



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

Атомні електростанції

ІНФОРМАЦІЙНІ ТА КЕРУВАЛЬНІ СИСТЕМИ, ВАЖЛИВІ ДЛЯ БЕЗПЕКИ

Методи оцінювання робочих характеристик
вимірювальних каналів системи безпеки

(IEC 62385:2007, IDT)

ДСТУ IEC 62385:2015

Київ
ДП «УкрНДНЦ»
2016

ПЕРЕДМОВА

1 ВНЕСЕНО: Державне підприємство «Державний центр регулювання якості поставок та послуг» (ДП «Держцентрякості»)

ПЕРЕКЛАД І НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ РЕДАГУВАННЯ: **О. Кутовий** (науковий керівник), **І. Яцевський, І. Гуцол**

2 НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ ДП «УкрНДНЦ» від 22 червня 2015 р. № 61 з 2016–07–01

3 Національний стандарт відповідає ІЕС 62385:2007 Nuclear power plants — Instrumentation and control important to safety — Methods for assessing the performance of safety system instrument channels (Інформаційні та керувальні системи, важливі для безпеки. Методи оцінювання робочих характеристик вимірювальних каналів системи безпеки)

Ступінь відповідності — ідентичний (ІДТ)

Переклад з англійської (en)

4 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ

ЗМІСТ

	С.
Національний вступ	IV
Вступ	IV
1 Сфера застосування.....	1
2 Нормативні посилання.....	1
3 Терміни та визначення понять	2
4 Вимоги до перевірення робочих характеристик технологічної контрольно-вимірювальної апаратури.....	4
5 Технічні засоби для верифікації робочих характеристик вимірювальної апаратури.....	6
6 Методи верифікації калібрування вимірювальної апаратури.....	7
7 Методи випробування часу реагування	9
8 Оперативне виявлення закупорення та порожнеч у трубопроводі вимірювання тиску.....	12
9 Верифікація робочих характеристик нейтронних детекторів	13
Додаток А Взаємне калібрування/взаємна валідація термоперетворювача опору	13
Додаток В Оперативне контролювання калібрування	17
Додаток С Методи випробування часу реагування для давачів тиску та нейтронних детекторів	18
Додаток D Методи випробування часу реагування для термоперетворювача опору	20

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей стандарт є письмовий переклад ІЕС 62385:2007 Nuclear power plants — Instrumentation and control important to safety — Methods for assessing the performance of safety system instrument channels (Інформаційні та керувальні системи, важливі для безпеки. Методи оцінювання робочих характеристик вимірювальних каналів системи безпеки).

Технічний комітет, відповідальний за цей стандарт, — ТК 79 «Атомна енергія».

Стандарт містить вимоги, які відповідають чинному законодавству України.

До стандарту внесено такі редакційні зміни:

— структурні елементи цього стандарту: «Титульний аркуш», «Передмова», «Національний вступ», «Зміст», першу сторінку, «Терміни та визначення понять» і «Бібліографічні дані» — оформлено згідно з вимогами національної стандартизації;

— слова «Міжнародний стандарт» замінено на «Цей стандарт»;

— замінено позначки одиниць фізичних величин згідно із серією стандартів ДСТУ 3651–97;

— у розділі 2 та «Бібліографії» наведено «Національне пояснення», виділене в тексті рамкою.

Копії нормативних документів, на які є посилання в цьому стандарті, можна замовити в Національному фонді нормативних документів.

ВСТУП до ІЕС 62385:2007

а) Технічна база, основні питання та структура стандарту

Цей стандарт установлює методи випробування вимірювальних каналів системи безпеки на атомних станціях для підтвердження відповідності специфікаціям відносно похибки, часу реагування та інших робочих характеристик. Цей стандарт поширюється на вимірювальні прилади, первинні перетворювачі яких вимірюють температуру, тиск, перепад тиску, рівень рідини, витрату та густину потоку нейтронів. Цей стандарт поширюється на методи випробування, які можна застосовувати, якщо станція перебуває в робочому положенні, без потреби в доступі до захисної оболонки реактора чи у фізичному доступі до вимірювальних приладів.

б) Положення цього стандарту в структурі серії стандартів SC 45A

ІЕС 62385 — документ третього рівня серії стандартів SC 45A, який поширюється на проблеми методів оцінювання робочих характеристик вимірювальних каналів систем безпеки.

Докладніший опис структури серії стандартів SC 45A наведено в переліку d) цього вступу.

с) Рекомендації та обмеження щодо застосування стандарту

Основний інтерес цей стандарт становить для атомних енергетичних компаній, які використовують оперативні випробування робочих характеристик; постачальників, які розробляють і встановлюють такі системи безпеки; та контрольно-наглядових органів, зацікавлених у досягненні задокументованого консенсусу в промисловості на основі успішного практичного використання. Ці користувачі можуть одержати переваги від обізнаності щодо методів і практик, які експерти ІЕС вважають відповідними та від зниження витрат пов'язаних зі стандартизуванням методів і практик.

д) Опис структури серії стандартів ІЕС SC 45A та їхнього зв'язку з іншими стандартами ІЕС та стандартами інших організацій (МАГАТЕ, ІСО)

Стандарт вищого рівня в серії стандартів ІЕС SC 45A — ІЕС 61513. Він містить загальні вимоги до устаткування й інформаційних та керувальних систем, що виконують функції, важливі для безпеки на атомних електростанціях. ІЕС 61513 формує структуру серії стандартів ІЕС SC 45A.

В ІЕС 61513 є безпосередні посилання на інші стандарти серії ІЕС SC 45A із загальних питань, пов'язаних із категоризацією функцій та класифікацією систем, класифікацією, поділом систем, захистом від відмов із загальної причини, аспектами програмного та технічного забезпечення комп'ютерних систем і проектуванням пунктів керування. Стандарти другого рівня, на які є посилання, треба розглядати разом з ІЕС 61513 як узгоджений комплект документів.

На третьому рівні — стандарти серії ІЕС SC 45A, на які немає прямих посилань в ІЕС 61513, — це стандарти, пов'язані з певним устаткуванням, технічними методами чи певною діяльністю. Зазвичай стандарти цього рівня, у яких є посилання на документи другого рівня за загальними темами, можна застосовувати окремо.

Четвертий рівень серії стандартів ІЕС SC 45A — це Технічні Звіти, які не є нормативними документами.

ІЕС 61513 розроблено у форматі викладення, подібному до основної публікації з безпеки ІЕС 61508, він містить повну схему життєвого циклу безпеки та структуру життєвого циклу системи, а також надає витлумачення основних вимог, викладених в ІЕС 61508-1, ІЕС 61508-2 та ІЕС 61508-4 стосовно ядерної галузі. Відповідність вимогам ІЕС 61513 полегшить виконання вимог, викладених в ІЕС 61508, оскільки їх витлумачено для ядерної промисловості. У цій структурі ІЕС 60880 та ІЕС 62138 відповідають ІЕС 61508-3 стосовно аспектів програмного забезпечення в ядерній галузі.

ІЕС 61513 містить посилання на документи ІСО та МАГАТЕ 50-C-QA (наразі змінено на МАГАТЕ 50-C/SG-Q) із питань, пов'язаних із забезпеченням якості (ЗЯ).

Серія стандартів ІЕС SC 45A послідовно впроваджує та конкретизує принципи й основні аспекти щодо безпеки, передбачені в принципах із безпеки атомних електростанцій МАГАТЕ й інших документах із безпеки МАГАТЕ, зокрема у Вимогах NS-R-1, які встановлюють вимоги щодо безпеки під час проектування атомних електростанцій, і Настанові з безпеки NS-G-1.3, де розглянуто інформаційні та керувальні системи, важливі для безпеки на атомних електростанціях. Терміни та визначення, ужиті в стандартах серії SC 45A, узгоджено з термінами та визначеннями, ужитими в документах МАГАТЕ.

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

АТОМНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТА КЕРУВАЛЬНІ СИСТЕМИ,
ВАЖЛИВІ ДЛЯ БЕЗПЕКИ**

**Методи оцінювання робочих характеристик вимірювальних
каналів системи безпеки**

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ,
ВАЖНЫЕ ДЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ**

**Методы оценивания рабочих характеристик измерительных
каналов системы безопасности**

NUCLEAR POWER PLANTS

**INSTRUMENTATION AND CONTROL
IMPORTANT TO SAFETY**

**Methods for assessing the performance of safety system
instrument channels**

Чинний від 2016–07–01

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

У цьому стандарті встановлено вимоги до демонстрування прийнятних робочих характеристик вимірювальних каналів систем безпеки за допомогою випробування часу реагування, верифікації калібрування й інших засобів. Ці самі вимоги можна прийняти для демонстрування прийнятності робочих характеристик систем, не пов'язаних із безпекою й інших вимірювальних каналів. У цьому стандарті наведено основні теми, у додатках наведено додаткову інформацію. Також у додатках наведено вибірккову сукупність доступних методів, винятково довідкового характеру.

Методи, описані в цьому стандарті, застосовують для перевірення калібрування вимірювального приладу стосовно точності та часу реагування.

Цей стандарт поширюється на прямі методи, застосовувані для виконання калібрування в межах визначених допусків, та непрямі методи для встановлення прямого калібрування. Застосування непрямих методів передбачає триваліші проміжки часу між регулярними прямими калібруваннями.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

Наведені нижче нормативні документи містять положення, які через посилання в цьому тексті становлять положення цього стандарту. У разі датованих посилань застосовують тільки наведені видання. У разі недатованих посилань треба користуватись останнім виданням нормативних документів (разом зі змінами).

IEC 61224:1993 Nuclear reactors — Response time in resistance temperature detectors (RTD) — In-situ measurements

IEC 62397 Nuclear power plants — Instrumentation and control important for safety — Resistance Temperature Detectors.

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

IEC 61224:1993 Ядерні реактори. Час реагування термоперетворювачів опору. Натурні вимірювання

IEC 62397 Атомні станції. Інформаційні та керувальні системи, важливі для безпеки. Термоперетворювачі опору.

3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

У цьому стандарті вжито такі терміни та визначення позначених ними понять.

3.1 точність вимірювання (*accuracy of measurement*)

Ступінь відповідності між результатом вимірювання й умовно дійсним значенням вимірюваної величини.

[IEV 394-40-35]

3.2 закупорення (*blockage*)

Звуження прохідного отвору труби (наприклад, імпульсної лінії вимірювання тиску), обумовлене накопиченням забруднювальних речовин у реакторній воді, ствердінням бору, залишенням частково відкритих клапанів тощо. Закупорення може спричинити затримання інформації щодо динаміки вимірювання тиску

3.3 калібрування (*calibration*)

Сукупність дій, що за визначених умов установлюють залежність між значеннями величин, показаних вимірювальним приладом або вимірювальною системою, або значеннями, наданими мірою чи еталоном, і відповідними значеннями, установленними стандартами.

[IEV 394-40-43]

3.4 канал (*channel*)

Сукупність взаємозалежних елементів у системі, що видає один вихідний сигнал. Канал втрачає свою ідентичність, якщо сигнали одного виходу поєднуються із сигналами, що надходять від інших каналів (наприклад, від контрольно-вимірювального каналу чи каналу обслуговування пристроїв безпеки).

[Глосарій (словник) із безпеки МАГАТЕ, Версія 2.0, 2006]

3.5 перевіряння каналів (*channel check*)

Процес, за допомогою якого оператор станції порівнює покази резервованих вимірювальних каналів на регулярній основі для підтвердження їхньої відповідності визначеним критеріям

3.6 взаємне калібрування (взаємна валідація) [(*cross-calibration*) (*cross-validation*)]

Процедура взаємного порівнювання показів резервованих вимірювальних приладів (наприклад, температурних давачів) для ідентифікування викидів показів давачів як засобу верифікації калібрування чи ідентифікування змінення калібрування. Цьому визначенню більш відповідає термін «взаємна валідація», але частіше вживають термін «взаємне калібрування»

3.7 дрейф показів (*drift*)

Змінення вихідного сигналу вимірювального каналу чи давача, яке може виникати між калібруваннями та яке не можна пов'язати зі зміненнями технологічних параметрів чи умов навколишнього середовища

3.8 імпульсна лінія (вимірювальний трубопровід) [(*impulse line*) (*sensin line*)]

Трубопровід або система труб, що з'єднує технологічне середовище з давачем; імпульсні лінії (вимірювальні трубопроводи) зазвичай використовують для приєднання давачів тиску, рівня та витрат із технологічним середовищем. Їхня довжина варіюється від кількох метрів до кількох сотень метрів. Вимірювальний трубопровід може також містити відсічні та кореневі засувки й інші технічні засоби по всій довжині трубопроводу

3.9 натурне випробування (*in-situ test*)

Випробування давача чи перетворювача сигналу, виконане без видалення давача чи перетворювача сигналу з його нормального положення в системі

3.10 метод аналізування шумів (*noise analysis technique*)

Метод натурального випробування часу спрацювання давачів, детекторів і перетворювачів та оперативного виявлення закупорення, пустот і протікання в трубопроводах вимірювання тиску

3.11 оперативне контролювання (*on-line monitoring*)

Безперервне чи періодичне вимірювання та реєстрування вихідних сигналів установлених вимірювальних приладів

3.12 викид (*outlier*)

Показ давача, такого як термоперетворювач опору, який перевищив установлений відхил

3.13 контролювання робочих характеристик (верифікація робочих характеристик) [(*performance monitoring*) (*performance verification*)]

Процес демонстрації того, що встановлений вимірювальний канал продовжує виконувати намічену функцію контролювання технологічного параметра з очікуваними точністю, часом реагування та стійкістю

3.14 перетворювачі тиску (*pressure transmitters*)

Перетворювачі тиску, рівня та витрат, засновані на принципі вимірювання тиску чи перепаду тиску, та наведені в цьому стандарті як «перетворювачі сигналу тиску», «давачі тиску» чи «перетворювачі»

3.15 резервування (*redundancy*)

Використання альтернативних (однакових або неоднакових) конструкцій, систем й елементів так, щоб усі вони виконували потрібну функцію незалежно від експлуатаційного стану чи відмови (виходу з ладу) кожного з них.

[Глосарій із безпеки МАГАТЕ, Версія 2.0, 2006]

3.16 термоперетворювач опору (*Resistance Temperature Detector, RTD*)

Детектор, який зазвичай має циліндричний корпус із нержавкої сталі, що захищає платиновий резистор, опір якого змінюється залежно від температури. Цей детектор розміщують у трубопроводі, що містить рідину, температуру якої вимірюють у такий спосіб. Його може бути занурено безпосередньо в рідину чи захищено проміжним кожухом, який називають захисною гільзою

3.17 тривалість реагування (*response time*)

Час, потрібний для досягнення елементом певного стану на виході після одержання сигналу, що обумовлює перехід до цього стану на виході.

[Глосарій із безпеки МАГАТЕ, Версія 2.0, 2006]

3.18 періодичність випробування (*test interval*)

Час, що минув між запусками однакових випробувань на одному й тому самому давачеві та пристрої оброблення сигналу, логічному модулі чи кінцевому керівному пристрої

3.19 захисна гільза (*thermowell*)

Захисний кожух для термоперетворювача опору, термопар та інших температурних давачів. Захисну гільзу також використовують для спрощення замінення термодавача

3.20 стала часу (*time constant*)

Для системи першого порядку — це час, потрібний для досягнення вихідним сигналом системи 63,2 % від його кінцевої варіації після східчастого змінення її вхідного сигналу.

Якщо система не є системою першого порядку, термін «стала часу» не вживають. Для системи вищого порядку треба вживати термін «час реагування».

[ІЕС 62397].

4 ВИМОГИ ДО ПЕРЕВІРЕННЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ АППАРАТУРИ

4.1 Передумови

Системи керування та безпеки атомних станцій залежать від технологічної контрольно-вимірювальної апаратури, яка має забезпечувати достовірну інформацію для підтвердження безпеки й ефективності станції. Тому для визначення якості функціонування цієї контрольно-вимірювальної апаратури має бути виконано верифікацію через певні проміжки часу протягом терміну служби станції. Для цього на атомних станціях розробляють, затверджують і застосовують методи випробування. До таких методів належать способи виконання натурних випробувань і випробувань під час роботи станції (оперативні випробування).

Цей розділ містить вимоги до натурних й оперативних випробувань для підтвердження, що технологічна контрольно-вимірювальна апаратура видає точні та своєчасні дані, та ідентифікування дефектних вимірювальних приладів. Стандарт поширюється на технологічні давачі, які вимірюють температуру, тиск, рівень рідини, витрати та густину нейтронного потоку.

4.2 Загальні вимоги

Для підтвердження, що вимірювальні канали систем безпеки на атомних станціях функціонують згідно з обмеженнями технічних специфікацій, треба виконувати контролювання робочих характеристик. Випробування для верифікації робочих характеристик має бути виконано відповідно до письмових процедур, а результати випробування має бути зафіксовано документально. Вимірювальний канал треба перевіряти одним випробуванням. Якщо весь канал не перевірено в такий спосіб, потрібно комбінувати окремі випробування за групами елементів чи за окремими елементами, що охоплює весь вимірювальний канал для верифікації експлуатаційних характеристик усього каналу. Контролювання робочих характеристик охоплює частину повної системи безпеки, якої стосується вимірювальний канал. Межі випробування мають поширюватися на давачі та перетворювачі, вимірювальні трубопроводи (імпульсні лінії), захисні гільзи, кабелі, а також усі інші активні та пасивні елементи, які впливають на загальні характеристики вимірювального каналу.

Якщо деякий показник функціонування, наприклад час реагування, не можна точно ідентифікувати, потрібно виконати консервативне оцінювання показника вимірюванням й аналізуванням та порівнянням із відповідними експлуатаційними вимогами для підтвердження прийнятної якості функціонування.

4.3 Умови випробування

Здебільшого під час випробування конструкції на відповідність технічним умовам розглядають аномальні зовнішні умови, такі як сейсмічні явища, поля випромінення, надлишкові тиски, температуру й умови вологості. У зв'язку з цим випробування устаткування для таких умов докільця не належить до сфери застосування цього стандарту. Однак вимоги до випробування робочих характеристик, установлені в цьому стандарті, треба виконувати в допустимих границях зовнішніх умов випробування для вимірювального приладу (наприклад, температури, тиску, вологості, витрат тощо). Якщо умови випробування дуже змінюються, потрібно вносити відповідні поправки для порівняння чи аналізування відстеження даних, для компенсування характеристик, обумовлених зміненням зовнішніх умов або впливом зовнішніх умов на якість функціонування.

У деяких випадках, таких як, наприклад, випробування часу реагування температурних давачів, технологічні умови експлуатування можуть впливати на результат. У цьому разі випробування треба виконувати за нормальних умов експлуатування чи близьких до них, щоб забезпечити фактичні «штатні» експлуатаційні характеристики давачів. Не треба виконувати екстраполяцію лабораторних умов на умови станції, якщо результати екстраполяції можуть мати значні та незлічені невизначеності.

4.4 Періодичність випробування

Треба встановлювати проміжки часу між випробуваннями, щоб виявити недопустимі експлуатаційні характеристики. Для визначення періодичності випробування рекомендовано розглянути такі чинники:

- а) вимоги технічної специфікації;
- б) нормативні вимоги;

- c) рекомендації виробника та промислові стандарти;
- d) різницю між вимірними експлуатаційними характеристиками та допустимими границями характеристик;
- e) швидкість змінення робочих характеристик із перебігом часу; й
- f) частоту відмов елементів і цільові показники надійності.

4.5 Місце випробування

Випробування треба виконувати, по можливості, на місці експлуатування. Вилучення з устаткування вимірювального приладу прийнятно для випробування, якщо таке вилучення не вплине на результати випробування. У більшості випадків, описаних у цьому стандарті, натурні випробування виконують віддалено від шаф вимірювальних приладів у зоні пункту керування. Має бути виконано процедури для підтвердження того, що стан устаткування відновлено після випробування.

4.6 Калібрування вимірювального та випробувального устаткування

Калібрування вимірювального та випробувального устаткування, використовуваного для верифікації робочих характеристик устаткування, має бути виконано згідно з вимогами національних стандартів та/або фізичних величин. Для калібрування треба використовувати процедури, надані в письмовому вигляді, а результати калібрування треба зазначати документально.

4.7 Результати випробування

Результати випробування треба порівнювати з допустимими границями характеристик. Допуски на невизначеності, пов'язані з контрольним випробуванням робочих характеристик, має бути долучено до результатів випробування або використано під час установлення границь характеристик. Якщо результати перевищують границю або швидкість змінення робочих характеристик така, що допустимі границі характеристик має бути перевищено до початку наступного випробування, треба виконати заздалегідь установлені дії для усунення перевищення.

Похибку результатів випробування треба визначати у відсотках від значення, установленого під час випробування, чи у вигляді допустимих границь (\pm) відхилю від установленого значення. Похибку результатів випробування визначають, виходячи не тільки з невизначеностей устаткування, але також із невизначеностей випробування та застосованих методів аналізування. Якщо невизначеності неможливо ідентифікувати об'єктивно, потрібно зазначити, що результати випробування можуть бути недостовірними.

4.8 Валідація методів випробування

Усі методи випробування для контролювання робочих характеристик мають пройти валідацію. Валідацію має бути зафіксовано документально з урахуванням розгляду таких чинників:

- a) порівняння методу випробування з відповідними лабораторними випробуваннями, натурними випробуваннями чи обома типами випробування, щоб установити правомірність методу та кількісно визначити похибку його результатів. Похибку методу випробування та результатів має бути встановлено теоретичними чи експериментальними засобами, або їхнім сполученням. Під час визначання похибки потрібно розглядати всі джерела похибки в методі випробування;
- b) теоретичне обґрунтування методу випробування;
- c) підтвердження того, що допущення й умови, які гарантують обґрунтованість методу випробування, виконано. Крім того, якщо допущення під час випробування не повністю задовольняють вимоги, треба продемонструвати, що одержані результати мають консервативний характер;
- d) будь-яке програмне забезпечення, використовуване для збирання, кваліфікації чи аналізування даних, треба проектувати й розробляти з використанням системного підходу згідно з прийнятими промисловими стандартами щодо розроблення програмного забезпечення для атомних станцій. Усі програмні пакети треба всебічно випробувати для верифікації і валідації (ViV). Вимоги для випробування ViV та результати роботи з ViV треба зареєструвати документально. Випробування ViV треба проектувати так, щоб виявляти будь-які проблеми, які можуть призвести до недійсних або недостатньо переконливих результатів.

4.9 Кваліфікація фахівців із виконання випробування

Випробування на верифікацію робочих характеристик вимірювальних приладів атомної станції повинні виконувати фахівці з виконання випробування, які належно навчені досвідченими експертами з документально підтвердженою кваліфікацією для проведення навчання. Навчання фахівців

із виконання випробування треба документально зареєструвати й періодично вдосконалювати. Приклади навчальних тем для кваліфікації фахівців із виконання випробувань:

- a) принципи випробування для верифікації робочих характеристик;
- b) розгляд процедур випробування;
- c) підготування устаткування для збирання даних;
- d) навчання застосування програмного забезпечення зі збирання й аналізування даних; і
- e) витлумачення та документування результатів.

5 ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ВЕРИФІКАЦІЇ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНОЇ АПАРАТУРИ

5.1 Вступ

Цей розділ містить вимоги щодо калібрування, перевірення каналу, функційних випробувань та випробування часу реагування технологічної контрольно-вимірjuвальної апаратури. Далі йде опис методів калібрування та випробування часу реагування вимірjuвального приладу.

Якість функціонування вимірjuвальних приладів на атомних станціях можна встановити в лабораторії або під час стендових випробувань. Технічні засоби для лабораторного чи стендового калібрування вимірjuвальних приладів загально відомо й не розглянуто в цьому стандарті. Натомість у ньому описано засоби для натурної/оперативної верифікації калібрування давачів і перетворювачів. Щодо характеристик часу реагування давачів і перетворювачів у цьому стандарті наведено методи лабораторних/стендових випробувань і методи натурних/оперативних випробувань.

5.2 Калібрування

Під час калібрування вимірjuвального приладу використовують вхідні сигнали з відомою точністю, для підтвердження, що вимірjuвальний прилад видає потрібні вихідні сигнали в потрібному робочому діапазоні в установлених межах. Якщо калібрування використовують для верифікації робочих характеристик вимірjuвального приладу, калібрування чи верифікацію треба виконувати за допомогою індивідуального застосування чи комбінації таких заходів, урахуовуючи попередній досвід

- f) відхил контрольованої змінної;
- g) моделювання контрольованої змінної (іноді називають традиційним калібруванням);
- h) оперативне контролювання (за допомогою порівняння резервованих та/або різноманітних параметрів); і
- i) взаємне калібрування (також називають взаємна валідація) резервованих давачів.

Цей стандарт поширюється на методи оперативного контролювання та взаємного калібрування/взаємної валідації.

5.3 Перевірення каналів

Перевірення каналів, до яких належать порівняння показів двох чи більше вимірjuвальних каналів, призначено для верифікації безперервної роботоздатності вимірjuвальних каналів між калібруваннями. Отже ці перевірення треба виконувати частіше, ніж калібрування. Вони зазвичай не потребують апаратної взаємодії, що виходить за межі спостереження або реєстрації показів цього каналу.

5.4 Функційне випробування

Функційне випробування треба виконувати для підтвердження, що вимірjuвальний канал виконує свою визначену функцію.

5.5 Випробування часу реагування

Випробування часу реагування треба виконувати через визначені проміжки часу. Його можна виконувати з контрольно-вимірjuвальною апаратурою як у робочому, так і в неробочому стані. Прийнятні методи для випробування часу реагування визначено нижче в цьому стандарті, а додаткову інформацію про ці методи наведено в додатках. Ці методи охоплюють натурні випробування, які можна виконувати під час роботи станції в оперативному режимі.

Як приклади методів натурних випробувань часу реагування можна використовувати випробування часу реагування на східчає змінення контурного струму для термоперетворювача опору та методи аналізування шумів для давачів тиску та нейтронних детекторів. Для визначення часу реагування термопар виконують випробування часу реагування на східчає змінення контурного

струму чи застосовують метод аналізування шумів. Метод аналізування шумів дозволено також застосовувати для контролювання погіршення часу реагування термоперетворювача опору. Якщо визначено погіршення часу реагування, то виконують випробування часу реагування на східчасте змінення контурного струму, щоб встановити, чи прийнятний час реагування термоперетворювача опору. Докладні вимоги до термоперетворювача опору див. в ІЕС 61224 та ІЕС 62397.

Випробування часу реагування іншої частини вимірювального каналу також треба виконувати, якщо необхідно.

Прикладами лабораторних або стендових методів випробування є випробування із зануренням для температурних давачів і випробування лінійного змінення для давачів тиску.

6 МЕТОДИ ВЕРИФІКАЦІЇ КАЛІБРУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ АПАРАТУРИ

6.1 Загальні положення

У цьому розділі виконано принципи натурної/оперативної верифікації калібрування давачів і перетворювачів.

Верифікацію калібрування резервованих вимірювальних приладів, таких як термоперетворювач опору теплоносія першого контуру на станції з реактором, охолоджуваним водою під тиском (ВВЕР), може бути виконано за допомогою методу взаємного калібрування або взаємної (перехресної) валідації. Для нерезерованих вимірювальних приладів або якщо резервування обмежено невеликою кількістю вимірювальних приладів, використовують підхід оперативного контролювання калібрування. Вимоги до методу взаємного калібрування й принципу оперативного контролювання калібрування наведено нижче.

6.2 Метод взаємного калібрування (взаємної валідації)

Метод взаємного калібрування зазвичай застосовують для термоперетворювачів опору. Після того як групу термоперетворювачів опору належно відкалібровано та встановлено на станції, випробування взаємного калібрування треба виконувати періодично для підтвердження, що метрологічні характеристики термоперетворювачів опору не перевищать встановлених меж.

Під час випробування виконують систематичне порівняння групи резервованих термоперетворювачів опору, які вимірюють одну й ту саму температуру. Для випробування послідовно має бути виконано вимірювання опору термоперетворювачів опору та переведено у відповідні температури за допомогою найновіших таблиць калібрування термоперетворювачів опору. Як варіант, температурні покази термоперетворювачів опору треба одержувати зі станційного комп'ютера чи за допомогою відповідної системи збирання даних. Потім температурні дані усереднюють й обчислюють відхили показів кожного термоперетворювача опору від середнього значення. Покази будь-якого з термоперетворювачів опору, що перевищили попередньо встановлений відхил, треба назвати викидом, зазначити й/або видалити з обчислення середніх показів; зазначений процес необхідно повторювати за потреби, щоб визначити всі викиди.

Випробування треба виконувати за кількох температур в ізотермічних умовах під час розігрівання чи охолодження блока. За допомогою даних, зібраних за трьох чи більше різних температур, можна скласти нову таблицю калібрування для визначення викиду. Цей підхід встановлює натурне калібрування викиду. Додаткову інформацію див. у додатку А.

Під час випробування взаємного калібрування/взаємної валідації потрібно враховувати низку чинників:

а) дані випробування треба перевіряти на стабільність температури блока для підтвердження відсутності надмірних температурних коливань. Якщо є надмірні коливання температури блока, до даних потрібно застосовувати аналітичні поправки, щоб мінімізувати вплив флуктуацій на результати випробування;

б) дані випробування треба перевіряти на однорідність температури блока, для підтвердження, що різні контури перебувають за однакових температур, а резервовані давачі піддають дії практично однакових температур. Якщо справа в іншому, треба застосовувати аналітичні поправки для врахування будь-яких температурних розбіжностей, які можуть вплинути на результати;

с) невизначеність результатів випробування треба визначати комбінуванням невизначеностей вимірювань та випробувального устаткування, а також невизначеностей, обумовлених флуктуа-

ціями температури атомної станції, неоднорідністю температури блока та будь-якою випадковою помилкою.

Описаний вище метод взаємного калібрування можна також застосовувати для верифікації калібрування термопар. Для застосування цього методу треба порівнювати покази кожної термопари із середнім значенням термоперетворювача опору. Термопари не треба калібрувати разом. Їх потрібно взаємно калібрувати за середнім показником резервованих термоперетворювачів опору, які вимірюють однакову температуру.

Критерії прийнятності для термоперетворювачів опору, що означають випробування взаємного калібрування, залежать від станції. Процедура станції має визначати критерії прийнятності на основі станційних вимог до точності температурних давачів. Зазвичай термоперетворювач опору вважають прийнятним, якщо його відхил становить менше ніж $\pm 0,3$ °C від середньої температури. Для термопар типовий критерій прийнятності становить $\pm 1,0$ °C.

6.3 Оперативне контролювання калібрування

6.3.1 Вступ

Описаний у 6.2 метод взаємного калібрування можна застосовувати, якщо є резервовані вимірювальні прилади (наприклад, шість чи більше). Якщо резервованих вимірювальних приладів недостатньо, для верифікації калібрування вимірювальних приладів треба використовувати оперативне контролювання калібрування.

Принцип оперативного контролювання калібрування описано нижче, а докладнішу інформацію наведено в додатку В. Оперативне контролювання калібрування є придатним для більшості вимірювальних приладів і можна застосовувати для верифікації калібрування давачів і перетворювачів або всього вимірювального каналу. Зокрема оперативне контролювання калібрування є придатним для давачів тиску, рівня та витрат. У зв'язку з цим вимоги до оперативного контролювання калібрування в цьому стандарті наведено на основі давачів тиску, рівня та витрат. Узагальнена назва давачів тиску, рівня та витрат — це «давачі тиску» чи «давачі».

6.3.2 Принцип оперативного контролювання калібрування

Калібрування давачів тиску атомної станції зазвичай складається з двох етапів:

а) визначають, чи потрібно калібрування. Цей етап виконують подаванням на вимірювальний прилад низки відомих вхідних сигналів, що охоплюють робочий діапазон вимірювального приладу. Для кожного вхідного сигналу реєструють вихідний сигнал і порівнюють його з критеріями прийнятності;

б) виконують калібрування за потреби. Якщо вимірювальний прилад не відповідає критеріям прийнятності, то його калібрують, виконуючи потрібні налаштування.

Перший етап можна автоматизувати й виконувати під час роботи станції. Цей підхід можна застосовувати для верифікації калібрування вимірювального приладу чи для продовження інтервалу між калібруваннями вимірювальних приладів. Це називають оперативним контролюванням калібрування, оперативним випробуванням калібрування чи оперативним контролюванням дрейфу показів.

6.3.3 Вимоги до збирання даних

Для виконання оперативного контролювання калібрування потрібно безперервно реєструвати вихідний сигнал вимірювальних приладів чи періодично визначати дрейф показів, систематичні похибки, шуми й інші аномалії. Дані для оперативного контролювання калібрування можна одержати зі станційного комп'ютера, спеціалізованої системи збирання інформації чи інших пристроїв. Потрібно збирати дані під час пуску та/або зупинення станції, щоб дати змогу виконати верифікацію калібрування вимірювальних приладів по всьому їхньому робочому діапазону. Зібрані дані калібрування устаткування має бути затверджено та документально зафіксовано.

6.3.4 Кваліфікування й аналізування даних

Сортування (класифікування) даних оперативного контролювання треба виконувати для підтвердження, що під час верифікації калібрування вимірювальних приладів не застосовують сторонньої інформації. Прикладом методів вибіркового оцінювання даних є фільтрування та випробування ймовірності амплітуди сигналу. Після кваліфікування даних треба виконувати аналізування, яке містить, за потреби, методи усереднення та/або моделювання для оцінювання значення контрольованого процесу. Передбачуване значення технологічного параметра порівнюють із показами окремих вимірювальних приладів упродовж деякого періоду часу для визначення дрейфу

показів приладу чи відхилів від оцінки технологічного параметра. Результати потрібно оцінювати в межах допустимого дрейфу показів або границь відхилів, які узгоджують із даними аналізування уставок станції.

6.3.5 Облік дрейфу загального характеру

Оперативне контролювання для продовження міжкалібрувальних інтервалів давачів має містити заздалегідь обумовлену вимогу про те, що не менше ніж один давач із кожної групи резервованих давачів має підлягати калібруванню не рідше ніж один раз в кожному циклі технічного обслуговування. Крім того, таке калібрування треба виконувати на ротаційній основі, щоб кожен давач із резервованої групи підлягав калібруванню періодично (наприклад, один раз кожні вісім років), навіть, якщо в давачі не було проблем із калібруваннями під час оперативного контролювання.

Замість калібрування одного з резервованих давачів у кожному циклі технічного обслуговування можна застосовувати методи моделювання, для урахування будь-якої можливості дрейфу загального характеру. Для цього можна застосовувати фізичні чи емпіричні методи моделювання, або їхнє сполучення, за умови, що похибка оцінки процесу методом моделювання краще, ніж дрейф показів, що має бути визначено. Будь-який застосовуваний метод моделювання має бути належно відпрацьовано, затверджено та документально зафіксовано для модельованої системи. Налаштування моделі охоплює подавання до моделі ряду відомих вхідних і вихідних сигналів, що відповідають широкому діапазону робочих умов технологічного процесу та налаштування коефіцієнтів моделі чи вагових коефіцієнтів, доки модель не зможе правильно видавати значення технологічного параметра на основі вимірювання інших технологічних параметрів.

Усі невизначеності в результатах методів моделювання має бути кількісно визначено для підтвердження, що точність методу моделювання більше, ніж дрейф ідентифікованих показів.

6.3.6 Частота збирання даних

Повторюваність збирання даних залежить від застосовуваного методу аналізування. Для аналізування за допомогою методів моделювання потрібна часта дискретизація (одна чи більше вибірок у секунду). Крім того, дані для сигналів, які буде змодельовано разом, треба вибрати одночасно. Аналізування за допомогою методів усереднення, частоті дискретизації не потребує, однак часта дискретизація може сприяти підвищенню надійності результатів.

7 МЕТОДИ ВИПРОБУВАННЯ ЧАСУ РЕАГУВАННЯ

7.1 Випробування часу реагування давачів тиску

Для випробування часу реагування давачів тиску застосовують два методи. Це метод лабораторних або стендових випробувань і метод станційних (або натурних) випробувань. Метод лабораторного випробування називають випробуванням за лінійною зміною, а натурний або станційний метод випробування називають методом аналізування шумів. Вимоги щодо застосування цих методів для атомних станцій викладено нижче.

7.1.1 Випробування за лінійним змінням

Під час випробування за лінійним змінням використовують гідравлічний генератор тиску для одержання тестового сигналу тиску, що змінюється лінійно. Сигнал, що змінюється лінійно, використовують під час випробування часу реагування давачів тиску атомної станції, оскільки щодо проектних подій на атомних станціях зазвичай допускають, що перехідні процеси тиску мають форму лінійно зростаючої функції.

Сигнал, що змінюється лінійно, має бути одночасно подано на випробуваний давач і на швидкочинний еталонний давач. Час реагування еталонного давача має становити менше ніж 10 мс. Для того щоб одержати час реагування випробуваного давача, необхідно зареєструвати та проаналізувати вихідний сигнал випробуваного давача й еталонного давача. Аналізування має містити вимірювання асимптотичного затримання між вихідними сигналами, що лінійно змінюються, випробуваного давача й еталонного давача. У випробувальних лініях, які пов'язують гідравлічний генератор тиску з випробуваним давачем, не повинно бути повітряних пробок. Повітряні пробки у випробувальних лініях можуть спричиняти коливання експериментальних даних і зумовити похибки в результатах випробування за лінійно змінюваною напругою.

7.1.2 Метод аналізування шумів

Метод аналізування шумів засновано на контролюванні природних флуктуацій, які є на виході давачів тиску під час технологічного процесу. Ці флуктуації (шуми) обумовлено турбулентністю,

спричиною потоком води в системі, випадковим теплопередаванням в активній зоні й іншими природними явищами.

Для випробування потрібно реєструвати в цифровій формі шуми на виході кожного давача тиску впродовж приблизно 1 год і потім виконати аналізування. Завади з вихідного сигналу давача треба відокремлювати за допомогою фільтра верхніх частот або механізму зсуву постійним струмом і треба виконати відповідну фільтрацію нижніх частот для усунення сторонніх завад та знедіяння завад. Частота дискретизації має бути високою (наприклад, 100 чи більше вибірок за секунду).

Перед аналізуванням потрібна вибірка шумових даних для підтвердження виведення результатів випробування часу реагування з відповідних записів даних. Аналізування даних шумів має містити алгоритм частотної області та/або часової області, розроблений для обчислення часу реагування давача. Обґрунтованість аналізування має бути встановлено за допомогою змодельованих даних, а також фактичних даних зі станції або з лабораторії від давачів із відомими значеннями часу реагування. Результати валідації також треба застосовувати для встановлення похибки результатів часу реагування, одержаних методом аналізування шумів. Наявний досвід показує, що середня похибка результатів аналізування шумів для випробування часу реагування давача зазвичай становить приблизно $\pm 10\%$ від значення часу реагування, одержаного за допомогою аналізування шумів, або $\pm 0,10$ с (залежно від того що більше). Це визначення є правильним за умови, що дані шумів збирають, виконують належну вибірку й аналізують за допомогою затверджених алгоритмів аналізування частотної області та/або часової області.

Якщо виявиться, що час реагування давача тиску погіршився, або його час реагування перевищує допустиму границю, треба в окремому дослідженні визначити, чи проблему спричинено давачем тиску або вимірювальними трубопроводами, чи обома чинниками. Якщо діапазон частот шумів технологічного процесу не є «білим шумом», то результати випробування часу реагування можуть бути консервативними. Зокрема, якщо діапазон частот шумів технологічного процесу буде менший, ніж частотна характеристика давача, то результати аналізування шумів будуть більші, ніж час реагування випробуваного давача.

Метод аналізування шумів можна також застосовувати для випробування часу реагування термопар і нейтронних детекторів у такий спосіб, як для давачів тиску. Зазвичай для випробування часу реагування нейтронних детекторів дані шумів має бути зібрано дуже швидко (за частоти дискретизації в діапазоні кілогерців), але для термопар достатньо менших частот дискретизації (наприклад, 100 Гц).

Метод аналізування шумів не можна застосовувати для випробування часу реагування давачів тиску герметичної оболонки, давачів рівня рідини в баку і давачів, що мають невеликі технологічні шуми чи не мають їх зовсім. Для таких давачів вхідні шумові дані часто може бути згенеровано в штучний спосіб за допомогою генератора механічних шумів, що включає перетворювач струму в тиск (I в P або I/P). Перетворювач струму в тиск з'єднано з генератором сигналів, що видає широкосмуговий випадковий шум. Перетворювач струму в тиск перетворює цей шум у шумовий сигнал тиску і його використовують для випробування часу реагування давача. Збирання й аналізування даних, пов'язане із цим підходом, виконують у спосіб, як і для методу аналізування шумів, описаного вище.

7.1.3 Випробування на переривання електроживлення (ПЕ)

Додатково до методу аналізування шумів є метод, який називають випробування на переривання електроживлення (ПЕ), його можна використовувати тільки для натурального випробування часу реагування компенсаційних давачів тиску. Для випробування ПЕ живлення давача потрібно вимкнути на кілька секунд і потім увімкнути. Якщо живлення ввімкнено, давач видає вихідний сигнал, який потрібно зареєструвати в цифровій формі, і потім проаналізувати, для одержання часу реагування давача. Аналізування має містити відповідний алгоритм, розроблений і затверджений для обчислення часу реагування компенсаційних давачів тиску методом ПЕ.

Випробування ПЕ враховує динамічну характеристику механічних й електронних елементів давача й, отже, показує загальний час реагування повної електромеханічної системи давача.

7.2 Випробування часу реагування температурних давачів

Час реагування температурного давача вимірюють у лабораторних умовах за допомогою методу, який називають випробуванням із зануренням. Після того як давач установлено в технологічний процес, час його реагування треба вимірювати за допомогою випробування за східчастим

зміненням контурного струму. Вимоги щодо використання цих випробувань на атомній станції наведено далі. Є також додаткові випробування, такі як метод саморозігрівання та метод аналізування шумів, також описані далі.

7.2.1 Випробування із зануренням

Випробування із зануренням треба виконувати в лабораторних умовах у воді за низької температури (наприклад, від 20 °С до 70 °С). Вода має текти зі швидкістю 1 м/с. Давач треба занурити з повітря у воду. Під час цього процесу треба реєструвати вихідний сигнал давача, до досягнення ним сталого стану. Час реагування має бути визначено за допомогою вимірювання часу, що відповідає 63,2 % від різниці між початковим і кінцевим стаціонарним значеннями вихідного сигналу давача. Має бути встановлено засіб ідентифікування моменту часу, коли давач входить у воду. Цей час має бути використано як час початку випробування із зануренням.

Важливо зазначити, що час реагування температурних давачів залежить від швидкості потоку та температури рідини, у якій їх випробовують із зануренням. Крім того, для давачів, які монтують у захисній гільзі, час реагування також залежить від якості з'єднування між робочим кінчиком давача та його захисною гільзою. У зв'язку з цим результати випробування із зануренням мало-значні стосовно часу реагування температурного давача після його встановлення на станції. Для одержання часу реагування температурного давача за робочих умов його потрібно перевіряти в натурних випробуваннях методом східчастого змінення контурного струму, описаним нижче.

7.2.2 Випробування зі східчастим зміненням контурного струму

Випробування реагування на східчає змінення контурного струму (РЗКТ) треба виконувати для вимірювання штатного часу реагування термоперетворювача опору чи термопар у стані, коли їх задіяно в робочому технологічному процесі. Випробування треба виконувати подалі від шаф вимірювальних приладів у зоні пункту керування, де дроти від давача досягають апаратури перетворення сигналів. Випробування РЗКТ ґрунтовано на нагріванні давача за допомогою електричного струму, який має бути застосовано до кінців подовжувачів дротів давача. Для термоперетворювача опору треба використовувати малий постійний струм (наприклад, від 40 мА до 80 мА). Для термопар треба використовувати змінний струм від 0,2 А до 0,6 А. Зазвичай для випробування РЗКТ і термоперетворювача опору та термопар не можна використовувати те саме устаткування через різні вимоги до випробування.

Струм спричиняє температурний перехідний процес у давачі, що має бути зареєстровано в цифровій формі та проаналізовано, для одержання часу реагування давача. Для термоперетворювача опору дані треба реєструвати, доки струм іде через термоперетворювач опору і по мірі того як термоперетворювач опору нагрівається. Для термопар дані треба реєструвати після того, як струм відключено та термопара охолоджується, повертаючись до температури довкілля.

Випробування РЗКТ ураховує всі впливи місця встановлення давача на його час реагування. Сюди долучають вплив захисної гільзи (у разі її використання), зазор між давачем і захисною гільзою та всі впливи режимів технологічного процесу, такі як швидкість потоку рідини, температуру тощо. Щоб одержати фактичний штатний час реагування давача, випробування РЗКТ треба виконувати за нормального режиму роботи чи близьких умов. Це дуже важливо, оскільки на відміну від давачів тиску, час реагування температурних давачів залежить від температури, тиску та швидкості потоку рідини, у якій встановлено давач. Однак якщо на станції встановлюють нові давачі, випробування РЗКТ можна виконувати за холодного зупинення, для підтвердження, що давачі встановлено належно і вони забезпечать оптимальну якість функціонування за часом реагування, коли станція відновить роботу на потужності. Випробування РЗКТ під час холодного зупинення дають результати, які порівнюють між давачами, для ідентифікування викидів із положення часу реагування. Буде ідентифіковано викид чи ні, випробування РЗКТ треба повторювати на всіх нещодавно встановлених давачах за нормального режиму роботи чи умов, близьких до нормальних, щоб одержати фактичний час реагування давачів. Викид — це давач, результати РЗКТ якого значно відрізняються від інших резервованих давачів за тих самих умов встановлення та технологічного режиму. Викиди можуть виникнути через такі проблеми: недостатнє введення давача в його захисну гільзу, забруднення захисної гільзи, неузгодженість давача/захисної гільзи тощо.

Дані РЗКТ має бути проаналізовано за допомогою математичного алгоритму, розробленого на основі теплового аналізування давача та відповідної моделі теплопередавання. Аналізування даних РЗКТ має надати в результаті значення часу реагування та формулювання щодо похибки

результатів часу реагування. Точність результатів має ґрунтуватися не тільки на точності випробувального устаткування, а також і на точності алгоритму, застосованого для визначення часу реагування. На основі минулого досвіду відомо, що похибка результатів часу реагування для методу РЗКТ становить $\pm 10\%$.

7.2.3 Випробування на саморозігрівання

Випробування на саморозігрівання доповнює метод РЗКТ, але не забезпечує значення часу реагування. Це додаткове випробування і його можна застосовувати тільки до термоперетворювача опору. У цьому випробуванні кількісно вимірюють внутрішнє нагрівання термоперетворювача опору залежно від вхідної електричної потужності (I^2R). Результатом є показник, який зазвичай виражають в омах на ват (Ом/Вт) і називають індексом саморозігрівання (ICP) термоперетворювача опору. Відчутні змінення ICP будуть ознакою змінення часу реагування термоперетворювача опору.

Випробування на саморозігрівання виконують за допомогою того самого устаткування, що й для випробування РЗКТ.

7.2.4 Аналізування шумів

Якщо мета випробування часу реагування полягає в тому, щоб проконтролювати суттєві змінення часу реагування щодо еталонного значення або виявляти відчутне погіршення часу реагування давача, можна застосувати метод аналізування шумів. Однак випробування РЗКТ здебільшого забезпечує точніші результати й тому має бути використано, якщо немає великої різниці між прийнятним значенням часу реагування й очікуваним значенням часу реагування давача.

8 ОПЕРАТИВНЕ ВИЯВЛЕННЯ ЗАКУПОРЕННЯ ТА ПОРОЖНЕЧ У ТРУБОПРОВІДІ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ

Системи вимірювання тиску на атомних станціях зазвичай містять вимірювальні трубопроводи (які також називають імпульсними лініями) для перенесення інформації про тиск із технологічного процесу на давач. Залежно від станції та супутніх служб вимірювальні трубопроводи можуть мати довжину від кількох метрів до кількох сотень метрів.

Хімікати, такі як бор і забруднювальні речовини у воді реактора, та інші чинники впливу, можуть спричинити закупорення вимірювальних трубопроводів на деякий час. Крім того, проблеми з відсіченими та вирівнювальними клапанами у вимірювальних трубопроводах можуть призвести до часткового закупорення вимірювальних трубопроводів, протікань та інших проблем.

Вплив закупорення вимірювального трубопроводу полягає в тому, що це збільшує час реагування відповідного давача тиску, на який здійснюється вплив. Збільшення часу реагування залежить від піддатливості давача. У давачів, які мають більшу піддатливість, закупорення вимірювального трубопроводу має значно збільшити час реагування, а у давачів, які мають малу піддатливість — закупорення має незначно вплинути на час реагування. Піддатливість — це величина зсуву чутливого елемента на одиницю прикладеного тиску.

Крім того, повітря або газ у трубопроводах вимірювань тиску є проблемою, що впливає на стаціонарний режим (калібрування) або характеристики часу реагування давачів тиску. Отже має бути виконано випробування для ідентифікування закупорень, повітряних пробок і протікань у системах вимірювання тиску. Випробування треба виконувати за допомогою методу аналізування шумів. Для виявлення закупорення чи повітряних пробок у трубопроводах вимірювання тиску треба виконати вибірку даних шумів від порушеного давача тиску в комп'ютер, проаналізувати й порівняти результати з вихідними даними для визначення того, чи утворилися закупорення чи повітряні пробки у вимірювальному трубопроводі. Для виявлення протікань треба обчислити дисперсію шумового сигналу та порівняти з вихідною дисперсією для тих самих чи аналогічних давачів для визначення наявності протікань у вимірювальному трубопроводі.

По суті, випробування часу реагування давачів тиску, рівня та витрати методом аналізування шумів автоматично буде містити долучений закупоренням внесок під час реагування давача, а також допоможе ідентифікувати повітряні пробки та протікання.

9 ВЕРИФІКАЦІЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕЙТРОННИХ ДЕТЕКТОРІВ

Верифікацію експлуатаційних характеристик нейтронних детекторів на атомних станціях треба виконувати методами оперативного контролювання та аналізування шумів майже в такий самий спосіб, як для давачів тиску. Здебільшого нейтронні детектори швидкочинні та на них зазвичай не поширюються суворі вимоги до випробування часу реагування, що висуюють до давачів температури й тиску, установлених на атомній станції. У зв'язку з цим запропоноване тут випробування часу реагування призначено для верифікації робочих характеристик для підтвердження, що динаміка характеристик детекторів не змінилася щодо вихідного значення. Фактично, для нейтронних детекторів, додатково до часу реагування, треба вимірювати та відстежувати інші параметри шумових характеристик, такі як дисперсія, асиметрія й ексцес, як засіб підтвердження, що динаміка детекторів не зазнала суттєвих змінень.

Крім того, експлуатаційні характеристики нейтронних детекторів залежать від технічного стану їхніх кабелів і роз'ємів. У зв'язку з цим для нейтронних детекторів додатково до оперативного контролювання та натурних вимірювань часу реагування має бути виконано випробування кабелів за допомогою таких методів, як вимірювання повного опору та випробування за допомогою методів рефлектметрії проміжків часу (РТО). Ці методи описано в літературі, зазначеній у списку застосованих джерел.

Поєднання оперативного контролювання, випробування часу реагування та вимірювання кабелів разом забезпечують ефективні засоби визначення факту змінення робочих характеристик нейтронного детектора. Результати придатні для керування старінням детекторів і встановлення графіків технічного обслуговування та замінення детекторів чи кабелів.

ДОДАТОК А (довідковий)

ВЗАЄМНЕ КАЛІБРУВАННЯ/ВЗАЄМНА ВАЛІДАЦІЯ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧА ОПОРУ

А.1 Передмова

Цей додаток містить інформацію про метод взаємного калібрування, застосовуваний на атомних станціях для верифікації похибки вимірювання температури резервованими термоперетворювачами опору та термопарами. Термін «взаємна валідація» — відповідна назва для методу випробування, описаного нижче. Однак замість використання «взаємної валідації» вживають термін «взаємне калібрування», оскільки більшість посилань на цю тему називає цей метод випробування методом взаємного калібрування. Цей метод застосовують для підтвердження, що калібрування групи резервованих давачів не змінилося.

А.2 Вступ

Взаємне калібрування — це випробування погодженості групи давачів, які вимірюють той самий процес. Випробування виконують на атомних станціях для забезпечення передавання точної інформації про температуру в системи керування та безпеки станції. Випробування виконують за одної чи більше температур, що охоплюють температуру, близьку до нормального режиму експлуатування станції, для забезпечення оцінки похибки термоперетворювачів опору та термопар за робочих умов.

Для випробування взаємного калібрування опір групи термоперетворювачів опору вимірюють за ізотермічних умов і перетворюють у відповідні температури. Альтернативно сканують температурні покази термоперетворювачів опору замість перетворення опору в температури. Потім температури усереднюють й обчислюють відхили кожного окремого термоперетворювача опору від середньої температури. Будь-який термоперетворювач опору, що перевищує попередньо встановлений критерій відхилу (наприклад, $\pm 0,3$ °C), вилучають із середнього значення і процес повторюють за потреби, щоб ідентифікувати всі термоперетворювачі опору, які не відповідають

критеріям відхилів. Термоперетворювачі опору, які не відповідають критеріям відхилів, називають «викиди» та/або заміняють недавно каліброваними термоперетворювачами опору, або їхнє калібрування коригують за допомогою даних взаємного калібрування, щоб привести їх у відповідність до інших резервованих термоперетворювачів опору в групі. Коригування калібрування викиду можна виконати, якщо виконано випробування взаємного калібрування за трьох чи більше далеко рознесених температур. Потім дані взаємного калібрування підставляють у калібрувальну характеристику термоперетворювача опору, щоб одержати нові калібровані постійні для термоперетворювача опору-викиду.

Валідність і похибка методу взаємного калібрування залежать від похибки калібрувальних таблиць термоперетворювача опору, а також сталості та однорідності температури станції під час випробування взаємного калібрування.

Випробування взаємного калібрування можна виконувати в умовах лінійного наростання температури чи температурного плато під час охолодження станції в разі входу в ППР або під час розігрівання станції в разі виходу з ППР. Показано, що випробування за умов плато чи лінійного змінення забезпечує відповідні результати взаємного калібрування. Однак випробування за умов лінійного змінення температури має переваги, оскільки воно не потребує утримування станції в стані плато для випробування.

Випробування взаємного калібрування можна виконати з використанням спеціалізованої системи збирання даних, призначеної для цього, або за допомогою даних зі станційного комп'ютера.

А.3 Калібрувальна характеристика термоперетворювача опору

Найчастіше застосовувана формула для перетворення опору платинового термоперетворювача опору в температуру — це формула Каллендара. Для температур вище ніж 0 °С формулу Каллендара записують у такий спосіб:

$$R(T) = R_0 \left[1 + \alpha \left(T - \delta \left(\frac{T}{100 \text{ } ^\circ\text{C}} \right) \left(\frac{T}{100 \text{ } ^\circ\text{C}} - 1 \right) \right) \right], \quad (1)$$

де T — температура, °С;
 R_0 — опір за 0 °С (Ом);
 α — константа (Ом/Ом/°С);
 δ — константа (°С);

$R(T)$ — опір за довільної температури T .

Змінні R_0 , α та δ називають константами формули Каллендара. α — це середній температурний коефіцієнт опору в інтервалі від 0 °С до 100 °С, δ — це індекс відхилення кривої опору від прямої лінії залежно від температури. Ці дві константи, так само як R_0 , визначають для кожного термоперетворювача опору калібруванням термоперетворювача опору в термостатичній ванні в лабораторії. Щойно ці три константи визначено, їх підставляють у зазначену вище формулу, щоб одержати калібрувальну таблицю для цього термоперетворювача опору. Альтернатива формулі Каллендара — квадратична формула $R(T) = R_0(1 + AT + BT^2)$; де R_0 , A та B — це константи, які визначають, підставляючи калібрувальні дані у квадратичну формулу. Квадратична формула та формула Каллендара відповідні.

Національна примітка

Для промислових платинових термоперетворювачів опору застосовують формулу Каллендара з відомими коефіцієнтами, установленними експериментально та нормованими в ІЕС 60751.

А.4 Процедура взаємного калібрування

Випробування взаємного калібрування виконують за допомогою системи перевірення датчиків і прецизійного цифрового універсального вимірювального приладу відповідно до такої загальної процедури:

1. Виконати вимірювання вихідних сигналів усіх датчиків по черзі та перетворити одержані дані у відповідні температури. Це дає змогу одержати один прохід взаємного калібрування. Як варіант, на цьому кроці можна зареєструвати температурні покази термоперетворювачів опору.
2. Повторити крок 1 до одержання чотирьох проходів.

3. Усереднити результати чотирьох температурних вимірювань для кожного давача. Це температурний показ кожного давача, задіяного у випробуванні взаємного калібрування.
4. Усереднити температурні покази з кроку 3 для всіх термоперетворювачів опору.
5. Відняти середню температуру, одержану на кроці 4, від температурних показів кожного давача в кроці 3. Одержані різниці називають відхилами давачів.
6. Якщо відхил будь-якого елемента термоперетворювача опору перевищує критерії прийнятності (наприклад, $\pm 0,3$ °C), видалити результат вимірювання елемента з даних і повторити з кроку 4, щоб одержати нову середню температуру.
7. Повторити крок 6, доки із середнього значення не буде вилучено всіх елементів термоперетворювача опору, що мають більші відхили, ніж критерії прийнятності (наприклад, $\pm 0,3$ °C).

Під час випробовування термоперетворювачів опору на станціях із реактором із водяним охолодженням під тиском наведені вище кроки виконують для термоперетворювачів опору вузького діапазону. Термоперетворювачі опору широкого діапазону та термопари на виході з активної зони зазвичай виконують взаємне калібрування за середнім значенням термоперетворювачів опору вузького діапазону.

А.5 Докладне аналізування даних взаємного калібрування

Докладне аналізування даних взаємного калібрування охоплює чисельні алгоритми для виправлення будь-якої суттєвої температурної нестабільності та неоднорідності, що могла бути на станції, коли виконували випробування взаємного калібрування. Щойно введено ці виправлення, дані взаємного калібрування можна повторно проаналізувати й одержати остаточні результати, як описано в цих підпунктах.

А.5.1 Виправлення даних взаємного калібрування

Взаємне калібрування термоперетворювачів опору на станції ґрунтовано на допущенні, що за ізотермічних умов станції середня температура достатнього числа резервованих термоперетворювачів опору відображає суттєву температуру технологічного процесу. Є кілька можливостей, які можуть вплинути на правомірність цього припущення:

1. Похибка в таблицях залежності електричного опору від температури, використовуваних у випробуваннях взаємного калібрування для перетворення опору термоперетворювачів опору в температуру.
2. Систематичний дрейф показів під час калібрування термоперетворювачів опору. Це може відбутися, якщо всі термоперетворювачі опору дрейфують разом в одному напрямку вгору чи вниз.
3. Флуктуації та дрейф температури теплоносія першого контуру, які могли виникнути під час взяття даних взаємного калібрування на станції.
4. Температурна неоднорідність між різними термоперетворювачами опору. Оскільки метод взаємного калібрування допускає, що всі термоперетворювачі опору перебувають за тої самої температури, будь-який суттєвий відхил від цього припущення може спричинити похибки в результатах випробування взаємного калібрування.

Під час випробовування взаємного калібрування групи термоперетворювачів опору, використовуваних на станції протягом одного чи більше паливних циклів, наведені в переліках 1 та 2, можна врахувати вилученням та калібруванням в лабораторії одного чи більше термоперетворювачів опору зі станції. Інший варіант — замінити один із термоперетворювачів опору знову відкаліброваним термоперетворювачем опору та повторити випробування взаємного калібрування наприкінці періоду простою, коли станція розігривається для роботи на потужності.

Інший спосіб вилучити можливість, зазначену в переліку 2, полягає в тому, щоб проаналізувати залежності від експериментальних даних, які показують, що дрейф показів групи термоперетворювачів опору ядерного класу є переважно випадковим, а не систематичним і тому малоімовірно, що з'являться систематичні похибки в результатах випробування взаємного калібрування, крім зміщення у випробувальному устаткованні взаємного калібрування.

Проблеми з наведених переліків 3 та 4 можна вирішити реалізацією чисельних методів для поправки даних взаємного калібрування на нестабільність температури станції та температурної неоднорідності, як описано нижче.

А.5.2 Поправка на нестабільність температури станції

Температурні флуктуації або дрейф показів під час випробовування взаємного калібрування виникають майже завжди, оскільки неможливо ідеально контролювати температуру станції, щоб залишитися в сталому режимі. Метод, застосований для поправок на температурну нестабільність, залежить від умов на станції, за яких дані одержано. Якщо температура станції змінюється повільно та з постійною швидкістю, застосовують збирання даних за лінійного змінення. Збирання даних за лінійного змінення автоматично компенсує змінення температури станції, доки збирають дані. Якщо станція підтримується за стійких, ізотермічних умов, то застосовують збирання даних на плато, і флуктуації температури станції компенсуються під час докладного аналізування.

Під час збирання даних за лінійним зміненням ураховують змінення постійної температури, за допомогою вибірки термоперетворювачів опору у зворотному порядку за другому та четвертого проходу виконаного прогону взаємного калібрування. Наприклад, за наявності 24 термоперетворювачів опору порядок вибірки для чотирьох проходів буде такий: з 1 до 24, із 24 до 1, з 1 до 24 та з 24 до 1. Змінення напрямку порядку вибірки інвертує ефект лінійного змінення температури так, що після усереднення всіх чотирьох проходів похибки компенсуються.

Під час збирання даних на плато потреба в компенсуванні лінійного змінення постійної температури менша; отже більше значення надають короткостроковим флуктуаціям. Це має суттєве значення через змінення у відведенні тепла, які часто потрібні для підтримання блока за встановленої температури. У цьому разі вибірку термоперетворювачів опору проводять у тій самій послідовності для кожного проходу, що робить короткострокові флуктуації очевиднішими.

Для мінімізації впливу флуктуацій температури станції на результати взаємного калібрування обчислюють стандартний відхил флуктуацій у даних взаємного калібрування для кожного прогону після виконання наведених вище виправлень на нестабільність. Якщо це стандартний відхил перевищує критерії прийнятності, то прогін відхиляється.

А.5.3 Поправка на неоднорідність температури станції

Це виправлення призначено для обліку значних розбіжностей, які могли бути під час станційних випробовувань взаємного калібрування між температурами гарячої та холодної нитки в кожному контурі чи по всьому реактору. Ці розбіжності можуть виникати через неповне перемішування теплоносія реактора чи розбіжностей у тепловідводі парогенераторів.

Якщо немає значних розбіжностей температури, то немає потреби в поправці на неоднорідність. Якщо є проблема неоднорідності, то в дані вводять поправку на температурні розбіжності між термоперетворювачами опору гарячої та холодної ниток або на температурні розбіжності між контурами теплоносія реактора, залежно від ситуації.

А.5.4 Результати взаємного калібрування після поправок на нестабільність і неоднорідність

Після поправки первісних даних взаємного калібрування на будь-яку нестабільність і неоднорідність дані повторно аналізують, щоб одержати остаточно виправлені результати.

А.6 Динамічне взаємне калібрування

Випробування взаємного калібрування можна виконувати за умови температурних плато чи лінійного змінення температури. Умова лінійного змінення температури зазвичай має переваги, тому що вона заощаджує час критичної траєкторії. Також вона переважніше, тому що температурні флуктуації зазвичай менші за умов лінійного змінення, ніж за умов плато. Отже швидкість лінійного змінення має бути досить повільною та майже постійною під час збирання даних для взаємного калібрування. Випробування взаємного калібрування, що проводять за умов лінійного змінення температури під час розігрівання чи охолодження станції, називають динамічним взаємним калібруванням.

А.7 Усунення викидів

Термоперетворювач опору-викид можна замінити чи створити для викиду нову калібрувальну таблицю, застосовуючи дані взаємного калібрування, за умови, що в групі термоперетворювачів опору, каліброваних разом, небагато викидів. Далі, якщо той самий термоперетворювач опору неодноразово ідентифікують як викид, його треба замінити.

Для одержання нової калібрувальної таблиці для термоперетворювача опору-викиду дані опору залежно від температури, одержані у випробуванні взаємного калібрування, підставляють у формулу Каллендара чи квадратичну формулу, а результати підставлення застосовують для

створення нової калібрувальної таблиці для термоперетворювача опору. Дані для цього мають містити щонайменше три далеко рознесені температури, у цьому разі одна температурна точка має перебувати біля нижнього краю температурного інтервалу, для якого використовують термоперетворювач опору, а інша точка — біля верхнього краю температурного інтервалу, для якого використовують термоперетворювач опору.

ДОДАТОК В
(довідковий)

ОПЕРАТИВНЕ КОНТРОЛЮВАННЯ КАЛІБРУВАННЯ

В.1 Вступ

Контролювати калібрування технологічних вимірювальних каналів на атомних станціях потрібно на наявність дрейфу показів під час роботи станції. Це новий підхід до верифікації калібрування вимірювальних приладів на атомних станціях, що називають оперативним контролюванням калібрування, скороченням калібрування, продовженням інтервалу калібрування тощо. Хоча цей метод застосовно до більшості вимірювальних приладів, цікавим є застосування цього підходу для давачів тиску. Це пов'язано з тим, що давачі тиску на атомних станціях часто важче калібрувати, ніж інші вимірювальні прилади. Крім того, досвід показав, що більшість давачів тиску для ядерного реактора зберігає своє калібрування протягом тривалих проміжків часу. У зв'язку з цим частоту калібрування давачів тиску можна продовжити за межі традиційного інтервалу, тобто одноразово кожен паливний цикл. Метод оперативного контролювання дає змогу контролювати вихідні сигнали давачів тиску на наявність дрейфу показів і визначати, чи давач має бути покалібровано.

В.2 Вимоги до системи оперативного контролювання

Оперативне контролювання калібрування потребує наявності програми, процедури чи системи для багатоканального збирання, кваліфікації, аналізування даних та витлумачення результатів. Система має виконувати вибірку й оброблення численних сигналів вимірювальних приладів. Вона має також обробляти дані та надавати результати в графічній чи іншій формах, щоб їх можна було порівняти з визначеними критеріями приймання для ідентифікування вимірювальних приладів, які залишаються в межах калібрування та відокремити ті вимірювальні прилади, які перевищують критерії приймання.

Система не повинна обробляти дані в режимі реального часу, доки в системі є достатня місткість, щоб зберігати дані для подальшого аналізування. Для вибірки необхідних даних можна використовувати станційний комп'ютер чи інші наявні чи встановлені системи збирання даних на станції. Вибірку та аналізування даних можна виконувати на тому самому комп'ютері чи двох різних комп'ютерах. Зазвичай потрібні дані утримують у станційному комп'ютері, зберігають на накопичувачах даних й аналізують в автономному режимі. Якщо в станційному комп'ютері є дані оперативного контролювання, потрібно тільки програмне забезпечення, щоб забирати дані зі станції, аналізувати їх і будувати графіки чи друкувати результати.

В.3 Облік систематичних помилок і дрейфу загального типу

У даних оперативного контролювання калібрування може бути загальний дрейф показів або систематичні помилки, які треба належно враховувати. Ці помилки іноді обумовлено нормальними розбіжностями калібрування між вимірювальними приладами, різними розташуваннями контрольних точок тощо. Крім того, резервовані вимірювальні прилади можуть дрейфувати вгору чи вниз усі разом, що не дає змоги розрізнити дрейф показів. Ці проблеми можна вирішувати низкою методів, з урахуванням таких:

а) калібрування одного з резервованих каналів на ротаційній основі, щоб усі резервовані канали було періодично покалібровано вручну; та/чи

б) застосування аналітичного моделювання технологічного процесу, щоб відстежувати процес незалежно від вимірювального приладу, який перевіряють, і встановити опорну точку для оперативного контролювання калібрування.

Останній охоплює численні методи, більшість яких описано в публікаціях, наданих у «Бібліографії».

В.4 Точковий моніторинг

Ще одне актуальне питання з методом оперативного контролювання називають точковим моніторингом. Конкретніше, якщо дані оперативного контролювання збирають тільки під час нормального експлуатування станції, аналізування цих даних є тільки верифікацією калібрування вимірювальних приладів у контрольованій точці. Для верифікації калібрування вимірювальних приладів в інших точках по всьому їхньому робочому діапазону дані оперативного контролювання потрібно збирати за нормального експлуатування та під час періодів пуску та зупинення. Якщо це неможливо, метод оперативного контролювання прийнятний, але допустимі границі калібрування має бути зменшено на певний запас для точкового моніторингу, як описано у відповідній літературі в списку застосованих джерел.

В.5 Частота збирання даних

Немає специфічних вимог до частоти дискретизації даних оперативного контролювання чи типу устаткування, яке може бути використано. Варіанти змінюються від збирання даних час від часу (тобто, кілька разів протягом циклу) до безперервної вибірки даних за допомогою станційного комп'ютера чи спеціалізованої системи збирання даних. Однак, якщо має бути застосовано будь-який метод моделювання, то буде потрібно комп'ютерне збирання даних за відносно високих частот вибірки. Крім того, вибірку сигналів, модельованих разом, має бути виконано одночасно.

В.6 Аналізування даних

Дані оперативного контролювання має бути вибрано зі станційного комп'ютера, інших станційних систем, спеціалізованої системи збирання даних, застосовуваної для збирання даних або їхніх комбінації. Не залежно від того, вибрано дані зі станційного комп'ютера чи за допомогою спеціалізованої системи збирання даних, спочатку треба застосовувати алгоритм кваліфікації даних, щоб відсортувати дані стосовно аномалій, таких як відсутність частинних значень, відсутність сигналів, нормальний розподіл тощо. Після того як дані відсортовано, визначено та кваліфіковано, їх треба проаналізувати методами усереднення та/або моделювання. Методів усереднення достатньо, якщо доступно резервовані сигнали (більше ніж 2). Прикладами методів усереднення, які можна застосовувати, є пряме усереднення, середньозважене усереднення, просторова парність, усереднення за діапазоном тощо. Вибирання методів усереднення часто залежить від типу та резервування даних. Може виникнути потреба в застосуванні різних методів усереднення для оброблення різних сервісів, навіть на одній станції.

Стосовно методів моделювання може бути застосовано емпіричне та/або фізичне моделювання. Є низка способів застосовувати емпіричне моделювання, наприклад: нейронні мережі, розпізнавання образів, нечітке угруповання даних у сполученні з нейронними мережами тощо. Ці методи описано у відповідній літературі в переліку застосованих джерел.

ДОДАТОК С (довідковий)

МЕТОДИ ВИПРОБУВАННЯ ЧАСУ РЕАГУВАННЯ ДЛЯ ДАВАЧІВ ТИСКУ ТА НЕЙТРОННИХ ДЕТЕКТОРІВ

С.1 Вступ

Методи випробування часу реагування для давачів тиску можна розділити на дві групи випробування: а) традиційний метод, застосовуваний із початку виконання випробувань із середини 1970-х років; та б) оперативні методи, ґрунтовані на нових технологіях, розроблених і затверджених у середині 1980-х років. Перевага оперативних методів полягає в тому, що вони дають змогу дистанційного випробування за нормальних робочих умов, тоді як традиційний метод потребує фізичного доступу до кожного перетворювача і зазвичай не може виконуватися під час роботи станції. Короткий опис традиційних й оперативних методів наведено нижче. Докладнішу інформацію можна одержати з літератури, наведеної в переліку застосованих джерел. Також у цей додаток долучено опис методу аналізування шумів для підтвердження, що в трубопроводах вимірювання тиску немає суттєвих закупорень, повітряних пробок або протікань.

С.2 Традиційний метод

Традиційний метод для випробування часу реагування давачів тиску охоплює гідравлічний генератор тиску для подання тестового східчастого чи лінійного сигналу. Випробування з тиском, що змінюється лінійно, використовують частіше, ніж випробування зі східчастим сигналом, тому що проектні аварії на атомних станціях зазвичай допускають перехідні процеси з лінійним змінням тиску.

Тестовий сигнал тиску, генерований гідравлічним генератором тиску, що змінюється лінійно, подають на випробуваний давач й одночасно на високошвидкісний еталонний давач. Вихідні сигнали цих двох давачів реєструють на двоканальному пристрої реєстрування та використовують для визначення часу реагування давача.

У цьому випробуванні час реагування давача тиску зазвичай визначають як запізнення між реагуванням еталонного давача та випробуваного давача під час проходження через установлене значення.

С.3 Оперативні методи

Розроблені та затверджені два методи для натурального випробування часу реагування давачів тиску в тому вигляді, як їх встановлено в робочих технологічних процесах. Ці методи називають методом аналізування шумів і випробування з перериванням електроживлення (ПЕ). Метод аналізування шумів можна застосовувати для випробування часу реагування більшості давачів тиску, але випробування ПЕ застосовно тільки до давачів тиску компенсаційного типу. Давачі тиску компенсаційного типу також можна випробувати методом аналізування шумів, але випробування ПЕ використовують частіше, ніж метод аналізування шумів, тому що випробування ПЕ допускає простішу процедуру. Конкретніше, для виконання випробування ПЕ електроживлення на давач вмикають на кілька секунд і потім знову вмикають, тоді як вихідний сигнал давача реєструють. Це випробування дає в результаті вихідний сигнал перехідного процесу, який потім аналізують, для одержання часу реагування давача. Аналізування охоплює вилучення експонентної складової даних із перехідного процесу випробування ПЕ й аналізування цієї експонентної складової для одержання часу реагування. Вилучення експонентної складової зазвичай виконують чисельним методом, аналізування експонентної складової — за допомогою алгоритму апроксимації методом найменших квадратів.

Метод аналізування шумів ґрунтовано на контролюванні природних флуктуацій, наявних на виході давачів тиску під час роботи станції. Ці флуктуації (шуми) зазвичай обумовлено турбулентністю, спричиненою потоком води в системі, випадковим теплопередаванням в активній зоні й іншими природними явищами. Із вихідного сигналу давача вилучають (одержують) шуми, видаляють постійну складову сигналу та підсилюють змінну складову. Постійну складову видаляють під час проходження вихідного сигналу давача через фільтр верхніх частот або зсування постійної напруги зміщення сигналу. Це залишає змінну складову під час проходження через фільтр нижніх частот для згладження та видалення високочастотних електричних шумів. Потім сигнал оцифровують за допомогою аналого-цифрового перетворювача та зберігають на комп'ютерних дисках для подальшого аналізування.

Аналізування шумових даних виконують у частотній та/або часовій області, його ґрунтовано на допущенні, що динамічні характеристики давача лінійні, а вхідний шумовий сигнал (тобто, технологічні флуктуації) має належні спектральні характеристики. Аналізування в частотній та часовій області — це два різні методи для визначення часу реагування давачів і зазвичай корисно проаналізувати дані обома методами й усереднити результати, крім будь-яких викидів. Нижче наведено опис аналізування шумових даних у частотній та часовій областях для визначення часу реагування давачів тиску.

С.3.1 Аналізування частотної області

Під час аналізування частотної області спочатку генерується спектральна щільність потужності (СЩП) шумового сигналу, зазвичай за допомогою алгоритму швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Це охоплює передавання запису шумових даних у стандартний програмний пакет ШПФ, щоб одержати на виході СЩП. Звісно, усі пакети програм, використовувані для генерації СЩП та іншого аналізування, спочатку має бути перевірено та затверджено відповідно до формальної програми забезпечення якості (ЗЯ), що охоплює формальні процедури розроблення програмного забезпечення та програму верифікації і валідації програмного забезпечення (ViB). Після того як одержано СЩП, математична функція (модель), прийнятна для випробуваного давача, апрок-

симується до СЩП для одержання параметрів моделі, які потім застосовують для обчислення часу реагування давача.

СЩП давачів тиску атомної станції мають різні форми залежно від станції, місця встановлення й обслуговування давача, технологічного режиму та інших впливів.

С.3.2 Аналізування часової області

Для аналізування часової області шумових даних застосовують метод авторегресивного (АР) моделювання. Запис шумових даних для кожного давача апроксимують до загальної авторегресивної моделі порядку «*n*». Апроксимація запису шумових даних визначає коефіцієнти моделі. Ці коефіцієнти потім застосовують для одержання таких динамічних дескрипторів, як реагування давачів на імпульс, реагування на стрибок і реагування на лінійно-зростальний сигнал, з яких одержують час реагування.

Обґрунтованість методу аналізування шумів досліджено лабораторним випробуванням репрезентативних давачів типів, використовуваних на атомних станціях.

До початку будь-якого аналізування часової або частотної області потрібно дослідити придатність шумових даних комп'ютерним скануванням та сортуванням неопрацьованих даних для підтвердження достовірності аналізування. Цього досягають застосуванням алгоритмів кваліфікації даних на стаціонарність і лінійність даних. Це охоплює побудову графіка амплітудної щільності імовірності (АЩІ) даних для візуального контролювання перекоосу та нелінійності, а також обчислення перекошення, площинності чи інших дескрипторів шумових даних, для підтвердження, що ці дані мають нормальний розподіл і не містять небажаних характеристик.

С.4 Випробування вимірювальних трубопроводів

Вимірювальні трубопроводи можуть постраждати від часткових чи повних закупорень, скупчення повітряних пробок, протікань та відмов вирівнювальних, відсічних чи інших клапанів, розміщених на вимірювальному трубопроводі. Для захищення від цих проблем та підтвердження чистоти вимірювального трубопроводу треба застосовувати метод аналізування шумів, описаний для випробування часу реагування давачів тиску. Будь-яке суттєве закупорення чи інші аномалії в трубопроводі вимірювання тиску, найімовірніше, виявиться в результатах випробування часу реагування давачів тиску методом аналізування шумів.

С.5 Випробування часу реагування нейтронних детекторів

Час реагування нейтронних детекторів можна випробувати методом аналізування шумів майже в такий спосіб, як для давачів тиску. Зазвичай час реагування нейтронних детекторів настільки невеликий, що результати аналізування шумів будуть частіше надавати динаміку процесу, ніж детектора. Проте, якщо є суттєве змінення часу реагування нейтронного детектора, то вимірювання аналізування шумів має виявити проблему. Тобто аналізування шумів має ідентифікувати відчутні змінення динаміки детектора, незважаючи на можливість того, що діапазон частот вхідного шумового сигналу може не бути відповідним.

Додатково до часу реагування для нейтронних детекторів треба визначити та відстежити дескриптори шумів, такі як дисперсія, перекошення, АЩІ й ексцес як засіб контролювання змінення робочих характеристик детектора.

ДОДАТОК D (довідковий)

МЕТОДИ ВИПРОБУВАННЯ ЧАСУ РЕАГУВАННЯ ДЛЯ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧА ОПОРУ

D.1 Вступ

Вимірювання часу реагування виконують на термоперетворювачах опору системи безпеки на атомних станціях для підтвердження, що станцію може бути вчасно зупинено в разі потужного температурного перехідного процесу в реакторі. У реакторах з охолодженням водою під тиском (ВВЕР) термоперетворювачі опору теплоносія першого контуру, які входять до системи безпеки станції, зазвичай випробовують одноразово кожен паливний цикл чи приблизно кожні вісімнадцять

цять—двадцять чотири місяці. Крім того, щоразу після замінення чи ремонту термоперетворювача опору, вимірюють його час реагування, перш ніж станція відновить роботу на потужності.

Оскільки час реагування термоперетворювачів опору залежить від температури технологічного процесу, тиску та витрат під час роботи, вимірювання часу реагування має бути виконано за нормальних умов роботи чи наближених до них, для одержання часу реагування давачів за умов експлуатування. Для цього наприкінці 1970-х років розробили метод вимірювання часу реагування на східчає змінення контурного струму (РЗКТ), використовуюваного тепер на багатьох атомних станціях по всьому світу для відповідності вимог щодо випробування часу реагування.

D.2 Передумова

Випробування термоперетворювачів опору на атомних станціях почалося в 1978 році після того як затвердили метод РЗКТ та розробили серійне випробувальне устаткування, навчання та процедури РЗКТ. До 1978 року деякі станції виконували випробування часу реагування термоперетворювача опору, а випробування зазвичай виконували із застосуванням методу випробування із зануренням. Випробування із зануренням охоплює вилучення термоперетворювачів опору зі станції та їхнє випробування в лабораторному середовищі. Під час розроблення методу РЗКТ у середині 1970-х років визначили, що метод випробування із зануренням — недопустимий метод для випробування часу реагування термоперетворювачів опору атомної станції. У зв'язку з цим ядерна промисловість поступово відмовилася від цього методу, крім лабораторних кваліфікаційних випробувань нових термоперетворювачів опору та захисних гільз для їхнього встановлення на станції.

D.3 Методи випробування часу реагування термоперетворювачів опору

D.3.1 Опис випробування із зануренням

Час реагування температурного давача класично вимірюють у лабораторному середовищі методом випробування із зануренням. У цьому випробуванні давач піддають раптовому змінненню температури, а його вихідний сигнал реєструють, доки він не досягне сталого стану.

Аналізування випробування із зануренням для одержання часу реагування давача дуже простий. Наприклад, якщо перехідний процес вихідного сигналу давача реєструється в реєстраторі, то час реагування визначають вимірюванням часу, за якого вихідний сигнал давача сягає 63,2 % від свого кінцевого сталого значення. Треба зазначити, що це визначення часу реагування аналітично суттєво тільки для системи першого порядку, його традиційно застосовують для визначення часу реагування більшості температурних давачів незалежно від їхнього динамічного порядку. Через це визначення «час реагування» та «постійна часу» часто вживають для описання динамічних характеристик термоперетворювачів опору, навіть зважаючи на те, що термін «постійна часу» стосується тільки системи першого порядку.

Час реагування термоперетворювача опору, одержаний методом випробування із зануренням — це відносний показник, який треба супроводжувати описом умов, за яких термоперетворювач опору випробували. Це важливо, тому що час реагування термоперетворювачів опору залежить від властивостей кінцевого середовища, у яке його занурюють. Тип середовища (повітря, вода тощо) і його швидкість, температура та тиск завжди має бути зазначено з результатами часу реагування. Швидкість рідини зазвичай — найважливіший чинник, наступні чинники — температура та тиск. Ці чинники впливають на коефіцієнт теплопередавання плівки на поверхні давача, пов'язаного з часом реагування. Вищі швидкості рідини збільшують коефіцієнт теплопередавання плівки на поверхні давача та зменшують час реагування. Температура, однак, має змішаний вплив. З одного боку, температура діє в такий самий спосіб, як швидкість рідини, тобто вона збільшує коефіцієнт теплопередавання плівки та зменшує час реагування. З іншого боку, високі температури можуть впливати на властивості матеріалів усередині давача і можуть чи збільшити, чи зменшити час реагування. Тиск зазвичай несуттєво впливає на час реагування давача, крім його впливу на властивості рідини, які керують коефіцієнтом теплопередавання поверхні.

Додатково до впливу технологічних умов на час реагування термоперетворювачів опору, здебільшого впливає встановлення термоперетворювача опору в технологічний процес. Вплив місця встановлення особливо важливий для термоперетворювачів опору, закріплених у захисній гільзі, у яких кожен міл повітряного зазору в місці сполучення термоперетворювач опору/захисна гільза може становити суттєву різницю в часі реагування збірки термоперетворювач опору/захисна гільза. (Міл дорівнює 1/1000 дюйма чи 0,0254 мм).

D.3.2 Опис випробування РЗКТ

Оскільки на час реагування температурного давача сильно впливають технологічні умови та місце встановлення, лабораторні вимірювання, такі як випробування із зануренням за еталонних умов, не можуть забезпечити точну інформацію щодо часу реагування давача «за умов експлуатування». Тому має бути застосовано натурний метод, який можна виконувати в робочому технологічному режимі. Метод РЗКТ розроблено для забезпечення можливості натурних випробувань часу реагування, потрібних для вимірювання часу реагування за умов експлуатування термоперетворювачів опору, установлених у робочих технологічних процесах.

Випробування РЗКТ виконують, з'єднуючи термоперетворювача опору з одним контактом мосту Уйтстона та змінюючи струм мосту від кількох міліамперів приблизно до (40—80) мА. Східчасте змінення струму дає нагрівання джоулевым теплом в елементі термоперетворювача опору та змушує його опір мінятися пропорційно здатності термоперетворювачів опору розсіювати теплоту в навколишнє середовище. Перехідне змінення термоперетворювача опору утворює сигнал перехідної напруги на виході мосту Уйтстона, що називають перехідним процесом РЗКТ або даними РЗКТ для термоперетворювача опору. Потім аналізують цей перехідний процес для, щоб одержати час реагування термоперетворювача опору за випробуваних умов. Це аналізування охоплює алгоритм математичної апроксимації для перетворення даних РЗКТ й одержання перехідної характеристики термоперетворювача опору на східчасте змінення температури рідини зовні термоперетворювача опору.

Перевага випробування РЗКТ полягає в тому, що воно дає змогу проводити оперативне випробування термоперетворювачів опору, установлених ззовні гермооболонки реактора та забезпечує фактичні часи реагування термоперетворювачів опору «за умов експлуатування». Випробування враховує всі впливи, спричинені місцем установлення на час реагування термоперетворювача опору. А також містить вплив захисної гільзи, у разі її використання, посадки між термоперетворювачем опору та захисною гільзою й усі впливи технологічних умов, таких як температура технологічного процесу, тиск і витрата.

Будь-який тип або модель термоперетворювача опору, що підлягає випробуванню методом РЗКТ, має бути спочатку атестовано для можливості випробування РЗКТ. Це охоплює всю низку лабораторних випробувань для підтвердження, що метод РЗКТ — дійсний для вимірювання часу реагування термоперетворювача опору та встановлення похибки результатів часу реагування для конкретної конструкції термоперетворювача опору. Якщо термоперетворювач опору встановлюють у захисній гільзі, то має бути виконано валідацію РЗКТ із термоперетворювача опору, також установленим у захисній гільзі. Класифікування термоперетворювача опору методом РЗКТ потрібно, тому що обґрунтованість методу РЗКТ залежить від певних допущень щодо характеристики теплопередавання термоперетворювача опору, які має бути задоволено для підтвердження одержання точних результатів методом РЗКТ. На основі результатів лабораторних валідаційних випробувань численних термоперетворювачів опору, середню похибку методу РЗКТ установлено на рівні $\pm 10\%$. Тобто метод РЗКТ зазвичай забезпечує результати часу реагування, які перебувають у межах $\pm 10\%$ від фактичного часу реагування термоперетворювача опору.

D.3.3 Опис випробування саморозігрівання

Випробування саморозігрівання виконують на термоперетворювачі опору за допомогою того самого устаткування, що й для випробування РЗКТ. Для випробування саморозігрівання спочатку використовують малий струм (наприклад, 5 мА) для нагрівання чутливого елемента термоперетворювача опору. Струм подають, доки опір термоперетворювача не стабілізується. Потім цей опір вимірюють (R) й обчислюють його потужність через термоперетворювач опору за формулою $P = I^2 R$. Цей крок повторюють із більшими значеннями струму до (40—80) мА для одержання трьох чи більше вхідних даних і результати зводять у таблицю, із зазначенням опору термоперетворювача для кожного струму залежно від електричної потужності, що генерується в термоперетворювачі опору. Потім цю інформацію одержують у вигляді графіка залежності R від P і результат (який має бути прямою лінією) називають кривою саморозігрівання термоперетворювача опору. Градієнт кривої саморозігрівання називають індексом саморозігрівання (ICP) в омах/ват (Ом/Вт), що є параметром, потрібним у цьому випробуванні. ICP — це показник, який узгоджується з теплопередаванням термоперетворювача опору. Значення ICP змінюється, якщо є суттєве змінення теплопередавання термоперетворювача опору (тобто, часу реагування). Це випробування не замінює методу РЗКТ

або методу аналізування шумів для одержання часу реагування термоперетворювача опору. Воно не показує часу реагування термоперетворювача опору.

D.3.4 Метод аналізування шумів

Метод аналізування шумів можна застосовувати для визначення погіршення часу реагування термоперетворювача опору (див. опис цього методу в додатку С). Перевага методу аналізування шумів полягає в тому, що він не потребує вилучення термоперетворювача опору з роботи під час випробовування, й одночасно можна випробувати багато термоперетворювачів опору. Якщо методом аналізування шумів виявлено, що в термоперетворювачі опору настало погіршення часу реагування, треба застосовувати метод РЗКТ для вимірювання його часу реагування для оцінення ступеня погіршення та визначення того, чи відповідає термоперетворювач опору вимогам до часу реагування.

D.4 Випробування часу реагування термопар

Час реагування термопар вимірюють у лабораторії за процедурою вимірювання часу реагування термоперетворювачів опору (тобто, випробування із зануренням у воду кімнатної температури, що тече зі швидкістю 1 м/с). Для натурального випробування часу реагування термопар застосовують метод РЗКТ або метод аналізування шумів. Випробування РЗКТ для термопар потребує іншого комплекту випробувального устаткування, ніж термоперетворювачі опору. Зокрема час реагування термопар випробовують методом РЗКТ із використанням змінного струму в межах (0,2—0,6) А. Це набагато більший струм, ніж використовують під час випробовування РЗКТ для термоперетворювачів опору. Причиною використання змінного струму у випробуваннях РЗКТ термопар є ефект Пельтьє. І причина для використання набагато більшого струму полягає в тому, що опір термопар розподілено вздовж їхніх сполучних дротів, на противагу термоперетворювачів опору, опір яких сконцентровано в їхньому робочому кінчику. Оскільки струм РЗКТ нагріває весь дріт термопар, є небезпека, що нагрівання може вплинути на подовжувальні дроти термопар та герметичність. Тому на станціях, де наявні проблеми щодо нагрівання дротів термопар, вимірювання часу реагування виконують методом аналізування шумів. Метод аналізування шумів виконують на термопарах у такий спосіб, як для давачів тиску, описаних раніше в цьому стандарті.

БІБЛІОГРАФІЯ

- 1 NUREG/CR-5560:1990 Aging of Nuclear Plant Resistance Temperature Detectors, U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D. C.
- 2 NUREG/CR-5851:1993 Long Term Performance and Aging Characteristics of Nuclear Plant Pressure Transmitters, U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D. C.
- 3 NUREG/CR-6343:1995 Online Testing of Calibration of Process Instrumentation Channels in Nuclear Power Plants, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D. C.
- 4 NUREG/CR-5501:1998 Advanced Instrumentation and Maintenance Technologies for Nuclear Power Plants, U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D. C.
- 5 TR-104965-R1 NRC SER:2000 On-Line Monitoring of Instrument Channel Performance, Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, CA, USA.
- 6 TECDOC-1147:2000 Management of Aging of I&C Equipment in Nuclear Power Plants, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, June 2000.
- 7 H. M. Hashemian, I&C Aging Management Standards, 13th Annual Joint ISA POWID/EPRI Control and Instrumentation Conference, Williamsburg, Virginia, June 15–20, 2003.
- 8 TECDOC-1402, Management of Life Cycle and Aging at Nuclear Power Plants, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, August 2004.
- 9 Sensor Performance and Reliability, book published by Instrumentation, Systems, and Automation Society (ISA), 2005.

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

1 NUREG/CR-5560:1990 Старіння давачів температури опору АЕС. Комісія з ядерного регулювання США, Вашингтон, округ Колумбія.

2 NUREG/CR-5851:1993 Довгострокова робота й характеристики старіння давачів тиску АЕС. Комісія з ядерного регулювання США, Вашингтон, округ Колумбія.

3 NUREG/CR-6343:1995 Натурні випробування калібрування каналів контрольно-вимірювальної апаратури АЕС. Комісія з ядерного регулювання США, Вашингтон, округ Колумбія.

4 NUREG/CR-5501:1998 Передові технології контрольно-вимірювальної апаратури й обслуговування для АЕС. Комісія з ядерного регулювання США, Вашингтон, округ Колумбія.

5 TR-104965-R1 NRC SER:2000 Натурні контролювання робочих характеристик каналу контрольно-вимірювальної апаратури, НДІ Електроенергії (EPRI), Пало-Альто, Каліфорнія, США.

6 TECDOC-1147:200, Контролювання старіння контрольно-вимірювальної апаратури АЕС, МАГАТЕ, Відень 15—20 червня 2003 року.

7 Х. М. Хашеміан, I&C Старіння стандартів керування, 13-й щорічна спільна ISA POWID/Control EPRI та приладова конференції, Вільямсбург, штат Вірджинія, червень 15—20, 2003.

8 TECDOC-1402 Контролювання життєвого циклу та старіння АЕС, МАГАТЕ, Відень, Австрія, серпень 2004 року.

9 Робочі характеристики та надійність давача, книга, видана Співтовариством із приладів, систем та автоматизації (ISA), 2005.

Код УКНД 27.120.20

Ключові слова: атомна станція; контролювання, важливі для безпеки; вимірювальний канал системи безпеки; робочі характеристики; час реагування; температура; тиск; рівень рідини; витрати й густина нейтронного потоку.
