НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ ІМ. Г.Є. ПУХОВА

МАТЕРІАЛИ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

«ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА ОБЛАДНАННЯ АЕС»

06 грудня 2023 року

Київ – 2023

УДК 621[039::(311+317)]
ББК 31.4
Т-38

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України (протокол №10 від 30 листопада 2023 р.)

Т-38 **Технічна діагностика** обладнання АЕС, науково-практична конференція Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова Національної академії наук України : матеріали (Київ, 06 грудня 2023 р.). Київ : ІПМЕ ім. Г.Є.Пухова НАН України, 2023. 73 с.

Т-38 **Technical diagnostics** of NPP equipment, scientific-practical conference of the G.E. Pukhov Institute for Modeling in Energy Engineering National Academy of Sciences of Ukraine : materials (Kyiv, December 06, 2023). Kyiv: PIMEE NAS of Ukraine, 2023. 73 p.

© Автори публікацій, 2023
© ІПМЕ ім. Г.Є.Пухова НАН України, 2023

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ
ім. Г.Є. ПУХОВА НАН УКРАЇНИ

МАТЕРІАЛИ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

«ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА ОБЛАДНАННЯ АЕС»

06 грудня 2023 року

2023

Вельмишановний учасник _____

_____

Запрошуємо Вас прийняти участь в роботі науково-практичної конференції «Технічна діагностика обладнання АЕС», яка буде проходити 06 грудня 2023 року в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова Національної академії наук України (м. Київ).

ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України (м. Київ)

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Мохор В.В., Шавлаков О.В., Дюков В.А., Владимирський О.А., Владимирський І.А., Годун О.В., Шевченко С.С., Дибач О.М., Шумкова Н.Ю.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙКОМІТЕТ

Артемчук В.О., Клименко Т.М., Цуркан О.В., Потенко О.С.

О.А. Владимирський, І.А. Владимирський, О.М. Дибач

ПАРАМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ У ЗАДАЧАХ ДІАГНОСТИКИ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ АЕС

На майданчиках АЕС України є розвинена мережа підземних трубопроводів систем нормальної експлуатації, важливих для безпеки, відмова яких може призвести до відмови систем безпеки АЕС та мати негативний вплив на виконання функцій безпеки. Прикладом такої системи є система технічної води відповідальних споживачів АЕС (далі – СТВВС), що забезпечує систему нормальної безпеки класу безпеки 3 (класифікаційне позначення - 3НЗ за НП 306.2.141-2008 «Загальні положення безпеки атомних станцій»), групи С (НП 306.2.227-202 вимоги безпеки до влаштування та експлуатації обладнання та трубопроводів атомних станцій»), першої категорії сейсмостійкості (НП 306.2.208-2016 Вимоги до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій).

СТВВС призначена для відведення тепла від активної зони реактора через теплообмінник аварійного розхолодження, відведення тепла від басейну витримки, механізмів систем безпеки та ін. Трубопроводи системи прокладені під землею на глибині 2-6 метрів.

З огляду на вплив на безпеку, СТВВП входить до складу Програми управління старінням АЕС. За результатами партнерської перевірки ENSREG у 2017 році на тематику «управління старінням» [1], було прийнято рішення про розробку спеціальної програми управління старінням підземних трубопроводів СТВВП. Важливі складові вирішення завдання управління старінням обговорювалися також у [2,3], такі як: вдосконалення виявлення дефектів на ранніх стадіях їх виникнення та покращення наочності та чіткості форм подання оперативної інформації про стан об'єкта.

У зв'язку з важкодоступністю трубопроводів СТВВП для зовнішнього та внутрішнього огляду, необхідне використання безконтактних методів контролю ефектів старіння (утонення металу, корозійні зміни тощо) стосовно виявлених механізмів старіння (циклічна втома, корозія тощо).

Для діагностики підземних трубопроводів широко застосовуються акустичні методи, що використовують взаємну кореляційну функцію (далі – ВКФ).

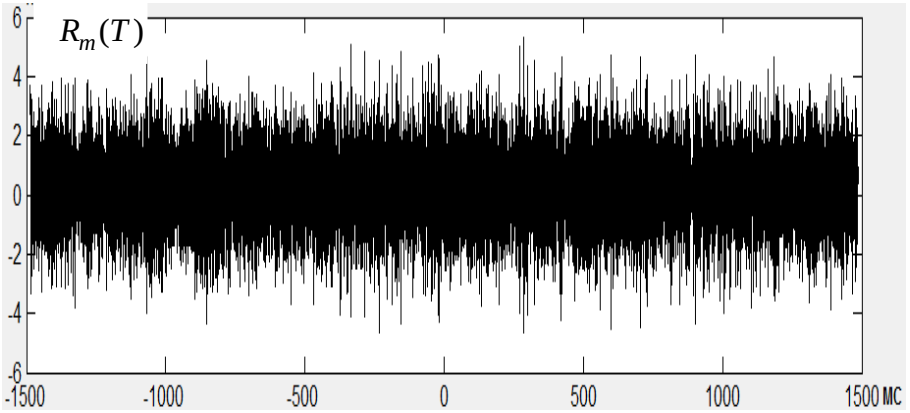
ВКФ сигналів від двох рознесених у просторі датчиків є ефективним способом виявлення протікання прихованих під землею трубопроводів [4], фланцевих з'єднань у шахтах реакторів [5], негерметичностей інших судин з газом або рідиною, що знаходяться в умовах надлишкового тиску.

Як правило, корисну інформацію у ВКФ несе її максимум. У тому числі інформацію про ступінь та координату пошкодження. Однак на практиці цей максимум не завжди виразний, чіткий і сформований важливими для аналізу акустичними сигналами. Це відбувається через мале відношення сигнал - перешкода, до якого призводять як потужні перешкоди, так і рання, акустично ще слабко виражена стадія пошкодження, що діагностується. Ускладнюють аналіз ВКФ також відсутність точних даних про частотний діапазон корисних сигналів та чутливість ВКФ до вибору місць встановлення датчиків. Складність прийняття рішень у таких умовах зумовлює потребу розробки та застосування спеціального параметричного інструменту, що спрощує та покращує аналіз ВКФ.

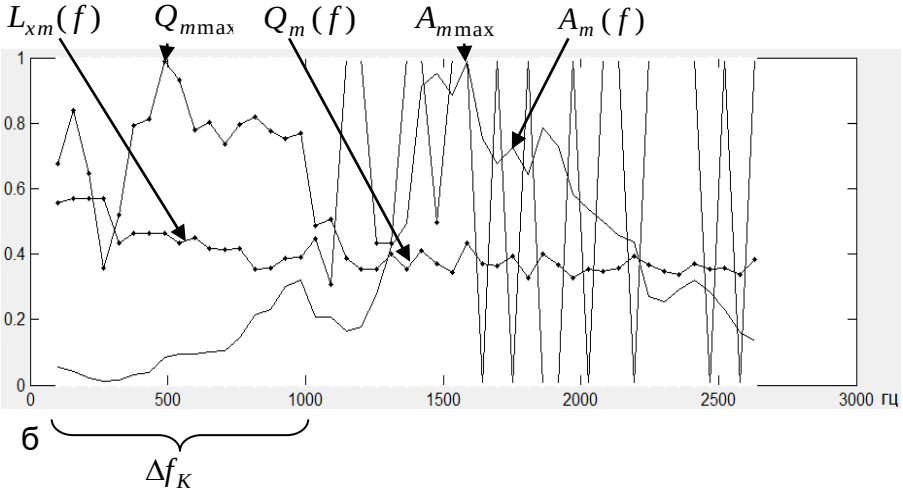
Такий інструмент створено у ІПМЄ ім. Г.Є Пухова НАН України та випробувано при виробничому пошуку витоків у міських теплових мережах. Доцільність його випробування та використання на підземних трубопроводах АЄС обговорювались у роботі [6]. Пропонований метод ґрунтується на наступному. За допомогою смугових цифрових фільтрів виконують розкладання ВКФ на вузькосмугові складові, після чого для кожної частотної смуги визначають параметри затримки, при якій спостерігається максимум кореляції; якості максимуму кореляційної функції (виразність, відношення сигнал-перешкоди); потужності. Результати розрахунків представляють у вигляді трьох об'єднаних графіків як функції центральної частоти смугових фільтрів. У [7] дано обґрунтування методу з погляду множинності хвиль, джерел сигналів та просторово-частотного механізму їх поділу, надано формули для параметрів ВКФ з урахуванням просторових позицій m пари датчиків на трубопроводі. В результаті для фіксованої позиції m датчиків отримали три спектри: потужності $A_m(f)$, відносини сигнал-перешкода $Q_m(f)$ та координати $L_{xm}(f)$. На графіку $L_{xm}(f)$ важливими є ділянки із стійкими до зміни частоти, майже однаковими значеннями координати $L_{xm}(f)$. Кожна така ділянка описується сукупністю значень координати та відповідного їй діапазону частот *f = f1 ... f2*, в межах якого $L_{xm}(f)$ є майже постійною. Цю зручну для аналізу кореляції сукупність координати та діапазону частот її прояву у частотно-часовій структурі ВКФ автори називали координатною поличкою [7] та позначили її у складі координатного спектру $L_{xm}(f)$ як L_{xmf1f2}. За наявності координатних поличок судять про ймовірні координати пошкоджень, а за відповідними величинами $A_m(f)$, $Q_m(f)$ і $f_2 - f_1$ визначають достовірність цих координат. Тому дані параметри є параметрами різної якості кореляції та відповідної координатної полички.

Вона є зручним експрес-індикатором чутливості оцінки ВКФ до наявності або відсутності інформативної кореляції. Це має першорядне значення для реєстрації появи дефекту на ранній стадії, коли він ще не розвинувся у велике і явно реєстроване за ВКФ пошкодження, рис.1.

З рис. 1а видно, що у вихідній ВКФ інтервал вираженої інформативної кореляції не спостерігається. Це відбувається через те, що основна енергія ВКФ, позначена графіком $A_m(f)$ на рис.1б, поки що сформована фоновими шумами, про що говорять сильно осцилюючий вид спектра координат $L_{xm}(f)$ та низький рівень спектру відносин сигнал – перешкода $Q_m(f)$.



а



б

Рис.1. Випадок відсутності видимої корисної кореляції у вихідній ВКФ. Графік вихідної ВКФ (а) і нормований графік спектрів її параметрів (б) з витоком, що виявився, в діапазоні частотΔf_K

Однак, на низьких частотах, у діапазоні, позначеному $\Delta f_{\text{К}}$ на графіку 1б, пошкодження, що з'явилося, вже проявляється у вигляді координатної полички з відносно малими осциляціями за координатою $L_{\text{хm}}(f)$ та у вигляді збільшення спектру $Q_m(f)$ відносини сигнал-перешкода.

Наведений метод у параметричному та наочному вигляді представляє оператору необхідну інформацію про домінуючі за потужністю джерела сигналів. Число одночасно аналізованих за графіками параметрів смуг частот ВКФ є практично не обмеженим. Узгоджений вибір смуги частот і положення датчиків на трубопроводі забезпечує достовірну селекцію найбільш інформативних і потужних хвиль з відомою груповою швидкістю, зокрема хвиль гідравлічного удару, в умовах їх інтерференційних спотворень. Параметричні структури у вигляді координатних поличок і відповідні їм просторово-частотні параметри ВКФ дозволяють оперативно реєструвати пошкодження на ранніх стадіях їх появи.

1. NATIONAL REPORT: First Topical Peer Review AGEING MANAGEMENT. State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine. Kyiv 2017.
2. Мохор В.В., Владимирський О.А., Кіндрась О.Л., Плескач Б.М., Шарадкін Д.М., Гончар С. Ф., Герасимов Р.П. Методичні рекомендації “Основи створення багаторівневих систем моніторингу, діагностики та прогнозування технічного стану основного енергетичного обладнання АЕС України та технічних засобів до неї”. Рішення №4806 від 21.01.2020р. про реєстрацію договору від 28.11.2016р. №16/01 про передачу майнових прав ІПМЕ ім. Г.Е.Пухова НАН України.
3. Мохор В.В., Владимирский А.А.,Плескач Б.Н., Киндрась А.Л. Проект концепции построения многоуровневой отраслевой системы мониторинга, диагностирования и прогнозирования технического состояния АЭС Украины. Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. Вип. 79, Київ, 2017р.-с.16-20.
4. Buried and Underground Piping and Tank Ageing Management for Nuclear Power Plants. IAEA Nuclear Energy Series. No. NP-T-3.20. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY VIENNA ISBN 978–92–0–102116–8.
5. Скалозубов В.И., Билей Д.В., Габлая Т.В., Комаров Ю.А., Ключников А.А., Фольтов И.М. Развитие и оптимизация систем контроля атомных электростанций с ВВЭР. Под ред. В.И.Скалозубова. НАН Украины, Ин-т проблем безопасности АЭС. - Чернобыль (Киев, обл.) : - Ин-т проблем безопасности АЭС, 2008.-512 с.
6. Vladimirsky O, Vladimirsky I., Dybach O. Parametric Analysis of Correlation Functions for Acoustic Monitoring and Assessment of Underground Piping at NPPs. Nuclear and Radiation Safety. 2022. No. 3(95). 64-70. doi: https://doi.org/10.32918/nrs.2022.3(95).06.
7. Владимирський О.А., Владимирський І.А. Кореляційні параметричні методи визначення координат витоків підземних трубопроводів// Електрон. моделювання, 2021, 43, № 3, с. 3-17. https://doi.org/10.15407/emodel.43.03.003.

В.В. Мохор, О.А. Владимирський

ПРО РОЗРОБКУ ПРОЕКТУ КОНЦЕПЦІЇ ПОБУДОВИ БАГАТОРІВНЕВОЇ ГАЛУЗЕВОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ, ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АЕС УКРАЇНИ

Надважлива роль атомної енергетики для України не викликає сумнівів. Проблема полягає в тому, що завершуються регламентні терміни експлуатації більшості енергоблоків. Продовження термінів експлуатації можливе тільки за істотного підвищення рівня прогнозування стану обладнання та конструкцій, що перебувають в особливо складних умовах експлуатації.

У 2016 р. за завданням ДП "НАЕК "Енергоатом" в ІПМЕ ім. Г.Є.Пухова НАН України спільно з ВП "КБ "Атомприлад" виконано НДР "Дослідження розвитку систем технічної діагностики та розробка концептуальних засад створення багаторівневих систем моніторингу, діагностики та прогнозування технічного стану основного енергетичного обладнання АЕС України". Виконано аналіз реалізації Концепції створення Комплексу засобів діагностичної та інформаційної підтримки експлуатації систем і обладнання АЕС ("КСДЭ-1000") [1] та Комплексної зведеної програми підвищення безпеки енергоблоків АЕС України ("КЗППБ") [2, 3]. Розглянуто зарубіжний досвід і сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій. Результати досліджень представлено заказнику у вигляді 3 томів звіту та проекту концепції:

- "Загальні питання. Структурна організація" [4].

- "Технології та алгоритми обробки Big Data та їх застосування в задачах технічної діагностики об'єктів атомної енергетики" [5].

- "Розробка вимог до технічного захисту інформації" [6].

- "Концептуальні засади створення багаторівневих систем моніторингу, діагностики та прогнозування технічного стану основного енергетичного обладнання АЕС України та технічних засобів до неї" (проект) [7].

Запропоновано при впровадженні СМТС застосовувати підхід "Плануй - Виконуй - Перевіряй - Дій" ("plen-du-chek-act"). При цьому об'єктом управління є надійність основного енергетичного обладнання енергоблока АЕС, суб'єктом управління є технічний, інженерний, керівний персонал. Циклічний і поетапний підхід до впровадження СМТС дасть змогу прискорити її впровадження в практику і підвищити достовірність моніторингу. Розглянуто основні передумови та цілі створення СМТС.

Визначено стратегію технічного обслуговування обладнання. Розроблено структурну схему СМТС (див. Рис. 1.). Передбачено можливість багаторазового горизонтального масштабування і нарощування функціональних можливостей, впровадження нових алгоритмів діагностування та прогнозування.

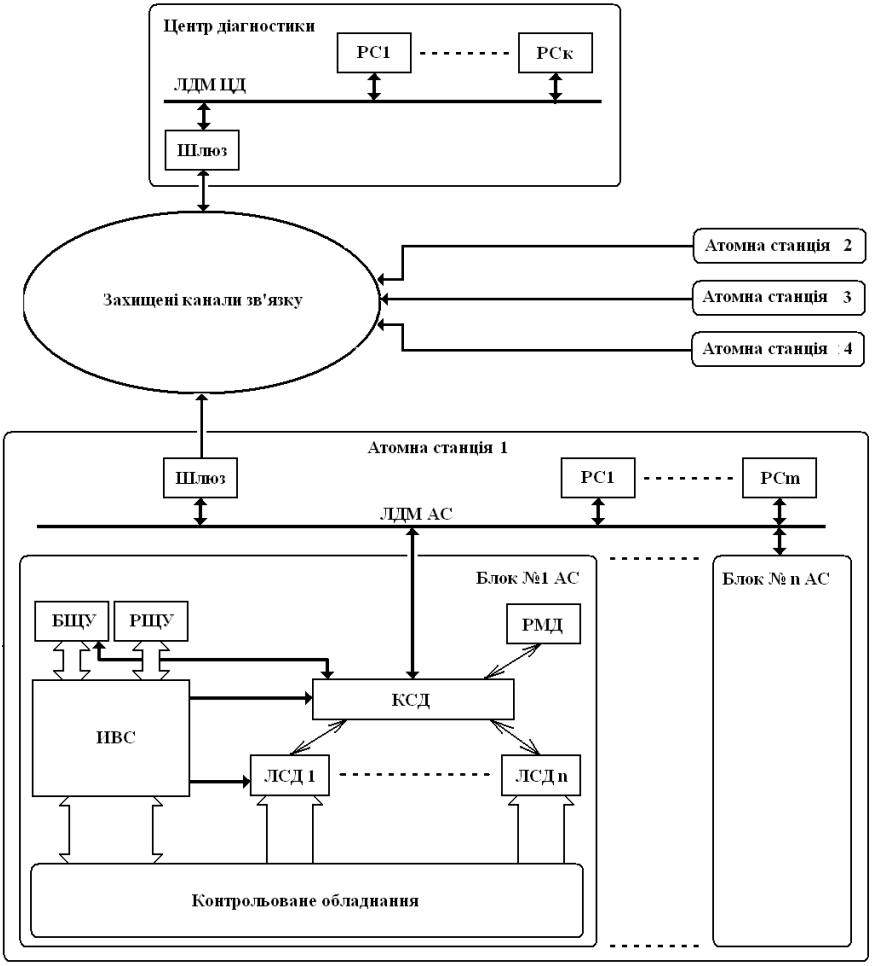


Рис.1. Структурна схема багаторівневої галузевої системи моніторингу, діагностування та прогнозування технічного стану АЕС України. Проект 2016 року

Типовий перелік ЛСД містив у собі: Систему віброшумової діагностики (СВРШД), Систему виявлення вільних і слабозакріплених предметів

(СОСП), Систему контролю протікання теплоносія першого контуру (СКПТ), Систему віброконтролю та діагностики ГЦН (СВКД ГЦН), Систему контролю переміщення трубопроводів (СКПТр).

Пропонувалося діагностичну інформацію з КСД представити на блочному щиті управління блоку (БЩУ) в інтегрованому графічному вигляді. На резервному щиті управління (РЩУ) ці дані відображати не планувалося. У перспективі передбачалося охопити діагностуванням основне обладнання другого контуру, турбінне відділення тощо.

У розробленому проєкті конценції передбачалося, що на рівні АЕС має бути створено захищену локальну діагностичну мережу станції (ЛДМ АС), до якої під'єднуються КСД усіх блоків АЕС. У підрозділах, що займаються аналізом і використанням діагностичної інформації (управління ресурсом, ремонт, постачання тощо), встановлюються робочі станції (РС1, ..., РСm), під'єднані до ЛДМ АС. З міркувань безпеки ЛДМ АС не повинна мати виходу на локальну обчислювальну мережу (ЛОМ) станції.

На верхньому рівні запропоновано створення Центру діагностики (ЦД), який отримує діагностичну інформацію з АЕС захищеними каналами зв'язку. Формування інфраструктури підтримки технологій BigData доцільно на основі захищених хмарних структур. Тут мають бути зосереджені всі необхідні ресурси (обчислювальні, бази даних та ін.) для створення необхідних передумов успішної роботи експертів.

Основне завдання ЦД - управління створенням і впровадженням методичного, алгоритмічного, програмного (ПЗ) та апаратурного забезпечення для всіх рівнів СМТС, вибір пріоритетів і черговості розв'язання завдань з урахуванням необхідності подовження термінів експлуатації, вимог з безпеки, економічної доцільності, наявного вітчизняного та міжнародного досвіду, забезпечення єдиної технічної політики. Для виконання досліджень і розробок за обраними напрямами мають залучатися вітчизняні колективи, що володіють науково-технічним доробком і ресурсами.

Розроблення та впровадження системи СМТС з використанням основних положень розробленої концепції спрямоване на істотне поліпшення якості експлуатації обладнання з виходом на рівень обслуговування основного обладнання за фактичним технічним станом.

1. Комплекс засобів діагностичної та інформаційної підтримки експлуатації систем і обладнання АЕС "КСДЭ-1000". Концепція створення, м. Харків, 2004 р. -148 с.

2. "Комплексна зведена програма підвищення безпеки енергоблоків АЕС України (КЗППБ)". Режим доступу до ресурсу: http://www.npp.zp.ua/Content/docs/safety/ Present-KPSB-may2001.pdf.

3. Ключников, А. А., В. І. Скалозубов, and А. В. Шавлаков. "Коментарі до комплекс-ної програми підвищення безпеки енергоблоків АЕС України". Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля (2011). Режим доступу до ресурсу: http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/112899/06-Klychnykov.pdf.

4. Мохор В.В., Кіндрась О.Л., Владимирський О.О., Євдокимов В.Ф., Плескач Б.М., Зварич В.М., Зубок В.Ю., Владимирський І.А. Гончар С.Ф., Герасимов Р.П., Гільгурт С.Я. Загальні питання. Структурна організація. Звіт про проведення науково-дослідної роботи "Дослідження розвитку систем технічної діагностики та розробка концептуальних засад створення багаторівневих систем моніторингу, діагностики та прогнозування технічного стану основного енергетичного обладнання АЕС України". ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. Пухова НАН України. Том 1. Частина 1. Київ, 2016. 253с.

5. Мохор В.В., Владимирський О.О., Кіндрась О.Л., Шарадкін Д.М., Плескач Б.М., Володимирський І.О., Герасимов Р.П., Кравцов Г.О., Медвєдєва І.В. Технології та алгоритми обробки Big Data і їхнє застосування в задачах технічної діагностики об'єктів атомної енергетики. Звіт про проведення науково-дослідної роботи "Дослідження розвитку систем технічної діагностики та розробка концептуальних засад створення багаторівневих систем моніторингу, діагностики та прогнозування технічного стану основного енергетичного обладнання АЕС України". ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. Пухова НАН України. Том 2. Київ, 2016. 97с.

6. Мохор В.В., Владимирський О.О., Кіндрась О.Л., Давиденко О.М., Недільниченко В.Д., Гончар С.Ф., Герасимов Р.П. Розробка вимог до технічного захисту інформації. Звіт про проведення науково-дослідної роботи "Дослідження розвитку систем технічної діагностики та розробка концептуальних засад створення багаторівневих систем моніторингу, діагностики та прогнозування технічного стану основного енергетичного обладнання АЕС України". ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. Пухова НАН України. Київ, 2016. Том 3. 162с.

7. Мохор В.В., Владимирський О.О., Кіндрась О.Л., Плескач Б.М., Шарадкін Д.М., Гончар С.Ф., Герасимов Р.П. Концептуальні засади створення багаторівневих систем моніторингу, діагностики і прогнозування технічного стану основного енергетичного устаткування АЕС України та технічних засобів до неї (проект). Звіт про проведення науково-дослідної роботи "Дослідження розвитку систем технічної діагностики та розробка концептуальних засад створення багаторівневих систем моніторингу, діагностики та прогнозування технічного стану основного енергетичного обладнання АЕС України". ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. Пухова НАН України. Том 1. Частина 2. Додаток Б. Київ, 2016. 37с.

О.А. Владимирський, І.А. Владимирський, І.П. Криворучко, Г.В. Анфімова

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ СПОЖИВАЧІВ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Системи теплопостачання в Україні характеризуються значною протяжністю. Основна їх частина закладена ще в минулому столітті, більше 50% мереж відпрацювали регламентний термін експлуатації і використовуються понад 30 років. Основною причиною виникнення витоків і, тим більше, значних поривів трубопроводів теплових мереж, є деградація та руйнування тепло- та гідроізоляції трубопроводів, корозійне стоншення стінок трубопроводів.

Одним з основних напрямків досліджень та розробок групи технічної діагностики ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України є створення нових методичних, апаратних та програмних засобів для дистанційного діагностування технічного стану підземних трубопроводів. Основні напрямки робіт - розробка та впровадження нових ефективних методів та технічних засобів для вирішення таких завдань:

- оперативного **пошуку витоків** підземних трубопроводів;
- **корозійного моніторингу** підземних трубопроводів;
- **визначення теплових втрат** при транспортуванні теплової енергії в умовах експлуатації теплових мереж.

Нижче представлені розробки та посилання на охоронні документи відповідних об'єктів інтелектуальної власності, які знайшли успішне застосування на підприємствах теплопостачання в останні роки.

1. Технологія та технічни засоби оперативного пошуку витоків підземних трубопроводів теплових мереж.

Технологія визначення місць розгерметизації підземних трубопроводів з урахуванням ускладнюючих факторів [1] призначена для практичного використання насамперед підприємствами міських теплових мереж та водоканалів розроблених течешукачів (А-10Т та К-10), застосування двоканального мобільного витратоміра та тепловізора. Представлено принцип дії та методіка застосування запропонованого параметричного аналізатора кореляційних функцій, призначеного для більш ефективного вилучення з взаємних кореляційних функцій корисної інформації та її подальшого використання. Показники точності і достовірності визначення координат наскрізних пошкоджень: з ймовірністю 0,95 помилка визначення координат витоків підземних трубопроводів

становить величину не більшу ніж 0,5 ... 1 м на ділянках трубопроводів довжиною до 600 м і діаметром до 1020 мм.

Термо-акустичний течешукач А-10Т3 [2, 3] (рис.1.) призначен для визначення місць витоків підземних трубопроводів гарячого і холодного водопостачання, тепломереж, інших інженерних комунікацій. Використовуються контактний віброакустичний і безконтактний теплометрічний методи. У течешукачах реалізовані вдосконалена система автоматичного регулювання посилення (АРП) акустичного сигналу з розширеним до 100 дБ динамічним діапазоном, система "захисту слуху" оператора, адаптивний спосіб виявлення шумів витоків на тлі інтенсивних міських нестаціонарних шумів. Відмінною особливістю течешукача є можливість виконання безконтактного вимірювання температури, що використовується для виявлення витоків в тепломережах, для відстеження прокладання теплотрас, у внутрішньобудинкових системах "тепла підлога" і т.п., .

Багатофункціональність, зручність і високий ступінь автоматизації обумовлюють успішне застосування цих течешукачів на багатьох підприємствах України.

Рис.1. Термо-акустичний течешукач А-10Т3.
Зліва направо: блок оператора, датчик теплового випромінювання, датчик вібрації для встановлення на ґрунт, датчик вібрації з магнітним тримачем

Параметричний кореляційний течешукач К-10.5 [4, 5] (Рис.2.) призначено для дистанційного визначення місць витоків в міських підземних трубопроводах водо- і теплопостачання. До складу течешукача К-10.5м2 входять: системний блок на базі ноутбука зі спеціальним програмним забезпеченням (ПЗ) “Течеискатель корреляционный К-10.5” виносний радіоблок (ВРБ) (2 шт.); вібродатчик з магнітним тримачем (2 шт.); комплект аксесуарів. До програмного забезпечення включено режими відображення осцилограм вібросигналів, їх спектрів і взаємної кореляційної функції (ВКФ). Відмінною особливістю ПЗ є наявність формату автоматичного аналізу кореляційних функцій, в якому для підвищення достовірності та точності реалізовано параметричні методи [6, 7] визначення координат витоків.

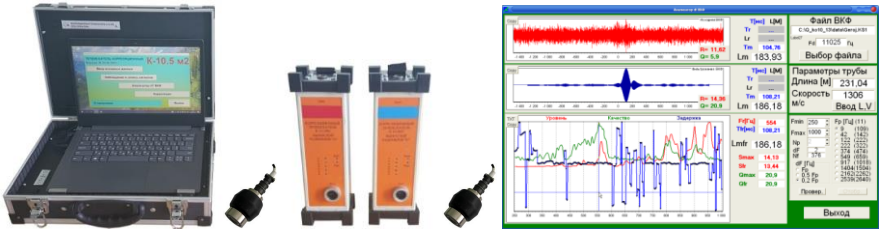


Рис.2. Параметричний кореляційний течешукач К-10.5.
Зліва направо: блок оператора, виносні радіоблоки з датчиками вібрації з магнітними утримувачами, формат параметричного аналізу кореляційних функцій

2. Корозійний моніторинг підземних трубопроводів теплових мереж.

Методика дистанційного обстеження металевих підземних трубопроводів з метою визначення місць та ступеня корозійного стоншення їх стінок [8] заснована на розробленому в ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України способі визначення координат неоднорідностей трубопроводів [9] з урахуванням багатохвильового характеру поширення вібросигналів на основі використання кореляційних параметричних обчислювальних методів, який полягає в цілеспрямованій просторово-частотній селекції домінуючих за потужністю акустичних хвиль у низькочастотному звуковому діапазоні.

Система активно-пасивного низькочастотного діагностування стану трубопроводів РАСТР [10] (рис.3.) складаються з двох підсистем: підсистеми реєстрації вихідних даних та підсистеми обробки вихідних даних. За допомогою системи РАСТР здійснюється ідентифікація параметрів моделі багатохвильового поширення вібросигналів уздовж ділянок підземних трубопроводів, що дозволяє виявляти місця та оцінювати ступінь корозійного стоншення стінок трубопроводів.

За результатами порівняння даних, отриманих за допомогою експериментальної системи РАСТР з фактичними місцями корозійних пошкоджень розритих трубопроводів, достовірність визначень місць пошкоджень становить близько 75%. Проведені дослідження підтвердили, що при використанні генератора тестового сигналу потужністю до 70 Вт забезпечується визначення місць корозійного стоншення на трубопроводах теплопостачання з канальною прокладкою довжиною до 200 м.

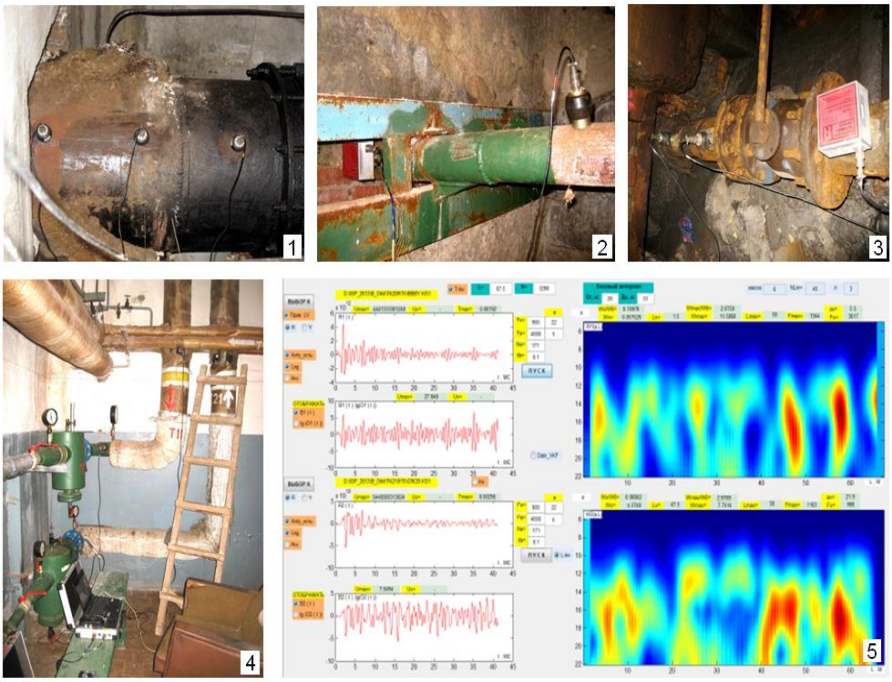


Рис.3. Приладовий комплекс корозійного моніторингу “РАСТР”.
1,2,3 – встановлення вібродатчиків та випромінювачів на трубопровід,
4 – вібрологер поруч із вібродатчиками встановленими на трубопроводі,
5 - формат аналізу корозійного стоншення

Мультипараметричний діагностичний зонд для внутрішньо-канального параметричного обстеження теплотрас [11] (рис.4.) дозволяє виявляти витоки трубопроводів, замулювання каналів, оцінювати стан їх тепло- і гідроізоляції та ін. Зонд може застосовуватися для визначення прилеглих до теплових камер ділянок з відомою «базовою» товщиною стінки трубопроводу при оцінці ступеня корозійного стоншення.

Функціональні можливості мультипараметричного зонда – обстеження теплових камер та трубопроводів у прилеглих каналах їх прокладання шляхом:

- дистанційного відеоспостереження за допомогою відеокамер;
- дистанційного вимірювання температури;
- дистанційного аналізу акустичного шуму.

Рис. 4. Мультипараметричний діагностичний зонд ДЗ-1

Впровадження практики дистанційної оцінки місць та ступеня корозійного стоншення стінок підземних трубопроводів з контрольними шурфовками дозволяє об'єктивно оцінити можливість та умови подальшої експлуатації ділянок трубопроводів: 1) коригувати допустимі робочі режими; 2) планувати послідовність перекладань ділянок, виключити факти перекладань таких що могли б працювати ще багато років; 3) перейти до виконання попереджувального точкового ремонту в місцях "критичного стоншення" до утворення просочувань та поривів. Застосування розроблених та представлених у роботі методів та засобів діагностики підземних теплових мереж дозволяє більш прицільно, оперативно, з меншими затратами усувати пошкодження. Проведення прицільних точкових, планово-попереджувальних робіт у літній період за результатами застосування системи РАСТР має суттєво знизити інтенсивність аварійно-відновлювальних робіт з усунення поривів теплотрас в опалювальний сезон, зменшити негативні наслідки від поривів та важкість підтримки трубопровідних мереж у робочому стані.

3. Вимірювання тепловтрат в трубопроводах цеpалізованого теплопостачання.

"**Методика визначення теплових втрат трубопроводів теплових мереж без відключень споживачів теплової енергії**" [12] призначена для визначення експериментально - розрахунковим шляхом величини теплових втрат через ізоляцію магістральних та підключених до них трубопроводів теплових мереж та розробки на їх основі нормованих експлуатаційних теплових трат. Запропоновано **спосіб** [13] визначення теплових втрат на однорідній ділянці трубопроводу теплових мереж з відгалуженнями в експлуатаційних режимах роботи. Для практичної оцінки теплових втрат розроблені спеціалізовані реєстратори температури (рис.5.).

Рис.5. Восьмиканальний реєстратор температури:
1 - накладний цифровий датчик температури з магнітним утримувачем,
2 - блок оператора, 3 - встановлення утеплювача на датчики температури

Основні функції розроблених апаратно-програмних засобів:
- високоточне вимірювання перепадів температури теплоносія на кінцях ділянок трубопроводів у робочих режимах їх експлуатації;
- визначення тепловтрат на розгалужених ділянках теплових мереж без відключення споживачів.

Особливо слід зазначити, що розроблена технологія не вимагає наявності врізних гільз для встановлення датчиків температури. Вимірювання здійснюються за допомогою накладних датчиків з магнітними утримувачами. Це суттєво розширює сферу застосування розробленого комплексу.

Отримані результати можуть бути корисні в суміжних областях енергетики, нафтохімії, промислового виробництва.

1. Владимирський О.А., Владимирський І.А. Науково-технічний твір “Технологія визначення місць розгерметизації підземних трубопроводів з урахуванням ускладнюючих факторів”. **Свідоцтво** про реєстрацію авторського права на службовий твір № 120177 від 28.06.2023р. ІПМЕ ім. Г.Е.Пухова НАН України. Публ. 31.07.2023р, Бюл. №76.

2. Владимирський О.А., Владимирський І.А. Комп'ютерна програма “Термоакустический течеискатель”. **Свідоцтво** про реєстрацію авторського права на службовий твір № 60778 від 23.07.2015р. /ІПМЕ НАН України. Публ. 30.10.2015р, Бюл. № 38.

3. Владимирський О.А., Криворучко І.П. Пристрій для установки вібродатчика з магнітним тримачем на ґрунт при пошуку витоків. **Патент** на корисну модель № 142320; G01M 3/00, F17D 5/02. Публ. 25.05.2020р., Бюл. №10.

4. Владимирський О.А., Владимирський І.А. Комп'ютерна програма “Течеискатель корреляционный К-10.5”. (Версия В.10.15-2017)” (“К-10.5”). **Свідоцтво** про реєстрацію авторського права на твір № 73606 від 29.08.2017р. Публ. 27.10.2017р., Бюл. №46.

5. Владимирський О.А., Владимирський І.А. Параметричний кореляційний течешукач К-10.5М3. Керівництво з експлуатації. К105М3-1.00.04 КЕ. **Свідоцтво** про

реєстрацію авторського права на службовий твір № 110118 від 08.12.2021р. Україна. ІПМЕ ім. Г.Е.Пухова НАН України. –с.31. Публ. 31.01.2022р, Бюл. №68

6. Владимирський О.А., Владимирський І.А. Параметричний кореляційний спосіб визначення координат витоків трубопроводів. **Патент** на корисну модель № 144444; G01M 3/24, G01M 3/18, F17D 5/02. Публ. 25.09.2020р., Бюл. №18.

7. Владимирський О.А., Владимирський І.А. Параметричний кореляційний спосіб визначення координат пошкоджень трубопроводів. **Патент** на корисну модель № 149956; G01M 3/24, G01M 3/18, F17D 5/02. Публ. 15.12.2021, Бюл. №50.

8. Владимирський О.А Владимирський І.А. Науковий твір "Методика диагностического обследования трубопроводов тепловых сетей, находящихся в эксплуатационных режимах, с применением регистратора акустических сигналов РАСТР-1. Редакция первая". **Свідоцтво** про реєстрацію авторського права на службовий твір № 95280 від 13.01.2020р. ІПМЕ ім. Г.Е. Пухова НАН України. Публ. 31.03.2020р, Бюл. № 57.

9. Владимирський О.А Владимирський І.А. Спосіб визначення координат неоднорідностей трубопроводів. **Патент** на корисну модель № 153487; G01M 3/24 (2006.01), G01M 3/18 (2006.01), F17D 5/02 (2006.01). Публ. 12.07.2023, Бюл. №28.

10. Владимирський О.А., Владимирський І.А. Комп'ютерна програма "Многоканальный регистратор "Виброллогтер – 1.03" системы активно-пассивного низкочастотного диагностирования состояния металла трубопроводов теплосети "РАСТР-1" ("Виброллогтер-1.03"). **Свідоцтво** про реєстрацію авторського права на службовий твір №60777 від 23.07.2015р. /ІПМЕ НАН України. Публ. 30.10.2015р., Бюл. №38.

11. Владимирський О.А Владимирський І.А. Мультипараметричний зонд для обстежень теплових мереж. **Патент** на корисну модель № 139964; G02B 23/24, H04N 7/18. Публ. 27.01.2020р., Бюл. № 2.

12. Безпрозваній О.А., Владимирський І.А. Методика визначення теплових втрат трубопроводів теплових мереж без відключень споживачів теплової енергії. **Свідоцтво** про реєстрацію авторського права на твір №95279 від 13.01.2020р. Публ. 31.03.2020р., Бюл. №57.

13. Владимирський О.А Владимирський І.А. Спосіб визначення тепловтрат крізь ізоляцію теплових мереж без відключення споживачів теплової енергії. **Патент** на корисну модель № 145743; G01K 17/08, G01K 3/04. Публ. 28.12.2020, Бюл. №24.

О.А. Владимирський, І.А. Владимирський

ПРО ВИБІР ПАРАМЕТРІВ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ТРАКТУ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ

1. Постановка задачі

Потреба оптимального вибору рівня вхідних сигналів і розрядності квантувачів у кореляторах виникає при вирішенні широкого кола завдань, наприклад, при визначенні координат джерел сигналів, у тому числі деяких дефектів обладнання АЕС, напрямку на джерела сигналів, при спектральних вимірюваннях із застосуванням оцінок кореляційних функцій. Ця потреба викликана впливом на одержувані оцінки взаємних кореляційних функцій (ВКФ) нелінійних спотворень сигналів внаслідок їх аналого-цифрового перетворення та пов'язаної з цим необхідністю обмеження величини цього впливу. Як таку величину розглядатимемо відносну похибку ВКФ квантованих за рівнем гаусових сигналів у вигляді

$$P(N_r, q) = \frac{R_{xy}(\tau_0) - B_{xy}(N_r, q, \tau_0)}{R_{xy}(\tau_0)} 100\% \ , \qquad q = d / \sigma_{кв} \ ,$$

де: $R_{xy}(\tau_0)$ - максимальне значення ВКФ неквантованих за рівнем сигналів $x(n)$ и $y(n)$, $B_{xy}(N_r, q, \tau_0)$ - взаємна кореляційна функція тих же сигналів, але квантованих за рівнем, $\sigma_{кв.}$ – значення середнього квадрата центрованих сигналів $x(n)$ і $y(n)$ перед квантувачами, *d*- розмір шкали квантувачів.

Виділемо наступні задачі, які виникають при проектуванні цифрового кореляційного пристрою.

- Вибір такої розрядності N_r кантувачів, яка дозволить отримати оцінку кореляційної функції з заданою максимально допустимою похибкою $\left|P(N_r, q)\right|_{доп.}$.

- Визначення такого припустимого діапазону зміни q сигналу на входах квантувачів, при якому похибка $\left|P(N_r, q)\right|$, обумовлена обмеженою величиною *d*, не перевищує задану максимально допустиму величину.

Вплив симетричного квантувача на похибку оцінки кореляційної функції гаусових сигналів розглядається у ряді робіт [1, 2, 3, 4]. У [1] наведені відомості для практичного вибору N_r і *q*. Однак ці відомості не містять повної інформації про діапазон зміни *q*, у межах якого похибка не виходить за встановлені межі. Відомості наведено для $N_r \le 8$ і закономірність поведінки $P(N_r, q)$ для $N_r > 8$ не простежується. Крім того, доцільно врахувати асиметрію шкали квантувачів.

Нагадаємо, що асиметрія виникає після вирахування нульового рівня з парного числа рівнів квантування.

2. Отримання робочої залежності

Взаємну кореляційну функцію (ВКФ) стаціонарних квантованих випадкових сигналів можна представити у вигляді [3]

$$B(\tau)=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} f(x)f(y)w(x,y,\tau)dx\,dy\ , \qquad (1)$$

де: $f(x)$ и $f(y)$ - нелінійні характеристики квантувачів, $w(x,y,\tau)$ - двовимірна функція густини розподілу імовірності квантованих сигналів.

У [4] для розподілу змінних інтегрування використаний розклад функції густини розподілу ймовірностей через поліноми Ерміта $\{H_\gamma(x)\}$, у [2] - через похідні інтегралу імовірності $\{\Phi^{(\gamma)}(x)\}$, після чого інтеграл (1) береться по частинах [2,4]. Цей підхід візьмемо за основу для одержання вираження кореляційної функції сигналів на виході несиметричного кантувача з обмеженим числом рівнів квантування [5,6]. Приймемо діапазон зміни цифрових сигналів на виході квантувача $-\frac{N_{кв}}{2}\ldots\frac{N_{кв}}{2}-1$, де $N_{кв}=2^N r$. Тоді шуканий вираз набуває вигляду:

$$B(\tau)=\delta^2\cdot\sum_{\gamma=1}^{\infty}\frac{r_s^{\gamma}(\tau)}{\gamma!}\sum_{k=1}^{N_{кв}/2-1}a(\gamma,k)\sum_{i=1}^{N_{кв}/2-1}b(\gamma,i)+\bar{m}_x\bar{m}_y\ , \qquad (2)$$

$$a(\gamma,k)=\Phi^{(\gamma)}(\alpha_1)+\Phi^{(\gamma)}(\alpha_2)+\Phi^{(\gamma)}(\alpha_3),$$

$$b(\gamma,i)=\Phi^{(\gamma)}(\beta_1)+\Phi^{(\gamma)}(\beta_2)+\Phi^{(\gamma)}(\beta_3)\ ,$$

$$\alpha_1=\frac{(k-0{,}5)\delta-m_x}{\sigma_x},\ \alpha_2=-\frac{(k-0{,}5)\delta+m_x}{\sigma_x},\ \alpha_3=\frac{(1-N_{кв})\delta+2m_x}{2\sigma_x}, \qquad (3)$$

$$\beta_1=\frac{(k-0{,}5)\delta-m_y}{\sigma_y},\ \beta_2=-\frac{(k-0{,}5)\delta+m_y}{\sigma_y},\ \beta_3=\frac{(1-N_{кв})\delta+2m_y}{2\sigma_y},$$

$$\bar{m}_x=(1/\sigma_x)\int_{-\infty}^{\infty}f(x)\Phi^{(1)}\left(\frac{x-m_x}{\sigma_x}\right)\mathrm{d}x,$$

$$\bar{m}_y=(1/\sigma_y)\int_{-\infty}^{\infty}f(y)\Phi^{(1)}\left(\frac{y-m_y}{\sigma_y}\right)\mathrm{d}y, \qquad (4)$$

де: m_x и m_y - середнє значення сигналів на вході квантувача; $r_s(\tau)$ – нормована ВКФ сигналів *x(t)* і *y(t)*, які приймемо стаціонарно зв'язаними гаусовими випадковими процесами; σ_x і σ_y - значення середніх квадратів відповідно сигналів $x(t)$ і $y(t)$; δ - інтервал квантування за рівнем.

$$x(t) = s(t) + p_1(t)\ ,\ y(t) = s(t-\tau_0) + p_2(t) \qquad (5)$$

де: $s(t), p_1(t), p_2(t)$ - попарно не корельовані сигнали, $N_{кв} = 2^{Nr}$ - число рівнів квантування, $f(x)$ і $f(y)$ - нелінійні, " східчасті " характеристики кантувачів, обумовлені обмеженістю числа рівнів квантування та динамічного діапазону кантувачів сигналів.

В подальшому положимо, що

$$m_x = m_y = 0\ ,\ \bar{m}_x = \bar{m}_y\ ,\ \sigma_x = \sigma_y = \sigma_{кв.}\ . \qquad (6)$$

Після виділення у підінтегральних вираженнях (4) непарних частин, отримуємо

$$\bar{m}_x = \left(\delta / \sigma_{кв.}\right) \int_{-\infty}^{-d/2} \Phi^{(1)}\left(\frac{x}{\sigma_{кв}}\right) \mathrm{d}x\ . \qquad (7)$$

Вирази (3) перетворюється до більш загальному вигляду, якщо врахувати, що

$$\delta/\sigma_{кв} = q/\left(2^{Nr} - 1\right)\ ,\ q = d/\sigma_{кв}\ . \qquad (8)$$

З урахуванням (6) і (8), вирази (3) приймають остаточний вигляд

$$\alpha_1 = \left(k - 0{,}5\right)\frac{q}{2^{Nr} - 1},\ \alpha_2 = -\left(k - 0{,}5\right)\frac{q}{2^{Nr} - 1},$$

$$\alpha_3 = \left(1 - N_{кв}\right)\frac{q}{2^{Nr} - 2}.$$

Вираз (7) перетворимо до більш простого виду

$$\bar{m}_x = -\frac{d}{2^{Nr} - 1}\left(0{,}5 - \Phi(q/2)\right)\ .$$

Значення величини $\Phi(q/2)$ можна знайти з таблиць значень інтегралу Лапласа [7].

Оскільки величина $\bar{m}_x$ не залежить від $r_s(\tau)$, то вплив $\bar{m}_x$ на $B(\tau)$ можна усунути шляхом центрування $B(\tau)$. Виходячи з цього, величину $\bar{m}_x$ (і $\bar{m}_y$) в подальшому враховувати не будемо.

3. Отримання кількісної відповідності похибки оцінки ВКФ параметрам квантування сигналів

У розрахунках за формулою (2), при підсумовуванні за γ, виконувалась умова $\gamma_{\max} \geq 3000$.

За результатами розрахунків складено таблиці відповідності припустимого діапазону вхідних сигналів, розрядності квантувачів і максимально допускаємої відносної похибки отриманої кореляційної функції [5,6]. Таблиця 1 складена для $r_s(\tau_0)$=1.

У таблиці наведено діапазон q, у межах якого $|P(Nr,q)|$ не виходить за встановлену граничну величину. Прочерки (-) у таблиці позначають, що припустимий діапазон змін q набагато менший ніж 1. Зі збільшенням N_r на одиницю припустимий діапазон q розширюється приблизно у двічі. Перевірено, що ця закономірність виконується і для $N_r > 10$.

Таблиця 1 призначена для практичного застосування у розробках кореляційних пристроїв, оскільки дозволяє узгоджено вибирати посилення сигналів перед АЦП із числом його розрядів залежно від необхідної максимально допустимої (граничної) похибки оцінки ВКФ, що отримується. Пояснимо, що при $r_s(\tau_0) < 1$ припустимі діапазони q розширюються [5,6], тому таблицю 1 можна використовувати як найгірший випадок.

Таблиця 1. Допустимий діапазон сигналів на входах квантувачів при $r_s(\tau_0)=1$.

Nr	Гранична похибка $\|P(Nr,q)\| \leq$ [%]										
	30	10	1	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8
2	3…6	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	3…30	4…16	6	-	-	-	-	-	-	-	-
6	3…127	4…70	6…23	7…8	-	-	-	-	-	-	-
8	3…519	4…282	6…91	7…32	9…11	10…11	11	-	-	-	-
9	3…1054	4…572	6…183	7…64	9…22	10…22	11…22	11…22	12…22	13…22	14…22
10	3…2110	4…1163	6…375	7…129	9…44	10…44	11…44	11…43	12…43	13…43	14...43

Слід зауважити, що йдеться про похибку лише внаслідок зсуву оцінки ВКФ. Врахування її статистичної похибки – тема іншої доповіді.

1. Голованов А.А., Чуркин В.В. Погрешность оценки корреляционной функции квантованного по уровню случайного процесса. Радиоэлектроника, том 28, N11, 1985. -с.74-76.

2. Куликов Е.И. Методы измерения случайных процессов. Москва. Радио и связь. 1986. -271с.

3. Левин Б.Р. Теоретические основы статастической радиотехники. Москва. Радио и связь. 1989. -654с.

4. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. Москва. Радио и связь. 1971.-328с.

5. Владимирский А.А., Владимирский И.А. Оценка некоторых погрешностей корреляционного течеискателя. Зб. наук. праць. ІПМЕ НАНУ., Київ, 1999. Вип.2. с.118-126.

6. Владимирский А. А., Владимирский И. А. Методика учёта инструментальных погрешностей при разработке корреляторов. Электронное моделирование. 2008. 30 (1). С. 71-88.

7. Сигорский В.П.. Математический аппарат инженера. –Техніка. Киев. 1976 - 753с.

В.А. Дюков, О.В. Шавлаков

ДІАГНОСТИКА ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС. ПОТОЧНИЙ СТАН

Державне підприємство «Національна енергогенеруюча компанія Енергоатом» (ДП НАЕК «Енергоатом») у своєму складі експлуатує 15 енергоблоків радянської конструкції із проектним терміном експлуатації 30 років. На цей час проектний термін експлуатації 13 енергоблоків сплинув. Відповідно до світової практики компанія, виконуючи нормативні вимоги регулюючого органу, веде успішну діяльність із продовження терміну експлуатації енергоблоків.

Основною вимогою до отримання ліцензії на продовжений термін експлуатації є відповідність рівня ядерної та радіаційної безпеки енергоблоку нормам і правилам, що діють в атомній енергетиці. З метою приведення такого рівня до вимог норм та правил була розроблена та успішно реалізується «Комплексна зведена програма підвищення рівня безпеки енергоблоків АЕС» (КЗППБ). Ряд заходів КЗППБ належать до напрямку діагностики та об'єднані у комплексну систему діагностики (КСД).

У сучасній світовій атомній енергетиці неможливо досягти високої ефективності експлуатації енергоблоків без впровадження широко розгалуженої діагностики стану обладнання та систем. Практика показує, що найбільшим коефіцієнтом використання встановленої потужності (КВВП) досягають компанії, які оптимізують роботу енергоблоків з використанням систем діагностики. Для підвищення ефективності свого застосування в рамках компанії розрізнені заходи КСД вимагали об'єднання в стрункy галузеву систему. З цією метою у 2017 році було розроблено та затверджено документ «Галузевий комплекс технічної діагностики (КТД) обладнання АЕС. Концепція створення», а на початку 2018 року – план заходів щодо створення та впровадження галузевого КТД. У подальших роботах з реалізації Концепції було задіяно виконавчу дирекцію з виробництва компанії, відокремлені підрозділи «Науково-технічний центр» (ВП НТЦ) та КБ «Атомприлад», а також Сєвєродонецьке НВО «Імпульс».

Впровадження КТД надає можливість оптимізувати технічне обслуговування та ремонт обладнання, підвищити надійність його експлуатації, перейти до планування ремонту обладнання, виходячи з його технічного стану, об'єктивно оцінювати та керувати його ресурсом.

Концепція передбачає реалізацію діагностики у трьох рівнях: рівень енергоблоку, станційний рівень та рівень галузевого діагностичного центру. На кожному рівні вирішуються свої завдання:

- Рівень енергоблоку
    - ✓ діагностика основного обладнання на базі локальних систем, об'єднаних у комплексну систему діагностики (КСД)

- ✓ збір, обробка інформації від локальних систем та передача даних на станційний рівень

- Станційний рівень
  - ✓ збір інформації , отриманої від мобільних систем та блокових КОД
  - ✓ накопичення, інтегральна обробка та передача даних до діагностичного центру компанії
- Галузевий діагностичний центр
  - ✓ експертна діагностика станційного обладнання та систем
  - ✓ взаємодія із зовнішніми експертними центрами
  - ✓ накопичення та аналіз діагностичних даних на галузевому рівні бази даних та бази знань
  - ✓ напрацювання та вдосконалення методів, програм та алгоритмів діагностики.

З метою забезпечення функціонування КТД передбачається створення відповідних структурних підрозділів компанії, а також захищеної системи передачі даних.

Складові частини КТД компанії на сьогоднішній день частково реалізовані лише на рівні енергоблока. Прикладом є КСД. До складу КСД входять вже впроваджені на енергоблоках наступні субкомплекси:

- верхнього рівня КСД
  - ✓ віброшумової діагностики реакторної установки
  - ✓ контролю протікань теплоносія першого контуру
  - ✓ віброконтролю та діагностики головних циркуляційних насосів
  - ✓ виявлення вільних та слабозакріплених предметів
  - ✓ переміщення трубопроводів першого контуру.

Передбачається розширення КСД із включенням до її складу підсистем

- ✓ режимно-параметричної діагностики
- ✓ діагностики арматури відповідальних систем
- ✓ контролю механічних величин турбоагрегату та турбоживильних насосів
- ✓ контролю та діагностики керуючого комплексу технічних засобів
- ✓ діагностики приводів системи управління та захисту реакторної установки

Номенклатура локальних систем діагностики уточнюватиметься на етапі технічного проекту КТД. Також планується оснащення КТД субкомплексом мобільних систем оперативної діагностики.

Інформаційне забезпечення КТД реалізується шляхом створення інтегрованого інформаційного середовища на основі розподіленої бази даних обладнання з єдиною структурою. Субкомплекси КТД укомплектовуються системним та прикладним програмним забезпеченням.

В основу побудови та функціонування КТД покладено схему основних виробничих процесів експлуатації АЕС, наведену на рисунку 1:

Рисунок 1 - Схема основних виробничих процесів експлуатації АЕС стосовно діагностики

Система діагностики енергоблоку не обмежується елементами, що входять або плануються до включення до складу КСД. Слід згадати впроваджену систему аудивізуального контролю стану важливого для експлуатації енергоблоку обладнання, розташованого у важкодоступному місці, наприклад, під гермооболонкою реакторного відділення. Хорошим прикладом роботи з кооперації, розширення та практичного застосування діагностики є вирішення проблеми контролю та прогнозу стану вузлів приварювання колекторів парогенератора до головного циркуляційного трубопроводу першого контуру реакторної установки (так званий стик №111). До вирішення завдання було залучено фахівців СНВО «Імпульс» та Рівненської АЕС.

У межах компанії передбачається поетапне використання Концепції КТД. В якості пілотного проекту розглядається Рівненська АЕС як найбільш підготовлена до реалізації.

На жаль, через об'єктивні та суб'єктивні обставини просування планів щодо впровадження Концепції важко оцінити як задовільне. Серед таких обставин, що вимагають рішення, важливо зазначити такі:

- ✓ недостатнє фінансування заходів плану щодо впровадження Концепції
- ✓ відсутність відповідної документації, включаючи нормативну
- ✓ відсутність персоналу необхідної кваліфікації
- ✓ відсутність організаційної структури, насамперед у складі дирекції компанії
- ✓ недостатня номенклатура, наявних технічних та програмних засобів, необхідних для успішної реалізації Концепції
- ✓ недоліки у реалізації принципу єдиної технічної політики компанії.

В якості першочергових кроків доцільно:

- ✓ переглянути план заходів щодо створення та впровадження галузевого КТД
- ✓ приступити до створення відповідної організаційної структури
- ✓ з метою забезпечення джерелом фінансування включити до складу КСППБ найбільш важливі заходи, що входять до КТД
- ✓ відновити роботу із положенням про раду.

1. «Комплексна (зведена) програма підвищення рівня безпеки енергоблоків атомних атомних електростанцій», затверджена постановою КМУ №1270 07.12.2011.

2. «Галузевий комплекс технічного діагностування обладнання АЕС. Концепція створення», затверджений 01.12.2017.

3. «План заходів щодо створення та впровадження галузевого комплексу технічного діагностування обладнання АЕС», затверджений 28.02.2018.

В.А. Дюков, О.А. Владимирський, В.О. Артемчук

ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА ВИГОРОДКИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ВВЕР-1000

Вигородка ядерної установки (далі вигородка) є конструктивним елементом внутрішньокорпусних пристроїв реактора. Місце розташування вигородки показане на рис.1.

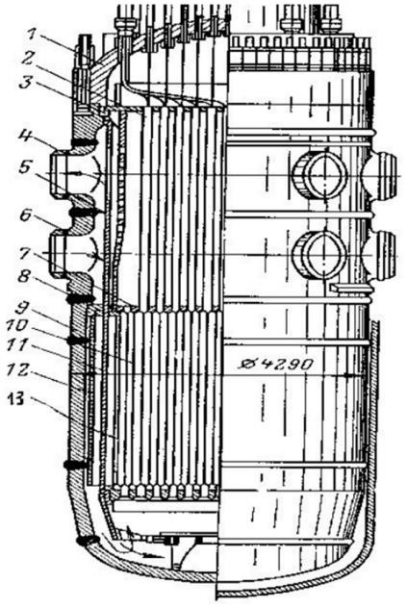


Рис.1. Корпус і внутрішньокорпусні пристрої реактора ВВЕР-1000:

1 – змінна кришка корпусу;
2 – направляючі труби для органів і приводів СУЗ;
3 – притисний циліндр;
4 – патрубок виходу теплоносія;
5 – розділова обичайка;
6 – патрубок входу теплоносія;
7 – притискна плита;
8 – обмежувальній пояс;
9 – корпус реактора;
10 – касети з твелами;
11 – корзина (Шахта) активної зони;
12 – тепловий захист корпусу;
13 – вигородка.

Функції вигородки:

Формування активної зони;

- Дистанціювання периферійних касет тепловиділяючих збірок;
- Захист корпусу від нейтронного потоку активної зони.

При обґрунтуванні терміну експлуатації ядерного енергоблока вигородка є критичним елементом у зв'язку з найбільш важкими умовами роботи під радіаційним опроміненням активної зони, механічних та термодинамічних навантажень, які поступово приводять до формозмін внутрішньої поверхні вигородки, що може привести до непоправних порушень в роботі реактора. Тому діагностування технічного стану вигородки є актуальною. На практиці необхідно контролювати внутрішні розміри конструкції вигородки.

Об'єкт вимірювання представляє собою захисну оболонку циліндричної форми висотою 3470 мм, яка виготовлена зі сталі 08Х18Н10Т та має масу

35 т. Внутрішня конфігурація вигородки повторює профіль граней периферійних касет активної зони з мінімальним зазором, створюючи таким чином умови для протікання теплоносія і відведення тепла від периферійних тепловиділяючих збірок. Демонтаж і виїмка шахти реактора можлива тільки разом з вигородкою.

Умови проведення робіт на об'єкті вимірювання:

- виключно в період ремонтних робіт ядерної установки, коли вона розвантажена від ядерного палива;
- необхідність фізичного захисту від іонізуючого випромінювання людей та обладнання;
- знаходження персоналу в зоні проведення робіт можливе тільки короткочасно;
- внутрішньокорпусна зона заповнена технічною водою з розчином борної кислоти. Рівень заповнення 10-12 м;
- загальна тривалість робіт (транспортних, монтажних, підготовчих і вимірювальних) може тривати не більше 48 годин;
- температура конструкції реактора, а також борованої води в середині зони вимірювання 30-45 ºС;
- обов'язкова дезактивація вимірювального обладнання після проведенняробіт засобами і технологіями, прийнятими на АЕС;
- необхідність дотримання вимог нормативного документа «Інструкція про порядок на розущільненому обладнанні технологічних систем реакторного відділення», яка діє на АЕС.

Внутрішня поверхня вигородки має шість симетричних секторів з кроком 60°. Кожен сектор має 15 граней. Всього граней 90. Кожна грань сектору має паралельну грань, яка симетрично розташована у протилежному секторі.Найбільш інформативними параметрами, з точки зору зміни форми вигородки, є відстані між симетричними гранями. Цей фактор покладено в основу метода вимірювань. На рис.2. наведено горизонтальний перетин вигородки.

Враховуючи конструкцію вигородки та вибраний метод вимірювання в одному горизонтальному перетині вимірюється 15 розмірів з кроком 100 мм по вертикалі. Кількість горизонтальних перетинів дорівнює 37. Сумарна кількість необхідних вимірів становить 555.

Схема вимірювань передбачає сканування вигородки з кроком 100 мм по вертикалі починаючи з нульового положення відносно осі реактора з подальшим поворотом вимірювального модуля на 60^0 за стрілкою годинника та потім на 60^0 проти.

З метою виконання вищевикладених вимог було задіяно вимірювальний комплекс ВК-5. Головними складовими частинами його є модуль вимірювальний (МВ) та пульт оператора (ПО). Модуль вимірювальний (Рис.3.) змонтовано на спеціальній рамі, на якій розміщено 5 вимірювальних

лінійок (6), на торцях яких розміщені перетворювачі відстані, опорна лінійка, блоки управління, інклінометр, засоби позиціювання МВ, датчики температури, відеокамери (ВК1, …, ВК4), чотири блоки роликових опор з пневматичним приводом (4).

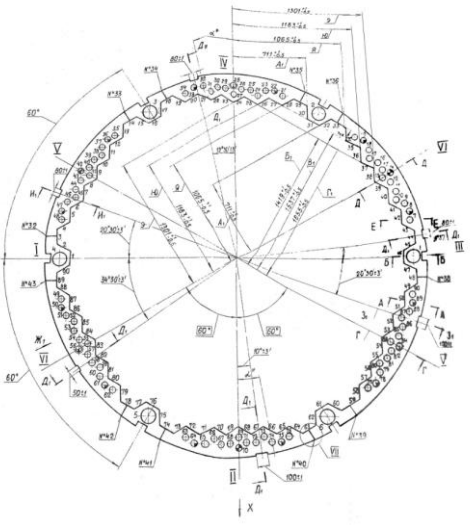


Рис.2. Вигородка. Горизонтальний перетин

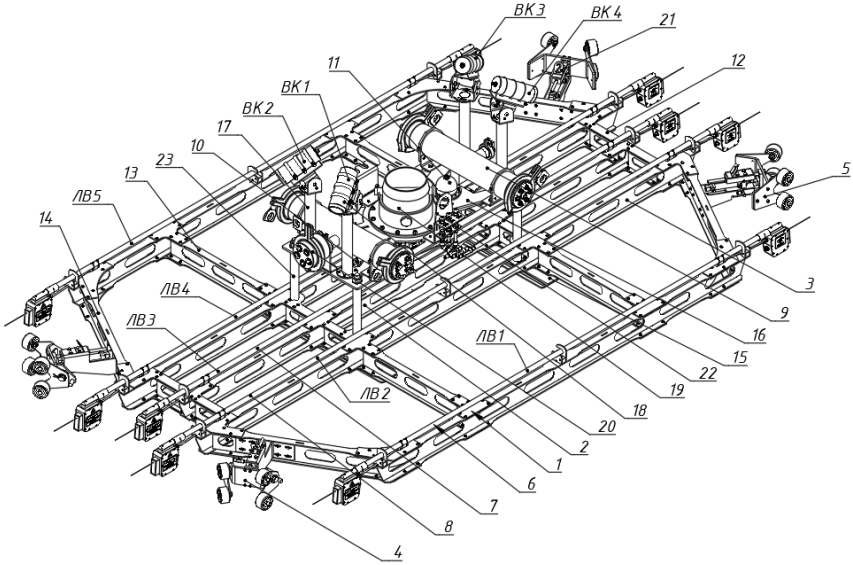


Рис.3. Модуль вимірювальний (МВ)

Пульт оператора призначено для збору даних від МВ, їх візуалізацію, архівацію та завантаження на зовнішній накопичувач, управління всіма системами ВК-5, спостереження на моніторі за розміщенням МВ в зоні проведення вимірювань, та спостереження за кабелями та пневматичними шлангами, що занурюються у реактор разом з МВ.

Обробка результатів вимірювання здійснюється автоматично програмою управління комплексом. Виконується статистична обробка вимірювальних даних для зменшення випадкової складової похибок. Також враховуються систематичні складові похибок викликані впливом температури,кутовими відхиленнями МВ в горизонті, зміни оптичної щільності робочого середовища в реакторі.

Розробка конструкції ВК-5, методики вимірювання, виготовлення дослідних зразків виконано ВП «Конструкторське бюро атомного приладобудування та спеціального обладнання"(ВП «КБ «Атомприлад»).

Випробування та вимірювання в реальних умовах на блоках N4 та N5 ЗАЕС спільно з ВП «НТЦ» з залученням персоналу станції.

Аналітична обробка результатів виконана ВП «НТЦ». Зафіксовані формозміни вигородок блоків некритичних розмірів. Результати вимірювань зараховані при вирішенні питань продовження експлуатації блоків ЗАЕС понад проектний термін.

Розробка та випробування ВК-5 виконані в рамках комплексної (зведеної) програми підвищення рівня безпеки енергоблоків атомних електростанцій, яка затверджена постановою КМУ №1270 від 07.12.2011р.

Апробація ВК-5 пройшла успішно, в той же час виявлені питання, які потребують подальшого удосконалення елементної бази МВ з метою підвищення радіаційної стійкості системи. Також доцільно провести науково-дослідну роботу по визначенню меж остаточної радіації в розчині борової кислоти та на внутрішніх стінках вигородки, під час штатних ремонтних робіт.

Актуальною залишається, зокрема, задача розроблення науково-обґрунтованої методики коректних вимірювань геометричних розмірів вигородки активної зони ядерних реакторів АЕС в умовах деградації характеристик датчиків і наявності перешкод, а також визначення та формування вимог до спеціальних технічних засобів, які призначені для використання у процесі виконання заходів продовження термінів експлуатації енергоблоків АЕС понадпроектний строк.

У рамках виконання НДР "ВИГОРОДКА" в ІПМЕ ім. Г.Є.Пухова НАН України проведено аналіз результатів випробувань наявних вітчизняних та зарубіжних напрацювань [5] по темі, що розглядається.

Рекомендовано перспективну систему будувати на основі конструкції стабілізованої платформи – доопрацьованого модуля вимірювальної системи ВК5. Це вдалий, продуманий засіб доставки, кутового та лінійного

переміщення, точного позиціонування засобів вимірювання всередині вигородки, добре адаптований до штатних засобів, що є на АЕС.

Застосування лазерних тріангуляційних перетворювачів для вимірювання хорд вигородки слід визнати малоперспективним. Дистанційні вимірювання неможливі через наявність каламутного рідкого середовища, а поблизу стінки вигородки є висока радіація. Вибір більш стійких до радіації лазерних вимірювачів та створення захисного бар'єру може виявитися дорогим і малоефективним.

З урахуванням наявного досвіду розробок групи технічної діагностики ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України пропонується створення вимірювачів хорд вигородки на основі інкрементної магнітної системи. До складу системи входить сенсорна головка та магнітна стрічка. Магнітна стрічка наклеюється на зондуючий стрижень. Поворотно-поступальний рух зондувального стрижня здійснюється за допомогою пневматичного приводу. При переміщенні зондувального стрижня магнітні мітки реєструються сенсорною головкою та підраховуються зовнішнім контролером. Роздільна здатність системи, наприклад, Limes LI50/B2 – 5 мкм є достатньою для розв'язуваного завдання. Відсутність оптичної системи в Limes LI50/B2 дозволяють її належним чином екранувати від вигородки та розмістити на суттєвому віддаленні від неї за рахунок використання довгого зондувального стрижня. Цифровий вихідний сигнал сенсорної головки може бути переданий кабелем за межі ВКУ.

Запропоновані технічні рішення дозволяють суттєво підвищити радіаційну стійкість вимірювального комплексу та приблизно в 3 рази підвищити точність вимірювання геометричних розмірів вигородки.

1. «Галузевий комплекс технічного діагностування обладнання АЕС, Концепція створення", затверджений 01.12.2017.

2. Дюков В.А. Досвід розробки конструкції системи контролю розмірів вигородки ядерного реактора. Збірник матеріалів XII Науково-практичної конференції молодих вчених то спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Е. Пухова НАН України м. Київ, 17 травня 2023р./ ІПМЕ ім. Г.Е. Пухова НАН України. – с.124-126.

3. Інструкція про порядок робіт на розущільненому обладнанні технологічних систем реакторного відділення. ЗАЕС 2015.

4. Комплексна (зведена) програма підвищення рівня безпеки енергоблоків атомних електростанцій затверджена постановою КМУ N1270 від07.12. 2011.

5. В.А. Дюков, О.А. Владимирський, В.А. Артемчук. Аналіз результатів випробувань систем вимірювання геометрії вигородки реактора ВВЕР-1000. Безпека енергетики в епоху цифрової трансформації, V науково-практична конференція Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова Національної академії наук України : матеріали (Київ, 22 листопада 2023 р.). Київ : ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, -с28-31.

В.А. Дюков, О.А. Владимирський, І.А. Владимирський

ПРО ПРОБЛЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТРУБНИХ ПУЧКІВ ПАРОГЕНЕРАТОРІВ ПГВ-1000М

Одним із основних елементів реакторної установки АЕС є парогенератор. Сучасна вітчизняна реакторна установка типу ВВЕР-1000 має чотири петлі циркуляції теплоносія першого контуру. У кожній петлі циркуляції теплоносія встановлений парогенератор ПГВ-1000М - горизонтальна конструкція із зовнішнім діаметром корпусу – 42 м, довжиною 14,5 м та масою близько 320 тонн, основною функцією якого є вироблення сухої насиченої пари за рахунок тепла, що переноситься в парогенератор з активної зони ядерного реактора теплоносієм першого контуру.

Парогенератор для АЕС з реакторами типу ВВЕР є рекуперативним теплообмінним апаратом. Теплоносій першого контуру температурою понад 300°С з ядерного реактора гарячим трубопроводом надходить у гарячий колектор парогенератора, з якого теплоносій надходить у трубний пучок теплообмінних трубок (ТОТ), який скомпонований з U-подібних змійовиків, і далі - в холодний колектор з якого по трубопроводу теплоносій відкачується головним циркуляційним насосом у ядерний реактор. Холодна вода другого контуру, що надходить у внутрішній об'єм парогенератора, нагрівається ТОТ до пароутворення. Цей процес супроводжується накопиченням на теплообмінній поверхні ТОТ відкладень продуктів корозії, що надходять з теплоносієм, і концентруванням в них корозійно-активних домішок. У міру зростання товщини відкладень концентрація хлоридів в них зростає, досягаючи у поверхні ТОТ критичних значень, при яких відбувається руйнування захисної оксидної плівки на сталі, яка є конструкційним матеріалом ТОТ. Виникають та розвиваються локальні дефекти металевої поверхні. Корозійне розтріскування матеріалу призводить до виходу з ладу ТОТ. Такий розвиток подій становить дуже серйозну загрозу безпеці. Враховуючи вищезазначені потенційні загрози безпеці експлуатації АЕС, розробка та впровадження методів та технічних засобів ефективного діагностування технічного стану трубних пучків теплообмінних трубок парогенераторів є вкрай актуальним завданням. Результати діагностування повинні бути використані для оцінки їх технічного стану, визначення їх залишкового ресурсу та формування коректних та обґрунтованих управлінських рішень щодо продовження їх експлуатації.

Аналізуючи світовий досвід в контексті технічних засобів діагностування пошкоджень труб парогенераторів ядерної установки ВВЕР-1000, варто відзначити, що недоліки конструкційних матеріалів теплообмінних трубок (ТОТ) парогенераторів вітчизняних реакторних установок типу ВВЕР-1000, виявилися в процесі експлуатації. Величезний обсяг досліджень та технічних заходів, у тому числі і пов'язаних із забезпеченням необхідної якості водно-

хімічного режиму другого контуру та удосконаленням систем очищення теплоносія до кардинального вирішення проблеми не призвів. У процесі експлуатації вітчизняних парогенераторів їх ТОТ переслідує деградація, що супроводжується появою на них сольових відкладень, корозійним розтріскуванням, та появі витоків. Такий розвиток подій становить дуже серйозну загрозу безпеці. Наразі контроль ТОТ здійснюється із застосуванням вихрострумового методу відповідно стандату [1]. Використовується діагностичне обладнання фірм ZETEC, INETEC, Vuje (дефектоскопи MIZ-28, MIZ-70, MIZ-80i, ZOK-IRIS, Teddy+ та ін.). Вихрострумові випробування вважаються швидкими, простими і точними. Однак стосовно ТОТ парогенераторів вітчизняних реакторних установок типу ВВЕР-1000 є серйозні проблеми, пов'язані з транспортуванням зондів вздовж 11000 тоненьких трубок (діаметр близько 12 мм) на велику відстань (більше 10 м). Ресурс імпортованих датчиків, незважаючи на високу їх вартість, є низьким. Тому, вкрай гостро стоїть завдання розроблення та освоєння виробництва вітчизняних зондів з підвищеним ресурсом, з покращеними характеристиками та доступною ціною. За рахунок підвищення якості діагностування трубних пучків парогенераторів повинна бути знижена ймовірність витоків на інтервалі між ППР і виключена необхідність аварійної зупинки ядерної установки.

Якість діагностування трубних пучків парогенераторів має бути підвищена завдяки:

1) розробленню та освоєнню в Україні виробництва відповідних технічних засобів діагностування пошкоджень труб парогенераторів ядерної установки ВВЕР-1000.;

2) розробленню та впровадженню відповідної науково обґрунтованої методики діагностування пошкоджень труб парогенераторів ядерної установки ВВЕР-1000.

1. СТАНДАРТ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «НАЦИОНАЛЬНАЯ АТОМНАЯ ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩАЯ КОМПАНИЯ «ЭНЕРГОАТОМ». Техническое обслуживание и ремонт. Контроль неразрушающий. Вихретоковый контроль теплообменных труб парогенераторов. Общие требования. СОУ НАЕК 103:2015.

Ю.І. Гижко, В.М. Зварич, Л.Б. Остапчук

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ АВТОНОМНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ВІБРОДІАГНОСТИКИ ОБЕРТОВИХ ВУЗЛІВ ДВИГУНІВ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ АЕС

Стійка робота об'єктів критичної інфраструктури - надзвичайно важливе завдання. До таких об'єктів належать і АЕС. Надійність роботи енергетичного обладнання електростанцій тісно пов'язана з ефективними системами контролю та діагностики, якими вони оснащені. Побудова таких систем відбувається в кілька етапів: побудова математичних моделей інформаційних сигналів таких систем, виділення на основі аналізу таких моделей найінформативніших діагностичних ознак, побудова навчальних сукупностей і розв′язувальних правил, побудова алгоритмів діагностики та самої системи на основі отриманих наукових результатів. Під час розв'язання такого завдання використовують теорію ймовірностей, теорію випадкових процесів, теорію ризиків, теорію статистичних гіпотез, теорію розпізнавання образів тощо. У роботі розглянуто особливості побудови безпровідних елементів багаторівневої системи діагностики двигунів власних потреб.

При побудові розв'язувальних правил, Ω - простір сукупності діагностичних ознак, які визначаються відповідними статистичними параметрами та характеристиками. Як показали теоретичні і експериментальні дослідження, серед таких параметрів найбільш інформативними є початкові та центральні моменти (кумулянти) до j-порядку включно, а серед характеристик – кореляційна функція $R(\tau)$, спектральна щільність потужності $S(f)$, параметри авторегресії $a_1, a_2, ..., a_p$ щільність розподілу ймовірностей $p(x)$ та характеристична функція $f(t,u)$.

В доповіді розглянуто принципи побудови систем технічного діагностування двигунів власних потреб з використанням автономних вимірювальних перетворювачів. При створенні таких систем важливим питанням виступає забезпечення незалежним живленням сенсорних пристроїв для надання їм більшої автономності та збільшення міжсервісного інтервалу. Застосування акумуляторних батарей та оптимізація енергоспоживання самими пристроями дозволяє лише частково вирішити проблему. На даний час активно розвиваються технології Energy Harvesting. Застосування цих технологій дозволяє значно підвищити автономність функціонування блоків сенсорів.

Запропонована методика діагностування рухомих вузлів двигунів власних потреб ТЕЦ, ТЕС і АЕС реалізується за допомогою інформаційно-вимірювальної системи (ІВС, яка має окремі блоки, що забезпечують вимірювання, перетворення та передачу інформації (технічні засоби) та

блоки, які реалізують програмне управління ІВС, статистичну обробку виміряних сигналів та побудову розв‘язуючих правил з визначення технічного стану обладнання, що діагностується (програмні засоби).

При створенні лабораторного зразка ІВС вібродіагностування використовувалися принципи модульності створеної системи для забезпечення можливості модифікації ІВС з урахуванням конкретних потреб користувача.

Аналоговий сигнал, виміряний на вузлі електричної машини, що діагностується, на виході з сенсора має вигляд DCM сигналу (duty cycle modulated – модуляція з коефіцієнтом заповнення). В доповіді розглянуто принцип отримання та подальшого використання DCM сигналу. В якості первинного давача застосовувався акселерометр ADXL202 виробництва компанії Analog Devices. Частота вимірюваного акселерометром ADXL202 сигналу може бути встановлена в межах від 0,01 Гц до 6 КГц , що достатньо для діагностування технічного стану лобових частин обмоток ротора, можливого теплового небалансу, що виникає при короткому замкненні окремих витків обмотки ротора, а також підшипників кочення низькообертових (до 1000 об/хв.) електричних машин середньої потужності.

Фізично блок сенсорів, який використано у створеному лабораторному зразку ІВС вібродіагностування, складається з наступних основних елементів: два акселерометра ADXL202; мікроконтроллер PIC16LF873–041 виробництва компанії Microchip Technology; модуль Bluetooth EYMF2CAMM–XX виробництва компанії TAIYO YUDEN; супутні елементи, що забезпечують функціонування блока.

Зручність використання сенсорів, з виходів яких знімаються DCM–сигнали, пов’язана з тим, що такі сенсори можуть бути напряму підключені до входу лічильника мікропроцесора без використання аналогово–цифрового перетворення або зв’язуючих логічних мікросхем, що спрощує процес обробки виміряного сигналу та збільшує час автономної роботи пристроїв [12].

З використанням створеного макету ІВС проведено експериментальні дослідження вібраційних характеристик двигунів власних потреб Дарницької ТЕЦ. За допомогою розробленого вібраційного модуля багаторівневої ІВС діагностики було здійснено вимірювання та обробку вібраційних інформаційних сигналів, що реєструвались на підшипникових вузлах та обертовому валу електродвигуна типу DKRAI – 4519–4V (вир. Німеччина), з параметрами P = 710 кВт; U = 3000 В; I = 156 А; n = 1490 $^{об}/_{хв}$.

Згідно міжнародного стандарту ISO 10816-3:1998 «Mechanical vibration –Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotation parts – Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/m and 15000 r/min when measured in situ (IDT)», який діє в Україні, електрична машина DKRAI – 4519–4V відноситься до групи 1, відповідної класифікації за потужністю. Сенсор на електричній машині розміщувався також згідно стандарту ISO 10816-3:1998.

Рисунок 1 - Питомий водяний насос KRHA-300/660-40A-019

Рисунок 2 - Аналіз вібрацій електродвигуна власних потреб DKRAI – 4519–4V Дарницької ТЕЦ

Обробка вібраційного сигналу проводилась за допомогою вікна Бартлетта. На рис.3. наведено графік спектру потужності виміряного сигналу.

На момент проведення експериментальних досліджень, ІВС визначила частоту обертів роботи двигуна – 24,9 Гц.

Виконані вимірювання та аналіз підтверджують можливість використання розробленого зразка ІВС для проведення діагностування обертових вузлів двигуна власних потреб з віддаленим розташуванням блока сенсорів.

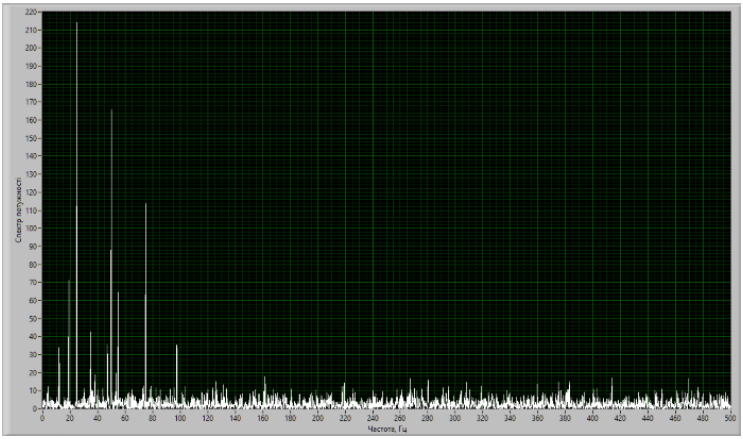


Рисунок. 3 - Спектр потужності вібраційного сигналу

Розроблені моделі вібраційних сигналів, діагностичні ознаки технічного стану вузлів двигунів власних потреб, алгоритми обробки вібраційних сигналів, побудови розв′язувальних правил а також технічні рішення можуть бути з успіхом використані для контролю і діагностики технічного стану двигунів власних потреб АЕС.

1. Gertsyk S.M., Gyzhko Yu.I., Zvaritch V.N., Myslovych M.V., Ostapchuk L.B. Features of the construction of autonomous diagnostic systems of electrical equipment, taking into account the modes of its operation. Proceedings of XX International Workshop “Computational Problems of Electrical Engineering”. Lviv, Ukraine, September, 1518. http://science.lpnu.ua/cpee-2019 (application date - 27.11.2019). DOI: 10.1109/CPEE47179.2019.8949148.

2. Gyzhko Yu.I., Zvaritch V.N., Myslovych M.V., Ostapchuk L.B., Hutorova M., Some Issue of Informational Support for Multilevel Diagnostic Systems of Electrotechnical Equipment Computational Problems of Electrical Engineering Vol.10, No. 1, 2020, pp. 19-26.

3. Zvaritch V., Myslovych M., Gyzhko Y. (2021) Application of Linear Random Processes to Construction of Diagnostic System for Power Engineering Equipment. In: Dolgui A., Bernard A., Lemoine D., von Cieminski G., Romero D. (eds) Advances in Production Management Systems. Artificial Intelligence for Sustainable and Resilient Production Systems. APMS 2021. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 630. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85874-2_67.

І.П. Каменева

СТРУКТУРА БАЗИ ЗНАНЬ ДЛЯ КОНТРОЛЮ СТАНУ БЕЗПЕКИ АТОМНИХ СТАНЦІЙ

Порушення правил ядерної та радіаційної безпеки завдають значних втрат як окремим категоріям населення, так і цілим регіонам і ландшафтним екосистемам в межах впливу АЕС та інших небезпечних виробництв. Під час воєнних дій такі порушення важко прогнозувати, але необхідно робити все можливе, щоб зменшити матеріальні збитки та людські жертви.

З метою підвищення енергетичної та радіаційної безпеки в умовах воєнного стану важливу роль мають засоби інтегрованого оцінювання рівня безпеки окремих енергетичних підприємств. Такі засоби особливо актуальні для атомних станцій та інших об'єктів ТЕК, які опинились на окупованих територіях або перебувають під загрозою ворожих атак. Для оцінювання рівня безпеки АЕС традиційно використовується імовірнісний підхід, який включає методику оцінки ризиків для основних складових обладнання АЕС із врахуванням впливу людського фактору [1]. При обчисленні ризиків враховується як рівень небезпеки, так і обсяг можливих збитків.

Запропоновано структуру бази знань для підтримки прийняття управлінських рішень, де систематизовано найбільш важливу інформацію для аналізу стану безпеки АЕС. Відзначимо, що для підвищення безпеки в галузі атомної енергетики систематизація даних моніторингу і створення бази знань може бути корисним як для підтримки прийняття рішень, так і для удосконалення процесу навчання, оцінювання і контролю знань фахівців та керівного складу, що відповідають за безпечне обслуговування АЕС.

Модель знань забезпечує додаткові можливості для накопичення та систематизації досвіду, одержаного в процесі імовірнісного аналізу стану безпеки, що включають стан обладнання АЕС та звіти щодо зафіксованих порушень. Загальну структуру і окремі компоненти моделі розроблено в рамках розвитку інформаційних засобів підтримки прийняття рішень, які базуються на *ризик-орієнтованому підході,* тобто включають обчислення імовірнісних показників ризиків на основі даних моніторингу [1,2].

Визначено компоненти інформаційно-аналітичного забезпечення, орієнтованого на виявлення та систематизацію знань, необхідних для безпечного обслуговування АЕС. Модель включає блок імовірнісного аналізу безпеки, який можна розглядати як формальне представлення процесу накопичення досвіду. Велика кількість вихідних показників моніторингу безпеки об'єднана в три блоки (моніторинг зовнішніх факторів, моніторинг стану обладнання, моніторинг порушень і помилок персоналу).

За даними моніторингу та результатами аналізу експертних знань розраховуються імовірнісні оцінки (ризики) виникнення аварій та інцидентів для АЕС та інших об'єктів. На рис. 1 схематично показана структура імовірнісної моделі знань, розроблена для аналізу і систематизації інформації в галузі радіаційної безпеки.

Рис. 1. Структура моделі знань для ЯРБ

Для прогнозування небезпечних ситуацій, викликаних зовнішніми факторами або іншими порушеннями в роботі енергетичних підприємств, імовірність небезпечних подій та очікувані втрати (обсяги збитків) бажано оцінювати за умов певних зовнішніх пошкоджень (попадання ракети, бомби, снаряда тощо) або порушень нормальної роботи в результаті некомпетентних дій персоналу, неякісного обслуговування, виникнення конфліктних ситуацій на фоні важких умов роботи. Такі оцінки будуються на основі формул Байєса, які забезпечують обчислення умовних імовірностей небезпечних подій. Наслідками таких подій може бути перевищення норм забруднення повітря, підвищення радіаційного фону до небезпечних рівнів тощо.

На основі моделі, наведеної на рис. 1, можна формалізувати процес наповнення бази знань з ЯРБ, тобто накопичувати і систематизувати досвід роботи з аваріями та небезпечними інцидентами, одержаний протягом багаторічних досліджень на різних підприємствах.

1. Бєгун В.В. Культура безпеки в ядерній енергетиці: підручник для студ. техн. вузів / В.В. Бєгун, С.В. Широков, С.В. Бєгун, Є.М.Письменний та ін. Мін-во освіти і науки, молоді та спорту України, НТУУ «КПІ». Вид. 2-е, доп. − Київ, 2012. − 563 с.

2. Міжнародний режим ядерної безпеки [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.uatom.org/mizhnarodnyj-rezhym-yadernoyi-bezpek.

Б.М. Плескач

ВПРОВАДЖЕННЯ ПРЕЦЕДЕНТНО-АНАЛІТИЧНОГО ПІДХОДУ ДО КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ АЕС

Технологічний прогрес, спрямований на покращення якості, та надійності компонентів атомних станцій усе ж не може усунути виникнення несправностей обладнання. Тому діагностика несправностей стала важливою технікою для забезпечення безпеки та надійності промислових систем. Для складних систем атомної електростанції методи діагностики несправностей призначені для моніторингу функціонування систем, виявлення несправностей її компонентів на ранніх стадіях та визначення місця та серйозності несправності, щоб уникнути подальшого пошкодження.

На усіх Українських АЕС впроваджено комплексні системи діагностування (КСД) основного обладнання першого контуру реакторної установки, які являють собою інформаційно-обчислювальні системи з дворівневою структурою. Нижній рівень складається з локальних систем діагностування, верхній рівень утворюють сервер та робочі станції, які вирішують завдання діагностування на рівні енергоблоку з урахуванням даних, отриманих від локальних систем діагностування та від інформаційно обчислювальної системи енергоблоку. КСД атомних енергоблоків спроектовані із значними резервами обчислювальної потужності та допускають підключення додаткових локальних систем діагностування і завантаження додаткового програмного забезпечення.

Згідно з висновками, зробленими по результатах обстеження стану технічного діагностування обладнання АЕС, ефективність використання комплексної системи діагностування є недостатньою. Фактичні дані від сотень датчиків у великій мірі без користі для споживачів діагностичної інформації гігабайтами накопичуються у базах даних системи діагностування. Рівень діагностування обмежується контролем технічного стану (справний/несправний), виявлення зародження дефектів і прогнозування залишкового ресурсу здійснюється у поодиноких випадках [1].

Мета цієї роботи полягає у визначенні пріоритетних напрямків розвитку комплексної системи діагностування обладнання АЕС, спираючись на існуючу програмно-апаратну базу КСД і відомі методи діагностики несправностей на основі штучного інтелекту.

В останні роки в світі було проведено масштабні дослідження для швидкої та ефективної діагностики несправностей на основі інтелектуальних методів, які можна класифікувати як методи керовані знаннями і методи, керовані даними [2].

Методи керовані знаннями можна розглядати як комбінацію бази знань і машини логічного висновку типу «якщо-тоді». До цих методів також відносять орієнтовані графи, байєсовські мережі, динамічні невизначені графи причинно-наслідкових зв'язків.

Методи керовані даними можна розглядати як масивну базу даних, необхідних для методу та навченої моделі типу штучної нейронної мережі. Метод діагностики несправностей на основі нейронної мережі полягає у створенні відображення несправності на основі даних навчання. Потім навчена мережа використовується для нових спостережень, щоб судити про аномалії. Є спроби використовувати для діагностування обладнання АЕС машини опорних векторів, дерева прийняття рішень, аналіз головних компонентів, кластеризацію.

Перевага методів керованих знаннями полягає в тому, що немає необхідності створювати систематичну аналітичну модель, а результати діагностики легко інтерпретуються та надійні. Перевага методів керованих даними полягає у тому, що процес моделювання є відносно простим, загальним і може протікати в режимі реального часу [2].

Наведені дані показують, що з розвитком технології штучного інтелекту методи діагностування несправностей АЕС вдосконалюються і розвиваються і існує можливість застосування їх для удосконалення існуючої комплексної системи діагностування вітчизняних АЕС.

Для цього пропонується концепція прецедентно-аналітичного підходу до діагностування. В його основі лежить розпізнавання факторів появи несправностей та пов'язаних з ними енергетичних втрат в енергоспоживаючому обладнанні шляхом аналізу прецедентів стаціонарного енергоспоживання.

Прецедент стаціонарного енергоспоживання – це випадок в технологічній системі, при якому всі фактори впливу на енергоспоживання знаходяться в стаціонарному стані впродовж певного періоду часу. Звідси, прецедент стаціонарного енергоспоживання має наступний формат:

$$CaseE = <M(X),\ D(X),\ r(X),\ E,\ \tau,\ S>, \quad (1)$$

де: $M(X_1), \ldots, M(X_n)$ - математичні очікування факторів впливу $X_1, \ldots, X_n$;

$D(X_1), \ldots, D(X_n)$ - статистична дисперсія факторів впливу $X_1, \ldots, X_n$;

$r(X_1), \ldots, r(X_n)$ - коефіцієнти автокореляції факторів впливу $X_1, \ldots, X_n$;

E - питоме енергоспоживання за період стаціонарного стану;

τ - тривалість стаціонарного стану;

S - ймовірний діагноз технічного стану.

Кожна технологічна система розрахована на ефективне споживання певних обсягів енергії в передбачених режимах роботи. Порушення нормативного технологічного процесу, викликані різними факторами призводять до неочікуваних, наднормативних втрат енергії. Приховані енергетичні втрати в технологічній системі можуть бути викликані

порушеннями технічного стану обладнання, або помилковими діями персоналу, які, як правило, не підлягають автоматизованому контролю.

Питоме енергоспоживання E технологічної системи характеризується вектором впливових технологічних параметрів $X=\{x_1, ..., x_к\}$ та сукупністю неконтрольованих факторів появи несправностей Z, що викликають приховані енергетичні втрати ΔE.

$$E=f(X, Z)= \varphi(X)+\Delta E, \quad (2)$$

Робота технологічної системи вважається без дефектною якщо енергетичні втрати відсутні, або мінімальні. В іншому випадку вважається що робота обладнання протікає з наявністю несправностей. Проблема полягає в тому, щоб на основі накопичених в базі даних впливових технологічних параметрів X та питомого енергоспоживання E надати фахівцю діагносту інформацію про несправності, та пов'язані з ними приховані енергетичні втрати ΔE та дії, спрямовані на їх усунення. Таким чином, діагностування технічного стану обладнання полягає у регулярному вимірі факторів впливу в різних режимах роботи обладнання, моделюванні на їх основі потужності бездефектного енергоспоживання та порівнянні її з поточною потужністю енергетичних витрат. Відповідно, система діагностування для підтримки прийняття рішень повинна відповідати наступним вимогам:

- здатність розпізнавати режими роботи технологічної системи;
- здатність моделювати міркування та робити висновки відносно несправностей обладнання;
- здатність спілкуватися з персоналом енергоблоку;
- здатність аргументувати отримані висновки.

На першому етапі моніторингу перевіряється вхідний потік факторів впливу $X_1, ..., X_n$ на стаціонарність у відповідності з відомими методами аналізу. Після виявлення стаціонарного режиму енергоспоживання фіксується момент його початку, математичні очікування $M(X_1), ..., M(X_n)$, дисперсії $D(X_1), ..., D(X_n)$ та коефіцієнти автокореляції $r(X_1), ..., r(X_n)$ факторів впливу, вираховується питоме енергоспоживання E за час τ. Зафіксований таким чином прецедент стаціонарного енергоспоживання передається на подальшу обробку.

На другому етапі моніторингу виконується пошук в базі даних (БД) прецедентів, подібних зафіксованому, з застосуванням методу найближчих сусідів [3], модернізувавши його для використання статистичних показників визначальних параметрів енергоспоживання. Вважається, що усі прецеденти енергоспоживання розташовані в просторі математичних очікувань факторів впливу. Пошук найближчих сусідів до поточного прецеденту виконується згідно з формулою розрахунку відстаней в евклідовому просторі математичних очікувань факторів впливу поточного прецеденту та прецедентів, які зберігаються в БД:

$$dM_{ij}(X)= ((x_{i1}-x_{j1})^2+...+(x_{ik}-x_{jk})^2)^{1/2} \quad (3)$$

де $dM_{ij}(X)$ – відстань між математичними очікуваннями факторів впливу *i*-го поточного прецеденту та *j*-го прецеденту з БД прецедентів. Таким чином знаходиться в БД *n* прецедентів, які є найближчими сусідами до поточного прецеденту.

На третьому етапі моніторингу виконується апроксимація функції потужності ефективного питомого енергоспоживання по вибраним *n* прецедентам, найближчим до поточного. Для цього розраховуються коефіцієнти регресії $b_0, b_1, b_2, \ldots, b_n$ функції ефективного енергоспоживання для *i*-го прецедента за методом найменших квадратів :

$$E_{gi} = b_0 + b_1M_i(X_1) + b_2M_i(X_2) + \ldots + b_nM_i(X_n), \quad (4)$$

На четвертому етапі моніторингу виконується оцінка поточного енергетичного стану. Для цього розраховується різниця ΔE_i між отриманим на попер-ньому етапі значенням E_{gi} і поточним питомим енерго-споживанням E_i, $\Delta E_i = E_{gi} - E_i$. В залежності від отриманого значення ΔE_i робимо висновок про відсутність несправностей в обладнанні, яке піддається моніторингу. Якщо $\Delta E_i \approx 0$, вважається, що несправності в обладнанні відсутні, якщо $\Delta Ei > 0$, обладнання працює із зниженими енерговитратами і потребує перевірки, якщо $\Delta E_i < 0$, в обладнанні з'явились певні несправності.

На п'ятому етапі моніторингу відбувається заповнення БД прецедентів новими зафіксованими прецедентами. При цьому прецеденти автоматично поповнюють БД тільки у випадку, коли в обладнанні не виявлені несправності. В усіх інших випадках особі, яка приймає рішення, надається оферта з описом ситуації, що склалася на поточний момент, для прийняття остаточного рішення, пов'язаного або з пошуком несправності. Для пошуку заходів з усунення несправностей заздалегідь створюється база знань на основі Діаграми Ісікави [4].

1. Галузевий комплекс технічного діагностування обладнання АКС. Концепція створення. – ДП «НАЕК ЕНЕРГОАТОМ»,- 2017 р. – 43 с.
2. Ben Qi, Jingang Liang, Jiejuan Tong. Fault Diagnosis Techniques for Nuclear Power Plants: A Review from the Artificial Intelligence Perspective, - Energies, - 2023, https://doi.org/10.3390/en16041850.
3. Аспір В.Я. Порівняльні оцінки основних сучасних методів і засобів класифікації / В.Я. Аспір // Науковий вісник НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.14,– С. 343-348.
4. Федюкин, В. К. Управление качеством процессов / СПб.: Питер, 2005. — 202 с.

А.Я. Недосєка, С.А. Недосєка, М.А. Яременко

СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ВИРОБНИЦТВ З ОНЛАЙН ОЦІНКОЮ ТА ПРОГНОЗОМ СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ

При виконанні робіт з відновлення промислових конструкцій та споруд (нафтохімія, конструкції хімічного профілю, енергоустановки, атомні та теплові електростанції, нафтосховища та інше) постає питання про фізичну перевірку можливості їх безаварійної експлуатації при первинному контролі стану та в режимі робочих навантажень. При цьому необхідний не лише місцевий контроль відремонтованих ділянок, а й заключний контроль усієї конструкції щодо можливості нести корисне робоче навантаження. Для цього потрібні спеціальні методики, апаратура й датчики, що дозволяють вирішити поставлене завдання прямим фізичним методом [1].

Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України були створені інтелектуальні системи моніторингу потенційно небезпечних виробництв, включаючи апаратуру, методики застосування, інші нормативні документи (у тому числі державного рівня). Апаратура пройшла комплексну перевірку та успішно працює у промисловості України, у тому числі на низці стратегічно важливих підприємств хімічного і нафтохімічного комплексу та енергетики, трубопроводах різного призначення (посудини під тиском, аміако-, газо- і нафтопроводи, трубопроводи питної води).

Створена методика та засоби діагностування дозволяють кількісно (пріоритет України), з заданими ймовірністю та похибкою, оцінити стан конструкцій із визначенням дефектів, що можуть призвести до руйнування, та прогнозувати руйнівні навантаження і залишковий ресурс конструкції в цілому [2]. Обладнання та методика пройшли перевірку відповідних органів стандартизації України, оцінка стану конструкцій виконується з допустимою похибкою ±15% та ймовірністю 95%. Створено нормативну документацію для застосування розробленого обладнання та перевірки методики.

Можуть бути проконтрольовані як частково пошкоджені конструкції, так і конструкції, що вводяться в експлуатацію. Для найбільш небезпечних об'єктів вже застосовується технологія постійного моніторингу з оперативним попередженням персоналу підприємств про небезпеку.

Важливими досягненнями слід вважати можливість інтеграції створених моніторингових систем у комп’ютерну мережу підприємств, можливість онлайн-супроводу, налаштування, спостереження за процесом моніторингу та оцінки отриманих результатів моніторингу через мережу Інтернет.

Робота систем моніторингу «ЕМА» заснована на постійному отриманні та аналізі даних акустичної емісії (АЕ) разом з технологічними параметрами, найбільш суттєвими для оцінки поточного стану конструкцій (тиск, температура, вібрація та інш.) [3].

Метод АЕ, заснований на реєстрації пружних хвиль [1], які генерує матеріал під навантаженням, коли у ньому розвиваються дефекти різного походження, що можуть призвести до виникнення тріщин та руйнування матеріалу, має ряд переваг перед іншими неруйнівними методами контролю. Це можливість здійснювати повний, стовідсотковий контроль конструкції відносно невеликою кількістю датчиків, висока чутливість, яка дозволяє виявляти дефекти на ранніх стадіях розвитку, доступ до закритих ділянок за рахунок розповсюдження акустичних хвиль на великі відстані.

Відповідно до вказаних переваг, безперервний моніторинг конструкцій забезпечується лише постійною роботою задіяного АЕ обладнання та програмного забезпечення до нього [3]. Також забезпечується безпечна робота оператора на достатньо великій відстані від об'єктів контролю, що несуть постійну загрозу (високий тиск, агресивне середовище, радіація).

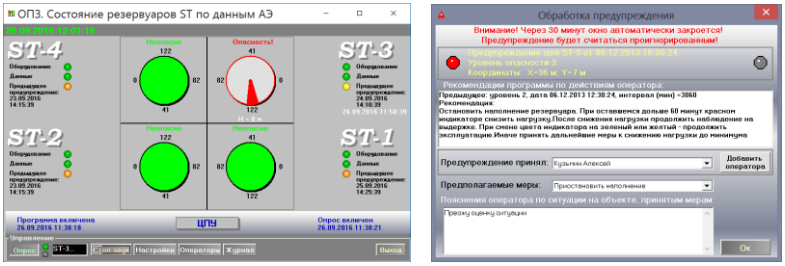
Існуючий досвід показує, що з використанням так званих хвилеводів (металевих стрижнів, конструкція яких розраховується) можна забезпечити контроль високотемпературних об'єктів. При достатньо великій довжині хвилеводу можна винести датчики АЕ з зони радіаційного випромінювання.

Наведемо коротко перелік основних об'єктів в Україні, на яких починаючи з 2001 року були поступово впроваджені системи безперервного моніторингу. Перша з систем постійного моніторингу впроваджена на Одеському припортовому заводі для контролю стану аміакосховища рідкого аміаку ST діаметром 51 м та висотою 25 м. Після 2001 року поступово вводилися у дію такі ж системи моніторингу ще на трьох аміакосховищах аналогічного типу (рис. 1).

Рисунок 1 – Загальний вигляд сховищ рідкого аміаку на Одеському припортовому заводі

Обичайки кожного з сховищ контролюються 48 датчиками, розташованими рівномірно на відстані 10 м у три пояси з відстанню 7,5 м між ними. Вимірювальні блоки змонтовані поруч зі сховищами у пожежо-вибухонебезпечних корпусах, дані від вимірювального обладнання по заводській комп'ютерній мережі поступають у лабораторію неруйнівного контролю і технічної діагностики, де оператор може одразу реагувати на показники індикаторів небезпеки, на яких відображується також прогноз руйнівного навантаження, який змінюється відповідно до експлуатаційних параметрів, співставлених з даними АЕ.

Спеціалізоване програмне забезпечення (рис. 2) дозволяє оператору зробити вибір з можливих дій у певній ситуації. Вперше у досвіді безперервного моніторингу впроваджена так звана «Нормована інтелектуальна порада» (НІП), що формується на основі аналізу поточних і попередніх даних про стан об'єкта контролю та враховує багаторічний досвід експлуатації об'єктів даного типу та їх безперервного АЕ моніторингу. НІП є основою для подальшої реалізації автоматизованого управління безпекою.



а б

Рисунок 2 - Інтерфейс індикаторної програми при контролі стану сховищ рідкого аміаку Одеського припортового заводу: а – вікно небезпеки стану. Правий верхній індикатор показує попередження 3 рівня "Небезпечно"; б – вікно попереджень надає рекомендацію НІП

Після аміакосховищ під постійним АЕ моніторингом були оснащені найбільш небезпечні конструкції двох цехів виробництва аміаку, в тому числі печі, що працюють при температурах близько 1000°С. Також на заводі використовується для періодичного контролю обладнання, яке не оснащене постійним моніторингом, мобільна багатоканальна система.

На поточний час виконується поступова заміна приладів ЕМА-3 на прилади нового покоління ЕМА-4 (рис. 3). Паралельно виконана модернізація програми ЕМА-3, як для забезпечення одночасної обробки даних з 128 АЕ каналів та 128 технологічних, так і для більшого діапазону можливих фільтрів і багатопараметричної кластеризації даних АЕ.

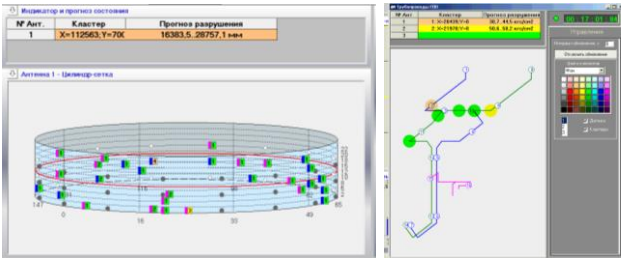
З 2004 року системи моніторингу ЕМА були встановлені на декількох об’єктах підприємства «Укрхімтрансаміак», найбільшим з яких є мостовий перехід труби аміакопроводу через річку Дніпро. (рис. 4). Найбільш показовим для даного об’єкту є те, що забезпечена акустична чутливість по довжині усієї мостової частини труби з відстанню між датчиками 720 м.

Після 2010 р. почалися роботи з оснащення системами АЕ моніторингу київських ТЕЦ-5 та ТЕЦ-6 [4]. За першочерговий об'єкт моніторингу були обрані трубопроводи гарячого промперегріву блоку №1 ТЕЦ-6. Виконано монтаж системи безперервного моніторингу, її підключення до енергопостачання та комп'ютерної мережі підприємства.

Виявлені на основі даних моніторингу дефекти підтверджені додатковими методами контролю, відповідні ділянки відремонтовані. Враховуючи позитивні результати моніторингу ГПП, також виконано оснащення безперервним моніторингом барабана котла ТГМ-6 на київській ТЕЦ-5. Відзначимо, що для найбільш відповідальних конструкцій розроблено спеціальний додатковий програмний інтерфейс, що дозволяє більш наочно спостерігати поточний стан об'єктів моніторингу (рис. 5).

Рисунок 3 - Прилади ЕМА-4 нового покоління на базі чотириканальних та 16-канальних модулів АЕД-404, АЕД-416

Рисунок 4 – Мостовий перехід труби аміакопроводу через річку Дніпро



а б

Рисунок 5 - Інтерфейси програми ЕМА з індикаторами небезпеки та прогнозом руйнівного навантаження: а) для обичайки аміакосховища ST, б) для трьох ниток трубопроводів ГПП

Нормативна база з використання методу АЕ постійно вдосконалюється. Окрім існуючих стандартів, зокрема ДСТУ 4227-2003, за участі ІЕЗ ім. Є.О. Патона розроблено і введено у дію новий стандарт з технічної діагностики [5], а удосконалений стандарт з АЕ діагностики знаходиться у стадії розробки.

Таким чином, результати впроваджень, накопичений практичний досвід і розроблена нормативна база дозволяють говорити про ефективність технології АЕ моніторингу з прогнозом руйнування та можливості її поширення на найрізноманітніше обладнання енергетичної галузі, в тому числі об'єкти атомної енергетики.

1. Недосека А.Я., Недосека С.А. (2020). Основы расчета и диагностики сварных конструкций: монография. 5-те изд., перераб. и доп. Киев : Индпром.
2. Недосека С.А., Недосека А.Я. (2010) Комплексная оценка поврежденности и остаточного ресурса металлов с эксплуатационной наработкой. Техническая диагностика и неразрушающий контроль, 1, 9-16.
3. Недосека А.Я., Недосека С.А., Яременко и др. (2013) Программное обеспечение систем АЭ диагностики ЕМА-3.9. Техническая диагностика и неразрушающий контроль, 3. 16-22.
4. B.E. Paton, L.M. Lobanov, A.Ya. Nedoseka, S.A. Nedoseka. On the application of AE technology in continuous monitoring of pipelines of power units operating at high temperatures // International Journal of Condition Monitoring. 2018. Vol. 8.
5. ДСТУ 9118:2022 Технічна діагностика. Діагностування технічного стану матеріалів конструкцій. Загальні вимоги.

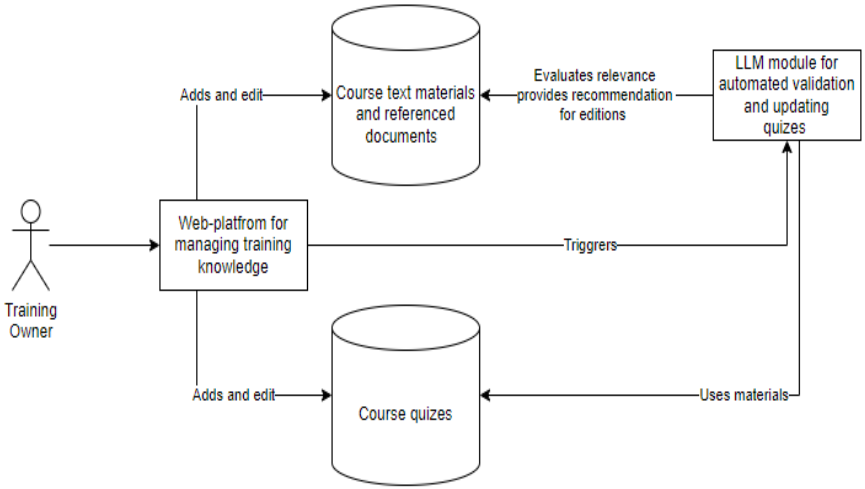
LLM-BASED AUTONOMOUS WEB PLATFORM FOR ADAPTING QUIZZES FOR RENEWED TRAINING FOR NPP WORKERS

The According to many researches including Omar Boubker`s article about chat-bots used by different learning people even plain usage of chat-bots such as Chat-GPT positively impacts the quality of education [1]. Multiple researches highlight LLM-based system's ability to generate plain and precise answers to open questions. Worth mentioning that even autonomous low-resource-consuming models such as LLAMA (even before LLAMA 2) can answer quizzes with options with marks significantly higher than random choice. [2]

In the context of educating NPP workers generation of tests is a complicated process that requires a lot of effort and in it's not automated yet [3]. Considering the fact that such training for each separate power station has got to be renewed frequently – renovation of quizzes attached to this training is a separate space for automation using LLM-based system. [4]

Because of major security risks related to the disclosure of sensitive data reasonable to develop an autonomous system that will be hosted locally on a power station without access to the global network. [5] For interface development such system may be used traditional modern frameworks for web development.

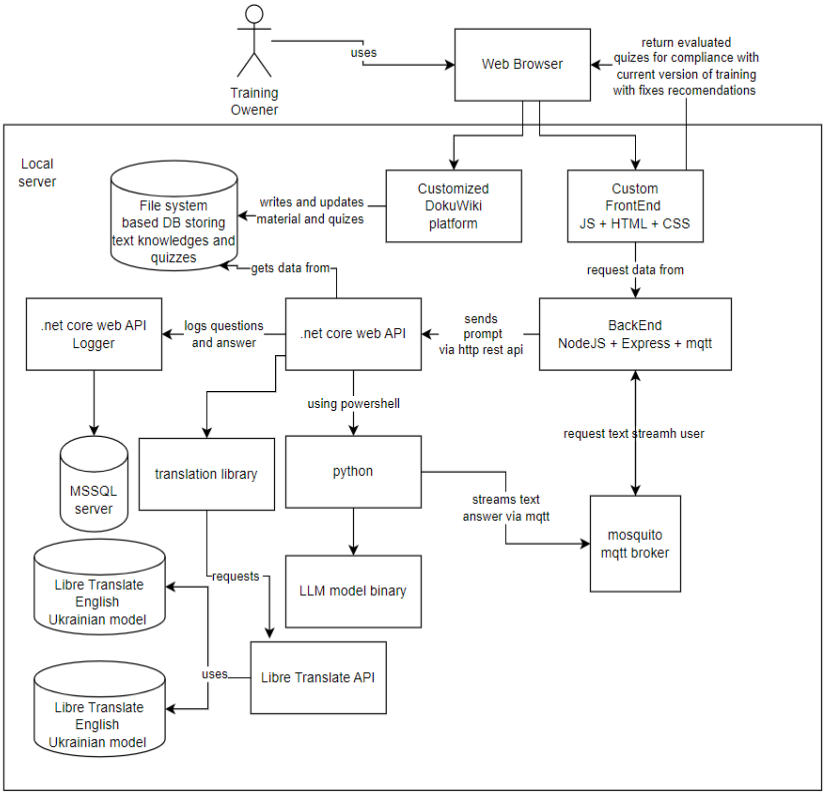
High-level scheme below shows the interaction of a training owner with such module in the scope of existing knowledge and quiz base.



Picture 1. Interaction with a training owner

Based on the mentioned above let's review in detail an option of such system architecture based only on free and open-source solutions. Considering the example of creation, a new course from scratch storing knowledge and tests as shown in picture below.

There are already documented examples of successful integration with DokuWiki in the context of custom knowledge bases for engineering. [6].



Picture 2. Solution architecture

DokuWiki – a database-independent open-source wiki web-based platform, is lauded for its user-friendly design and readable syntax. Widely appreciated for its ease of maintenance, backup capabilities, and seamless integration into existing systems for knowledge storage. [7] Using different free plugins it can be adapted for story any type of text and multimedia. The useful specific is that its data can be easily used via open API and adapted into other purposes API as in architecture described above.

Low-resource-consuming LLMs need additional mechanical translation into English from Ukrainian before questioning LLM model, so open source LibreTranslate [8] was used that is capable of translations without connection to the global network.

Custom frontend may be implemented using libraries like Angular. Its main purpose will be to serve as the interface of API that is getting quizzes and text knowledge and using Python library to address different questions to LLM model to formulate evaluation of existing quizzes compliance with the current version of training and suggest changes if needed.

In conclusion, a developed LLM based web platform can become a useful instrument that will help training owner workers of NPP to maintain their quizzes compliant with the current version of the educational materials. Because of security and maintainability better option would be designing and implementing of autonomous system combined with an open-source solution like DokuWiki for knowledge storage and editing leaving LLM module as separated custom service with its own UI.

1. Boubker, O. (2024). From chatting to self-educating: Can AI tools boost student learning outcomes? Expert Systems with Applications. Vol. 238, p. 121820. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121820.

2. Ципляк О.О. Артемчук В.О. Перспективи застосування нейронних мереж архітектури типу LLaMA для швидкого прийняття рішень у відновленні глобальної енергосистеми. Живучість та резильєнтність критичної інфраструктури – 2023 : збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 19 жовтня 2023 р., ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – 2023. – с. 37-40.

3. Samoylov, V., Abramovych, R., & TaranowskiA. (2023). Prospects of Producing Knowledge Assessment Tests for NPP Personnel Using AI. Nuclear and Radiation Safety, Vol. 3(99), p. 67-74. https://doi.org/10.32918/nrs.2023.3(99).07.

4. Introducing Llama 2, https://ai.meta.com/llama

5. OECD Artificial Intelligence Papers. (n.d.). Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD). https://doi.org/10.1787/dee339a8-en.

6. Kutt, K., & Nalepa, G. J. (2023). Loki – the semantic wiki for collaborative knowledge engineering. In Expert Systems with Applications (Vol. 224, p. 119968). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119968.

7. DokuWiki, https://www.dokuwiki.org/dokuwiki.

С.С. Шевченко

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОТРИМАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ШЛЯХОМ ВТІЛЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ СИСТЕМИ НАВЧАННЯ ПЕРСОНАЛУ АЕС

Ефективність роботи з діагностичною інформацією при експлуатації та ремонтах обладнання залежить від багатьох чинників, одним з яких є рівень кваліфікації персоналу. Від підготовки та підтримання його на належному рівні залежить, наскільки якісно діагностичну інформацію буде отримано та в подальшому використано стосовно поводження з обладнанням. І особливо критично це у відношенні до роботи атомних станцій, де ціна помилки – дуже висока [1].

Діагностична інформація дозволяє визначати чи працює обладнання у штатному режимі, виявляти аномалії у роботі обладнання та своєчасно їх усувати. Успіх цієї роботи залежить від двох чинників: якість отримання діагностичної інформації та якість її тлумачення. У обох випадках результат залежить як від матеріального забезпечення цієї роботи так і від кваліфікації персоналу, який цю роботу виконує. Тому чим більше якість навчання персоналу, тим більше якість роботи у підсумку.

Останнім часом поширюються та демонструють високу ефективність комп'ютерні тренажери та системи навчання, що використовують новітні інформаційні технології, одною з важливих рис яких є спроможність забезпечити якісне та швидке навчання та підготовку персоналу, в тому числі і в дистанційному, а також індивідуальному режимі. [2]

За допомогою таких систем (особливо якщо вони це роблять у наглядному та інтерактивному режимі, використовуючи 3D-середовище (рис.1)) можна наглядно показати всі можливі дефекти та проблеми.

У системах, які підтримують подання навчального матеріалу за допомогою сценаріїв (рис.2), можна наглядно показати порядок дії як при отриманні діагностичних даних, так і при застосуванні їх. А потім відразу ж закріпити знання перевіркою, запропонувавши учню самостійно пройти весь порядок дій. І більш того можна відразу показати наслідки хибного вибору або помилки. [3]

Ефективність такого навчання можна порівняти з навчанням у реальних умовах. А враховуючи можливість програвати різні сценарії, то по деяким критеріям віртуальне навчання може навіть перевищувати реальне, де не завжди можна симулювати такі сценарії.

Тому інтерактивне сценарне навчання – це невід'ємна ланка забезпечення роботи з діагностичною інформацією, яка дозволяє тримати безпеку АЕС на належному рівні.

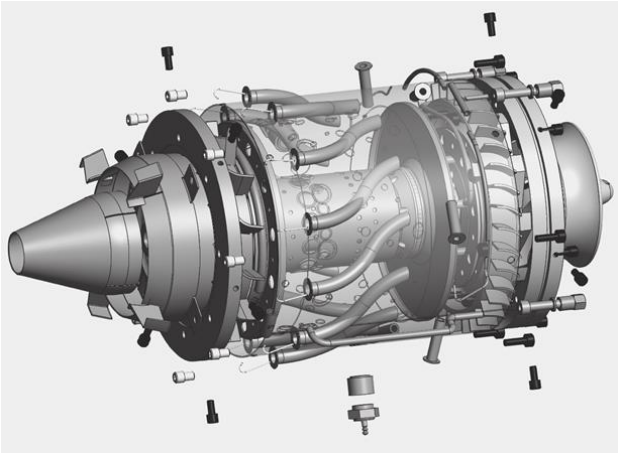


Рисунок 1 – приклад роботи інтерактивної системи на базі 3D-технологій

Рисунок 2 – приклад роботи інтерактивної системи сценарного типу

1. Martsinkovsky V.A., Shevchenko S.S. Pumps of nuclear power plants: calculation, design, operation: monograph / ed. ed. S.S. Shevchenko. Sumy: PF "Publishing house" University book", 2018. 472 p. ISBN 978-966-680-866-3.

2. Samoilov V.D., Abramovich R.P., Lepatiev A.O. Computer technologies for the development of training systems for the energy industry. Electronic modeling. – 2020. – Vol. 42, No. 3. – P. 89-98 https://doi.org/10.15407/emodel.42.03.089.

3. Shevchenko S.S. Creation of interactive automated educational and training systems Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-2023). Тези двадцять третьої міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: НТУ "ХПІ", 2023.

О.А. Владимирський, І.А. Владимирський

АНАЛІЗ ВІДНОСНОЇ ПОХИБКИ ОЦІНОК КОРЕЛЯЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ

Розглянемо структуру обробки сигналів у кореляційному пристрої з урахуванням інструментальних похибок, наведену на рис.1. Враховуючи властивость лінійності згортки, вплив похибок $\varsigma_x(n)$ квантування коефіцієнтів $h_x(n)$ не рекурсивного цифрового фільтра (ЦФ) на результат фільтрації представлений шляхом включення до структури корелятора ЦФ з коефіцієнтами $\varsigma_x(n)$. Канал обробки сигналу y за структурою є ідентичним каналу обробки сигналу x. Шуми вимірів $\varepsilon_x(t)$, $\tilde{\varepsilon}_x(t)$ та сигнали $\tilde{x}(t)$ и $\tilde{y}(t)$ будемо вважати ергодичними стаціонарними випадковими процесами. Величини $\varepsilon_x(t)$ і $\tilde{\varepsilon}_x(t)$ обумовлені тепловими шумами елементів, дифузією не основних носіїв, поверхневими явищами у напівпровідниках [1]. У практичних розрахунках ці складові можна вважати некорельованими широкосмуговими завадами, які не корелюють із сигналами $\tilde{x}(t)$ и $\tilde{y}(t)$.

Щодо інших чинників, які впливають на оцінку взаємної кореляційної функції (ВКФ), зауважимо наступне. Рекомендації щодо вибору величини інтервалу дискретизації сигналів за часом у кореляторах наведено у [2]. Результати обчислення "швидких" згорток при цифровій фільтрації та обчислень оцінок ВКФ можна отримувати без похибок обчислень за допомогою наведених у [3] алгоритмів узгодженого вибору числа точок ШПФ та формата даних для заданої розрядності подання вимірюваних сигналів. Вирішуваною у доповіді задачею є отримання виразу максимально можливої похибки оцінки кореляційної функції, викликаної її зсувом внаслідок інструментальних похибок для збалансованого вибору елементів і вузлів кореляційних пристроїв. Для подальшого аналізу визначимо наступні оцінки взаємних кореляційних функцій [4,5]:

$$R^*_{xy}(\tau) = \lim_{i\to\infty} R^*_{xy}(i,\tau)\,, \tag{1}$$

де: $R^*_{xy}(i,\tau) = \frac{1}{i}\sum_{j=1}^{i} \bar{R}_{xy}(j,\tau)$; $\bar{R}_{xy}(j,\tau) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} x(j,n)\,y(j,n+\tau)$;

$x(j,n)$ и $y(j,n)$ - j - ті вибірки цифрових сигналів $x(n)$ і $y(n)$.

Відносна похибка оцінки ВКФ виду (1), обумовлена її зсувом та має вигляд:

$$\Lambda_{oxy}(\tau) = \frac{R_{xy}(\tau) - R^*_{xy}(\tau)}{R_{xy}(\tau)}\,; \tag{2}$$

де: $R_{xy}(\tau)$ - ВКФ сигналів $x(n)$ і $y(n)$ без урахування інструментальних похибок.

Після виконання необхідних перетворень [5], отримано вираз для максимальної величини відносної похибки випадкових центрованих гаусових сигналів:

$$\Lambda_{o.\max.} = a_{\max.} + 0{,}01\left|P(N_r, q)\right|_{доп.} b_{\max.}, \qquad (3)$$

$$a_{\max} = \max_p \{a(p)\} \quad \text{и} \quad b_{\max} = \max_p \{b(p)\},$$

де: $a(p)$ і $b(p)$ залежать від цифрових фільтрів (ЦФ), рис.1., $p = 1,2,..p_{\max.}$, де $p_{\max.}$ - кількість передбачених у кореляторі налаштувань ЦФ.

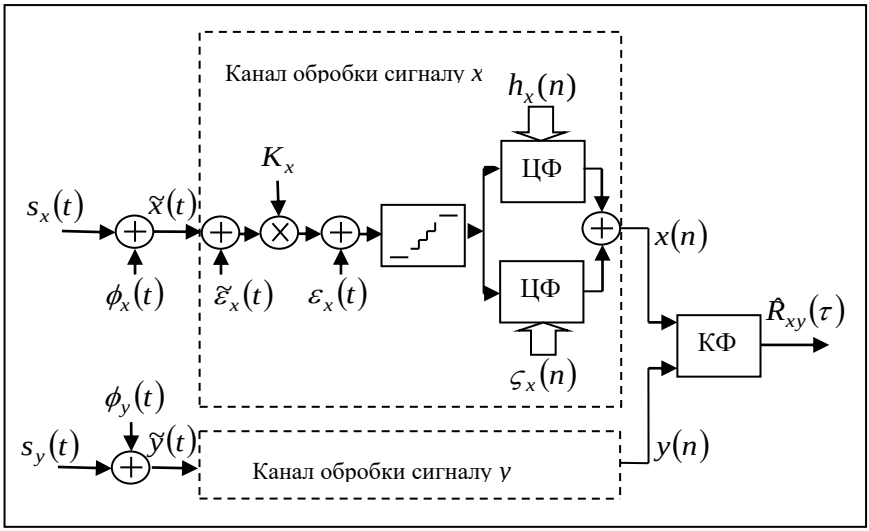


Рис.1 Схема кореляційного пристрою

Величина $P_{xy}(N_r, q)$ залежить від наступних параметрів:

- числа розрядів квантувачів N_r;
- рівня сигналів q на входах квантувачів;
- рівня некорельованих завад $\phi_x(t)$ і $\phi_y(t)$ у вхідних сигналах квантувачів.

В кореляторах величина N_r звичайно є постійною. Величина q а також рівень завад у вхідних сигналах кантувачів залежать від сигналів та роблять залежною від них величину $P_{xy}(N_r, q)$. Для того, щоб обмежити діапазон можливих значень $P_{xy}(N_r, q)$, в ході розробки корелятора пропонується

визначати допустиму величину $\left|P(N_r,q)\right|_{доп}$, для якої вимагати виконання умови

$$-\left|P(N_r,q)\right|_{доп} \le P_{xy}(N_r,q) \le \left|P(N_r,q)\right|_{доп.}$$

Розраховуючи на найгірший випадок, параметр N_r і допустимий діапазон значень q пропонується обирати з таблиці 1 [5], яку також надано у доповіді "Про вибір параметрів аналого-цифрового тракту при проектуванні кореляційних пристроїв" цієї конференції. При цьому максимальна похибка $\left|P(N_r,q)\right|_{доп}$ вибирається з наведеного у таблиці ряда {30; 10; 1; Е-1; Е-2;…} меж. Ця величина визначає співвідношення числа N_r двійкових розрядів квантувачей та рівня вхідних сигналів $q = d/\sigma_{кв}$, d - розмір шкали квантувача, $\sigma_{кв}$ - середньоквадратичне значення сигналів на вході квантувача, $a(p)$ і $b(p)$ для конкретного налаштування ЦФ - p обчислюються за формулами:

$$a = \frac{\sum_{k=0}^{L_{xy}} \left|R_{ош.h}(k)\right|}{K_n}, \quad b = \frac{\sum_{k=0}^{L_{xy}} \left|R_h(k) + R_{ош.h}(k)\right|}{K_n},$$

$$R_{ош.h}(k) = R_{h\varsigma}(k) + R_{\varsigma h}(k) + R_{\varsigma\varsigma}(k),$$

$$R_{h\varsigma}(k) = \sum_{l=0}^{L_h-1} h_x(l)\varsigma_y(L_h + l - 1 - k),$$

$$R_{\varsigma h}(k) = \sum_{l=0}^{L_h-1} h_y(l)\varsigma_x(L_h + l - 1 - k),$$

$$R_{\varsigma\varsigma}(k) = \sum_{l=0}^{L_h-1} \varsigma_x(l)\varsigma_y(L_h + l - 1 - k).$$

$$R_h(k) = \sum_{l=0}^{L_h-1} h_x(l)h_y(L_h + l - 1 - k), \quad k = 0...2L_h - 2.$$

K_n - коефіцієнт пропускання ЦФ.

У виразах довжини імпульсних характеристик ЦФ обох каналів дорівнюють L_h відлікам, фазочастотні характеристики є однаковими.

Отриманий вираз (3), на відміну від виразу (2), не вимагає визначення ВКФ та її оцінки. Це дозволяє на етапі розробки визначати такі вимоги до вузлів кореляційного пристрою, за дотриманням яких відносна похибка оцінки ВКФ (1) не вийде за наперед задану межу $\Lambda_{о.доп.}$. Відносно статистичної похибки оцінки ВКФ подібний аналіз надано у [5]. З урахуванням заміни процедури фільтрації сигналів фільтрацією кореляційної функції [6], вираз (3) було використано у ході проектування кореляційних течешукачів К-10 розробки ІПМЕ ім. Г.Є Пухова НАН України [7].

1. Щербаков В.И., Грездов Г.И. Электронные схемы на операционных усилителях. Справочник. Киев. Техніка. 1983. -213с.

2. Веселова Г.П., Грибанов Ю.И. Об оптимальном шаге выборки при вычислении корреляционной функции случайных процессов на цифровых устройствах. Автоматика и телемеханика, N12, 1968.

3. Владимирский А.А., Владимирский И.А. Выбор числа точек БПФ и типа данных при вычислении оценок корреляционной функции. Зб. наук. праць. ІПМЕ НАНУ., Київ-2000. Вип.6. с.43-46.

4. Владимирский А.А., Владимирский И.А. Оценка некоторых погрешностей корреляционного течеискателя. Зб. наук. праць. ІПМЕ НАНУ., Київ, 1999. Вип.2. с.118-126.

5. Владимирский А. А., Владимирский И. А. Методика учёта инструментальных погрешностей при разработке корреляторов. Электронное моделирование. 2008. 30 (1). С. 71-88.

6. О.А. Владимирський, І.А. Владимирський. Організація цифрової фільтрації даних у кореляційному течешукачі. Матеріали V науково-практичної конференції «безпека енергетики в епоху цифрової Трансформації», ІПМЕ ім. Г.Є.Пухова, 22 листопада 2023 року, с.8-11.

7. Владимирский А.А, Владимирский И.А., Криворучко И.П, Савчук Н.П. Разработка модернизированного корреляционного течеискателя К-10.5М2. Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. Вип. 79, Київ, 2017р.-с.69-70.

О.А. Владимирський, І.А. Владимирський, І.П. Криворучко, Г.В. Анфімова

ДОСВІД РОЗРОБКИ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ МЕХАНІЗМІВ

Групою "Технічна діагностика" Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова НАН України проводяться роботи щодо створення та впровадження засобів технічної діагностики енергетичного і енергоємного обладнання. Одним з напрямків робіт є створення засобів контролю параметрів руху (ПР) механізмів.

У роботі представлено Вимірник кінематичних та динамічних параметрів ліфтів (ИКПЛ-М3) [1, 2], в якому застосовується контактний метод вимірювання. В комплект вимірювача входять: вимірювальний перетворювач, комплект первинних перетворювачів, набір монтажних та кріпильних пристроїв, інтерфейсний кабель, мобільний комп'ютер з програмним забезпеченням, транспортно-робоча укладка. Приведення в дію вимірювального перетворювача (п.1, рис.1) пристрою здійснюється шляхом безпосереднього дотику ролика (п.3, рис.1) або торцевої насадки (п.2, рис.1) з поверхнею контрольованого об'єкта. Забезпечення надійного контакту гумового ролика або торцевої насадки, що самоцентрується, з об'єктом контролю здійснюється за допомогою підпружиненої пінолі (п.4, п.5, рис.1).

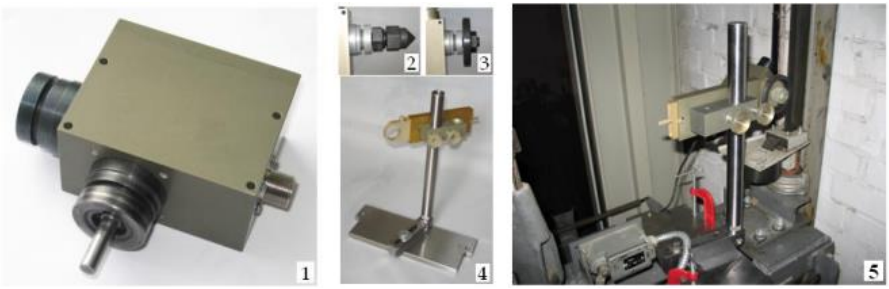


Рис.1. Вимірювач ИКПЛ-М3:
1 - вимірювальний перетворювач; 2 – торцева насадка (для вимірювання обертального руху); 3 – ролик (для вимірювання лінійного руху); 4 – пружна піноль з кріпильними пристроями; 5 – приклад монтажу ИКПЛ-М3 на кабіні ліфта

Результати вимірювань ПР механізмів зберігаються у вигляді файлів цифрових даних (записів ПР) на мобільному комп'ютері та подаються у вигляді трьох графіків “Відстань”, “Швидкість” та “Прискорення” лінійного чи обертального руху. Є можливість вимірювання миттєвих значень цих параметрів, автоматичного розрахунку їх середніх, максимальних та мінімальних значень на довільно вибраних інтервалах часу записів ПР (так звані маркерні вимірювання).

Основні метрологічні характеристики вимірювача ИКПЛ-М3 наведено у таблиці 1. Вони відповідають вимогам нормативних документів щодо перевірки ліфтового обладнання [3, 4]. Спочатку ці вимірювачі призначалися для проведення приймально-здавальних та сертифікаційних випробувань ліфтів, під час яких контролюються відстань, швидкість та прискорення руху кабіни ліфта у всіх режимах. На рис.2 – рис.4 подано приклади зареєстрованих ПР кабіни пасажирського ліфта у різних режимах випробування. Передбачено експорт графіків ПР механізмів до протоколів випробувань та ін.

Таблиця 1. Основні метрологічні характеристики

Технічна характеристика	Діапазон	Похибка, %
Лінійне переміщення	0,0226 … 1000, м	0,35
Кутове переміщення *	30 … 3600000, градус	0,35
Лінійна швидкість	0,009-14,0 м/с	1,0
Кутова швидкість	0,04 … 4800, об/хв	1,0
Лінійне прискорення	0,05 … 40, м/с^2	2,0
Кутове прискорення	5 … 4000, рад/с^2	2,0

* Роздільна здатність у прецизійному режимі - 1,5 кутові хвилини.

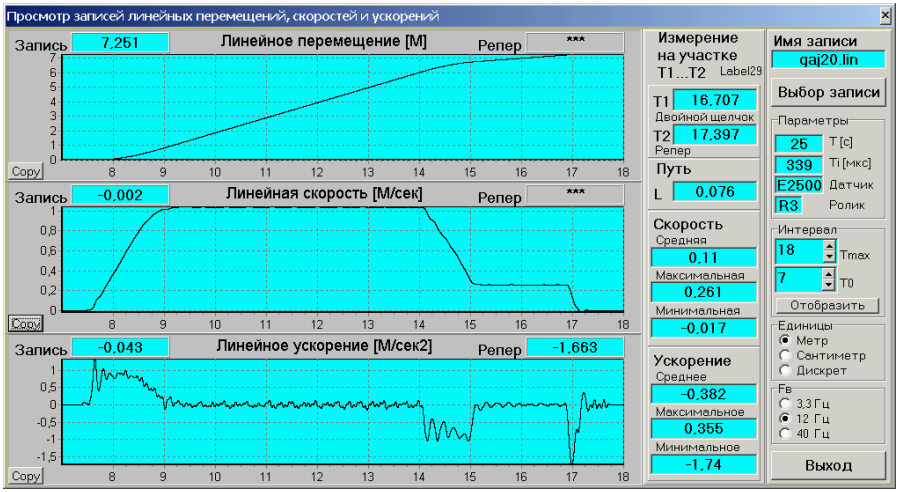


Рис.2. Графіки ПР кабіни пасажирського ліфта на два поверхи нагору. Номінальна швидкість 1,04 м/сек, низька швидкість 0,26 м/сек, прискорення розгону 1,33 м/сек^2, прискорення гальмування 1,07 м/сек^2 (1 етап) та 1,74 м/сек^2 (2 етап), за час руху кабіна пройшла відстань 7,25 м. ПР кабіни ліфта знаходяться у допустимих межах

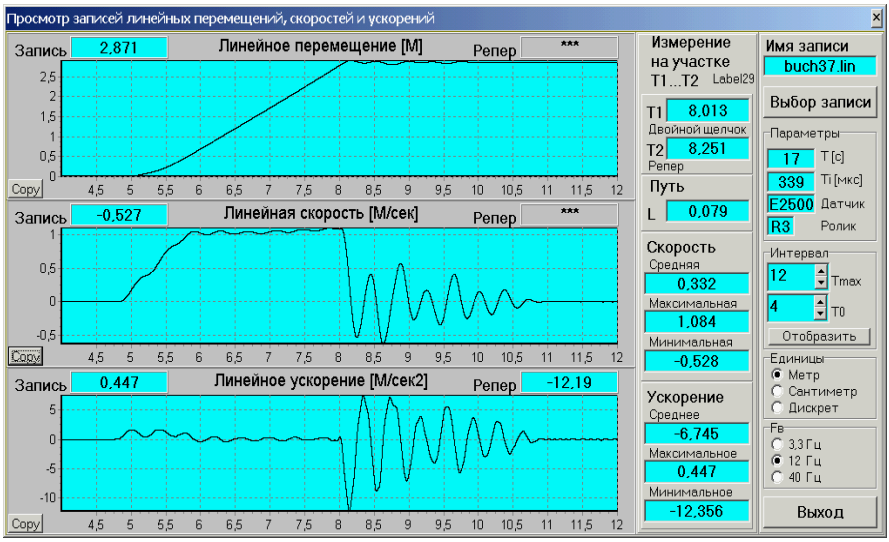


Рис.3. Графіки ПР кабіни ліфта при ударі об буфер (імітація відмови датчиків положення кабіни). Перед ударом кабіна рухалася із номінальною швидкістю 1,04 м/сек. Максимальне прискорення гальмування 12,36 м/сек^2, середнє прискорення гальмування 6,75 м/сек^2

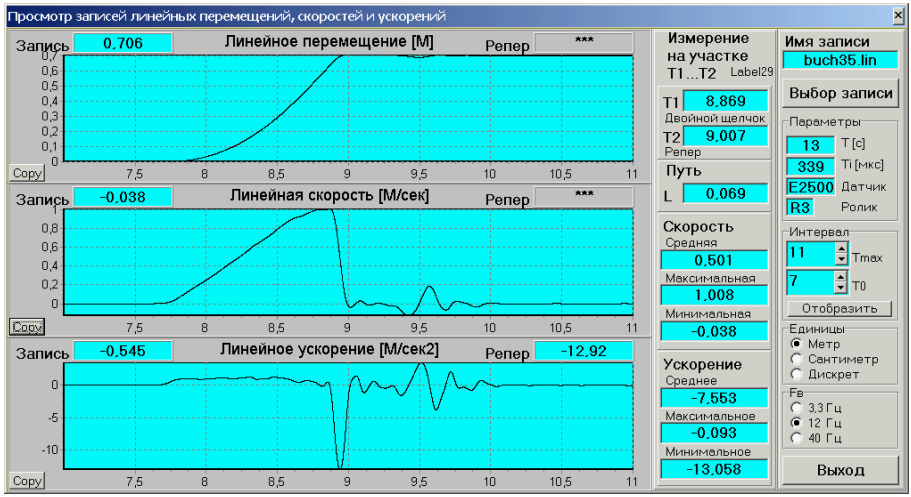


Рис.4. Графіки ПР кабіни ліфта при спрацьовуванні уловлювачів (імітація обриву тросів). Після зняття гальма кабіна розганяється із прискоренням 1,06 м/сек^2 до швидкості 1,01 м/сек. Тривалість гальмування при спрацьовуванні уловлювачів 0,11 с, гальмівна відстань 0,07м. Максимальне прискорення гальмування 13,06 м/сек^2, середнє прискорення гальмування 8,77 м/сек^2

Є досвід вимірювання ПР ескалаторів київського метро та дослідження характеристик експериментальних лебідок для ліфтів. Проведено адаптацію Вимірника ИКПЛ до специфічних вимог виконання робіт на пасажирських та вантажних підвісних канатних дорогах. Виконано випробування ліфтового обладнання на ЧАЕС.

У зв'язку з масштабними руйнуваннями міської інфраструктури в багатьох вітчизняних містах актуальним стає питання проведення термінових та об'ємних аварійно-відновлювальних робіт, у тому числі, ліфтового обладнання, ескалаторів, підвісних канатних доріг та ін. Збільшується обсяг не лише сертифікаційних випробувань на відповідність параметрів руху вимогам нормативних документів [3, 4], але, головним чином, також і діагностичних робіт та виявлення численних несправностей з метою їхнього оперативного усунення. Фактично суттєво підвищуються вимоги до оперативності та функціональності проведення вимірювань.

Виникла необхідність здійснювати синхронну реєстрацію параметрів руху та супутніх подій. Мається на увазі факт спрацьовування будь-яких контактних датчиків (кінцеві вимикачі дверей, датчики положення кабіни вздовж шахти ліфта та ін.). При цьому зазначені контактні датчики в більшості випадків є невід'ємною частиною схеми управління ліфта, вони можуть входити у так званий "ланцюг безпеки ліфта". Увімкнення ліфта з порушеним ланцюгом безпеки забороняється Правилами техніки безпеки. Величина напруги, що комутується контактними датчиками різних ліфтів, може перебувати в діапазоні від 5 до 380 В постійного або змінного струму, що створює додаткові складності з підключенням вимірювального обладнання до таких контактних датчиків. Модернізація вимірювачів здійснюється шляхом їхньої доукомплектації модулем КМ-3 та встановленням нового програмного забезпечення [5, 6]. Додаткові функціональні можливості полягають у наступному: 1) можливість реєстрації спрацьовування контактних датчиків синхронно з реєстрацією параметрів руху, 2) для відновлення “ланцюга безпеки” об'єкта контактний датчик замінюється контактами підмінного реле.

Для підвищення оперативності та зручності застосування розроблено монтажні та кріпильні пристрої на основі магнітних та електромагнітних тримачів, радіоподовжувач для бездротового підключення Вимірювального перетворювача.

За минулі роки до ліфтобудівних підприємств, експертних технічних центрів та обслуговуючих організацій України передано понад 30 комплектів Вимірювачів (в тому числі: ТОВ “Укрліфтсервіс”, ДП “Рівненський ЕТЦ”, ДП “Кримський ЕТЦ”, ДП “Східний ЕТЦ”, ДП “Луганський ЕТЦ”, ДП “Волинський ЕТЦ”, ТОВ “Укртеплосервіс”, ТОВ “Карат-Ліфткомплект”, ДП “Кіровоградський ЕТЦ”, ДП “Вінницький ЕТЦ”, ТОВ „СКС КОНСАЛД”, ТОВ “ДІЕКС”, ДП “Чернігівський ЕТЦ”, ДП “Черкаський ЕТЦ”, ДП "Західний ЕТЦ", ДП "Карпатський ЕТЦ", ДП "Запорізький ЕТЦ", ДП "Тернопільський ЕТЦ", ДП "Чернівецький ЕТЦ", ДП "Київський ЕТЦ"), ТОВ

“ТЕСКО”, ДП “Придніпровський ЕТЦ”, ДП “Полтавський ЕТЦ”, ТзОВ "Чорне море плюс", ДП „Сумський ЕТЦ”, ДП „Подільський ЕТЦ”).

Виготовлення Вимірювачів здійснюється на замовлення підприємств України. Вимірники супроводжуються Свідоцтвом калібрування ДП “Укрметртестстандарт”. ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України проводить довічне технічне та гарантійне обслуговування вимірників, супровід та вдосконалення програмного забезпечення, організовує періодичне калібрування, здійснює навчання методиці вимірювань.

Вищевикладене дозволяє рекомендувати застосування Вимірника ИКПЛ-М3 як сертифікованого засобу вимірювання кінематичних і динамічних параметрів руху механізмів у суміжних областях, у тому числі, для контролю різних енергетичних та енергоємних об'єктів на АЕС.

1. Владимирский А.А. Разработка средств контроля параметров движения подъемно-транспортного оборудования. Подъемные сооружения. Специальная техника. 2013. № 2. С. 21-24.
2. Владимирський О.А. Комп'ютерна програма “Измеритель кинематических и динамических параметров лифтов”, версия В3.05” (“Lift V3.05”). Свідоцтво про реєстрацію авторського права на службовий твір № 60780 від 23.07.2015р. / ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. Публ. 30.10.2015р, Бюл. № 38.
3. Правила будови і безпечної експлуатації ліфтів [Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов]: НПАОП 0.00-1.02-08: Затв. 01.09.2008 № 190 / Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду –Х.: Вид-во “Індустрія”. “Основа”. 2008. 192 с.
4. ДСТУ EN 81-50:2015 Норми безпеки щодо конструкції та експлуатації ліфтів. Випробування та перевіряння. Частина 50. Норми проектування, розраховування, випробування та перевіряння компонентів ліфта (EN 81-50:2014, IDT) – [Чинний від 2018-01-01]. Київ, 2016. 22 с.
5. Владимирский А.А., Владимирский И.А., Криворучко И.П. Регистрация сопутствующих событий в измерителе параметров движения. Науково-практична конференція “Кібербезпека енергетики”. Запрошення, програма та матеріали. Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. Київ, 28 травня 2021. С. 30-33.
6. Владимирський О.А., Владимирський І.А., Криворучко І.П., Анфімова Г.В. Компьютерная программа “Измерение параметров движения. Регистрация событий. (Лифт-3.05-КМ3)”. Инструкция по эксплуатации. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на службовий твір № 112610 від 07.04.2022р. ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. Публ. 31.05.2022р, Бюл. №70.

Д.В. Колєснік

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНІ ДІАГНОСТИКИ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ РЕАКТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Підвищення надійності та безпеки атомних станцій забезпечується підвищенням надійності систем безпеки, а також використанням спеціальних систем контролю та діагностики, що дозволяють виявити на ранній стадії дефекти обладнання, прогнозувати їх розвиток, діагностувати процеси та розпізнавати порушення нормальної експлуатації на ранній стадії їх розвитку.

На сьогоднішній день на АЕС України впроваджені та експлуатуються наступні системи діагностики:

- комплексна система діагностики та моніторингу АЕС з реакторною установкою типу ВВЕР-1000 та обчислювальна мережа (КСД).

Локальні системи діагностики (ЛСД):

- система контролю протікання теплоносія першого контуру (СКПТ);
- система внутрішньореакторної шумової діагностики (СВШД);
- система виявлення вільних і слабозакріплених предметів (СВСП);
- система діагностики залишкового втомного ресурсу (СДЗР);
- система віброконтролю і діагностики ГЦН (СВКД ГЦН);
- система вібродіагностики реакторної установки (СВДРУ);
- система контролю переміщення трубопроводів (СКПТр)

КСД являє собою інформаційно-обчислювальну систему з дворівневою структурою. Нижній рівень складається з ЛСД, які вирішують завдання діагностування конкретного обладнання. Верхній рівень КСД складають дубльований сервер та робочі станції, які вирішують завдання діагностування обладнання на рівні енергоблоку з урахуванням даних, отриманих від ЛСД та від інформаційно-обчислювальної системи енергоблоку. КСД спроектовані із значними резервами обчислювальної потужності та допускають підключення додаткових ЛСД і завантаження додаткового програмного забезпечення. Таким чином, впровадження сучасних високонадійних уніфікованих КСД закладає фундамент для подальшого вдосконалення та розвитку систем технічного діагностування обладнання АЕС.

СКПТ призначена для контролю герметичності обладнання та трубопроводів та своєчасного виявлення течій теплоносія першого контуру при роботі енергоблока на різних рівнях потужності в режимах нормальної експлуатації, з порушеннями нормальної експлуатації, а також у режимі «мала теча» теплоносія першого контуру.

СВШД призначена для вібромоніторингу та діагностування основного технологічного обладнання реакторної установки, включаючи реактор з внутрішньокорпусними пристроями, з метою виявлення аномальних вібраційних станів обладнання, викликаних появою в ньому дефектів,

зміною умов його закріплення або зростанням гідродинамічних навантажень на обладнання з боку потоку теплоносія першого контуру в режимі нормальної експлуатації.

СВСП призначена для виявлення в потоці теплоносія предметів, що вільно переміщаються, і деталей обладнання з ослабленим кріпленням, з використанням датчиків акустичного шуму на поверхні обладнання реакторної установки.

СДЗР призначена для розрахунку накопиченого втомного пошкодження та залишкового ресурсу елементів обладнання 1-го контуру РУ в найбільш навантажених (контрольних) точках, обраних відповідно до проектних розрахунків на міцність.

СВКД ГЦН призначена для контролю та оцінки технічного стану ГЦН шляхом контролю та аналізу вібраційних параметрів, надання інформації про стан насосів персоналу.

СВДРУ призначена для моніторингу та діагностування вібраційного стану трубопроводів першого контуру та основного обладнання РУ за допомогою віброметричних методів вимірювання амплітуд та частот вібрації контрольованого обладнання.

СКПТр призначена для постійних вимірів та фіксації максимальних переміщень трубопроводів в умовах нормальної експлуатації енергоблоку та в перехідних режимах (пуск, зупинка, часткове скидання навантаження) для надання інформації оперативному та технічному персоналу.

Наявність систем діагностики забезпечує підвищення рівня безпеки енергоблоків завдяки оперативному аналізу стану, ранньому виявленню та прогнозуванню розвитку непроєктних станів в устаткуванні, зниженню частки важких ушкоджень і позапланових ремонтів, оптимізації планування технічного обслуговування під час експлуатації енергоблоків.

О.М. Дибач

МЕТОД БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОЦІНКИ РЕЗИЛЬЄНТНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЄВРОПЕЙСЬКИХ КРАЇН ENTSO-E ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ

Резильєнтність є багатовимірним та комплексним поняттям, що набуває значного поширення у міжнародній практиці для різних галузей економіки та промисловості та дедалі частіше використовується як характеристика енергосистем. Резильєнтність національної енергосистеми впливає на всі аспекти сталого розвитку країни, а саме на економіку, урядування, суспільство та довкілля, і забезпечує високу якість життя та добробут громадян.

По відношенню до об'єктів критичної інфраструктури термін резильєнтність визначений у Директиві ЄС 2022/2557 від 14 грудня 2022 року [1]: «резильєнтність – здатність критичного об'єкта інфраструктури запобігати, захищати, реагувати, протистояти, пом'якшувати, поглинати, пристосовуватися і відновлюватися після інциденту».

Згідно з [2], забезпечення резильєнтності електропостачання та відповідно енергетичної безпеки є надзвичайно важливими для розробки енергетичної політики, особливо в поточному європейському контексті.

Необхідною умовою для досягнення цих цілей є розробка методів оцінювання резильєнтності енергосистеми на рівні країни, верифікація цих методів та їх застосування для порівняльного аналізу рівня резильєнтності енергосистем у різних країнах та прийняття управлінських рішень.

Метод оцінювання резильєнтності енергосистем було розроблено науковцями Інституту Пауля Шеррера (Швейцарія) в рамках програми «Horizon 2020» та застосовано для оцінювання енергосистем 35 країн ENTSO-E (Європейська мережа операторів систем передачі електроенергії) станом на кінець 2020 року [3].

Розроблений метод базується на синергії методів багатокритеріального аналізу рішень (MCDA): (i) метод карток для встановлення пріоритетів критеріїв; (ii) кількісна оцінка потенційних негативних або позитивних взаємодій між критеріями; і (iii) інтеграл Шоке.

Для оцінювання складові резильєнтності були виділені у три групи «Стійкість», «Стабілізація» та «Відновлення». У вказаних групах визначено 17 критеріїв оцінювання, зокрема для прикладу:

g1 – Індекс середньої тривалості переривання системи (System Average Interruption Duration Index - SAIDI). SAIDI є мірою загальної тривалості перерв у електропостачанні на одного споживача за рік. Це загальновживаний індикатор і пряме відображення якості та надійності електропостачання. Високе значення SAIDI вказує на те, що перебої в

електропостачанні є частими та/або тривають довго, а це означає, що система не працює задовільно та чутлива до відключень у разі потенційних збоїв.

g2 – Ризики серйозних аварій. Цей критерій кількісно визначає кількість загиблих внаслідок аварій при виробництві електроенергії (≥ 5 смертельних випадків) на одиницю річної виробленої електроенергії (ГВт*р). Спочатку показник кількісно визначається для кожної технології виробництва, а потім агрегується відповідно до складу виробництва в кожній країні. Смертельні випадки включають не лише події, пов'язані з фактичним виробництвом електроенергії, але й усі етапи виробництва, передачі та ланцюга передачі. Високе значення вказує на те, що серйозні аварії є частими, що призводять до вищого рівня смертності, що відбувається в країнах із нижчими стандартами безпеки або недостатнім технологічним досвідом.

Обрані критерії оцінювання були ранжовані за значущістю – «висока», «середня», «низька». Також були визначені та враховані зв'язки між критеріями.

Результати оцінювання резильєнтності енергосистем в графічному вигляді наведено на Рисунку 1.

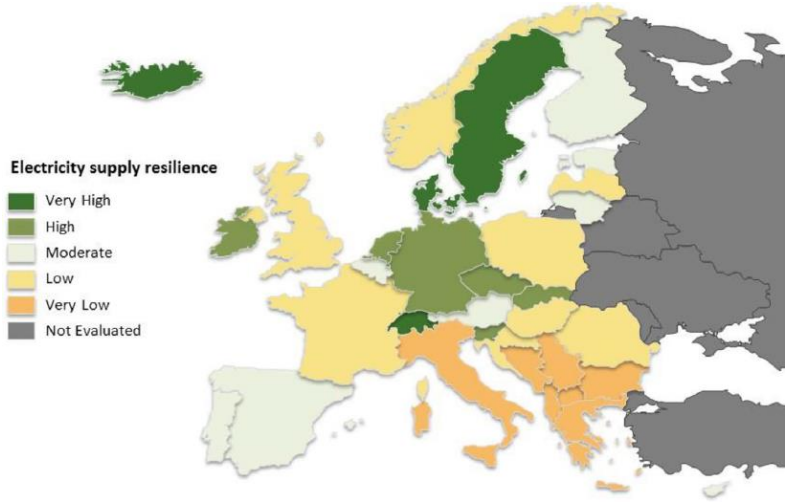


Рисунок 1 – Резильєнтність енергосистем країн ENSTO-E (станом на 2020 р.) [3]

16 березня 2022 року Україна приєдналася до європейської енергетичної системи ENTSO-E, а 28 листопада 2023 року ENTSO-E оголосило про успішне завершення синхронізації української та європейської енергосистем.

З огляду на зазначене, оцінювання резильєнтності енергосистеми України з використанням розглянутого вище методу є перспективною задачею. Це, в тому числі, дозволить кількісно оцінити резильєнтність енергосистеми України у порівнянні із іншими європейськими країнами та

розробити заходи для посилення резильєнтності нашої енергосистеми. При виконанні оцінювання особлива увага має бути приділена адекватності вихідних даних та повноті/застосовності критеріїв оцінювання з огляду на триваючі атаки рф на енергосистему України.

1. Directive (EU) 2022/2557 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2022 on the resilience of critical entities and repealing Council Directive 2008/114/EC.

2. International Energy Agency (2020). Power systems in transition, Challenges and opportunities ahead for electricity security, Retrieved December 15, 2022.

3. E.Siskos, P. Burgherr, Multicriteria decision support for the evaluation of electricity supply resilience: Exploration of interacting criteria. European Journal of Operational Research 298 (2022) 611–626

ЗМІСТ

О.А. Владимирський, І.А. Владимирський, О.М. Дибач
ПАРАМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ У ЗАДАЧАХ ДІАГНОСТИКИ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ АЕС …….. 8

В.В. Мохор, О.А. Владимирський
ПРО РОЗРОБКУ ПРОЕКТУ КОНЦЕПЦІЇ ПОБУДОВИ БАГАТОРІВНЕВОЇ ГАЛУЗЕВОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ, ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АЕС УКРАЇНИ ……..…….. 10

О.А. Владимирський, І.А. Владимирський, І.П. Криворучко, Г.В. Анфімова
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ СПОЖИВАЧІВ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ …….. 14

О.А. Владимирський, І.А. Владимирський
ПРО ВИБІР ПАРАМЕТРІВ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ТРАКТУ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ ……... 21

В.А. Дюков, О.В. Шавлаков
ДІАГНОСТИКА ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС. ПОТОЧНИЙ СТАН …….. 26

В.А. Дюков, О.А. Владимирський, В.О. Артемчук
ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА ВИГОРОДКИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ВВЕР-1000 ……... 30

В.А. Дюков, О.А. Владимирський, І.А. Владимирський
ПРО ПРОБЛЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТРУБНИХ ПУЧКІВ ПАРОГЕНЕРАТОРІВ ПГВ-1000М ……... 35

Ю.І. Гижко, В.М. Зварич, Л.Б. Остапчук
ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ АВТОНОМНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ВІБРОДІАГНОСТИКИ ОБЕРТОВИХ ВУЗЛІВ ДВИГУНІВ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ АЕС …….. 37

І.П. Каменева
СТРУКТУРА БАЗИ ЗНАНЬ ДЛЯ КОНТРОЛЮ СТАНУ БЕЗПЕКИ АТОМНИХ СТАНЦІЙ ……... 41

Б.М. Плескач
ВПРОВАДЖЕННЯ ПРЕЦЕДЕНТНО-АНАЛІТИЧНОГО ПІДХОДУ ДО КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ АЕС ……... 43

А.Я. Недосєка, С.А. Недосєка, М.А. Яременко
СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ВИРОБНИЦТВ З ОНЛАЙН ОЦІНКОЮ ТА ПРОГНОЗОМ СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ …….. 47

O.O. Tsypliak, V.O. Artemchuk
LLM-BASED AUTONOMOUS WEB PLATFORM FOR ADAPTING QUIZZES FOR RENEWED TRAINING FOR NPP WORKERS …….. 52

С.С. Шевченко
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОТРИМАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ШЛЯХОМ ВТІЛЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ СИСТЕМИ НАВЧАННЯ ПЕРСОНАЛУ АЕС …… 55

О.А. Владимирський, І.А. Владимирський
АНАЛІЗ ВІДНОСНОЇ ПОХИБКИ ОЦІНОК КОРЕЛЯЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ ……... 57
О.А. Владимирський, І.А. Владимирський, І.П. Криворучко, Г.В. Анфімова
ДОСВІД РОЗРОБКИ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ МЕХАНІЗМІВ …….. 61

Д.В. Колєснік
СИСТЕМИ ТЕХНІЧНІ ДІАГНОСТИКИ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ РЕАКТОРНОЇ УСТАНОВКИ ……... 66

О.М. Дибач
МЕТОД БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОЦІНКИ РЕЗИЛЬЄНТНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЄВРОПЕЙСЬКИХ КРАЇН ENTSO-E ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ …… 73

МАТЕРІАЛИ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

«ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА ОБЛАДНАННЯ АЕС»

06 грудня 2023 року
м. Київ

Формат 60×90/16. Тираж 100.
Підписано до друку 30.11.2023. Заказ № 10

Інститут проблем моделювання в енергетиці
ім. Г.Є. Пухова Національної академії наук України,
Україна, 03164, Київ, вул. Генерала Наумова, 15,
тел.: +38 044 424 10 63
https://ipme.kiev.ua/, ipme@ipme.kiev.ua