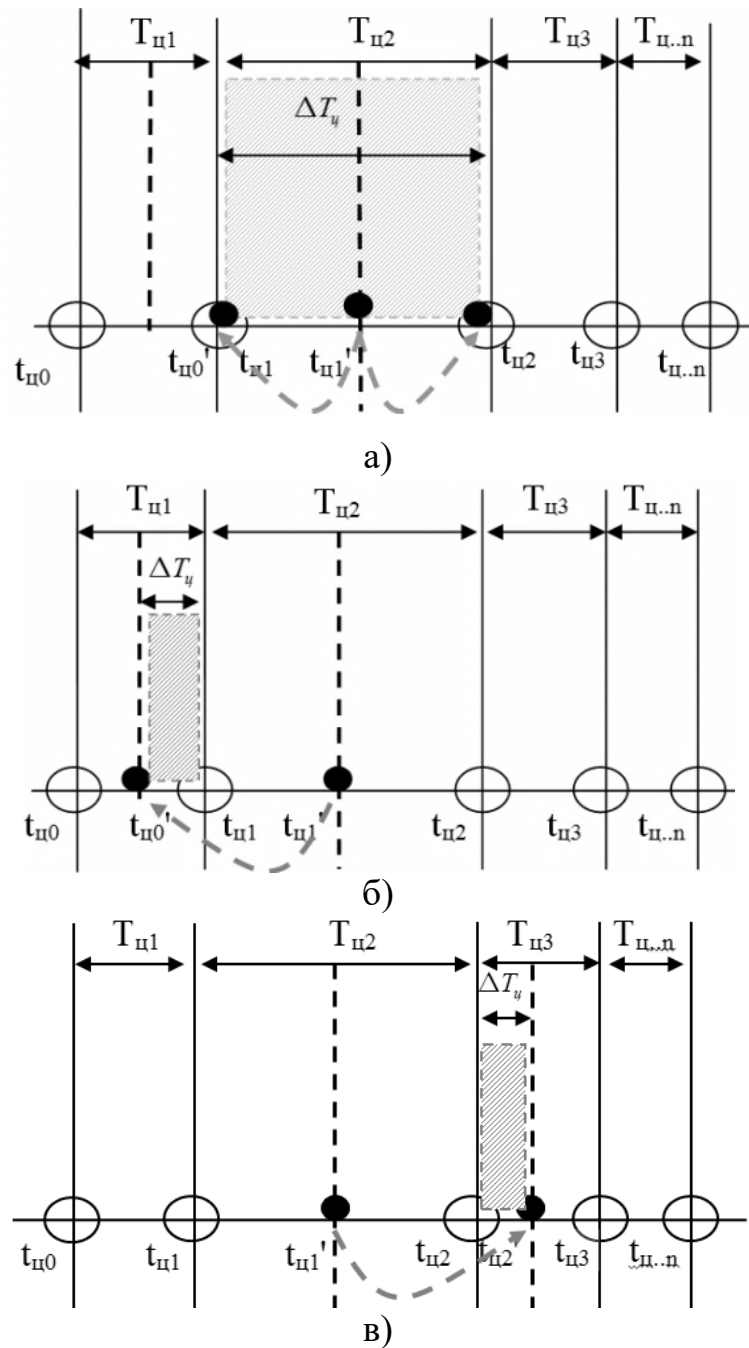


Рис. 6.2 – Діаграма станів характеристик параметрів технологічного процесу в залежності від щільності розподілу середнього часу повернення (фрактального часу) цих характеристик в області станів нормованих та аварійних значень

Таким чином, виходячи з вищевикладених міркувань, можна записати умову формування кластер-кластерної агрегації при різних значеннях часу відхилення Δt характеристик технологічних параметрів, а саме $\begin{cases} \Delta t > \tau_f; \\ \Delta t \leq \tau_f, \end{cases}$ тобто фрактальний час τ_f є критерієм часу відхилення характеристик параметрів Δt .

Питання для самоперевірки

1. Що таке часова характеристика інформаційного сигналу і як вона впливає на технологічний процес?
2. Які основні технологічні параметри відстежуються на електричних станціях?
3. Як змінюються часові характеристики інформаційних сигналів під час роботи електричної станції?
4. Які методи використовуються для аналізу часових характеристик інформаційних сигналів?
5. Як часові характеристики інформаційних сигналів впливають на визначення ознак аварійності в технологічному процесі?
6. Які інструменти та програмне забезпечення використовуються для моніторингу часових характеристик інформаційних сигналів?
7. Як проводиться діагностика аварійних ситуацій на основі часових характеристик інформаційних сигналів?
8. Які методи прогнозування аварійних ситуацій використовуються в технологічному процесі електричних станцій?
9. Як результати дослідження впливу часових характеристик інформаційних сигналів можуть бути застосовані для підвищення безпеки електричних станцій?
10. Які перспективи розвитку методів аналізу часових характеристик інформаційних сигналів у контексті підвищення надійності та безпеки технологічних процесів?

ЛЕКЦІЯ 7. ПІДХОДИ З ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМІНИ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ПРОХОДЖЕННІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ КРІЗЬ ОБ'ЄМ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ З ФРАКТАЛЬНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Аналіз показав, що існуючі та використовувані інформаційні динамічні моделі інформаційного простору інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоків АЕС і ТЕС є системою математичних рівнянь із зосередженими параметрами, що характеризують стан інформаційного простору. Крім того, в роботі виявлені недоліки таких інформаційних динамічних моделей, основними з яких є врахування змін інформаційного сигналу тільки в строго певні моменти часу, що не дозволяє в динаміці здійснювати контроль за відхиленням технологічних параметрів у просторових координатах, а отже, не є можливим виявляти аварійні ознаки у випадкових сигналах про відхилення технологічних параметрів у режимі реального часу. Також у формулах існуючих моделей на всіх етапах обробки інформаційного сигналу використовується в основному середня сумарна кількість інформації й тільки на певних інтервалах дискретності з урахуванням середньоквадратичних відхилень, що вносить значні похибки в обчислення й не дозволяє прослідкувати динаміку зміни сигналів у просторі й часі.

Тому в роботі запропоновано для дослідження інформаційних випадкових сигналів інформаційного простору технологічного процесу застосовувати апарат фрактально-кластерної теорії.

Інформаційний випадковий сигнал, згідно фрактально-кластерної теорії, був розглянутий як сигнал, що має фрактальні властивості. Процес проходження інформаційного випадкового сигналу через об'єм інформаційного простору $V_{\Sigma in}$ представлений на рис. 7.1. Як відомо, згідно теорії обробки сигналів, для розділення інформаційних потоків корисний інформаційний сигнал описується математичним виразом (7.1):

$$s(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (7.1)$$

а інформаційний випадковий сигнал, в якості якого в роботі запропоновано розглядати випадковий сигнал перешкоди, визначається виразом (7.2):

$$s(t)_{en} = U_{en} \cos(\omega_{en} t + \varphi_{en}), \quad (7.2)$$

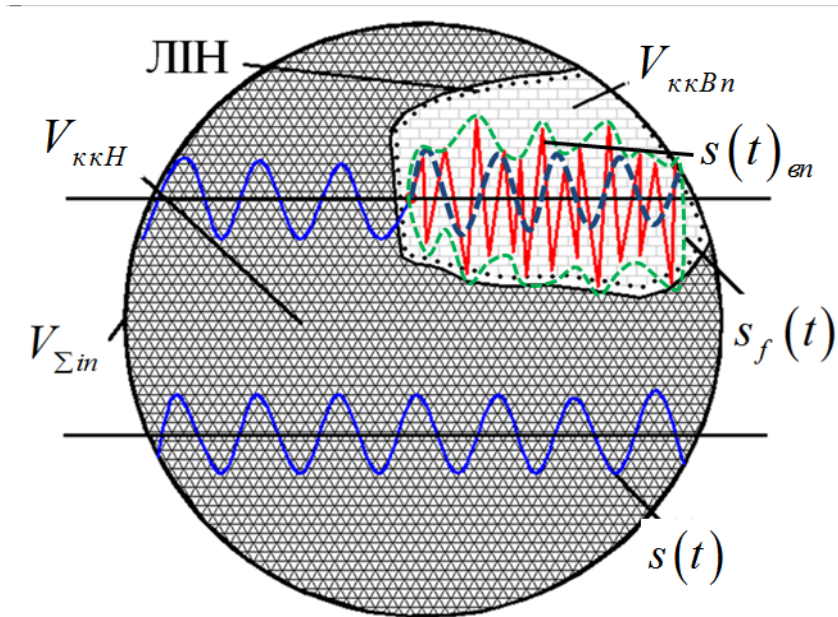


Рис. 7.1 – Процес проходження інформаційного випадкового сигналу перешкоди $(s(t)_{en})$ через об'єм інформаційного простору $(V_{\Sigma in})$

Тобто сумарний інформаційний сигнал, згідно з теорією передачі сигналів, можна представити у вигляді суми корисного й випадкового інформаційних сигналів, як показано виразом (7.3):

$$s(t)_{\Sigma} = s(t) + s(t)_{Bn} \quad (7.3)$$

Таким чином, у роботі запропоновано: наявність сигналу з аварійними ознаками визначати різницею між сумарним і корисним інформаційним сигналом,

як показано у виразі (7.4):

$$\Delta s(t) = s(t)_{\Sigma} - s(t)_0 \quad (7.4)$$

Дослідження залежності електрофізичних характеристик параметрів від зміни енергії та потужності інформаційних випадкових сигналів

Виходячи з формули (7.4), можна зробити висновок, що різниця між сумарним і корисним інформаційним сигналом тотожна зміні енергії й потужності сигналів, як показано у виразах (7.5, 7.6):

$$\Delta E = E_{\Sigma}(t_0, \Delta T) - E_0(t_0, \Delta T) \quad (7.5)$$

$$\Delta P = P_{\Sigma}(t_0, \Delta T) - P_0(t_0, \Delta T) \quad (7.6)$$

Звідки отримуємо вираз (7.7):

$$\Delta s(t) \sim \Delta E \sim \Delta P \sim \Delta Q_{\Sigma in} \sim \Delta d_{fi} \sim \Delta \tau_f \sim \Delta t_f \quad (7.7)$$

Виходячи з виразу (7.7) можна зробити висновок про те, що зміна інформаційного сигналу від корисного $s(t)_0$ до випадкового $s(t)_{Bn}$, пов'язана зі зміною енергії ΔE , потужності ΔP , кількості інформації $\Delta Q_{\Sigma in}$, що тотожні зміні інформаційних фрактальних величин випадкового сигналу, а саме: інформаційній фрактальній розмірності Δd_{fi} ; фрактального часу повернення τ_f ; фрактальної розмірності часу t_f . Таким чином, для аналізу інформаційних випадкових сигналів з перешкодою в інформаційному просторі інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції в роботі введено поняття фрактального інформаційного сигналу, який представляє собою систему або суму сигналів: про норму технологічних параметрів і випадкового детермінованого хаотичного сигналу про відхилення, що складається (систему) з самоподібних

опорних коливань, які в якомусь сенсі подібні цілому загальному сигналу, тобто спостерігається масштабна інваріантність (властивість незмінності рівнянь і процесів при зміні всіх відстаней і проміжків часу в однакове число раз).

Питання для самоперевірки

1. Що таке електрофізичні характеристики технологічних параметрів і як вони впливають на роботу електричних станцій?
2. Які основні фактори впливають на зміну електрофізичних характеристик при проходженні інформаційних сигналів?
3. Як фрактальні властивості інформаційного простору впливають на проходження інформаційних сигналів?
4. Які методи використовуються для аналізу змін електрофізичних характеристик технологічних параметрів?
5. Як проводиться вимірювання електрофізичних характеристик у реальному часі?
6. Які алгоритми використовуються для моделювання проходження інформаційних сигналів крізь об'єм з фрактальними властивостями?
7. Які виклики виникають при дослідженні процесів зміни електрофізичних характеристик в умовах фрактального інформаційного простору?
8. Які технології використовуються для моніторингу та аналізу електрофізичних характеристик технологічних параметрів?
9. Як результати досліджень впливають на підвищення ефективності та надійності роботи електричних станцій?
10. Які перспективи розвитку методів аналізу електрофізичних характеристик в контексті фрактальних властивостей інформаційного простору?

ЛЕКЦІЯ 8. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРАМЕТРІВ ВІД ЗМІНИ АМПЛІТУДИ, ФАЗИ ТА ЧАСТОТИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ

Зокрема для одержання часово-частотного представлення з урахуванням фрактальних властивостей інформаційного сигналу, було отримано вираз (6.8) для фрактального інформаційного сигналу у тривимірному фазовому об'ємі $Q_{\Sigma in}$ інформаційного простору з фрактальними властивостями:

$$s(t)_f = U_f \cos(\omega_f t + \varphi_f), \quad (8.1)$$

де U_f, ω_f, φ_f – амплітуда, частота і фаза фрактального інформаційного сигналу, які обчислюються за формулами (8.2-8.4):

$$U_f = \sqrt{\left[\frac{2}{t_u} \int_0^{t_u} s(t)_{en} \cos\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt \right]^2 + \left[\frac{2}{t_u} \int_0^{t_u} s(t)_{en} \sin\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt \right]^2}, \quad (8.2)$$

$$\omega_f = \frac{2\pi}{\tau_f^{t_f}}, \quad (8.3)$$

$$\varphi_f = \arctg \frac{\frac{2}{t_u} \int_0^{t_u} s(t)_{en} \sin\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt}{\frac{2}{t_u} \int_0^{t_u} s(t)_{en} \cos\left(2\pi \frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt}, \quad (8.4)$$

де $k = 1, 2, 3 \dots n$ – гармоніка сигналу.

Підставляючи вирази амплітуди, частоти та фази фрактального інформаційного сигналу (8.2-8.4) в формулу (8.1) отримаємо вираз (8.5):

$$s_f(t) = \sqrt{\left[\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \cos\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt \right]^2 + \left[\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \sin\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt \right]^2} \times \cos\left(\frac{2\pi t}{\tau_f^{t_f}}\right) + \arctg \frac{\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \sin\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt}{\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \cos\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt} \quad (8.5)$$

Потужність P_f та енергія E_f фрактального інформаційного сигналу представлена формулами (8.6-8.7):

$$P_f = \frac{1}{t_y} \int_{t_0}^{t_0+t_y} \left[\sqrt{\left[\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \cos\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt \right]^2 + \left[\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \sin\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt \right]^2} \times \cos\left(\frac{2\pi t}{\tau_f^{t_f}}\right) + \arctg \frac{\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \sin\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt}{\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \cos\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt} \right]^2 dt \quad (8.6)$$

$$E_f = \int_{t_0 - \frac{\Delta t_y}{2}}^{t_0 + \frac{\Delta t_y}{2}} \left[\sqrt{\left[\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \cos\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt \right]^2 + \left[\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \sin\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt \right]^2} \times \cos\left(\frac{2\pi t}{\tau_f^{t_f}}\right) + \arctg \frac{\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \sin\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt}{\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \cos\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt} \right]^2 dt \quad (8.7)$$

Дослідження залежності електрофізичних характеристик параметрів від зміни кількості інформації інформаційних випадкових сигналів

Як відомо, кількість інформації $Q_{кор\Sigma in}$ при передачі одного значення нормально розподіленого сигналу без урахування перешкоди визначається виразом (8.8):

$$Q_{кор\Sigma in} = \frac{1}{2} \ln P_0 = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1}{t_y} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t_y} (U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0))^2 dt \right) \quad (8.8)$$

А з впливом нормально розподіленої адитивної перешкоди визначається виразом (8.9):

$$Q_{кор\Sigma in} = \frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{P_0}{P_{пер}} \right), \quad (8.9)$$

де P_0 – середня потужність інформаційного сигналу з нормованими ознаками; $P_{пер}$ – середня потужність перешкоди, викликана випадковим сигналом.

В ході дослідження, в роботі було запропоновано середню потужність перешкоди $P_{пер}$, викликану випадковим сигналом $s(t)_{вн}$ приймати як різницю між потужністю фрактального інформаційного сигналу P_f та потужністю корисного інформаційного сигналу P_0 , тобто кількість інформації $Q_{\Sigma in}$ визначається за виразом (8.10):

$$Q_{f\Sigma in} = \frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{P_0}{P_f - P_0} \right) \quad (8.10)$$

Підставляючи потужність фрактального інформаційного сигналу P_f у формулу (8.10), замість середньої потужності перешкоди $P_{пер}$, одержуємо вираз для визначення кількості інформації $Q_{\Sigma in}$ інформаційного сигналу про величину технологічного параметра (8.11):

$$Q_{f\Sigma in} = \frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{\frac{1}{t_y} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t_y} (U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0))^2 dt}{\left[\left(\left[\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \cos\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt \right]^2 + \left[\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \sin\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt \right]^2 \right) \times \left(\cos\left(\frac{2\pi t}{\tau_f^{t_f}}\right) + \arctg \frac{\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \sin\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt}{\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \cos\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt} \right) \right]^2} dt - \frac{1}{t_y} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t_y} (U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0))^2 dt \right) \quad (8.11)$$

Таким чином, прирощення кількості інформації $Q_{\Sigma in}$ в об'ємі інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$ при проходженні випадкового інформаційного сигналу $s(t)_{Bn}$, згідно з теорією інформації й теорії передачі сигналів, спостерігається в разі масштабної інваріантності (ознаки самоподібності), тому в роботі запропоновано прирощення кількості інформації $\Delta Q_{\Sigma in}$ прийняти за кількість інформації ΔQ_{en} про випадковий інформаційний сигнал, тобто $\Delta Q_{en} = \Delta Q_{\Sigma in}$, та таким чином можна представити у вигляді різниці між кількістю інформації $Q_{f\Sigma in}$, з виразу (8.11), яка несе фрактальний інформаційний сигнал в об'ємі $Q_{V\Sigma in}$ та кількістю інформації $Q_{kop\Sigma in}$ інформаційного сигналу про нормовані значення параметра, як показано у виразі (8.12).

Із виразу (8.12) видно, що кількість інформації ΔQ_{en} про випадковий інформаційний сигнал про відхилення технологічного параметра залежить від прирощення амплітуди, частоти та фази з урахуванням фрактального часу повернення τ_f характеристики параметра технологічного процесу й фрактальної розмірності часу t_f .

$$\Delta Q_{en} = \frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{\frac{1}{t_y} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t_y} (U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0))^2 dt}{\left[\frac{1}{t_y} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t_y} \left(\sqrt{\left[\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \cos\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt\right]^2 + \left[\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \sin\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt\right]^2} \times \cos\left(\frac{2\pi t}{\tau_f^{t_f}}\right) + \arctg \frac{\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \sin\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt}{\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \cos\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt} \right)^2} \right]}{dt - \frac{1}{t_y} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t_y} (U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0))^2 dt} \right) - \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1}{t_y} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t_y} (U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0))^2 dt \right) \quad (8.12)$$

Таким чином, впливає висновок про те, що можна спостерігати динаміку зміни (відхилення) електрофізичних величин (н-д: величин струму і напруги) технологічних параметрів від інформаційних фрактальних розмірностей, що характеризують зміну стану об'єму інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$, при проходженні через його структуру випадкових інформаційних (інформативних) сигналів $s(t)_{Bn}$ про відхилення характеристик технологічних параметрів від нормованих значень у вигляді енергії E_f , потужності P_f , амплітуди U_f , частоти ω_f , фази φ_f і враховують специфічні фрактально-кластерні властивості структури тривимірного об'єму фазового інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$, які на цій основі, дозволяють виявляти аварійні ознаки в передаварійній і аварійній ситуації в нештатних режимах функціонування електроенергетичного обладнання енергоблоків ТЕС і АЕС в режимі реального часу з використанням інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП.

Зв'язок інформаційної фрактальної розмірності з інформаційною ентропією сигналу

У роботі була досліджена залежність інформаційної фрактальної розмірності d_{fi} від інформаційної ентропії сигналу S_I . Як відомо,

фундаментальною кількісною характеристикою ступеня випадковості (хаотичності) сигналу є інформаційна ентропія сигналу S_I . Дослідження показують, що якщо ентропія сигналу $S_I \rightarrow 0$, то система є повністю детермінованою та має регулярні, стійкі процеси.

Як відомо, ентропія фрактальної множини, визначається за формулою (8.13):

$$S_I(\varepsilon) = - \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i \ln p_i, \quad (8.13)$$

де $N(\varepsilon)$ – число комірок, у яких може відобразитись інформація про випадковий інформаційний сигнал; p_i – вірогідність появи випадкового інформаційного сигналу.

Обчислення ентропії корисного інформаційного сигналу $s(t)$ визначається за формулою (8.14):

$$S_{s(t)} = \ln(\pi U_{s(t)} / 2), \quad (8.14)$$

де $U_{s(t)}$ – амплітуда корисного інформаційного сигналу $(s(t))$.

Підставляючи вираз для обчислення амплітуди U_f випадкового хаотичного фрактального сигналу отримаємо вираз (8.15) для обчислення ентропії випадкового хаотичного фрактального сигналу $S_{s_f(t)}$:

$$S_{s(t)} = \ln \left(\frac{\pi}{2} \sqrt{\left[\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \cos\left(\frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt \right]^2 + \left[\frac{2}{t_y} \int_0^{t_y} s(t)_{en} \sin\left(2\pi \frac{2\pi kt}{\tau_f^{t_f}}\right) dt \right]^2} \right) \quad (8.15)$$

Зв'язок величини інформаційної фрактальної розмірності d_{fi} з інформаційною ентропією випадкового сигналу $S_{s(t)}$ можна представити формулою 8.16 та графіком рис. 8.1.

$$S_{s(t)}(\varepsilon) = \varepsilon^{-d_{fi}} \quad (8.16)$$

Вираз показує, як інформація, необхідна для визначення місцезнаходження точки, зростає, коли розмір комірки $\varepsilon \rightarrow 0$.

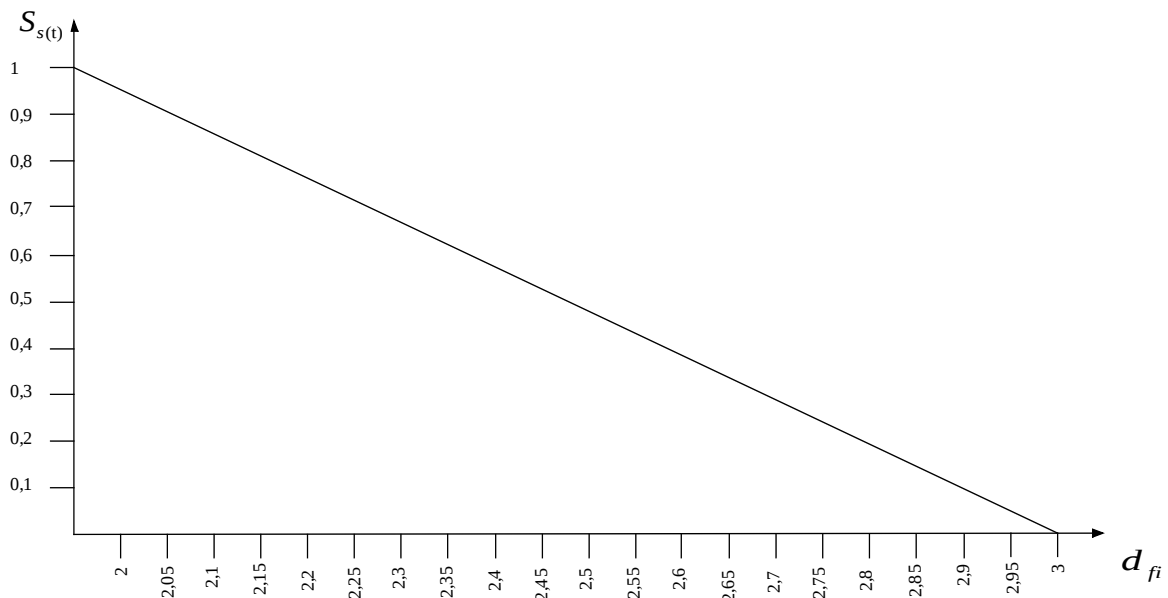


Рис. 8.1 – Графік залежності інформаційної ентропії сигналу $S_{s(t)}$ від інформаційної фрактальної розмірності d_{fi}

З графіку рис.8.1 видно, що з інформаційної ентропії сигналу $S = 0...1$, інформаційна фрактальна розмірність d_{fi} зменшується $d_{fi} = 3...2$.

Таким чином, інформаційну ентропію сигналу $S_{s(t)}$ можна вважати мірою випадковості хаотичного інформаційного (фрактального) сигналу.

Зв'язок інформаційної фрактальної розмірності з показником Херста

Досліджена залежність інформаційної фрактальної розмірності d_{fi} від показника Херста H . Як відомо, показник Херста H критерій щодо визначення часових рядів з випадковим зміщеним блуканням. Загальні закономірності зв'язку проходження зашумленого сигналу $s(t)_f$ через об'єм тривимірного фазового інформаційного простору $Q_{V\Sigma in}$ з фрактальними властивостями можна виразити за допомогою показника Херста H , що обчислюється за формулою (8.17):

$$d_{fi} = 3 - H, \quad (8.17)$$

де H – показник Херста, що знаходиться в межах $0 \leq H \leq 1$

Як показав аналіз, показник Херста характеризує ступінь масштабної інваріантності (самоподібності) випадкового хаотичного сигналу. Тобто зі збільшенням показника Херста H від 0 до 1 частота фрактальних сигналів зменшується та утворюється процес, який є самоподібним.

Таким чином, показник Херста H , можна вважати мірою зашумленості випадкового інформаційного (фрактального) сигналу.

Визначення критерію надійності функціонування інформаційно-керуючих систем програмно-технічних комплексів АСУ ТП енергоблоку електростанції

Як показують дослідження, одним із найважливіших показників надійності зі спрацьовування підсистем аварійного та попереджувального захисту інформаційно-керуючих систем програмно-технічних комплексів АСУ ТП енергоблоку електростанції є параметр потоку помилкових спрацьовувань на рік. Тому в якості характеристики надійності функціонування інформаційно-керуючих систем основним критерієм був обраний показник, що характеризує надійність пристрою – «потік помилкових спрацьовувань», який визначається за формулою (8.18), аналогічною застосовуваної для оцінки потоку відмов. Даний

показник характеризує суміщення двох незалежних складових: помилкове спрацьовування пристрою та відсутність вимог на спрацьовування.

$$W(t) = \frac{R(t_2) - R(t_1)}{t_1 - t_2}, \quad (8.18)$$

де $R(t_1)$, $R(t_2)$ – число помилкових спрацьовувань до моменту часу t_1, t_2 .

Причому, $t_1 \leq t \leq t_2$.

У роботі для характеристики надійності функціонування інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції розглядаються тільки ті «помилкові спрацьовування», які викликані внутрішніми причинами, тобто через недостовірність інформації.

Необхідно також відзначити, що число відмов безпосередньо залежить від ступеня визначення достовірності інформації про характеристики параметрів технологічного процесу на електричних станціях.

При зборі та первинній обробці аналогових сигналів проводиться згладжування виміряних значень відповідно до вимог технологічних алгоритмів, що значно впливає на перевірку достовірності інформації.

Для оцінки потоку відмов та отримаємо вираз (8.19):

$$W(t) = \frac{R(T_u + \Delta T) - R\left[T_u - \left(\frac{\ln \Delta d_{\hat{f}_i}}{(\ln^2 2)|\Delta Q_{\Sigma in}|} - \Delta T\right)\right]}{(T_u + \Delta T) - \left[T_u - \left(\frac{\ln \Delta d_{\hat{f}_i}}{(\ln^2 2)|\Delta Q_{\Sigma in}|} - \Delta T\right)\right]} \quad (8.19)$$

Слід відзначити, що запропонована модель обробки інформаційного простору, закладена в інформаційно-керуючі системи ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанцій, значно зменшує вірогідність збоїв та виключає ситуації, які призводять до самовільного генерування вихідного випадкового інформаційного

сигналу при відсутності вхідного сигналу, тобто відмови типу «помилкове спрацьовування».

Провівши ряд розрахунків, отримано, що параметр потоку помилкових спрацьовувань не перевищує 0,0011/год, що відповідає висунутим вимогам.

Вираз (6.24) свідчить, що за рахунок розробленої динамічної фрактально-кластерної моделі і зменшення потоку помилкових спрацьовувань, за рахунок виявлення недостовірної інформації про відхилення величин технологічних параметрів у режимі реального часу, надійність функціонування інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанцій підвищилась на 30%.

Питання для самоперевірки

1. Що таке електрофізичні характеристики параметрів і як вони визначаються?
2. Які основні параметри електрофізичних характеристик в контексті технологічних процесів на електричних станціях?
3. Як змінюється амплітуда інформаційних сигналів і як це впливає на електрофізичні характеристики параметрів?
4. Яким чином фаза інформаційного сигналу впливає на електрофізичні характеристики параметрів?
5. Як зміна частоти інформаційного сигналу може змінити електрофізичні характеристики параметрів?
6. Які методи використовуються для аналізу залежності електрофізичних характеристик від амплітуди, фази та частоти інформаційних сигналів?
7. Як проводиться вимірювання амплітуди, фази та частоти інформаційних сигналів у реальному часі?
8. Які інструменти та програмне забезпечення використовуються для аналізу інформаційних сигналів і їхнього впливу на електрофізичні характеристики?

9. Як результати досліджень можуть бути застосовані для покращення технологічних процесів на електричних станціях?

10. Які перспективи розвитку методів аналізу інформаційних сигналів та їхнього впливу на електрофізичні характеристики?

ЛЕКЦІЯ 9. РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ МОДУЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ОЗНАК АВАРІЙНОСТІ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЩО ОБРОБЛЯЮТЬСЯ В ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІЙ СИСТЕМІ «КОМПЛЕКС ТИТАН-2» ПТК АСУ ТП ЕНЕРГОБЛОКУ ПОТУЖНІСТЮ 325 МВт ЗМІЙВСЬКОЇ ТЕС

Запропонована кластерна та розроблена динамічна фрактально-кластерна модель інформаційного простору інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції, у яких реалізується метод фрактального виявлення аварійних ознак при відхиленні нормованих значень характеристик параметрів технологічного процесу, що ґрунтується на оцінці фрактальних властивостей структури об'єму фазового інформаційного простору $Q_{\Sigma in}$ при проходженні через нього випадкових хаотичних (фрактальних) інформаційних сигналів $s(t)_f$ на основі кількісної зміни інформаційної фрактальної розмірності d_f , фрактального часу τ_f та фрактальної розмірності часу t_f .

Розглянута робота апаратно-програмних засобів підсистеми аварійного й попереджувального захисту інформаційно-керуючих систем ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції з визначення недостовірної інформації про відхилення характеристик технологічних параметрів у випадку нештатних режимів функціонування електроенергетичного устаткування, дозволяє реалізувати впровадження модуля виявлення аварійних ознак в аварійних ситуаціях, в основі якого використовуються вищерозглянуті кластерна та динамічна фрактально-кластерна модель інформаційного простору в інформаційно-керуючу систему «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП 8 енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС. Загальна структурно-функціональна схема системи керування технологічним процесом Зміївської ТЕС показана на рис.9.1.

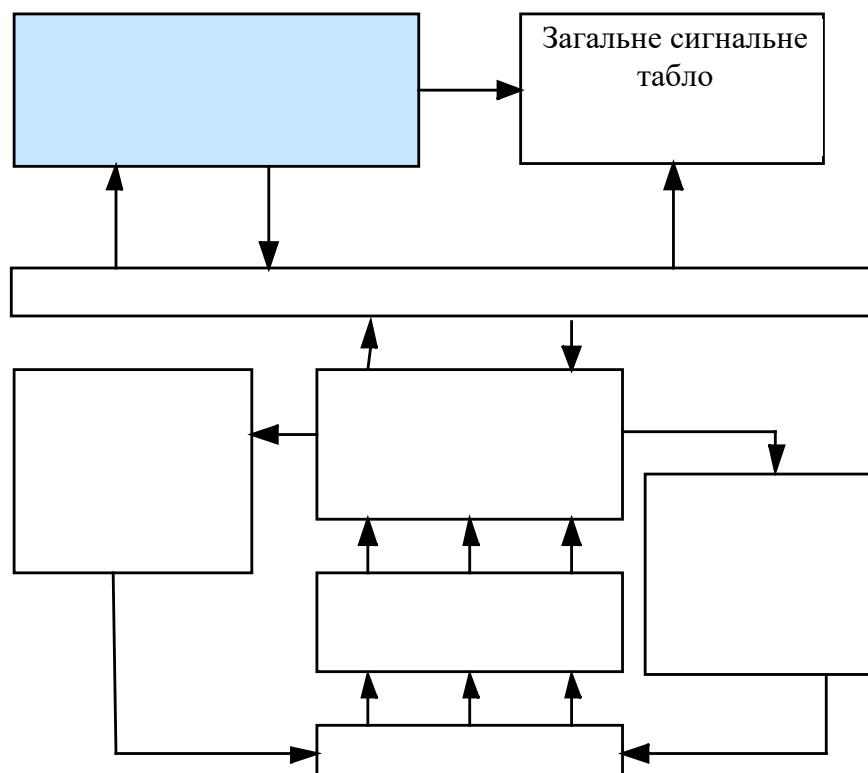


Рис. 9.1 – Загальна структурно-функціональна схема керування технологічним процесом Зміївської ТЕС

До складу структурно-функціональної схеми керування технологічним процесом Зміївської ТЕС входять наступні елементи: енергооб'єкт, виходи якого з'єднані з входами датчиків контролю, які в свою чергу з'єднані з входами пристрою введення-виведення. Перший вихід пристрою введення-виведення з'єднаний з першим входом мікропроцесорної системи, другий вихід пристрою введення-виведення з'єднаний з входом виконавчих механізмів, вихід яких з'єднаний з першим входом енергооб'єкта, а третій вихід пристрою введення-виведення з'єднаний зі входом системи захистів і блокувань, вихід якої з'єднаний з іншим входом енергооб'єкта. Окремий вхід пристроїв введення-виведення з'єднаний із першим виходом мікропроцесорної системи, другий вихід якої з'єднаний із входом модуля виявлення ознак аварійності, третій вихід мікропроцесорної системи з'єднаний із першим входом загального сигнального табло, а другий вхід загального сигнального табло з'єднаний з іншим виходом модуля виявлення ознак аварійності.

Розглянемо реалізацію впровадження модуля виявлення аварійних ознак в

аварійних ситуаціях в інформаційно-керуючу систему «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП 8 енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС на основі запропонованої структурно-функціональної схеми (рис. 9.2).

Збір інформації про характеристики параметрів технологічного процесу енергооб'єкта здійснюється з датчиків контролю через пристрій введення-виведення, а подальша її обробка відбувається в арифметично-логічному пристрої мікропроцесорної системи, де поточні дані про електрофізичні параметри технологічного процесу енергооб'єкта порівнюються з даними, які заздалегідь встановлені граничними уставками в пам'яті даних мікропроцесорної системи. У разі порівняння поточних показників параметрів, які надійшли від датчиків контролю і даних, лічених з граничних уставок пам'яті даних в арифметично-логічному пристрої мікропроцесорної системи, формуються нормовані ознаки (сигнал «Норма» на табло автоматизованого робочого місця оператора (АРМо)), і керуючий сигнал не надходить через пристрій введення-виведення на виконавчі механізми і системи захистів і блокувань.

При настанні нештатних режимів функціонування електроенергетичного обладнання енергоблоку Зміївської ТЕС відбуваються відхилення характеристик параметрів технологічного процесу, які надходять з датчиків контролю через пристрій введення-виведення в мікропроцесорну систему, де поточні дані про характеристики параметрів технологічного процесу порівнюються з даними, які заздалегідь встановлені граничними уставками в пам'яті даних мікропроцесорної системи. Результати порівняння даних з мікропроцесорної системи надходять через пристрій введення-виведення на виконавчі механізми і системи захистів і блокувань та модуль виявлення аварійних ознак у нештатних режимах функціонування енергооб'єкта.

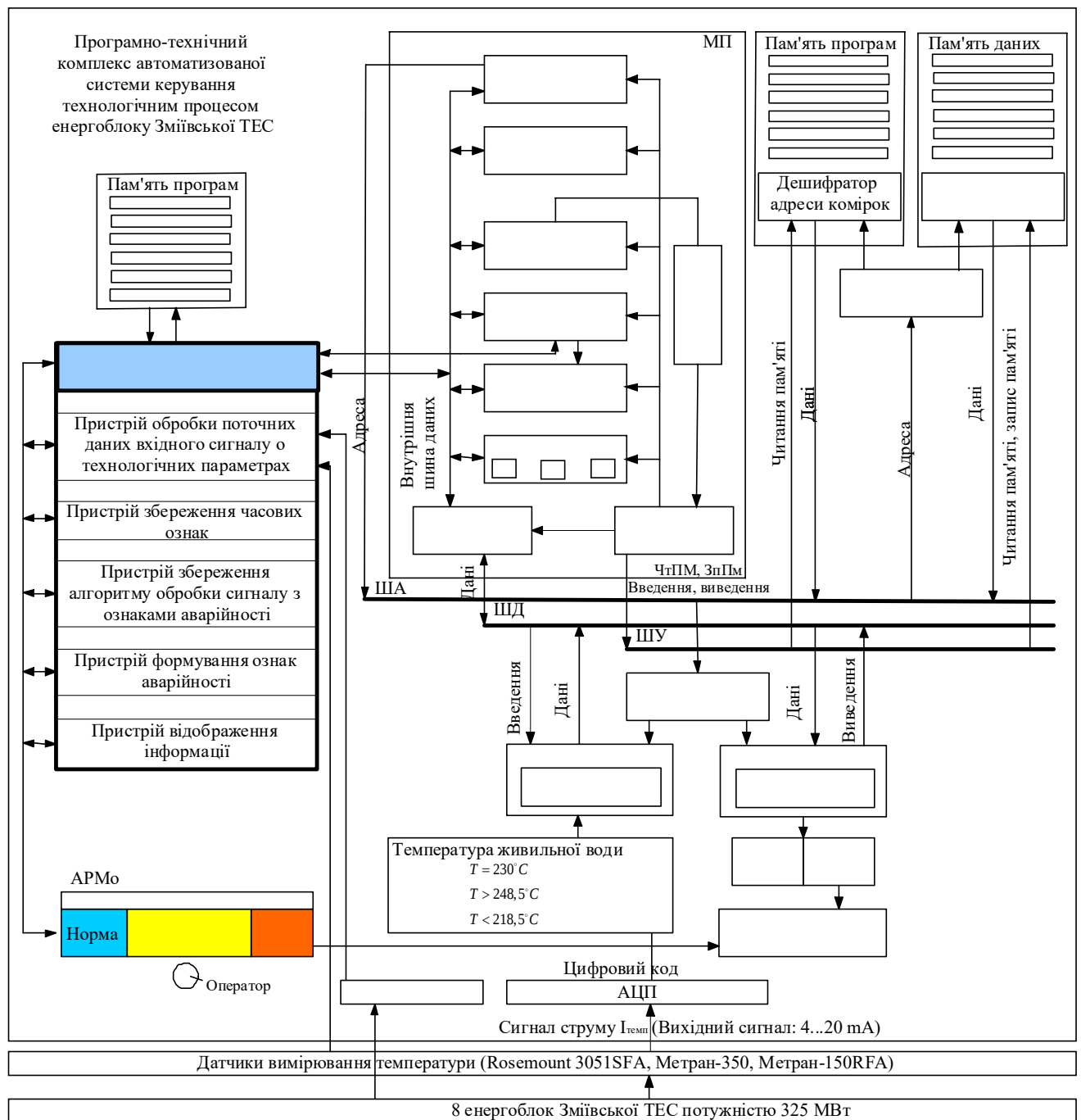


Рис. 9.2 – Структно-функціональна схема мікропроцесорного модуля інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП на базі шаф ТПТС-51 8 енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС з виконання алгоритма виявлення аварійних ознак

У модулі виявлення аварійних ознак у нештатних режимах функціонування електроенергетичного обладнання енергоблоку електростанції паралельно мікропроцесорній системі обробляються результати порівняння поточних аварійних відхилень про електрофізичні параметри технологічного процесу з даними, які заздалегідь встановлені граничними уставками в пам'яті даних мікропроцесорної системи. Це робиться з метою виділення аварійних ознак на основі отриманих змін просторово-часових характеристик кожного окремого технологічного параметра в режимі реального часу. Ці розрахунки проводяться методом фрактального виявлення, в основі якого лежить залежність зміни електрофізичних характеристик параметрів технологічного процесу електростанції від геометричних та інформаційних розмірностей тривимірного фазового об'єму інформаційного простору технологічного процесу, яка формується в модулі виявлення аварійних ознак.

На основі отриманих результатів з виділення аварійних ознак у нештатних режимах функціонування електроенергетичного обладнання енергоблоку Зміївської ТЕС в модулі виявлення аварійних ознак виробляється сигнал (сигнал «Аварія» на табло автоматизованого робочого місця оператора), що містить аварійні ознаки, який надходить в мікропроцесорну систему, де формується і виробляється керуючий сигнал. Цей сигнал через пристрій введення-виведення надходить на системи блокувань і захистів із включення блокувань і захистів на електростанції в режимі реального часу. Це дає можливість недопущення наслідків виникнення аварій і катастроф та забезпечення штатного управління функціонування енергооб'єкта. Крім того, при виникненні аварійної ситуації в модулі виявлення ознак аварійності формується інформаційний сигнал оповіщення, який надходить на загальне сигнальне табло оператору АСУ ТП.

У випадку фіксації в модулі виявлення аварійних ситуацій недостовірної інформації, що може призвести до збою або помилкового спрацьовування, виробляється сигнал «Передаварійна ситуація» на табло автоматизованого робочого місця оператора.

Аналіз переваг та недоліків інформаційно-керуючої системи ПТК АСУ ТП на базі шаф ТПТС-51 енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС

У даний час на Зміївській ТЕС на 8 енергоблоці потужністю 325 МВт встановлена апаратура інформаційно-керуючої системи ПТК АСУ ТП, яка складається із шаф ТПТС-51.

До складу шаф ТПТС-51 інформаційно-керуючої системи ПТК АСУ ТП 8 енергоблоком Зміївської ТЕС потужністю 325 МВт входять:

- станція введення-виведення, що виконує базові функції вимірювання аналогових сигналів, приймання та обробки двійкових сигналів, індивідуального керування виконавчими механізмами, регулювання.
- процесор автоматизації, що виконує функції обміну даними зі станцією введення-виведення та іншими процесорами автоматизації, алгоритми обчислення технологічних параметрів;
- блок шлюзу сполучення, що виконує функції сполучення ПТК низової автоматики з системою верхнього рівня;
- приладові стійки, що являють собою шафи зі встановленими в них станціями введення-виведення, процесорами автоматизації, блоками шлюзу сполучення;
- стійка живлення;
- інженерна станція, що призначена для розробки і корегування прикладних алгоритмів, схем з'єднань, випуску та корегування документації, завантаження прикладних програм;
- діагностична станція, що призначена для роботи з наладки та діагностики системи низової автоматики на всіх етапах її життєвого циклу;
- комплект обладнання для автоматизованої перевірки модулів, що відносяться до засобів вимірювання.

Інформаційно-керуюча система «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 ПТК АСУ ТП 8 енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС побудована таким чином, що інформація від вимірювальних перетворювачів системи теплотехнічного контролю у вигляді аналогових сигналів і дискретних сигналів,

що характеризують стан роботи технологічного устаткування, надходить на входи шаф комутуючого субкомплексу зв'язку з об'єктом (ССО-К), де в шафах ССО-К відбувається первинна обробка сигналів. Далі оброблена інформація надходить в аналого-цифрові перетворювачі, у яких перетворюється на цифровий двоїчний код. Обробка та порівняння шкал сигналів з уставками здійснюється в мікропрограмному контролері. Отримана інформація по двох незалежних каналах зв'язку передається в шафу управляючого субкомплексу зв'язку з об'єктом (ССО-У), де послідовно опитується в шафах специфікованого обчислювального комплексу (СВК) з циклом в 4с. Впровадження модуля визначення аварійних ознак значно підвищить надійність функціонування інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 ПТК АСУ ТП 8 енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС, завдяки тому, що контроль характеристик параметрів технологічного процесу буде проводитися в режимі реального часу, а інформація про стан технологічного обладнання буде висвічуватися на табло АРМо у вигляді сигналів «Норма», «Аварія» та «Передаварійна ситуація».

Для подальшого аналізу розглянемо структурну схему інформаційних потоків для інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 ПТК АСУ ТП 8 енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС. Схема побудована таким чином, що при вирішенні задач керування до представлення інформації кожній із систем (аварійного захисту, технологічного захисту, технологічного блокування, автоматичного введення резерву, авторегулювання, функціонально-групового управління, автоматизованого операторського управління, тощо) присвоюється свій пріоритет. Такий підхід може суттєво вносити похибки при надходженні недостовірності інформації та призводити до помилкових спрацьовувань. При впровадженні модуля виявлення аварійних ознак (МВАО) інформаційні потоки будуть паралельно оброблятися в МВАО та виводитись операторові на табло АРМо у вигляді сигналів «Норма», «Аварія» та «Передаварійна ситуація», це значно підвищить надійність функціонування електроенергетичного обладнання енергоблоку електростанції. До складу інформаційно керуючої системи ПТК АСУ ТП на базі шаф ТПТС-51

входять наступні модулі: вимірювальні модулі; модулі збору та обробки аналогових та дискретних сигналів; модулі індивідуального управління виконавчими механізмами; модулі групового та підгрупового управління; модулі регулятори. Стандартні системні програми модулів інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 ПТК АСУ ТП 8 енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС виконують такі функції: управління резервуванням; формування сигналів переривання у функціональних модулях; обробка сигналів переривання в модулі ЕАС; ведення єдиного часу; реалізація мережних протоколів та обмін інформацією з абонентами мережі; діагностика технічних і програмних засобів. Структурна та структурно-функціональна схема модуля шафи ТПТС-51 з паралельною роботою модуля виявлення аварійних ознак та представленням інформації на табло АРМо у вигляді сигналів «Норма», «Аварія» та «Передаварійна ситуація».

Перевагами встановленої апаратури інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 ПТК АСУ ТП 8 енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС можна вважати:

- підвищена швидкодія та підвищена часова роздільна здатність по вихідних двійкових сигналах;
- можливість діагностики як стану основного обладнання ТЕС, так і стану всіх пристроїв і елементів системи контролю та управління;
- можливість застосування нових ефективних алгоритмів управління агрегатами ТЕС з метою як підвищення безпеки станції, так і забезпечення найбільш економічних режимів роботи, в тому числі маневрених режимів;
- накопичення та архівування параметрів, важливих для безпеки.

Але поряд з перевагами є і суттєві недоліки апаратури комплексу засобів автоматизації 8 енергоблоку Зміївської ТЕС шаф ТПТС-51:

- відсутність розвиненої самодіагностики та недостатнє використання сучасних принципів резервування, незалежності, різноманітності захистів від відмов із причини помилкових спрацьовувань;
- висока вартість робіт із обслуговування та ремонту технічних засобів;

- великі габарити та високе енергоспоживання;
- застаріла елементна база, відсутність запасних частин;
- обробка інформаційних сигналів здійснюється за мажоритарним принципом «2 з 3» або «2 з 4»;
- контроль за зміною технологічних параметрів проводиться по встановлених уставках, в строго певні моменти часу.

Для усунення вищеперерахованих недоліків в підсистему аварійного та попереджувального захисту інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 ПТК АСУ ТП 8 енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС пропонується впроваджувати модуль виявлення аварійних ознак.

Функціональна та структурна схеми підсистеми аварійного та попереджувального захисту інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 ПТК АСУ ТП 8 енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС з впровадженням модуля виявлення ознак аварійності. Зі схем видно, що інформація про стан технологічних параметрів у вигляді сигналів струму та напруги паралельно обробляється в модулі виявлення аварійних ознак за запропонованим алгоритмом.

Далі оброблена інформація поступає на автоматизоване робоче місце оператора, де висвічується на сигнальному табло у вигляді сигналів «Норма», «Аварія» або «Передаварійна ситуація». Оператор на основі отриманої інформації приймає рішення та посилає відповідну команду на датчики та виконавчі механізми.

Розробка алгоритму виявлення недостовірної інформації в інформаційно-керуючій системі «Комплекс Титан-2» на базі шаф ТПТС-51 ПТК АСУ ТП 8 енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС з впровадженням модуля виявлення ознак аварійності

Пропонується новий підхід з визначення достовірної і недостовірної інформації при аналізі характеристик параметрів технологічного процесу (ХПТП), який полягає в тому, що необхідно створити нелінійну динамічну модель об'єму інформаційного простору $V_{\Sigma in}$, у основі якої буде створено алгоритм функціонування підсистеми аварійного та попереджувального захисту інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС з виявлення відхилень ХПТП (на прикладі температури $T, ^\circ C$ та тиску $P, \text{МПа}$) у режимі реального часу, побудовані на фрактально-кластерному представленні структури об'єму інформаційного простору технологічного процесу.

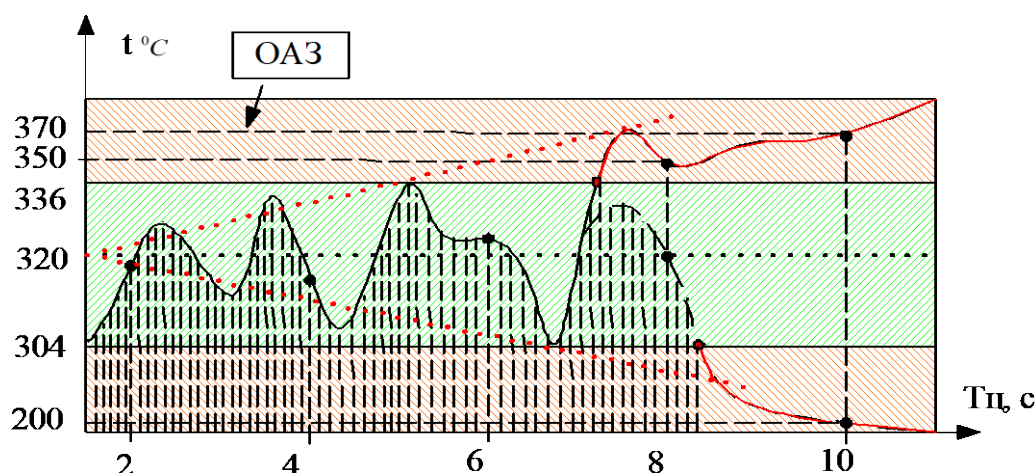


Рис. 9.3 – Процес зміни випадкового сигналу з аварійними ознаками з контролем зміни у режимі реального часу

Як показано на графіку рис. 9.3, запропонований алгоритм дозволить у динаміці контролювати зміну сигналу від нормованих характеристик до відхилень, які можуть призвести до аварійних ситуацій, а отже, контролювати сигнал за весь період протікання аварійної ситуації та оперативно сформувати

команди управління на інформаційно-керуючу систему «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС для недопущення аварій та катастроф.

В основі запропонованого алгоритму з контролю достовірності аналогової інформації в інформаційно-керуючій системі «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС будуть враховуватися наступні критерії: граничних значень вимірюваних характеристик параметрів технологічного обладнання енергоблоку електростанції; максимальної швидкості зміни вимірюваних характеристик параметрів технологічного обладнання енергоблоку електростанції; функціональної залежності між аналоговими величинами та логічного зв'язку між аналоговими та дискретними параметрами; порівнянні результатів вимірювань від дубльованих датчиків аналогових сигналів; еталонним датчиком (періодичне опитування).

За результатами такого контролю запропонований алгоритм (рис. 9.4) дозволяє формувати узагальнену ознаку достовірності сигналу. Недостовірність фіксується індивідуально в кожному каналі та кваліфікується як подія, для цього запропоновано можливість оперативного виведення з роботи сигналів від несправних датчиків.

Для реалізації алгоритму виявлення достовірних – недостовірних сигналів, після обробки інформації у структурно-функціональній схемі роботи інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС, крім обробки в чотирьох уставках, запропоновано паралельно обробляти сигнали з відповідним кроком квантування, для чого запропоновано ввести модуль виявлення аварійних ознак (МВАП), який дозволить у режимі реального часу в залежності від тривалості протікання життєвого циклу технологічного параметра визначати достовірність або недостовірність сигналу і видавати відповідну команду в інформаційно-керуючу систему ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС.

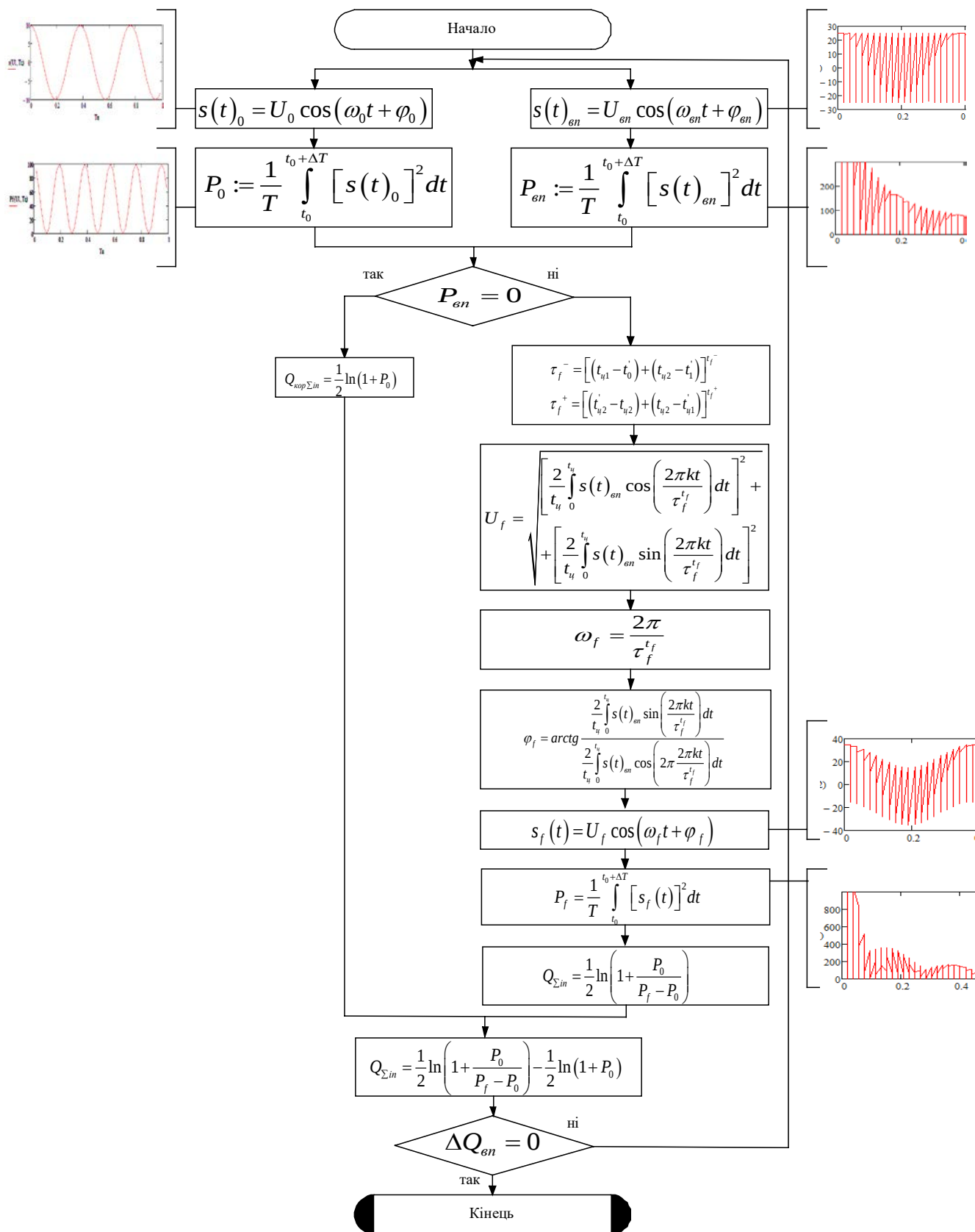


Рис. 9.4 – Блок-схема алгоритму розрахунків характеристик параметрів технологічного процесу в інформаційно-керуючій системі «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП енергоблоку потужністю 325 МВт Зміївської ТЕС

Економічний ефект від впровадження модуля виявлення аварійних ознак

Економічний ефект від впровадження модуля виявлення аварійних ознак в інформаційно-керуючу систему «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції може бути лише непрямым, тому що він не є прямим джерелом доходу, а є допоміжним засобом для мінімізації витрат.

Собівартість впровадження одного модуля виявлення аварійних ознак з урахуванням додаткових втрат становить порядку 400 грн. У складі інформаційно-керуючої системи «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції перебуває приблизно 600 шаф (в залежності від конфігурації), у які необхідно впровадити даний модуль.

Таким чином, сума витрат для впровадження модулів виявлення аварійних ознак для одного енергоблоку електростанції становить 240 тис. грн. Зважаючи на те, що через відмови електроустаткування із причин помилкових спрацьовувань, електростанція зазнає втрат порядку 750 тис. грн. на рік, то економічний ефект від впровадження модуля виявлення аварійних ознак складе порядку 500 тис. грн.

За результатами розрахунку економічної ефективності впровадження модуля виявлення аварійних ознак в інформаційно-керуючу систему «Комплекс Титан-2» ПТК АСУ ТП енергоблоку електростанції можна зробити висновок, що це є вигідним капіталовкладенням. Вигода, хоч і не пряма, але, як правило, помітна в середньо і довгостроковій перспективі. Як показує практика, впровадження подібних модулів несе в собі великий потенціал для розвитку і матеріальну вигоду з плином часу.

Питання для самоперевірки

1. Що таке інформаційно-керуюча система «Комплекс ТИТАН-2» і для чого вона використовується?
2. Які основні функції та можливості модуля виявлення ознак аварійності характеристик параметрів технологічного процесу?

3. Які технологічні параметри обробляються в інформаційно-керуючій системі «Комплекс ТИТАН-2»?
4. Як проводиться збір та обробка даних про технологічні параметри у системі «Комплекс ТИТАН-2»?
5. Які методи і алгоритми використовуються для виявлення ознак аварійності в технологічному процесі?
6. Як впровадження модуля виявлення ознак аварійності впливає на безпеку та надійність роботи енергоблоку?
7. Які інструменти та програмне забезпечення використовуються для розробки та впровадження модуля?
8. Як здійснюється моніторинг і підтримка роботи модуля в реальному часі?
9. Які основні виклики і проблеми можуть виникнути під час впровадження та експлуатації модуля?
10. Які перспективи розвитку та вдосконалення модуля виявлення ознак аварійності в майбутньому?

ЛЕКЦІЯ 10. ПІДХОДИ Й ЕТАПИ ДО РОЗРОБКИ МОДЕЛІ Й АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЗОВАНОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАСОБУ – ТРЕНАЖЕРА ПРИ ПРИЙНЯТТІ РІШЕНЬ ОПЕРАТИВНИМ ПЕРСОНАЛОМ У НЕШТАТНИХ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЯХ У РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Ґрунтуючись на отриманих результатах теоретичних досліджень, запропоновано використовувати динамічну модель інформаційного простору технологічного процесу з ознаками аварійності для розробки моделі алгоритму тренажера з підготовки оперативного персоналу електростанцій ТЕС і АЕС при прийнятті рішення в нештатних аварійних ситуаціях у режимі реального часу.

На основі відомих моделей, методів і критеріїв прийняття рішення в умовах невизначеності були запропоновані наступні етапи підготовки й прийняття рішення оперативним персоналом електростанції.

Етап 1. - Обробка об'єму оперативної інформації, що поступає з датчиків електроенергетичного обладнання енергоблоку електростанції;

Етап 2. - Прогноз і оцінка ситуації на електростанції;

Етап 3. - Формування оптимальних варіантів рішень на основі оперативної інформації;

Етап 4. - Вибір основного варіанта прийняття рішення;

Етап 5. - Прийняття рішення.

У такий спосіб схема послідовності процесу підготовки й прийняття рішення показана на рис.10.1.

Для ефективного управління технологічним процесом необхідно знати його математичну модель для наступної розробки алгоритму керування. Оскільки реальний технологічний процес може змінюватися, то виникає необхідність регулярно будувати нову математичну модель підготовки (тренажу) персоналу електричної станції (ТЕС і АЕС).

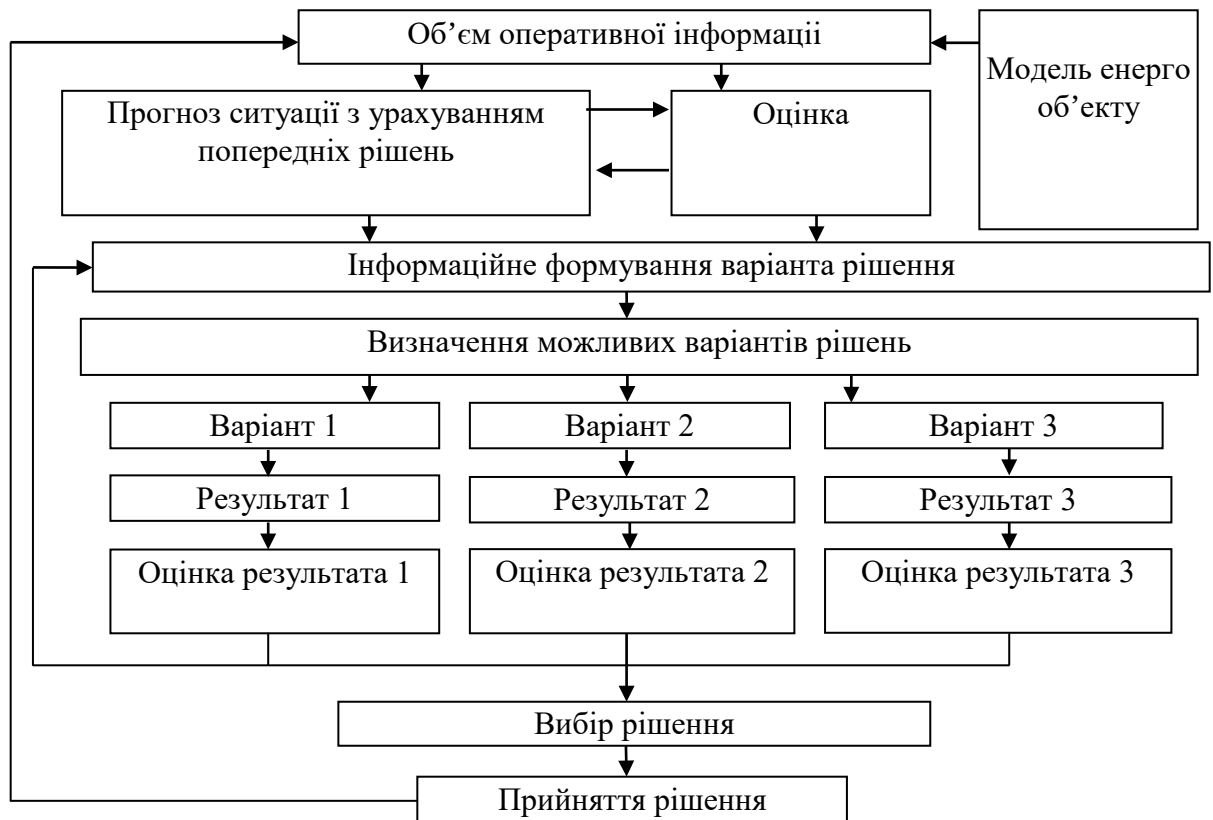


Рис. 10.1 – Схема етапів процесу підготовки та прийняття рішення

Виходячи із цього, необхідно знайти таку процедуру побудови математичної моделі, яка, з одного боку, досить проста в реалізації, з іншого дозволяла будувати досить точну й адекватну модель (алгоритм) технологічного процесу електростанції.

Модель підготовки (тренажу) оперативного персоналу електростанції вимагає досить високої точності й складності, яка полягає в наступному: забезпечення людині – операторові адекватної інформаційної моделі прототипу об'єкта керування; забезпечення можливості аналізу інформації й прийняття рішення; формування й удосконалювання в оператора професійних навичок і вмінь при заздалегідь заданих відхиленнях моделі відносно прототипу-моделі об'єкта – оригіналу, тобто похибки моделювання, що забезпечують необхідну ефективність навчання оперативного персоналу ТЕС і АЕС.

Для обговорення й обґрунтування основних підходів до розробки проблем математичного моделювання технічних пристроїв і процесів у них доцільним буде попередньо розглянути умовну схему, що визначає послідовність проведення окремих етапів загального алгоритму (рис. 10.2).

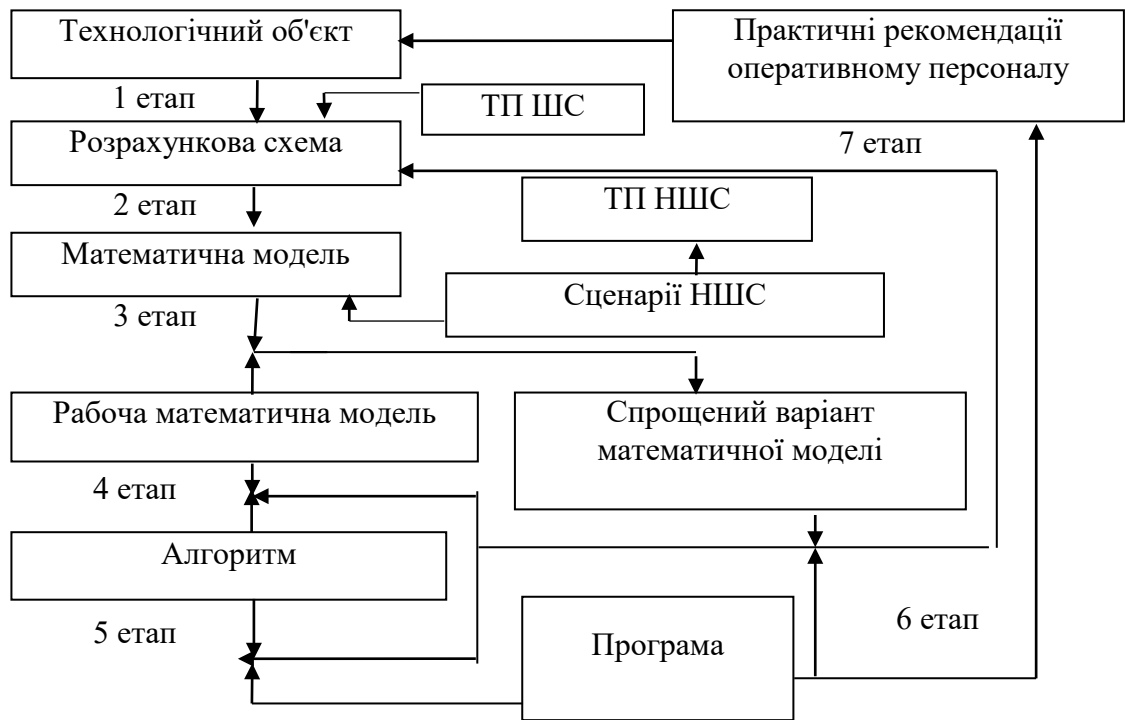


Рис. 10.2 – Етапи моделювання алгоритму прийняття рішення в тренажі

Вихідною позицією цієї схеми служить технічний об'єкт, під яким будемо розуміти технологічний процес (ТП) або явище (окрема конкретна ситуація: несправність, аварія), яка повинна бути реалізована в технічному пристрої (тренажері), де на основі моделі (алгоритму) приймається рішення на керування технічним об'єктом (ТО).

Розглянемо етапи моделювання алгоритму прийняття рішення в тренажері при проведенні тренажу оперативного персоналу ТЕС і АЕС.

На першому етапі здійснюють перехід від розглянутих реальних існуючих технічних об'єктів до їхніх розрахункових схем (РС) або концептуальних моделей. При цьому вибираються ті властивості за технічний об'єкт, що задовольняють особливостям умов його роботи і які разом з їх параметрами відображаються в розрахунковій схемі і навпаки, аргументують допущення й спрощення, що дозволяють не враховувати в РС ті якості технічного об'єкта, вплив яких припускають у розглянутому випадку несуттєвим. При розробці нових технічних об'єктів повнота й правильність обліку в розрахунковій схемі їх властивостей, істотних з погляду поставленої

мети дослідження, є основною передумовою отримання надалі достовірних результатів математичної моделі (ММ).

Другий етап полягає у формальному математичному описі розрахункової схеми у вигляді математичних співвідношень, що встановлюють зв'язок між обраними технологічними параметрами, які характеризують РС технічного об'єкту, тобто складанні математичної моделі.

На третьому етапі проводиться якісний та кількісний аналіз побудованої математичної моделі, виявляються протиріччя, які уточнюються й переглядаються в розрахунковій схемі. Кількісна оцінка може давати підстави спростити модель, виключити з розгляду деякі технологічні параметри, співвідношення або їх окремі складові, незважаючи на те, що вплив описуваних ними факторів врахований у розрахунковій схемі. У більшості випадків, ухвалюючи додаткові стосовно розрахункової схеми допущення, корисно побудувати такий спрощений варіант математичної моделі, який дозволяв би отримати або залучити відомий точний розв'язок. Цей розв'язок потім можна використовувати для порівняння при тестуванні результатів на наступних етапах. Обґрунтований вибір робочої математичної моделі технічного об'єкту залежить від розуміння зв'язку окремих складових ММ із властивостями ТО, які знайшли відображення відбиття в його розрахунковій схемі.

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

П'ятий етап полягає в розробці й створенні працездатної програми, що реалізує алгоритм керування технічного об'єкту засобами інформаційно-керуючої системи програмно-технічного комплексу АСУ ТП.

На шостому етапі в результаті роботи програми отримані результати обчислень зіставляють із даними кількісного аналізу спрощеного варіанта математичної моделі розглянутого технічного об'єкту (конкретний окремий технологічний цикл – підключення програмувального модуля сценарію з нештатною аварійною ситуацією (НШС)). Тестування дозволяє виявити зміни

як у програмі, так і в алгоритмі, що потребує доробки програми або ж модифікації алгоритму й програми, а також коректування розрахункової схеми і відповідну їй математичну модель.

На сьомому етапі за допомогою ланцюга керування «модель – алгоритм – програма» для виробітку та прийняття рішень на основі одержуваної кількісної інформації даються практичні рекомендації оперативному персоналу на виробіток керуючих рішень, спрямованих на керування технічним об'єктом у нештатних аварійних ситуаціях, і в такий спосіб завершаючого «технологічний цикл» етапу математичного моделювання.

Запропоновані етапи моделювання алгоритму прийняття рішення оперативним персоналом у нештатних аварійних ситуаціях у тренажері при відпрацьовуванні тренажу оперативного персоналу носять загальний характер і в деяких випадках залежно від технологічних процесів, а особливо від циклів ТП технічного об'єкта можуть коректуватися й змінюватися.

На основі вищевикладеного підходу до моделювання алгоритму прийняття рішення, в роботі запропонована структурно-функціональна схема дій людини – оператора з прийняття рішення в штатних і нештатних ситуаціях (рис. 10.3).

Як видно зі схеми, оператор повинен оцінювати ситуацію й формувати варіанти рішення з керування технологічним процесом технічного об'єкта не тільки залежно від наявності тих або інших сигналів, але й у зв'язку з моментом часу їх реалізації, і тому можна стверджувати, що будь-який сигнал інформаційного потоку використовується як завдання контролю й керування в співвідношенні з моментом часу його реалізації.

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

впровадження модуля імітації аварійних ознак (рис.10.3), який виробляє випадкові хаотичні сигнали, що подаються на пульт оператора для аналізу та прийняття рішення.

У випадку нештатного режиму, який імітується одним зі сценаріїв аварій і катастроф (модуль сценарію) пропонується наступний алгоритм модуля моделі тренажу з прийняття рішень (рис. 10.4).

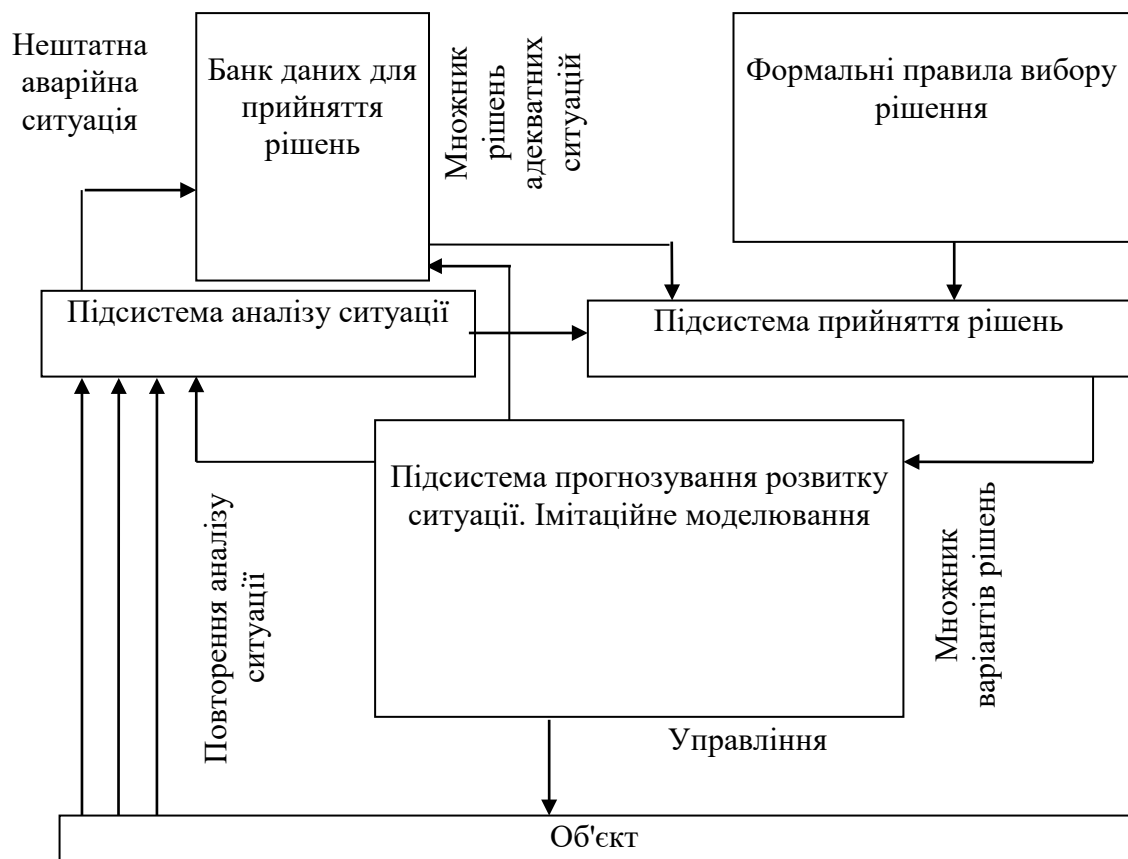


Рис. 10.4 – Алгоритм модуля моделі тренажу з прийняття рішень

На першому етапі ситуаційного керування імітаційні моделі використовуються для опису й аналізу нештатної аварійної ситуації, яка вводиться з пульта інструктора. Ціль логічної обробки цих описів – визначення НШС із ознаками аварійності.

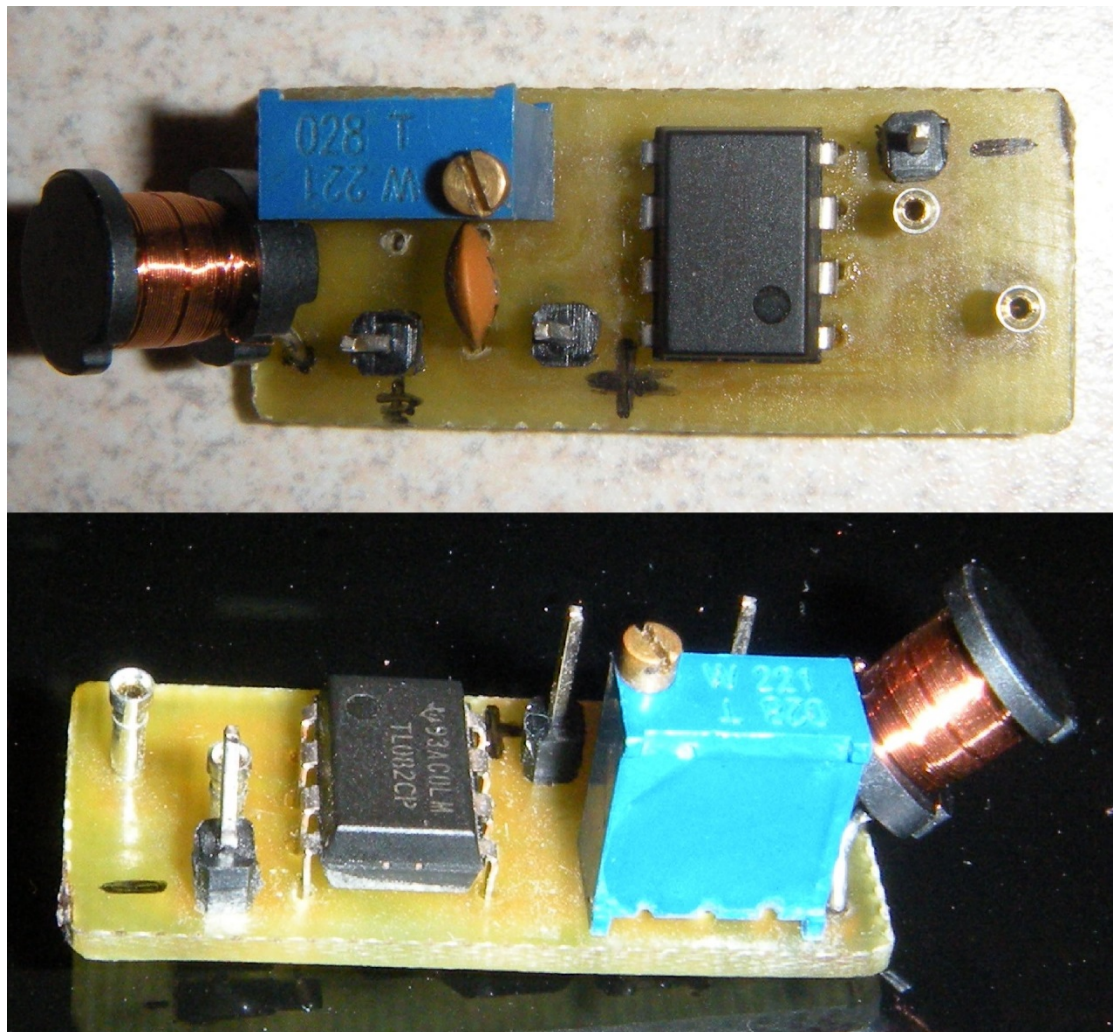


Рис. 10.5– Модуль імітації аварійних ознак

На другому етапі алгоритму для поточної ситуації за допомогою банку даних для прийняття рішень формується множник інформаційно-знакових моделей, поведінка яких раніше мала місце в частково адекватних модельних ситуаціях.

На третьому етапі алгоритму на основі формальних правил приймаються можливі рішення, які порівнюються з рядом рішень, отриманих із банку даних моделі об'єкта й виробляється обмежене число найбільш адекватних рішень, що відповідають ознакам нештатної аварійної ситуації на енергооб'єкті.

На четвертому етапі алгоритму відбувається прогнозування розвитку процесу до кожного з відповідних рішень. Оцінюються наслідки рішень оператором і виробляються їхні інтегральні характеристики. У випадку неправильно обраного рішення, тобто неадекватного варіанта можливих рішень, підсистема прогнозування розвитку ситуації виробляє сигнал на повторення аналізу ситуацій і цикл повторюється.

Однією з характерних рис функціональної математичної моделі для побудови моделі-тренажу є відсутність або наявність в області (інформаційному середовищі) прийняття рішень параметрів випадкових величин. За наявності таких величин (це або окремі параметри, або групи параметрів: на ТЕС – більш 5000; на АЕС – більш 35000 параметрів), які виникли у критичних нештатних нестандартних ситуаціях у режимі реального часу, то за допомогою пропонованої математичної моделі необхідно вміти їх угадувати, а за відсутності випадкових величин ММ здатні їх визначати в просторі й часі.

Питання для самоперевірки

1. Що таке автоматизований навчальний засіб – тренажер, і для чого він використовується?
2. Які основні підходи використовуються для розробки моделі тренажера?
3. Які етапи включає процес розробки моделі тренажера?
4. Які характеристики повинна мати модель тренажера для ефективного навчання оперативного персоналу?

5. Які методи використовуються для моделювання нештатних аварійних ситуацій у режимі реального часу?
6. Як тренажер допомагає оперативному персоналу приймати рішення в аварійних ситуаціях?
7. Які алгоритми використовуються для забезпечення реалістичності тренувальних ситуацій?
8. Які інструменти та програмне забезпечення використовуються для розробки і впровадження тренажера?
9. Які виклики можуть виникнути під час розробки та експлуатації тренажера?
10. Які перспективи розвитку і вдосконалення автоматизованих навчальних засобів у майбутньому?

ТЕМИ І ЗМІСТ ПРАКТИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ КУРСУ

Практичне заняття ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ФРАКТАЛЬНО-КЛАСТЕРНОЇ МОДЕЛІ

Мета заняття: Ознайомлення з основами фрактально-кластерного аналізу енергетичних систем. Засвоєння методів розрахунку параметрів енергетичної системи з використанням фрактально-кластерної моделі. Формування практичних навичок аналізу складних енергетичних мереж. Опанування інструментів моделювання та обчислень у MATLAB.

Теоретична частина:

Фрактально-кластерна модель використовується для дослідження енергетичних систем, враховуючи їх ієрархічну структуру та самоподібність. Вона дозволяє визначати ефективність розподілу енергії, оцінювати стабільність мереж та прогнозувати їх розвиток.

Основні поняття:

- **Фрактальна розмірність** – характеристика, що описує складність структури енергетичної мережі.
- **Кластерний аналіз** – метод угруповання елементів мережі для визначення оптимальної конфігурації.
- **Розрахунок навантажень** – визначення балансу виробництва та споживання електроенергії.
- **Математичне моделювання** – використання чисельних методів для прогнозування роботи енергосистеми.

Обладнання та програмне забезпечення:

Комп'ютер із встановленим програмним середовищем (MATLAB, Python або спеціалізоване ПЗ для моделювання енергетичних систем).

Дані про енергетичну систему (структура мережі, параметри генерації та споживання).

Пакети для кластерного аналізу (наприклад, Scikit-learn у Python або Clustering Toolbox у MATLAB).

Хід роботи:

Аналіз вхідних даних.

- Завантажити та проаналізувати дані про енергетичну мережу.
- Визначити основні параметри: кількість вузлів, з'єднань, потужність генераторів, споживання.

Формування фрактально-кластерної моделі.

- Використати методи кластерного аналізу для поділу системи на підсистеми.
- Обчислити фрактальну розмірність кожного кластера.
- Використати алгоритми K-means або ієрархічного кластеризаційного аналізу для визначення груп вузлів.

Розрахунок параметрів енергосистеми.

- Визначити оптимальний розподіл навантажень між кластерами.
- Провести оцінку ефективності розподілу енергії.
- Побудувати графіки навантажень та стабільності системи.

Аналіз отриманих результатів.

- Оцінити вплив кластерної структури на ефективність роботи енергетичної системи.
- Запропонувати рекомендації щодо покращення роботи мережі.

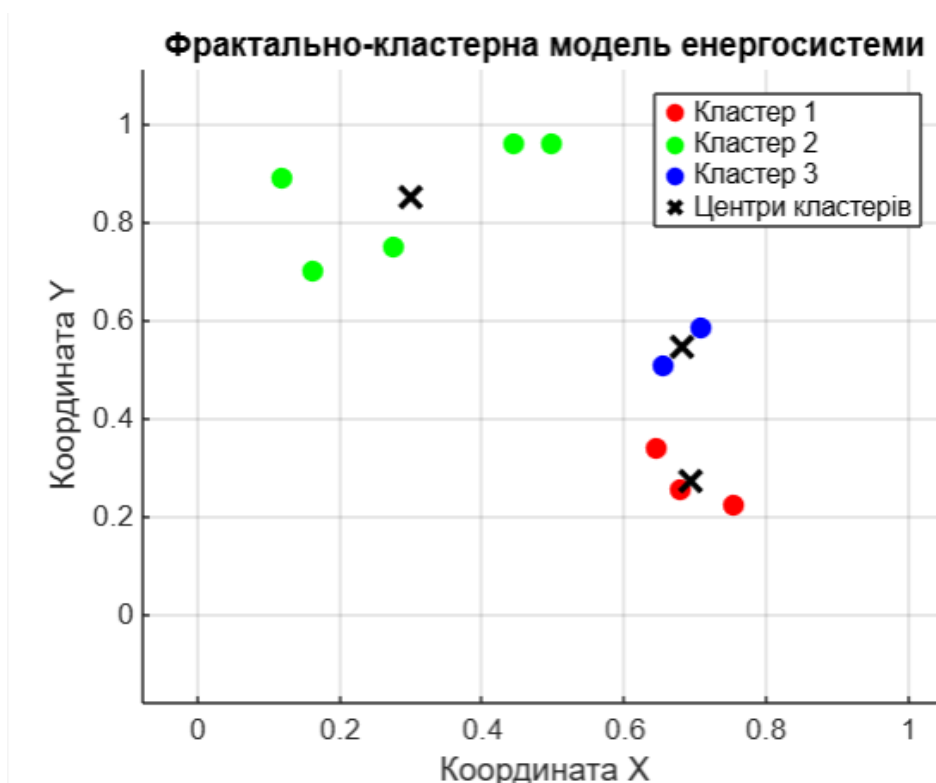


Рис. 1.1. Фрактально-кластерна модель енергосистеми

```

clc; clear; close all;

% Генерація випадкових координат для 10 вузлів
nodes = rand(10,2);

% Виконання кластерного аналізу (K-means, 3 кластери)
k = 3;
[idx, C] = kmeans(nodes, k);

% Візуалізація кластерів
figure; hold on;
colors = ['r', 'g', 'b'];
for i = 1:k
    scatter(nodes(idx==i,1), nodes(idx==i,2), 50, colors(i), 'filled');
end
scatter(C(:,1), C(:,2), 100, 'k', 'x', 'LineWidth', 2);
legend('Кластер 1', 'Кластер 2', 'Кластер 3', 'Центри кластерів');
title('Фрактально-кластерна модель енергосистеми');
xlabel('Координата X'); ylabel('Координата Y'); grid on;

% Виведення координат центрів кластерів
disp('Координати центрів кластерів:');
disp(C);

% Обчислення середніх координат центрів
avg_C = mean(C);
disp('Середні координати центрів кластерів:');
disp(avg_C);

```

Рис. 1.2. Приклад розрахунку у MATLAB

Результати розрахунку:

Розділення енергетичної мережі на три кластери з центрами (значення можуть змінюватися через випадкову генерацію):

Кластер 1: (0.7219, 0.5064)

Кластер 2: (0.1511, 0.9289)

Кластер 3: (0.2685, 0.2888)

Середні координати центрів кластерів: (0.3805, 0.5747)

Ці дані допомагають оцінити ефективність розподілу навантажень у системі та зробити висновки щодо оптимального управління мережею.

Підсумки заняття:

Студенти повинні зробити висновки щодо ефективності використання фрактально-кластерної моделі для аналізу енергетичних систем, описати отримані результати та сформулювати рекомендації щодо покращення роботи енергосистеми.

Контрольні питання:

1. Які основні переваги використання фрактально-кластерної моделі в енергетиці?
2. Як визначається фрактальна розмірність енергетичної мережі?
3. Які алгоритми кластерного аналізу застосовуються для поділу системи на підсистеми?
4. Як оптимізувати розподіл навантаження між кластерами?
5. Які параметри враховуються при оцінці стабільності енергосистеми?
6. Як змінюється ефективність роботи енергосистеми при зміні кластерної структури?

Практичне заняття

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ФРАКТАЛЬНО-КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ БЕЗПЕКИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРУ АЕС

Мета заняття: Ознайомлення з методами фрактально-кластерного аналізу та їх застосуванням для оцінки стану безпеки ядерного реактора атомної електростанції (АЕС). Формування навичок аналізу складних динамічних систем на основі фрактальних характеристик та кластерного аналізу даних.

Теоретична частина:

Фрактально-кластерний аналіз є одним із сучасних методів дослідження складних нелінійних систем, що включає в себе аналіз фрактальної розмірності та застосування методів кластеризації для оцінки стану системи. У контексті безпеки ядерних реакторів, цей підхід дозволяє виявляти аномальні зміни в динаміці параметрів роботи реактора та запобігати можливим аварійним ситуаціям.

Основні етапи фрактально-кластерного аналізу:

- **Збір та підготовка даних** – вибір основних параметрів роботи реактора (температура теплоносія, тиск у першому контурі, рівень потужності тощо).
- **Обчислення фрактальних характеристик** – використання методу Херста для визначення рівня автокореляції параметрів.
- **Кластерний аналіз** – застосування алгоритмів кластеризації (K-means, DBSCAN) для групування даних за подібністю характеристик.
- **Інтерпретація результатів** – аналіз отриманих кластерів для ідентифікації небезпечних режимів роботи реактора.

Хід роботи:

Завдання 1. Збір та обробка експериментальних даних

Завантажте набір даних, що містить параметри роботи ядерного реактора (можна використовувати реальні або змодельовані дані).

Виконайте попередню обробку даних: видаліть аномальні значення, нормалізуйте показники.

Завдання 2. Обчислення показника Херста

Реалізуйте метод Херста для оцінки рівня довготривалої залежності в часових рядах параметрів.

Візуалізуйте результати та визначте рівень автокореляції системи.

% Генерація випадкових даних (наприклад, температурні коливання в реакторі)

```

data = randn(1, 1000);
N = length(data);
T = (1:N)';
Y = cumsum(data - mean(data));
R = max(Y) - min(Y);
S = std(data);
H = log(R/S) / log(N);

% Виведення результату
fprintf('Показник Херста: %.4f\n', H);

% Побудова графіка тренду
figure;
plot(T, Y, 'b');
title('Кумулятивний тренд параметра');
xlabel('Час');
ylabel('Накопичена зміна');
grid on;

```

Рис. 2.1. MATLAB-код для оцінки показника Херста

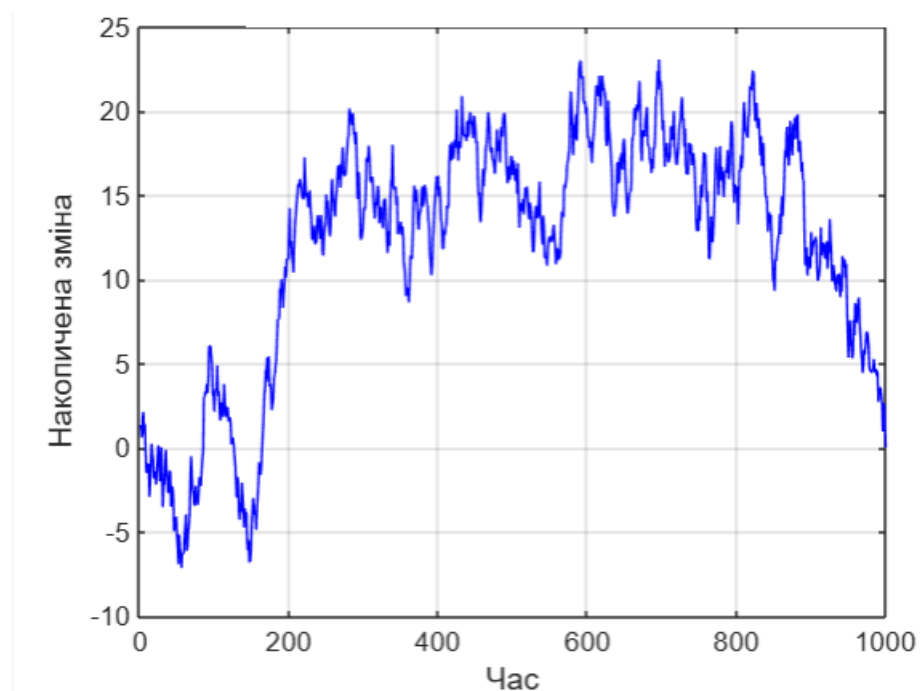


Рис. 2.2. Кумулятивна зміна параметра

Завдання 3. Кластерний аналіз

Використовуючи метод головних компонент (PCA), зменшіть розмірність вибірки для візуалізації кластерів.

Виконайте кластеризацію даних за допомогою алгоритму K-means або DBSCAN.

Побудуйте графіки розподілу кластерів.

```

% Генерація випадкових даних (імітація параметрів роботи реактора)

```

```

data = [randn(100,2) + 2; randn(100,2) - 2; randn(100,2)];
labels = [ones(100,1); 2*ones(100,1); 3*ones(100,1)];

% Виконання аналізу головних компонент (PCA)
[coeff, score] = pca(data);
data_reduced = score(:,1:2);

% Виконання кластеризації методом K-means
num_clusters = 3;
[idx, C] = kmeans(data_reduced, num_clusters);

% Візуалізація кластерів
figure;
gscatter(data_reduced(:,1), data_reduced(:,2), idx);
hold on;
plot(C(:,1), C(:,2), 'kx', 'MarkerSize', 12, 'LineWidth', 2);
title('Кластеризація параметрів реактора методом K-means');
xlabel('Перша головна компонента');
ylabel('Друга головна компонента');
grid on;

```

Рис. 2.3. MATLAB-код для кластерного аналізу

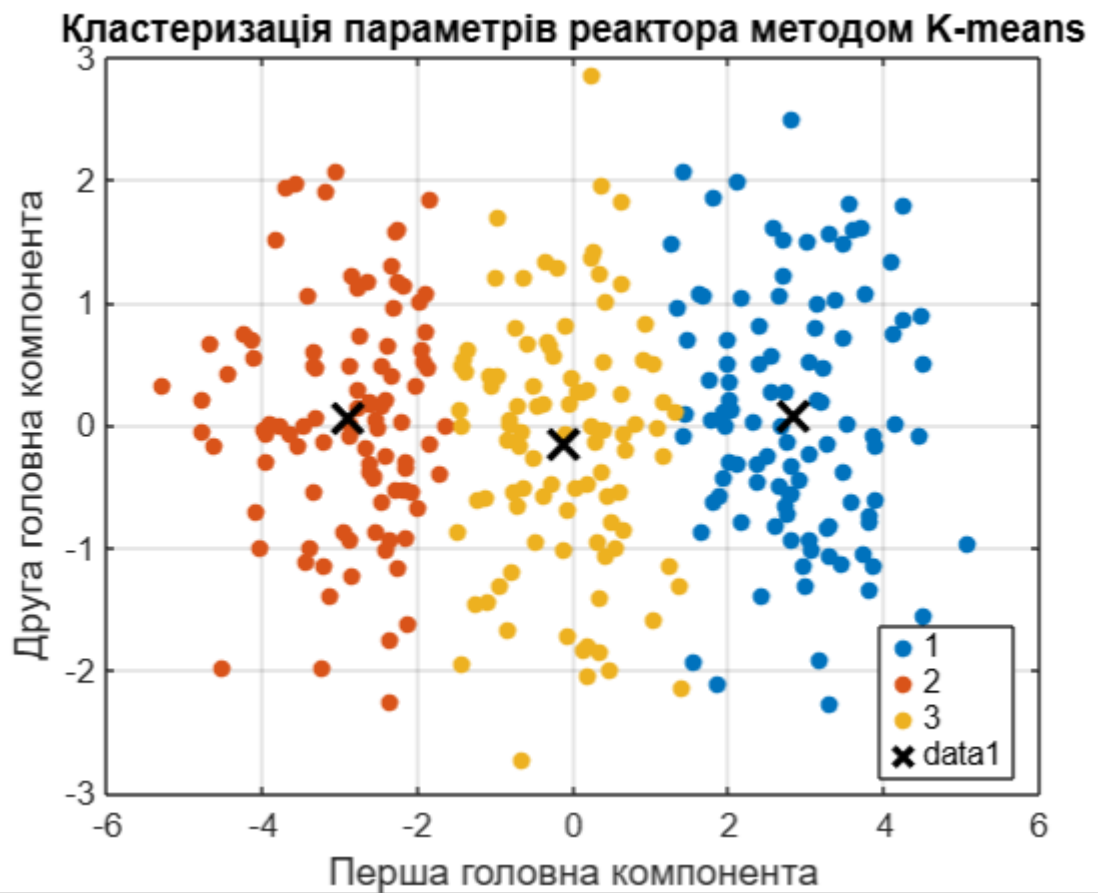


Рис. 2.4. Кластеризація параметрів реактора методом K-means

Завдання 4. Аналіз результатів

Інтерпретуйте отримані результати та визначте критичні стани реактора.

Зробіть висновки щодо можливих ризиків аварійних ситуацій.

Висновок

Використання методів фрактально-кластерного аналізу дозволяє виявити приховані закономірності в динаміці параметрів реактора та запобігти можливим аварійним ситуаціям, що сприяє підвищенню рівня безпеки АЕС.

Контрольні питання

1. Які основні переваги використання фрактального аналізу у моніторингу складних систем?
2. У чому полягає метод Херста для аналізу часових рядів?
3. Які алгоритми кластеризації найкраще підходять для аналізу параметрів реактора?
4. Як можна інтерпретувати результати кластерного аналізу з точки зору безпеки АЕС?
5. Які основні фактори впливають на достовірність результатів фрактально-кластерного аналізу?

Практичне заняття
РОЗРАХУНОК І ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ
ГЕРМЕТИЧНОСТІ ТВЕЛ ТВЗ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРУ АЕС

Мета заняття: Ознайомлення студентів з методами розрахунку герметичності тепловиділяючих елементів (ТВЕЛ) та тепловиділяючих зборок (ТВЗ) у ядерних реакторах, а також з методами оптимізації систем контролю для забезпечення безпечної експлуатації АЕС. Формування практичних навичок у використанні сучасних програмних комплексів для аналізу та оцінки герметичності ТВЕЛ, а також розробка рекомендацій щодо підвищення їхньої надійності.

Обладнання та програмне забезпечення:

Комп'ютер з програмним забезпеченням для аналізу герметичності ТВЕЛ (ANSYS, RELAP5, KORAT, CFX, SERPENT тощо).

Дані про експлуатаційні характеристики ТВЕЛ і ТВЗ.

Методичні матеріали щодо вимог до контролю герметичності ТВЕЛ.

Термомеханічні розрахункові моделі оболонки ТВЕЛ.

Лабораторне обладнання для тестування герметичності ТВЕЛ (спектрометричні установки, іонізаційні камери тощо).

Теоретична частина:

1. Основні поняття

- Тепловиділяючі елементи (ТВЕЛ) і зборки (ТВЗ): конструкція, функції, особливості експлуатації.
- Герметичність ТВЕЛ: визначення, механізми її втрати (механічні пошкодження, корозія, термомеханічна деградація, виробничі дефекти).
- Методи контролю герметичності ТВЕЛ:
- Спектрометричний аналіз газових викидів.
- Іонізаційний контроль.
- Радіохімічний аналіз теплоносія.
- Випробування під тиском.

- Дефектоскопія ТВЕЛ перед експлуатацією.

2. Методи розрахунку герметичності ТВЕЛ

- Аналіз механічних навантажень: розрахунок напружень у оболонці ТВЕЛ.
- Оцінка корозійної стійкості: дослідження впливу теплоносія, температури та хімічного складу середовища.
- Моделювання газовиділення: визначення обсягів викидів продуктів поділу при порушенні герметичності.
- Аналіз термомеханічного стану: оцінка впливу змінних навантажень на структурну цілісність оболонки.

3. Оптимізація систем контролю

- Вибір оптимальної методики контролю герметичності ТВЕЛ у реальному часі.
- Використання штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу даних про стан ТВЕЛ.
- Поліпшення алгоритмів моніторингу витоків за допомогою нейромережевих технологій.
- Впровадження комплексного моніторингу герметичності ТВЕЛ на етапі виробництва, транспортування та експлуатації.

Практична частина:

1. Розрахунок герметичності ТВЕЛ за допомогою програмного забезпечення

- Завантаження вхідних параметрів (геометрія ТВЕЛ, режим експлуатації, матеріали оболонки).
- Виконання моделювання напружено-деформованого стану оболонки ТВЕЛ.
- Аналіз результатів та їх інтерпретація.

2. Аналіз ефективності методів контролю

- Порівняння різних методик контролю герметичності.

- Аналіз впливу різних факторів на точність діагностики витоків.
- Визначення оптимального алгоритму діагностики для різних типів реакторів (ВВЕР, РБМК, PWR, BWR).

3. Розробка рекомендацій щодо підвищення надійності ТВЕЛ

- Оптимізація матеріалу оболонки ТВЕЛ (заміна цирконієвих сплавів на більш корозійностійкі матеріали).
- Вдосконалення системи моніторингу ТВЕЛ під час роботи реактора.
- Впровадження нових технологій контролю, таких як акустична емісія та оптична інспекція.

Завдання для самостійної роботи:

- Підготувати розрахунковий звіт із оцінкою герметичності ТВЕЛ.
- Запропонувати методи вдосконалення системи контролю герметичності ТВЕЛ.
- Розглянути варіанти аварійних ситуацій, пов'язаних із порушенням герметичності ТВЕЛ, та запропонувати стратегії їх запобігання.
- Дослідити досвід експлуатації ТВЕЛ в іноземних ядерних реакторах та порівняти методи контролю герметичності.

Контрольні питання:

1. Які основні фактори впливають на герметичність ТВЕЛ?
2. Які існують методи контролю герметичності ТВЕЛ?
3. Як можна розрахувати та оцінити стан оболонки ТВЕЛ?
4. Які шляхи оптимізації системи контролю герметичності ТВЕЛ можна запропонувати?
5. Які переваги та недоліки різних методів діагностики витоків ТВЕЛ?
6. Як можна запобігти втраті герметичності ТВЕЛ у процесі експлуатації?

ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Поняття та значення фрактально-кластерного аналізу енергосистем	9
2	Загальні питання фрактально-кластерного аналізу енергосистем	9
3	Вихідні положення концепції фрактально-кластерного аналізу енергосистем	9
4	Напрями досліджень і розробок в області фрактально-кластерного аналізу енергосистем	9
5	Сучасні пристрої та засоби для проведення фрактально-кластерного аналізу електроенергетичної системи	9
6	Сучасні методи фрактально-кластерного аналізу енергосистем.	9
7	Система методів фрактально-кластерного аналізу енергосистем для проведення моніторингу стану системи безпеки АЕС, ТЕС. ТЕЦ. СЕС, ГРЕС.	9
8	Контроль параметрів технологічних процесів за допомогою методів фрактально-кластерного аналізу енергосистем в умовах експлуатації теплових, електричних та ядерних енергетичних установок	9
9	Управління режимами функціонування енергосистем за допомогою методів фрактально-кластерного аналізу енергосистем.	9
10	Перспективи розвитку енергетичних технологій за допомогою методів фрактально-кластерного аналізу енергосистем.	9
	Разом	90

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Кластерний аналіз підприємств енергетичної промисловості України.
https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/39889/2/RSESGP_2022_Rohanova_H-Cluster_analysis_of_energy_31-32.pdf
2. Моделі кластерного аналізу енергетичного сектору країн ЄС.
<https://mpsesm.org/book/2024/pages/sections/section01/page1146.html>
3. Кластерний аналіз. https://uk.wikipedia.org/wiki/Кластерний_аналіз
4. Особливості застосування методів кластерного аналізу <http://ebooks.git-elt.hneu.edu.ua/babap/3-1-id3-1.html>
5. Одягайло Б.М. Передумови кластеризації української економіки та підвищення її конкурентоспроможності / Генеза та глобалізація на адаптивність економічної системи (інституційний підхід): монографія – Львів: Магнолія плюс, 2006. – 376 с.
6. Кластеризація в аграрній енергетиці як інструмент побудови самодостатніх та кокурентоспроможних агроформувань.
<http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3418>
7. Кузнєцов М.П. Моделювання параметрів роботи енергосистеми, які носять випадковий характер // Відновлювана енергетика. – 2012, №3. – С.5-9.
8. Буданов П. Ф. Моделювання ознак аварійності параметрів технологічного процесу об'єктів електроенергетики / П. Ф. Буданов, К. Ю. Бровко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – Вип. 2(43).- С. 84-88.
9. Буданов П. Ф. Просторово – часова модель інформаційного простору з фрактальною структурою /П. Ф. Буданов, К. Ю. Бровко // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – Вип. 7(132). - С. 15-19.
10. Бровко К. Ю. Підвищення надійності автоматизації управління енергооб'єктами у нештатних режимах функціонування на основі використання мікропроцесорних модулів // Наукові праці Вінницького національного технічного університету: електрон. наук. фахове вид. Вінниця. 2017. № 1. С. 1–6. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/498>

11. Budanov P., Brovko K., Cherniuk A., Vasyuchenko P., Homenko V. Improving The Reliability Of Information-Control systems At Power Generation Facilities Based on The Fractal-Cluster Theory. Eastern European Journal of Enterprise Thechnologies. 2018. 2/9 (82). P. 4 – 12.

12. Спосіб виявлення аварійних ознак у позаштатних режимах функціонування енергооб'єкта: пат. 113804 Україна. МПК G06F 1/00, G05B 23/02. № 201609397; заявл. 09.09.2016; опубл. 10.02.2017. Бюл. № 3. С. 9.

13. Спосіб виявлення помилкових спрацьовувань у нештатних режимах функціонування енергооб'єкта: пат. 135872 Україна. МПК G06F 1/00; власник Укр. інж.-пед. акад. № 201901090; заявл. 04.02.2019; опубл. 25.07.2019. Бюл. № 14.

14. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю. Метод фрактально-кластерного аналізу для виявлення порушень в роботі електроенергетичного обладнання енергооб'єктів. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 187 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». Харків: ХНТУСГ, 2017. С. 92-94.

15. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю. Динамічна просторово-часова модель інформаційно-керуючих систем програмно-технічних комплексів АСУ ТП енергоблоку електростанції. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків : Харків. ун-т Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 2016. Вип. 4(49). С. 80-85.

16. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю. Влияние фрактальных свойств информационного пространства на процесс формирования случайного сигнала с признаками аварийности. Системи обробки інформації : зб. наук. пр. Харків : Харків. ун-т Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. Вип. 1(138). С. 10-14.

Електронне навчальне видання комбінованого використання
Можна використовувати в локальному та мережному режимі

Буданов Павло Феофанович
Бровко Костянтин Юрійович

ФРАКТАЛЬНО-КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ ЕНЕРГОСИСТЕМ

Навчально-методичний посібник
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за спеціальністю G3 «Електрична інженерія»

В авторській редакції

Підписано до розміщення 23.04.2025. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 5,85. Обсяг 2,639 Мб. Зам. № 166/25.

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