

Сергій Володимирович Зайцев, Віктор Панасович Кишневський

¹кандидат технічних наук, інженер кафедри атомних електростанцій
Національний університет «Одеська політехніка» (Одеса, Україна)
E-mail: sdjavdet@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1166-3243>

²доктор технічних наук, професор кафедри атомних електростанцій
Національний університет «Одеська політехніка» (Одеса, Україна)
E-mail: kishnevskiy@op.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1780-2969>

**ПРОЦЕСНИЙ ПІДХІД ДО ДІАГНОСТУВАННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ ОЛИВОНАПОВНЕНОГО
ОБЛАДНАННЯ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ**

Стаття є оглядовою. У цьому дослідженні розглянуто основні стани технологічних середовищ під час їх експлуатації в оливонаповненому обладнанні енергопідприємств, зокрема в підрозділах атомної електростанції (АЕС). Як технологічне середовище розглянуто газоподібні, рідкі, тверді речовини або їх суміші, що знаходяться в оливонаповненому обладнанні для забезпечення його функціонування в таких видах його оперативних станів, як робота за призначенням, резервування, консервація, технічне обслуговування і ремонт, або видаляються з цього обладнання примусово або мимоволі в інше обладнання або в навколишнє середовище. До таких технологічних середовищ віднесено, зокрема, трансформаторні й турбінні оливи, охолоджуюча вода, газоподібний водень. Отримані результати дозволяють: удосконалити процесний підхід до діагностування газоподібних, рідких, твердих технологічних середовищ у процесі їх експлуатації в оливонаповненому обладнанні АЕС України на підставі результатів визначення показників якості цих технологічних середовищ; підвищити достовірність такого діагностування з урахуванням станів технологічних середовищ в оливонаповненому обладнанні. Удосконалено принципову схему розподілу технологічних середовищ в турбогенераторі типу ТВВ з водневим охолодженням ротора і статора та водяним охолодженням обмотки статора.

Ключові слова: технологічні середовища; трансформаторні і турбінні оливи; газоподібний водень; оливонаповнене обладнання; процесний підхід; діагностування; атомна електростанція.

Рис.: 6. Бібл.: 26.

Актуальність теми дослідження. Розвиток України у сфері економічної діяльності викликає попит на такі енергетичні ресурси, як електрична енергія і тепло, виробництво, передача і споживання яких регламентовано Законом України «Про ринок електричної енергії». У енергетичному обладнанні атомних електростанцій (АЕС) використовуються такі технологічні середовища, як енергетичні оливи: турбінні (ТуО), трансформаторні (ТрО), трансмісійні, індустріальні, гідравлічні, компресорні, вакуумні, а також мастила загального застосування [1; 2]. Ці оливи можна розглядати як елемент конструкції обладнання, який дозволяє йому виконувати проєктні функції, що своєю чергою потребує виконання вимог щодо експлуатаційної стабільності й відповідного експлуатаційного ресурсу цих олив. Найбільший обсяг енергетичних олив, що експлуатують в оливонаповненому обладнанні АЕС, належить ТрО і ТуО. В обладнанні АЕС: а) ТуО застосовують у системах змащування та управління парових турбін і гідроагрегатів, змащування та ущільнення валу електрогенераторів, підйому ротора турбоагрегатів, змащування вузлів головних циркуляційних насосів, змащування вузлів турбоживильних насосів та в іншому насосному обладнанні, змащування вузлів дизельних електростанцій власних потреб, змащування вузлів компресорного і холодильного устаткування, змащування вузлів газотурбінної електроустановки; б) ТрО застосовують в трансформаторному обладнанні [2]. В оливонаповненому обладнанні України як технологічне середовище, крім енергетичних олив, використовують також газоподібні, рідкі, тверді речовини (водень, вода, адсорбенти та інші), стан яких впливає на технічний стан оливонаповненого обладнання. На підставі процесного підходу з урахуванням вимог до компетентності випробувальних лабораторій АЕС можлива організація діагностування технологічних середовищ оливонаповненого обладнання АЕС, які постійно удосконалюються [1; 3]. Тому постійне удосконалення процесного підходу до діагностування технологічних середовищ оливонаповненого обладнання АЕС є актуальним.

Постановка проблеми. Розглядання енергетичних олиив як елементів конструкції олиивонаповненого обладнання потребує виконання вимог щодо їх експлуатаційної стабільності й відповідного експлуатаційного ресурсу. Це може бути досягнуто за рахунок удосконалення елементів системи діагностування технологічних середовищ, які застосовують в олиивонаповненому обладнанні та можуть впливати одне на одного. Надійність такої системи діагностування технологічних середовищ олиивонаповненого обладнання може бути забезпечена за рахунок удосконалення процесного підходу до діагностування технологічних середовищ олиивонаповненого обладнання АЕС. У наш час процеси модернізації олиивонаповненого обладнання АЕС є постійними та необхідними, що потребує розширювати вимоги до діагностування технологічних середовищ для визначення та прогнозування їхнього стану [4]. Таким чином, є необхідність у постійному удосконаленні процесного підходу до діагностування технологічних середовищ олиивонаповненого обладнання АЕС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [5] показано, що олиивонаповнене енергетичне обладнання – тепломеханічне, гідромеханічне та електротехнічне обладнання загального призначення, у технологічних системах якого олииви використовуються як робоча рідина.

У роботах [1; 2] показано, що: а) в обладнанні АЕС України на даний час знаходяться в експлуатації ТуО: мінеральні – марок Тп-22, Т-22С, Тп-22Б, Енергоойл Тп-22с, Агрінол Тп-22, Агрінол Тп-22с, Агрінол Тп-30, Агрінол Тп-46; синтетичні вогнестійкі турбінні олииви (СВТО) – марок Reolube®ОМТІ, Reolube®46RS, Fyrquel®L, Енергоойл Турбо 46; б) під час експлуатації олиивонаповненого обладнання АЕС часто відбувається модернізація обладнання [4] та застосування нових технологічних середовищ [1]. Наприклад: а) в енергоблоках № 1 і № 2 Хмельницької АЕС на даний час застосовано ТуО марок «Reolube®ОМТІ», «Reolube®46 RS», а раніше використовувалися рідини «ОМТІ», «Fyrquel®L»); б) в енергоблоці № 3 Південно-Української АЕС на даний час застосовано ТуО марки «Reolube®ОМТІ», а раніше в експлуатації була суміш ТуО марки «Fyrquel®L» (80 % маси) і марки «Reolube®ОМТІ» (20 % маси) [1].

У роботі [6] показано, що в трансформаторному обладнанні АЕС України на даний час можуть знаходитися в експлуатації ТрО: а) мінеральні – марок ГК, Т-1500, Т-1500У, Т-750, ТКп, Nytro10XN(10X), Nytro11GBX(11GX), Shell Diala S4 ZX-1; синтетична – марки HyVolt III.

У роботі [7] відзначено, що: технологічне середовище – тверді, рідкі, газоподібні і багатофазні об'єкти, активно або пасивно використовувані в технологічному процесі виробництва або/і застосування продукції; якість технологічного середовища – ступінь придатності технологічного середовища до застосування при транспортуванні, зберіганні, використанні за призначенням, регенерації, і яке визначають за допомогою значень ряду показників, обумовлених відповідними нормативними документами.

В роботах [8; 9] наведено основні вимоги до таких показників якості технологічних середовищ (мінеральних ТуО і СВТО) олиивонаповненого обладнання АЕС, як: кінематична в'язкість; температури спалаху у відкритому тиглі; кислотне число; вміст водорозчинних кислот; масова частка води; масова частка механічних домішок; клас промислової чистоти; рН водної витяжки; число деемульсації; вміст розчиненого шламу; антикорозійні властивості; схильність до піноутворення; час деаерації; стабільність до окиснення; об'ємний вміст повітря.

У роботах [6; 10] наведено основні вимоги до таких показників якості технологічних середовищ (мінеральних і синтетичних ТрО) олиивонаповненого обладнання АЕС, як: густина; кінематична в'язкість; температури спалаху в закритому тиглі; температура застигання; кислотне число; вміст водорозчинних кислот; масова частка води; масова частка

механічних домішок; клас промислової чистоти; рН водної витяжки; наявність механічних домішок; наявність нерозчиненої води; вміст протиокисної присадки «Іонол»; вміст фуранових сполук; антикорозійні властивості; натрова проба; прозорість; колір; показник заломлення; вміст сірки; розчинений і нерозчинений осад (шлам); стабільність проти окиснення; об'ємний вміст повітря (газовміст); вміст розчинених газів; пробивна електрична напруга; тангенс кута діелектричних втрат.

У роботах [11–13] наведено основні вимоги до показників якості таких технологічних середовищ під час технічної експлуатації турбогенератора з водневим охолодженням та його вузлів (поплавковому гідрозаслоні, бачку продування і водневідокремлювальному баку оливоочищувального пристрою, картерах підшипників, в екранованих струмопроводах, у кожухах лінійних і нульових виводів) та допоміжного обладнання, як: газоподібний водень (вміст: водню, кисню, продуктів піролізу електричної ізоляції обмотки статора, вільних газів, пару води, пару TuO , добове витікання водню за робочого тиску в турбогенераторі); інертний газ – азот (вміст: водню, кисню); охолоджуюча вода для теплообмінників типу « TuO – вода» (вміст TuO у воді); охолоджуюча вода для теплообмінників типу «водень – вода» (вміст водню у воді); охолоджуюча знесолена вода (дистилят) у системі охолодження обмотки статора турбогенератора (вміст водню у дистиляті).

У роботі [14] наведено основні вимоги до якості технологічного середовища обладнання другого контуру АЕС, які встановлюють способи корекційної обробки робочого середовища обладнання другого контуру; норми якості робочого середовища на стадіях пуску після реконструкції, пусків після зупинення роботи обладнання другого контуру АЕС, під час експлуатації; межі і рівні дії при відхиленні нормованих показників якості технологічного середовища; вимоги до засобів і методів забезпечення водно-хімічного режиму; вимоги до засобів і обсягу хімічного контролю якості технологічного середовища.

У роботах [6; 10; 15] наведено основні вимоги до якості технологічних середовищ – адсорбентів та іонообмінних смол – розмір гранул, вологовміст та інше.

У роботах [6; 10] відзначено, що для TrO : а) стан TrO – це характеристика певної якості TrO за сукупністю властивостей, які зазнають змін у процесі зберігання та експлуатації; б) якість TrO – це ступінь придатності TrO , яку визначають за допомогою значень ряду показників, зумовлених відповідними нормативними документами; в) надано такі терміни та визначення понять, як: свіжа олива, експлуатаційна олива, регенована олива, підготовлена до заливання (доливання) олива, очищена олива, регенерація оливи.

У роботах [5; 8; 9] відзначено, що для TuO надано такі терміни та визначення понять, як: нафтопродукт; нафтова (мінеральна) TuO ; некондиційний нафтопродукт; регенована олива; СВТО; спрацьований нафтопродукт; TuO ; деаерація оливи; експлуатаційна олива; шлам оливи; олива відновленої якості; оливна піна; присадка; продукти старіння оливи; свіжа олива; система змащування. У цих же роботах наведено: а) вимоги до якості, умов приймання та зберігання TuO для енергетичного обладнання АЕС; б) технічні вимоги до процедури введення TuO в експлуатацію; в) технічні вимоги до якості TuO в процесі експлуатації; г) перелік показників якості TuO , за якими приймається рішення про відновлення якості або виведення з експлуатації. Вимоги цих робіт поширюється на всі технологічні процеси АЕС, які пов'язані з експлуатацією TuO , зокрема в системах змащування і регулювання парових турбін, системах змащування і ущільнення валів генераторів, системах змащування головних циркуляційних насосів та насосів системи охолодження води, системах змащування конденсатних електронасосів, насосів перекачування технічної води відповідальних та невідповідальних споживачів, системах змащування та регулювання турбоживильних насосних агрегатів і насосів відкачування сепарату.

У роботі [16] відзначено, що: 1) технічне діагностування проводять із метою контролю технічного стану об'єкта; 2) у процесі технічного діагностування вирішують такі задачі: виявляють дефекти, пошкодження та відмови складових частин та об'єкта зага-

лом, вивчають причини, механізми, умови їх виникнення та розвитку; оцінюють працездатність за сукупністю властивостей об'єкта, які зазнають змін у процесі експлуатації, та прогнозують технічний стан на наступний період експлуатації; оцінюють достатність передбачених у системі регламентованого технічного обслуговування контрольних та профілактичних заходів, направлених на запобігання відмовам в експлуатації, визначають обсяг, методи та періодичність технічного огляду.

У роботі [3]: а) визначено загальні вимоги до компетентності, неупередженості та стійкого функціонування лабораторій. Ці вимоги застосовується до будь-яких організацій, що здійснюють лабораторну діяльність, незалежно від чисельності персоналу. Замовники лабораторії, регуляторні органи, організації, що використовують експертну оцінку, органи з акредитації та інші використовують ці вимоги для підтвердження або визнання компетентності лабораторій; б) показано можливе схематичне представлення операційних процесів лабораторії. Ці вимоги можуть бути застосовані для діагностування станів технологічних середовищ оливонаповненого обладнання АЕС.

У роботі [11] показано, що обсяги і терміни проведення вимірювань та випробувань електрообладнання, яке знаходиться в експлуатації, можуть змінюватися за рішенням керівника з технічних питань підприємства з урахуванням технічного стану електроустановок, терміну їхньої служби та результатів діагностування електрообладнання, і це може бути застосовано при удосконаленні технологічних схем оливонаповненого обладнання АЕС в частині додаткового відбору проб технологічних середовищ із цього обладнання для діагностування стану технологічних середовищ та обладнання.

У роботі [17] досліджено основні принципи та вимоги до функціонування елементів системи управління надійністю оливонаповненого електрообладнання електричних станцій і мереж, в тому числі основні вимоги до програми забезпечення надійності та до системи моніторингу стану цього обладнання. Ці результати можуть бути застосовано для забезпечення надійності та достовірності діагностування технологічних середовищ оливонаповненого обладнання АЕС.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Результати досліджень джерел інформації щодо методів діагностування електротехнічного обладнання та технологічних середовищ в процесі їх експлуатації в електротехнічному оливонаповненому обладнанні енергопідприємств України, показали, що на даний час не достатньо повно застосовано процесний підхід до діагностування різних технологічних середовищ тепло-механічного оливонаповненого обладнання АЕС.

Мета статті. Головною метою статті є удосконалення процесного підходу до діагностування газоподібних, рідких, твердих технологічних середовищ в процесі їх експлуатації в оливонаповненому обладнанні АЕС України на підставі результатів визначення у випробувальній лабораторії показників якості цих технологічних середовищ, що дозволить підвищити достовірність такого діагностування з урахуванням станів технологічних середовищ в оливонаповненому обладнанні.

Завдання дослідження. 1. Виконати аналітичний аналіз літературних джерел, що присвячені діагностуванню газоподібних, рідких, твердих технологічних середовищ в процесі їх експлуатації в оливонаповненому обладнанні енергопідприємств на підставі результатів визначення показників якості цих технологічних середовищ. 2. Удосконалити принципову схему розподілу технологічних середовищ в турбогенераторі типу ТВВ з водневим охолодженням ротора і статора та водяним охолодженням обмотки статора. 3. Надати рекомендації щодо удосконалення процесного підходу до діагностування технологічних середовищ у процесі їх експлуатації в оливонаповненому обладнанні АЕС при визначенні показників якості цих технологічних середовищ.

Предмет дослідження – газоподібні, рідкі, тверді технологічні середовища, що можуть змінювати свої показники якості під час їхнього можливого взаємного проникнення один в одного у вузлах оливонаповненого обладнання під час нормованої експлуатації цих вузлів або при виникненні в них дефектів, і при цьому такі зміни показників якості цих технологічних середовищ потребують їх відновлення за рахунок, наприклад, очищення, осушення, дегазації, регенерації. Як технологічне середовище можуть бути застосовані речовини: 1) газоподібні – водень, повітря, азот, двоокис вуглецю [11–13]; 2) рідкі: а) мінеральні (нафтові) TrO та синтетичні TrO , що отримані за технологією багатоступеневого каталітичного процесу перетворення газу в рідкі вуглеводні [6; 10]; б) мінеральні (нафтові) TuO та СВТО на основі трикслиненілфосфатів [8; 9]; в) вода для охолодження газоподібних, рідких, твердих технологічних середовищ у теплообмінниках [13; 14; 18; 19]; 3) тверді – вуглецеві волокнисті матеріали; активований вуглець, силікагелі, цеоліти, оксиди алюмінію, іонообмінні смоли [5; 6; 9; 15].

Виклад основного матеріалу. У роботі застосовано методи аналітичного аналізу літературних джерел, що присвячені діагностуванню газоподібних, рідких, твердих технологічних середовищ в процесі їх експлуатації в оливонаповненому енергетичному обладнанні України на підставі результатів визначення показників якості цих технологічних середовищ.

У роботах [20; 21] показано, що система діагностування обладнанні включає в себе сукупність елементів: об'єктів діагностування; засобів діагностування (апаратура та програми, за допомогою яких здійснюється діагностування об'єктів діагностування), правил діагностування об'єктів діагностування за вимогами технічної документації; виконавців діагностування об'єктів діагностування. Ці елементи системи діагностування обладнанні можна застосувати при їх адаптації до принципової схеми процесу діагностування технологічних середовищ оливонаповненого обладнання АЕС (рис. 1).



Рис. 1. Принципова схема процесу діагностування технологічних середовищ оливонаповненого обладнання АЕС: ТС – технологічні середовища оливонаповненого обладнання; ОНО – оливонаповнене обладнання; 1.1 – вибір діагностичного забезпечення; 1.2 – вибір засобів діагностування ТС; 1.3 – вибір алгоритму діагностування ТС; 2.1 – технічний стан ОНО; 2.2 – місце відбору проб ТС із ОНО; 2.3 – нормативні показники якості ТС; 3.1 – відповідність встановленим нормам для ТС; 3.2 – невідповідність встановленим нормам для ТС; 5.1 – результат визначення виду стану ТС в ОНО; 5.2 – результат визначення можливих причин зміну стану ТС в ОНО; 5.3 – результат прогнозування стану ТС в ОНО; 5.4 – висновок про результат діагностування ТС; 6.1 – аналітичний опис стану ТС; 6.2 – табличний опис стану ТС; 6.3 – графічний опис стану ТС; 6.4 – інші форми опису стану ТС
Джерело: адаптовано з робіт [20; 21].

У роботі [17] з урахуванням вимог процесного підходу наведено структуру взаємозв'язку між завданнями діагностування (рис. 2).



Рис. 2. Структура взаємозв'язку між завданнями діагностування [17]

Автори роботи [17] визначають, що: 1) взаємозв'язок діагностичних завдань на рис. 2 показано на прикладі одного, окремо взятого дефекту, а інтегральна ж оцінка стану об'єкту діагностування формується як сукупність оцінок усіх його вузлів, тому для складного об'єкту діагностування оцінювання його стану буде формуватися на основі набору подібних паралельних ланцюжків для кожного знайденого дефекту; 2) основними завданнями фахівців з діагностування є: зібрати та дати максимально можливу інформацію про наявні дефекти, причини та механізми їх розвитку, а також про наявний ресурс вузлів, деталей та об'єкта діагностування у цілому; базуючись на розпізнаних механізмах виникнення та розвитку дефектів, дати рекомендації відносно ресурсозберігаючих режимів експлуатації, періодичності проведення та об'єму заходів із контролю технічного стану об'єкта діагностування.

У роботах [22; 23] з урахуванням вимог процесного підходу наведено показники діагностування енергетичного обладнання під час: визначення виду технічного стану об'єкта діагностування; пошуку місця відмови чи несправності об'єкта діагностування; прогнозування технічного стану об'єкта діагностування (рис. 3).

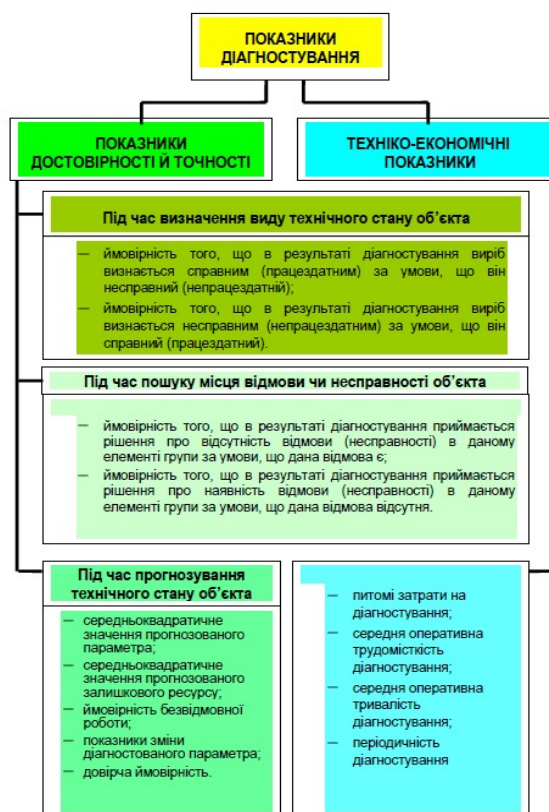


Рис. 3. Показники діагностування енергетичного обладнання [22]

Під час діагностування енергетичного обладнання: показники достовірності і точності діагностування оцінюють ступінь об'єктивної відповідності технічного діагнозу дійсному технічному стану енергетичного обладнання; показники техніко-економічної ефективності діагностування оцінюють ступінь пристосування системи діагностування до виконання поставлених завдань діагностування при економії енергетичних, матеріальних, трудових й екологічних ресурсів у порівнянні з існуючими методами та засобами діагностування енергетичного обладнання [22].

У роботі [24] наведено загальну структуру експертної системи оцінки стану турбогенератора (рис. 4).

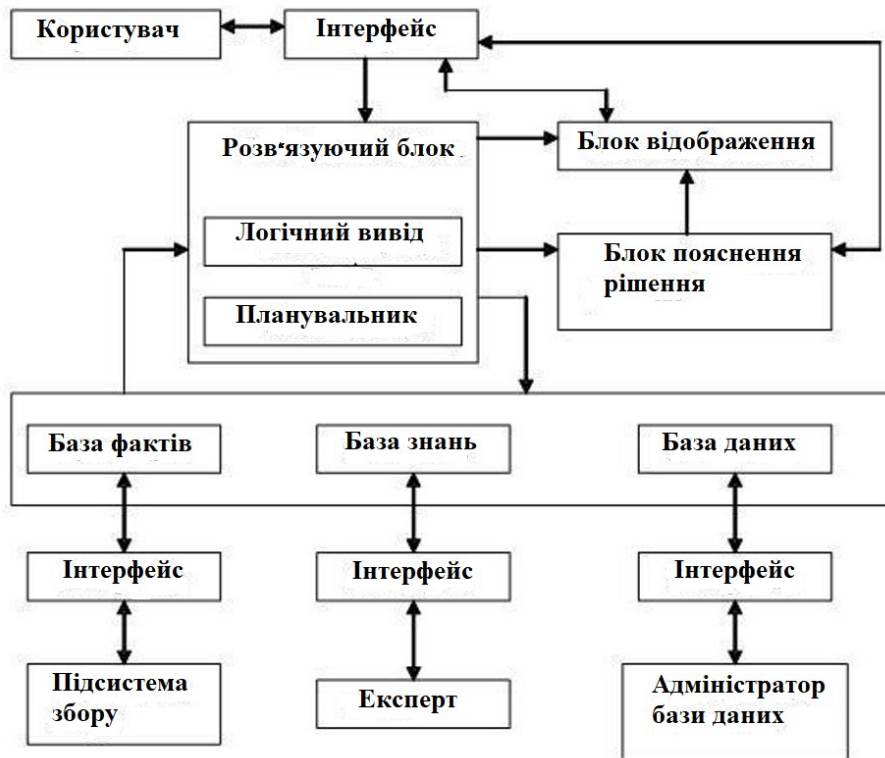


Рис. 4. Загальна структура експертної системи оцінки стану турбогенератора [24]

У роботі [24] показано, що експертна система діагностування стану турбогенератора дозволяє: одержати рішення на основі порівняння інформації їхньої бази фактів і правил з бази знань; відобразити отримані рішення; дати пояснення, чому прийняте таке рішення; може працювати як вузол локальної обчислювальної мережі, так і у складі автоматизованого робочого місця начальника зміни електростанції; може функціонувати в «автоматичному режимі» і в «режимі оперативного контролю». Така загальна структура експертної системи може бути застосована для розробки або удосконалення структури експертної системи діагностування станів технологічних середовищ оливонаповненого обладнання АЕС.

У роботі [25]: викладено керівництво з контролю стану та діагностування обладнання за контрольованими параметрами (наприклад, вібрацією, температурою, витратою робочого середовища, вмістом забруднювальних часток, потужністю, робочою швидкістю), які зазвичай пов'язують із якістю й умовами роботи обладнання; розглянуто відомі загальні методи та процедури, які використовують під час реалізації програми контролю стану (системи моніторингу стану обладнання) для обладнання всіх видів. На рис. 5 наведено рекомендовану в роботі [25] блок-схему програми діагностування обладнання з урахуванням можливого проведення планово-попереджувального (ПП) обслуговування.

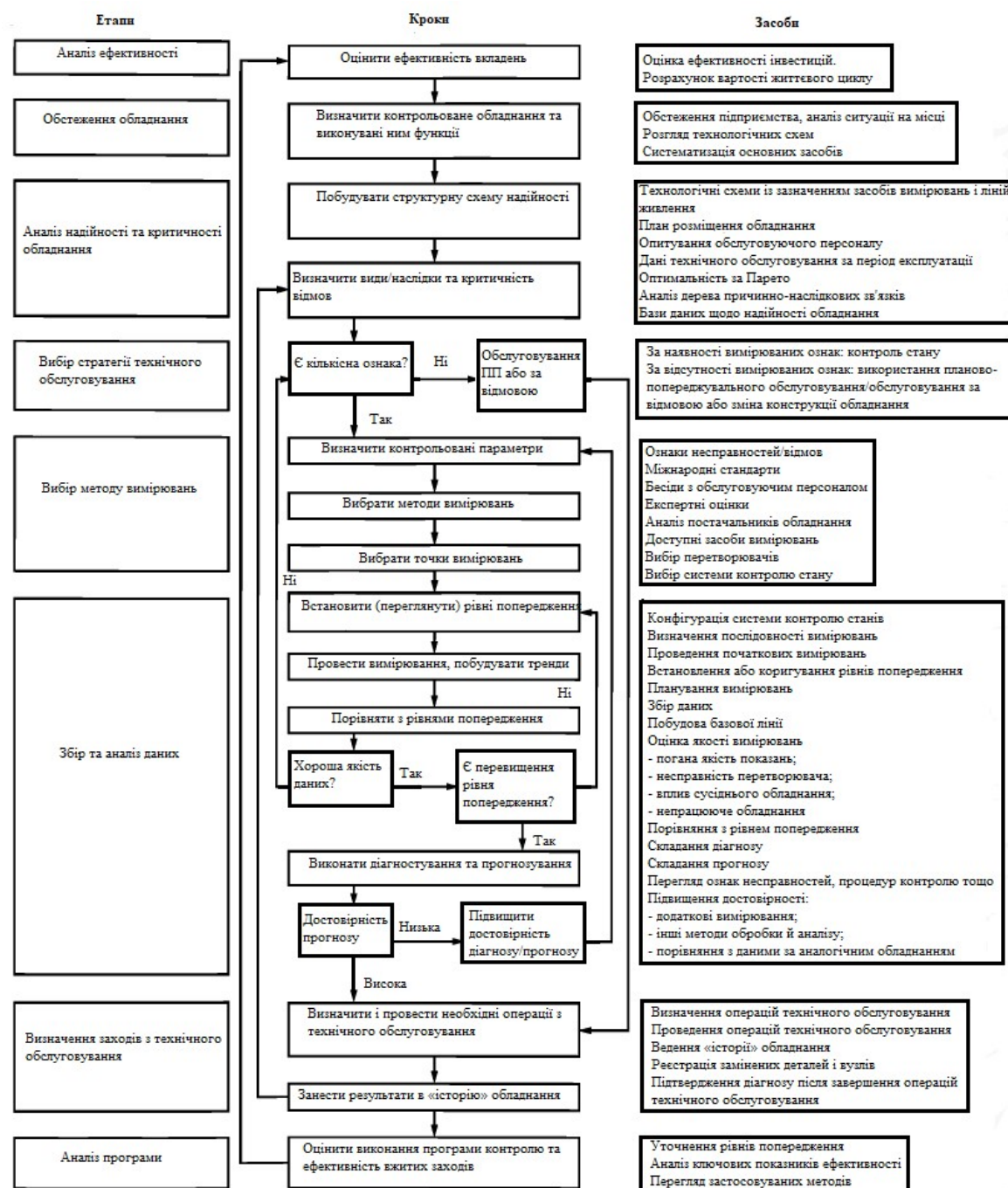


Рис. 5. Блок-схема програми діагностування обладнання [25]

Метою цієї програми має бути виявлення можливих дефектів в обладнанні та вжиття заходів щодо їх запобігання. При виконанні цієї програми: 1) з метою встановлення ключових показників ефективності програм моніторингу обладнання на початковій стадії виконують аналіз можливостей реалізації того чи іншого варіанта програми та ефективності матеріальних і фінансових вкладень у їх реалізацію. При цьому розглядають: вартість контрольованого обладнання з урахуванням терміну служби, витрат на технічне обслуговування та ремонт; вартість виробничих втрат унаслідок відмов обладнання; непрямий збиток через відмову обладнання; гарантії на обладнання та страхування виробничих ризиків; 2) виконують обстеження обладнання (визначають обладнання, що підлягає контролю; визначають функції, які виконує обладнання); 3) виконують аналіз надійності та критичності

устаткування (структурна схема надійності; критичність устаткування; аналіз видів, наслідків і критичності відмов; інші стратегії технічного обслуговування); 4) визначають методи контролю технічного стану (методи вимірювань; точність вимірювань; технічна реалізація вимірювань; режим роботи обладнання в процесі вимірювань; інтервал часу між вимірюваннями; швидкість збору даних; інформація, що реєструється; точки вимірювань; початковий рівень попередження; базовий рівень даних); 5) збір та аналіз даних (вимірювання параметрів і побудова трендів; якість вимірювань; порівняння результатів вимірювань із рівнем попередження; діагностування та прогнозування стану; підвищення достовірності діагностування та прогнозування); 6) визначення необхідних операцій технічного обслуговування; 7) аналіз застосовуваних методів; 8) навчання персоналу [25]. В роботах [1–25] виконано аналітичний аналіз літературних джерел, що зокрема присвячені діагностуванню технологічних середовищ в процесі їх експлуатації в енергетичному обладнанні на підставі результатів визначення показників якості цих технологічних середовищ. Результати цього аналізу можуть бути застосовані для діагностування газоподібних, рідких, твердих технологічних середовищ в оливонаповненому обладнанні АЕС.

Авторами цієї статті (з урахуванням вище отриманої інформації) прийнято наступне.

1. При застосуванні термінів та визначень: а) технологічні середовища в оливонаповненому обладнанні – це газоподібні, рідкі, тверді речовини або їх суміші, що знаходяться в оливонаповненому обладнанні для забезпечення його функціонування в таких видах його оперативних станів, як робота за призначенням, резервування, консервація, технічне обслуговування і ремонт, або видаляються з цього обладнання примусово або мимоволі в інше обладнання або в навколишнє середовище; б) стан технологічного середовища – це характеристика певної якості газоподібної, рідкої, твердої речовини за сукупністю властивостей, які зазнають змін у процесі його транспортування, зберігання, підготовки до застосування за призначенням, застосуванні за призначенням, відновленні, підготовки до утилізації, утилізації або застосуванні за іншим (або новим) призначенням цього технологічного середовища; в) діагностування технологічних середовищ оливонаповненого обладнання – визначення станів технологічних середовищ з означеною (заданою) точністю; визначення видів деградації технологічних середовищ та місця і причин їх прояву в оливонаповненому обладнанні; прогнозування станів технологічних середовищ на наступний інтервал часу.

2. При визначенні станів технологічних середовищ оливонаповненого обладнання АЕС: 2.1. Для TrO і TuO : стан до постачання свіжих олив у відповідні підрозділи АЕС; стан свіжих олив в процесі постачання (стан свіжих кондиційних олив; стан свіжих некондиційних олив); стан свіжих некондиційних олив в процесі їх відновлення; стан свіжих олив у процесі зберігання; стан свіжих олив у процесі підготовки до доливання (залливання) в обладнання; стан олив після доливання (залливання) в обладнання; стан олив в процесі експлуатації в обладнанні; стан експлуатаційних олив в процесі їх відновлення в працюючому обладнанні; стан експлуатаційних олив після заливання з обладнання для його технічного обслуговування або ремонту; стан експлуатаційних олив в процесі їх доливання (залливання) в обладнання після його технічного обслуговування або ремонту; стан відпрацьованих олив після заливання з обладнання; стан відпрацьованих олив в процесі їх регенерації; стан регенованих олив після доливання (залливання) в обладнання; стан олив в процесі промивання обладнання і трубопроводів; стан експлуатаційних радіоактивних TuO ; стан відпрацьованих радіоактивних TuO ; стан відпрацьованих радіоактивних TuO після очищення від радіоактивних домішок. 2.2. Для охолоджуючої води: стан на вході в теплообмінне обладнання; стан на виході з теплообмінного обладнання. 2.3. Для газоподібних технологічних середовищ: стан на вході в обладнання; стан на ви-

ході з обладнання. 2.4. Для адсорбентів та іонітів в системах: а) циркуляції ТрО в обладнанні: стан свіжих адсорбентів; стан відпрацьованих адсорбентів; стан регенованих адсорбентів; б) циркуляції мінеральних ТуО в обладнанні: стан свіжих адсорбентів для регенерації ТуО; стан відпрацьованих адсорбентів після регенерації ТуО; стан відпрацьованих радіоактивних адсорбентів після регенерації ТуО в) циркуляції СВТО в обладнанні: стан свіжих іонітів для відновлення СВТО; стан відпрацьованих іонітів після відновлення СВТО; стан регенованих іонітів після відновлення СВТО; стан відпрацьованих радіоактивних іонітів [26].

Як приклад для турбогенератора з водневим охолодженням ротора і статора та водяного охолодження обмотки статора і на підставі процесного підходу при систематизації можливих станів технологічних середовищ оливнонаповненого обладнання АЕС з урахуванням його оперативних та технічних станів, на рис. 6 наведено удосконалену принципову схему розподілу технологічних середовищ в турбогенераторі типу ТВВ з водневим охолодженням ротора і статора та водяного охолодження обмотки статора [12–14].

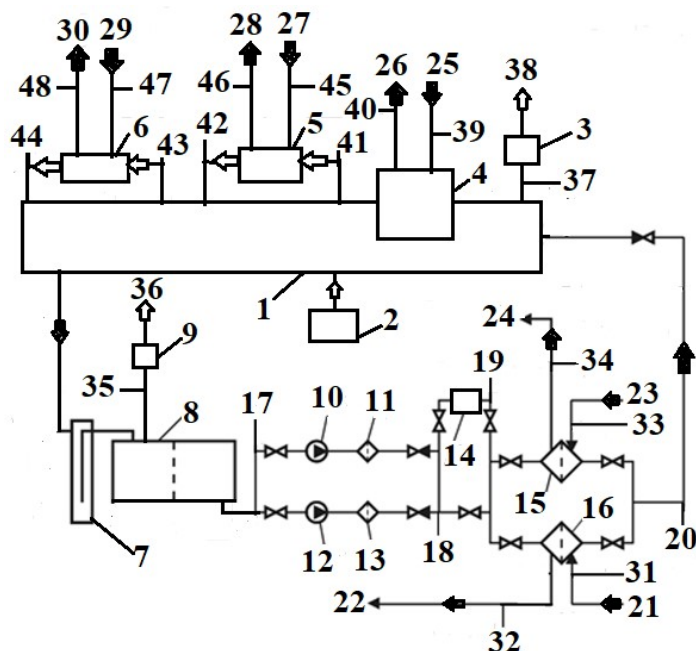


Рис. 6. Принципова схема розподілу технологічних середовищ в турбогенераторі з водневим охолодженням ротора і статора та водяного охолодження обмотки статора: 1 – турбогенератор; 2 – блок додавання водню в турбогенератор; 3 – блок видалення водню з турбогенератора; 4 – блок водяного охолодження обмотки статора турбогенератора; 5 – блок водяного охолодження потоку водню в турбогенераторі; 6 – блок видалення парів і крапель ТуО та води з потоку водню; 7 – рідинний затвор; 8 – бак для ТуО; 9 – блок видалення вентиляційних газоподібних викидів із бака 8 в атмосферу; 10, 12 – оливні насоси; 11, 13 – оливні фільтри; 14 – установка для дегазації потоку ТуО; 15, 16 – охолоджувачі ТуО типу «ТуО – вода»; 17–20 – точки відбору проб ТуО; 21, 23, 25, 27, 29 – входи потоків охолоджуючої води; 22, 24, 26, 28, 30 – виходи потоків охолоджуючої води; 31–34, 39, 40, 45–48 – точки відбору проб охолоджуючої води; 35 – точка відбору проби вентиляційних газоподібних викидів із бака 8; 36 – вихід очищених вентиляційних газоподібних викидів із бака 8 в атмосферу; 37 – точка відбору проби водню перед блоком 3; 38 – вихід потоку водню (з контролем його якості) в атмосферу; 41, 42 – вхід та вихід потоку водню в блок 5, відповідно; 43, 44 – вхід та вихід потоку водню в блок 6, відповідно

Джерело: адаптовано з робіт [12–14].

При визначенні станів технологічних середовищ в турбогенераторі 1 та обладнанні систем циркуляції потоків водню, охолоджуючої води та TuO , визначають таке (рис. 6): 1) для циркулюючих TuO : стан TuO після баку 8 (точка відбору проби 17); стан TuO до та після установки 14 (точки відбору проби 18, 19, відповідно)]; стан TuO після охолоджувачів 15, 16 типу « TuO – вода» (точка відбору проби 20); 2) для газоподібного водню в системі його циркуляції в турбогенераторі 1: стан водню в турбогенераторі 1 (точки відбору проби 37, 41, 42, 43, 44); стан вентиляційних газоподібних викидів із бака 8 в атмосферу (точки відбору проб 35, 36); стани вентиляційних газоподібних викидів інертного газу (азоту) із: поплавкового гідрозаслону, бачку продування, водневідокремлювального баку оливоочищувального пристрою, повітряного об'єму оливного бака, картерів підшипників, екранованих струмопроводів, кожухів лінійних і нульових виводів турбогенератора 1 (на рис. 6 умовно не показано); 3) для охолоджуючої води в системі циркуляції TuO : стан охолоджуючої води до та після охолоджувачів 15, 16 типу « TuO – вода» (точки відбору проб 31–34); 4) для охолоджуючої води в системі її циркуляції в охолоджувачах та в електричних обмотках статора в турбогенераторі 1: стан охолоджуючої води блоку 5 (точки відбору проб 45, 46); стан охолоджуючої води блоку 6 (точки відбору проб 47, 48); 5) для фільтрувальних елементів в системі циркуляції TuO : стан фільтрувальних елементів в фільтрах 11, 13 (точки відбору проб 17, 18); стан фільтрувальних елементів в установці 14 (точки відбору проб 18, 19); 6) для адсорбентів у системі циркуляції газоподібного водню в турбогенераторі 1: стан потоку газоподібного водню до та після блоку 3 (точки відбору проб 37, 38); стан потоків вентиляційних газоподібних викидів у суміші з воднем та повітрям до та після блоку 9 (точки відбору проб 35, 36).

Відмінність цієї удосконаленої технологічної схеми (рис. 6) від існуючої [12] полягає в тому, що в існуючу технологічну схему рекомендовано додатково додати таке: 1) дегазаційну установку 14 для дегазації та осушення потоку TuO . Це дозволяє осушити потік TuO та видалити із нього залишки розчиненого водню та повітря; 2) точки відбору проб технологічних середовищ: а) точки 17 і 18 відбору проб TuO – для визначення вмісту: механічних домішок; розчинених газів H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 , CO , CO_2 , O_2 , N_2 . Це дозволяє визначити: ефективність роботи фільтрів 11, 13; підсмоктування повітря в насосах 10, 12 та акустичну кавітацію в них; б) точки 18 і 19 відбору проб TuO – для визначення вмісту: розчинених газів H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 , CO , CO_2 , O_2 , N_2 та води. Це дозволяє визначити ефективність роботи установки 14 для дегазації потоку TuO ; в) точка 17 (або 20) відбору проб TuO – для визначення показників: кінематична в'язкість, температури спалаху у відкритому тиглі, кислотне число, вміст водорозчинних кислот, масова частка води, масова частка механічних домішок, клас промислової чистоти, рН водної витяжки, число деемульсації, вміст розчиненого шламу, антикорозійні властивості, схильність до піноутворення, час деаерації, стабільність до окиснення, об'ємний вміст повітря, вміст протиокисної присадки «Іонол», вміст таких розчинених та нерозчинених металів (та їх сполук), як Al, Ba, B, Ca, Cr, Cu, Cd, Fe, Pb, Mg, Mn, Mo, Ni, P, K, Na, Si, Ag, S, Sn, Ti, V, Zn. Це дозволяє визначити: якість TuO , що поступає із системи циркуляції TuO в турбогенераторі 1 (або в систему циркуляції TuO в турбогенераторі 1); наявність дефектів в зонах тертя у вузлах турбогенератора 1 та оливних насосів 10, 12; г) точки 41 і 42 відбору проб водню – для визначення вмісту води, що дозволяє визначати розгерметизацію блоку 5 та потрапляння води в потік водню; д) точки 43 і 44 відбору проб водню – для визначення вмісту парів і крапель TuO та продуктів піролізу обмотки статора в адсорбційному фільтрі блоку 6. Це дозволяє визначити ефективність роботи адсорбційного фільтра блоку 6; д) точки 37 і 38 відбору проб водню – для визначення вмісту парів і крапель TuO та продуктів піролізу обмотки статора, що дозволяє визначати ефективність роботи адсорбційного фільтра блоку 3; д) точки 45 і 46 відбору проб охолоджуючої води

– для визначення вмісту водню. Це дозволяє визначити розгерметизацію блоку 5 та потрапляння водню в потік охолоджуючої води; е) точки 47 і 48 відбору проб охолоджуючої води – для визначення вмісту водню. Це дозволяє визначити розгерметизацію блоку 6 та потрапляння водню в потік охолоджуючої води; є) точки 31–34 відбору проб охолоджуючої води – для визначення вмісту TuO . Це дозволяє визначити розгерметизацію охолоджувачів 15, 16 та потрапляння TuO в потоки охолоджуючої води; ж) точки відбору проб 35, 36 для визначення вмісту парів і крапель TuO . Це дозволяє визначити ефективність роботи адсорбційного фільтра блока 9. Періодичність відбору проб цих технологічних середовищ встановлює технічне керівництво АЕС в залежності від технічного стану оливонаповненого обладнання АЕС.

Такі технічні рішення дозволить діагностувати стан технологічних середовищ і технічний стан турбогенератора, його окремих вузлів та окремого обладнання систем циркуляції TuO , водню, охолоджуючої води.

3. При удосконаленні процесного підходу до діагностування газоподібних, рідких, твердих технологічних середовищ в процесі їх експлуатації в оливонаповненому обладнанні АЕС України на підставі результатів визначення у випробувальній лабораторії показників якості цих технологічних середовищ (що дозволить підвищити достовірність такого діагностування з урахуванням станів технологічних середовищ в оливонаповненому обладнанні), рекомендовано застосовувати міжнародні стандарти, які забезпечують функціонування елементів системи діагностування станів технологічних середовищ оливонаповненого обладнання АЕС, зокрема таких елементів цієї системи, як: структура взаємозв'язку між завданнями діагностування об'єкта діагностування; показники діагностування технологічних середовищ; принципова схема процесу діагностування технологічних середовищ оливонаповненого обладнання АЕС; загальна структура експертної системи оцінки стану технологічних середовищ; блок-схема програми діагностування технологічних середовищ.

Такі рішення дозволяють оптимізувати процеси діагностування технологічних середовищ оливонаповненого обладнання АЕС.

Висновки. 1. Удосконалено принципову схему розподілу технологічних середовищ в турбогенераторі типу ТВВ з водневим охолодженням ротора і статора та водняним охолодженням обмотки статора за рахунок того, що в існуючу технологічну схему рекомендовано додатково додати: а) дегазаційну установку для дегазації та осушення потоку TuO . Це дозволяє осушити потік TuO та видалити із нього залишки розчиненого водню та повітря; б) точки відбору проб технологічних середовищ турбогенератора. Такі технічні рішення дозволить діагностувати стан технологічних середовищ і технічний стан турбогенератора, його окремих вузлів та окремого обладнання систем циркуляції TuO , водню, охолоджуючої води. 2. При удосконаленні процесного підходу до діагностування газоподібних, рідких, твердих технологічних середовищ в процесі їх експлуатації в оливонаповненому обладнанні АЕС України на підставі результатів визначення у випробувальній лабораторії показників якості цих технологічних середовищ (що дозволить підвищити достовірність такого діагностування з урахуванням станів технологічних середовищ в оливонаповненому обладнанні), рекомендовано застосовувати міжнародні стандарти, які забезпечують функціонування елементів системи діагностування станів технологічних середовищ оливонаповненого обладнання АЕС, зокрема таких елементів цієї системи, як: структура взаємозв'язку між завданнями діагностування об'єкта діагностування; показники діагностування технологічних середовищ; принципова схема процесу діагностування технологічних середовищ оливонаповненого обладнання АЕС; загальна структура експертної системи оцінки стану технологічних середовищ; блок-схема програми діагностування технологічних середо-

вищ. Такі рішення дозволяють оптимізувати процеси діагностування технологічних середовищ оливнонаповненого обладнання АЕС. 3. Подальші перспективи досліджень полягають у виявленні оптимальних методів діагностування технологічних середовищ в процесі їх експлуатації в оливнонаповненому обладнанні АЕС для підвищення достовірності технічного діагностування цього обладнання.

Список використаних джерел

1. Гуназа, С. О. Аналіз досвіду експлуатації турбінних олив у ВП АЕС [Електронний ресурс] / С. О. Гуназа. – Режим доступу: <https://old.ntseu.net.ua/docs/gunaza.pdf>
2. Гуназа, С. О. Теоретичні та практичні основи експлуатації енергетичних олив в обладнанні ВП АЕС – НТСЕУ [Електронний ресурс] / С. О. Гуназа // Головна – НТСЕУ. – Режим доступу: https://old.ntseu.net.ua/stories/723-energy-oils_
3. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій. – Вид. офіц. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 31 с.
4. ГКД 34.20.507-2003. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила. – Вид. офіц. – Київ : ОЕП «ГРІФРЕ» М-во палива та енергетики України, 2003. – 598 с.
5. СОУ ВЕА. 100.1/01:2015 Енергетичні оливи та оливні господарства підприємств енергетичної галузі України, та підприємств, де застосовується аналогічне обладнання. Організація експлуатації та технічного обслуговування. Норми та вимоги. – Вид. офіц. – Київ: Стандарт «ВЕА», 2015. – 216 с.
6. СОУ-Н ЕЕ 43.101:2009. Приймання, застосування та експлуатація трансформаторних масел. Норми оцінювання якості. – Вид. офіц. – Київ: КВІЦ; Міністерство палива та енергетики України, 2009. – 152 с.
7. Тихомиров А. Ю. Удосконалення режимів моніторингу технологічних середовищ з метою підвищення надійності експлуатації технологічного обладнання АЕС: дис. ... док. філософії: спец. 143, «Атомна енергетика» / А. Ю. Тихомиров. – Одеса, 2021. – 201 с.
8. СОУ НАЕК 006:2018. Турбінні оливи для енергетичного обладнання АЕС. Технічні вимоги до якості, умов приймання та зберігання. – Вид. офіц. – Київ: НАЕК «Енергоатом», 2018. – 57 с.
9. СОУ НАЕК 085:2020. Турбінні оливи для енергетичного обладнання АЕС. Правила експлуатації. – Вид. офіц. – Київ: НАЕК «Енергоатом», 2020. – 53 с.
10. IEC 60296:2020, IDT. Fluids for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear. – Geneva, Switzerland, International Standard. – 43p.
11. СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007. Норми випробування електрообладнання. – Вид. офіц. – Київ: ГРІФРЕ: Міністерство палива та енергетики України, 2007. – 266 с.
12. Посібник з вивчення Правил технічної експлуатації електричних станцій і мереж. Електротехнічне устаткування електричних станцій та мереж, оперативно-диспетчерське керування / О. Г. Баженов, В. О. Бойко, В. М. Браєрський, О. П. Васьковський. – Київ: ДП НТУКЦ «Аселенерго», 2004. – 800 с.
13. СОУ НАЕК 172:2018. Водно-хімічний режим систем и охолодження обмоток статора турбогенераторів типу ТВВ АЕС України. Технічні вимоги і способи забезпечення якості охолоджувального середовища. – Вид. офіц. – Київ: НАЕК «Енергоатом», 2018. – 24 с.
14. СОУ НАЕК 171:2018. Водно-хімічний режим другого контуру атомних електростанцій з реакторами типу ВВЕР. Технічні вимоги до якості робочого середовища другого контуру. – Вид. офіц. – Київ: НАЕК «Енергоатом», 2018. – 40 с.
15. СОУ НАЕК 007:2022. Матеріали іонообмінні фільтруючі систем очищення водних середовищ АЕС. Вимоги до якості, входного і експлуатаційного контролю. – Вид. офіц. – Київ: НАЕК «Енергоатом», 2020. – 31 с.
16. ДСТУ 4046-2001. Обладнання технологічне нафтопереробних, нафтохімічних та хімічних виробництв. Технічне діагностування. Загальні технічні вимоги. – Вид. офіц. – Київ: Державний стандарт України, 2021. – 27 с.
17. Технічне діагностування, випробування та вимірювання електрообладнання в умовах монтажу, налагоджування і в експлуатації. Частина 1 / Р. М. Гобрей, О. Є. Рубаненко, В.П. Таловер'я. – Київ: «ДП НТУКЦ», 2008. – 524 с.

18. Improvement of gas monitoring methods in water of the hydrogen-water cooling system of NPP'S turbine generator / S. Zaitsev, A. Tykhomyrov, V. Chychenin, V. Kyshnevskiy // Water and Water Purification Technologies. Scientific and Technical News. – 2021. – № 1(29). – P. 49-57. DOI: <https://doi.org/10.20535/2218-930012021233705>

19. Zaitsev, S. Improvement of methods of gas chromatographic analysis of technological media of the main circulation pumps of a nuclear power plant / S. Zaitsev, V. Kyshnevsky, V. Chychenin, A. Tykhomyrov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – № 6/6(108). – Pp. 59–70. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217234

20. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. – Вид. офіц. – Київ: Держстандарт України, 1994. – 23 с.

21. ISO 13372:2012. Condition monitoring and diagnostics of machines – Vocabulary. Standard by International Organization for Standardization. Switzerland, Geneva. – 18 p.

22. Лут, М. Т. Діагностування енергетичного обладнання: навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів / М. Т. Лут, В. А. Наливайко, І. П. Радько. – Київ: Аграр Медіа Груп, 2014. – 590 с.

23. СОУ-Н ЕЕ 20.577:2007. Технічне діагностування електрообладнання та контактних з'єднань електроустановок і повітряних ліній електропередачі засобами інфрачервоної техніки. – Вид. офіц. – Київ: ДП НЕК «Укренерго», 2007. – 125 с.

24. Шатковський, С. В. Експертна система діагностування блоків теплових електричних станцій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://masters.donntu.ru/2010/etf/shatkovskiy/diss/indexu.htm>.

25. ISO 17359:2018. Condition monitoring and diagnostics of machines – General guidelines. Standard by International Organization for Standardization. Switzerland, Geneva. – 26 p.

26. Ковальчук, В. І. Основи поводження з радіоактивними відходами на атомних електростанціях. Принципи, технології, обладнання / В. І. Ковальчук, І. Л. Козлов, О. А. Дорож. – Одеса : Астропринт, 2020. – 372 с.

References

1. Gunaza, S.O. (n.d.). *Analiz dosvidu ekspluatatsii turbinnykh olyv u VP AES [Analysis of the experience of turbine oils operation in NPPs]*. <https://old.ntseu.net.ua/docs/gunaza.pdf>.

2. Gunaza, S.O. (n.d.). *Teoretychni ta praktychni osnovy ekspluatatsiyi enerhetychnykh olyv v obladnanni VP AES [Theoretical and practical bases of the operation of energy oils in the equipment of the nuclear power plant]*. <https://old.ntseu.net.ua/stories/723-energy-oils>.

3. SE "UkrNDNC". (2019). *Zahal'ni vymohy do kompetentnosti vyprobuvalnykh ta kalibruval'nykh laboratoriy [General requirements for the competence of testing and calibration laboratories]*. (DSTU EN ISO/IEC 17025:2019).

4. "GRIFRE". (2003). *Tekhnichna ekspluatatsiia elektrychnykh stantsii i merezh. Pravyla [Technical operation of power plants and networks. Rules]*. (GCD 34.20.507-2003).

5. Standart "VEA". (2015). *Enerhetychni olyvy ta olyvni hospodarstva pidpryyemstv enerhetychnoyi haluzi Ukrayiny, ta pidpryyemstv, de zastosovuyet'sya analohichne obladnannya. Orhanizatsiya ekspluatatsiyi ta tekhnichnoho obsluhovuvannya. Normy ta vymohy [Energy oils and olive farms of enterprises of the energy sector of Ukraine, and enterprises where similar equipment is used. Organization of operation and maintenance. Norms and requirements]*. (SOU VEA. 100.1/01:2015).

6. KVITS. (2009). *Pryymannya, zastosuvannya ta ekspluatatsiya transformatornykh masel. Normy otsinyuvannya yakosti [Acceptance, application and operation of transformer oils. Norms of quality assessment]*. (SOU-N EE 43.101:2009).

7. Tykhomyrov A.Y. (2021). *Udoskonalennya rezhymiv monitorynhu tekhnolohichnykh seredovyshch z metoyu pidvyshchennya nadiynosti ekspluatatsiyi tekhnolohichnoho obladnannya AES [Improvement of technological medium monitoring moods aimed at enhancement of nuclear power plant equipment operation reliability]*. PhD dissertation.

8. NAEK "Energoatom". (2018). *Turbinni olyvy dlia enerhetychnoho obladnannya AES. Tekhnichni vymohy do yakosti, umov pryimannya ta zberihanni [Turbine oils for NPP power equipment. Technical requirements for quality, acceptance and storage conditions]* (SOU NAEK 006:2018).

9. NAEK "Energoatom". (2020). *Turbynni olyvy dlia enerhetychnoho obladnannya AES. Pravyla ekspluatatsii [Turbine oils for NPP power equipment. Operating rules]*. (SOU NAEK 085:2020).

10. "International Standard". (2020). *Fluids for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear* (IEC 60296:2020, IDT).
11. GRIFRE. (2007). Normy vyprovuvannya elektroobladnannya [Norms of electrical equipment testing] (SOU-N EE 20.302:2007).
12. Bazhenov, O.G., Boyko, V.O., Briersky, V.M., Vaskovskyi, O.P. (2004). *Posibnyk z vyvchennia Pravyi tekhnichnoi ekspluatatsii elektrychnykh stantsii i merezh. Elektrotekhnichne ustatkuvannia elektrychnykh stantsii ta merezh, operatyvno-dyspetcherske keruvannia [Study guide for the Rules of Technical Operation of Power Plants and Networks. Electrical equipment of power plants and networks, operational and dispatch control]*. SE NTUCC "Aselenergo".
13. NAEK "Energoatom". (2018). *Vodno-khimichnyy rezhym systemy okholodzhennya obmotok statora turbogeneratoriv typu TVV AES Ukrainy. Tekhnichni vymohy i sposoby zabezpechennya yakosti okholodzhuval'noho seredovyschcha [Water-chemical regime of the winding cooling system stators of turbine generators of the TVV type of NPP of Ukraine. Technical requirements and methods of ensuring the quality of the cooling medium]*. (SOU NAEK 172:2018).
14. NAEK "Energoatom". (2018). *Vodno-khimichnyy rezhym drugoho konturu atomnykh elektrostantsiy z reaktoramy typu VVER. Tekhnichni vymohy do yakosti robochoho seredovyschcha drugoho konturu [Water-chemical mode of the second circuit of nuclear power plants with reactors of the VVER type. Technical requirements for the quality of the working environment of the second circuit]*. (SOU NAEK 171:2018).
15. NAEK "Energoatom". (2022). *Materialy ionoobminni fil'truyuchi system ochyshchennya vodnykh seredovyschch AES. Vymohy do yakosti, vkhidnoho i ekspluatatsynoho kontrolyu [Ion exchange filter materials for NPP water treatment systems. Requirements for quality, incoming and operational control]*. (SOU NAEC 007:2022).
16. "State Standard of Ukraine". (2001). *Obladnannya tekhnolohichne naftererobnykh, naftokhimichnykh ta khimichnykh vyrobnystv. Tekhnichne diahnostuvannia. Zahal'ni tekhnichni vymohy [Process equipment for oil refining, petrochemical and chemical production. Technical diagnostics. General technical requirements]*. (DSTU 4046-2001).
17. Gobrey, R.M., Rubanenko, O.E., Taloveria, V.P. (2008). *Tekhnichne diahnostuvannia, vyprovuvannya ta vymiryuvannya elektroobladnannya v umovakh montazhu, nalahodzhuvannya i v ekspluatatsiyi. Chastyna 1 [Technical diagnostics, testing and measurement of electrical equipment during installation, commissioning and operation. Part 1]*. SE NTUKTs.
18. Zaitsev, S., Tykhomyrov, A., Chychenin V., Kyshnevskyi V. (2021). Improvement of gas monitoring methods in water of the hydrogen-water cooling system of NPP'S turbine generator. *Water and Water Purification Technologies. Scientific and Technical News*, 1(29), 49–57. <https://doi.org/10.20535/2218-930012021233705>.
19. Zaitsev, S., Kyshnevsky, V., Chychenin, V., Tykhomyrov, A. (2020). Improvement of methods of gas chromatographic analysis of technological media of the main circulation pumps of a nuclear power plant. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 6/6(108), 59–70. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217234.
20. "State Standard of Ukraine". (1994). *Tekhnichne diahnostuvannia ta kontrol' tekhnichnoho stanu. Terminy ta vyznachennia [Technical diagnosis and technical state inspection. Terms and definitions]*. (DSTU 2389-94).
21. "Standard by International Organization for Standardization". (2012). *Condition monitoring and diagnostics of machines – Vocabulary*. (ISO 13372:2012). ¶
22. Lut, M.T., Nalyvaiko, V.A., Radko, I.P. (2014). *Diahnostuvannia enerhetychnoho obladnannya: Navchal'nyy posibnyk dlya studentiv vyshchykh navchal'nykh zakladiv [Diagnostics of power equipment: Study guide for students of higher educational institutions]*. Agrar Media Group.
23. SE NEC "Ukrengo". (2007). *Tekhnichne diahnostuvannia elektroobladnannya ta kontaktnykh z'yednan' elektroustanovok i povitryanykh liniy elektroperedachi zasobamy infrachervonoyi tekhniky [Technical diagnostics of electrical equipment and contact connections of electrical installations and overhead power lines using infrared technology]*. (COY-H EE 20.577:2007).
24. Shatkovskyi, S.V. *Ekspertna systema diahnostuvannia blokiv teplovykh elektrychnykh stantsiy [Expert system for diagnostics of thermal power plant units]*. (n.d.). <https://masters.donntu.ru/2010/etf/shatkovskiy/diss/indexu.htm>.

25. Condition monitoring and diagnostics of machines – General guidelines. (2018). ISO 17359:2018. Standard by International Organization for Standardization. Switzerland, Geneva.

26. Kovalchuk, V.I., Kozlov I.L., Dorozh O.A. (2020). *Osnovy povodzhennya z radioaktyvnymy vidkhodamy na atomnykh elektrostantsiyakh. Pryntsyry, tekhnolohiyi, obladnannya [Fundamentals of radioactive waste management at nuclear power plants. Principles, technologies, equipment]*. Odesa: Astroprint.

Отримано 21.12.2024

UDC 662.753:621.89:621.311:621.039

Serhii Zaitsev¹, Victor Kishnevskiy²

¹PhD in Technical Sciences, engineer of the Department of Nuclear Power Plants
Odesa Polytechnic National University, (Odesa, Ukraine)

E-mail: sdjavdet@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1166-3243>

²Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Nuclear Power Plants
Odesa Polytechnic National University, (Odesa, Ukraine)

E-mail: kishnevskiy@op.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1780-2969>

PROCESS APPROACH TO DIAGNOSTICS OF PROCESS MEDIA OF OIL-FILLED EQUIPMENT OF A NUCLEAR POWER PLANT

This article is a review. This study considers: the main states of technological media during their operation in the oil-filled equipment of power enterprises, in particular in the units of a nuclear power plant; a process approach to diagnosing the technological media of oil-filled equipment of a nuclear power plant. The largest volume of power oils used in the oil-filled equipment of a nuclear power plant belongs to transformer and turbine oils. Gaseous, liquid, and solid substances (hydrogen, water, adsorbents, etc.) are used as process media in oil-filled equipment in Ukraine, the condition of which affects the technical condition of oil-filled equipment. Continuous improvement of the process approach to diagnosing the process media of oil-filled equipment of a nuclear power plant is relevant.

The analysis of researches and publications on the determination of the condition of technological media of oil-filled equipment of a nuclear power plant has shown that the process approach to the diagnosis of various technological media of thermomechanical oil-filled equipment of a nuclear power plant is currently not fully applied. This is due to the large number of physical and chemical indicators of the quality of these process media, operational and technical conditions of the oil-filled equipment or stages of its life cycle. All this requires expansion of the requirements for diagnosing process media to determine and predict their condition; continuous improvement of the process approach to diagnosing process media of oil-filled equipment in a nuclear power plant.

The aim of the article is to improve the process approach to diagnosing gaseous, liquid, solid process media during their operation in oil-filled equipment of Ukrainian nuclear power plants based on the results of determining the quality indicators of these process media in a testing laboratory, which will increase the reliability of such diagnostics, taking into account the states of process media in oil-filled equipment.

Based on the analysis of literature sources, modern methods of diagnosing technological media are considered. The paper solves the main tasks related to: diagnostics of technological gaseous, liquid, and solid media during their technical operation in power equipment based on the results of determining the quality indicators of these technological media; improvement of the schematic diagram of distribution of technological media in a TVV turbogenerator with hydrogen cooling of the rotor and stator and water cooling of the stator winding.

On the basis of the process approach, possible states of technological media of oil-filled equipment of a nuclear power plant are identified when determining the quality indicators of these technological media. At the same time, it is necessary to take into account the operational and technical conditions and life cycle stages of such equipment. When providing recommendations on the application of a process approach to diagnosing process media during their technical operation in oil-filled equipment of a nuclear power plant, it is determined that: the system for diagnosing process media includes a set of elements: objects of diagnosis (process media) and means, rules, and performers of diagnosis; it is necessary to apply international standards that ensure the functioning of the elements of the system for diagnosing the states of process media in oil-filled equipment.

The presented results can be used for a reasonable choice or development of new promising methods for diagnosing technological media during their operation in oil-filled equipment of a nuclear power plant to increase the reliability of technical diagnostics of this equipment.

Keywords: process media; transformer and turbine oils; hydrogen gas; oil-filled equipment; process approach; diagnostics; nuclear power plant.

Fig.: 6. References: 26.