

Результати аналізу подій на АЕС України, спричинених старінням

■ **Шугайло О-й П.**

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0997-7830>

■ **Лігоцький О. І.**

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7487-2811>

■ **Печериця О. В.**

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8711-0242>

■ **Кульман О. М.**

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7280-3174>

■ **Москалишин Р. І.**

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4068-1838>

■ **Халенко Р. В.**

Державна інспекція ядерного регулювання України, м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4615-7751>

■ **Курман О. М.**

Державна інспекція ядерного регулювання України, м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0455-4727>

На цей час 11 енергоблоків України перейшли від проектної до довгострокової експлуатації (ДСЕ), що призвело до певних особливостей експлуатації АЕС, обумовлених зносом, втомленістю та загальним старінням елементів і конструкцій. Одним із шляхів визначення ефективності впроваджених заходів і програм з управління старінням є аналіз досвіду експлуатації і, зокрема, аналіз порушень у роботі АЕС, які відбулись у період проектної та довгострокової експлуатації і прямо пов'язані з проявом ефектів старіння. У цій статті наведені основні результати аналізу подій на АЕС України, спричинених процесами старіння, виконано зіставлення результатів національного та міжнародного досвіду.

Ключові слова: аналіз, невідповідність, подія, старіння.

© Шугайло О-й П., Лігоцький О. І., Печериця О. В., Кульман О. М., Москалишин Р. І., Халенко Р. В., Курман О. М., 2020

Для енергоблоків АЕС України проектний строк експлуатації (30 років) вже вичерпаний або знаходиться на стадії завершення. Одним із пріоритетних напрямів розвитку атомної енергетики є перехід до ДСЕ за результатами пере-

одичної переоцінки безпеки. У період з кінця 2010 року до початку 2020 року Державною інспекцією ядерного регулювання України (Держатомрегулювання) на підставі позитивних висновків державної експертизи ядерної та раді-

аційної безпеки Звітів з періодичної переоцінки безпеки для 11 енергоблоків АЕС України видано ліцензії на ДСЕ за умови проведення періодичної переоцінки безпеки кожні 10 років. Питання управління старінням розглядається як один з основних факторів забезпечення безпеки ядерної установки, як на етапі проєктної експлуатації, так і ДСЕ. Основною метою управління старінням є забезпечення безпеки і максимальної ефективності експлуатації через впровадження технічно й економічно доцільних заходів, спрямованих на своєчасне виявлення і стримування в допустимих межах деградації елементів енергоблоків унаслідок старіння. Одним із способів визначення ефективності впроваджених заходів і програм з управління старінням (ПУС) є аналіз досвіду експлуатації і, зокрема, аналіз порушень у роботі АЕС, які відбулись у період проєктної експлуатації та ДСЕ і прямо пов'язані з проявом ефектів старіння.

Для оцінки міжнародного досвіду експлуатації в частині ефектів старіння у цій статті наведено огляд тематичного дослідження з аналізу подій на АЕС, спричинених старінням [1], виконаного Об'єднаним дослідницьким центром Європейської мережі зворотного зв'язку від досвіду експлуатації АЕС (дослідження JRC). Також наведені результати аналізу порушень у роботі АЕС України, зумовлених старінням. За підсумками аналізу виконано зіставлення результатів національного та міжнародного досвіду, зроблено відповідні висновки.

Нижче описані основні результати аналізу подій на АЕС України та світу, спричинених процесами старіння.

Результати аналізу подій на АЕС світу, спричинених старінням, на основі дослідження JRC

У дослідженні [1] наведено результати огляду подій, які відбулись на АЕС світу та були зумовлені старінням. Основною метою цього дослідження є набуття загальних та конкретних уроків, які дозволять запобігти повторенню подібних подій у майбутньому.

У дослідженні [1] строк старіння залежить від часу деградації конструкцій, систем та елементів під час нормальної роботи. Старіння визначається як процес, в якому характеристики конструкції, системи або елемента поступово змінюються з часом або використанням.

Дослідження [1] зосереджено лише на подіях, які виникли внаслідок фізичного старіння. Основним джерелом даних для аналізу обрано звіти з міжнародної системи звітності з досвіду експлуатації (IRS) Міжнародного агентства з атомної енергії, яка обслуговується спільно з Агенцією з ядерної енергії (NEA) Організації економічного співробітництва та розвитку (OECD).

За результатами детального відбору подій з бази даних IRS за період з 01.01.2008 по 30.06.2018 для детального аналізу було відібрано 113 подій.

Для відібраних подій було проведено статистичний аналіз за: станом АЕС під час події; категоріями та наслідками; механізмом старіння; системами та елементами, які зазнали впливу; причинами; коригувальними заходами тощо.

Статистичний аналіз показав, що:

1) критичний вік для АЕС через старіння становить 28 років (значення було розраховано як середній строк від початку експлуатації до часу, коли відбуваються події, спричинені старінням);

2) найбільша кількість подій, спричинених старінням, відбулась: на технологічних системах, які входять до реакторної установки – 36 %; системах електропостачання – 21 %, а також допоміжних системах – 13 %;

3) основними елементами, які відмовляли або зазнали впливу, є пасивні та активні механічні елементи (38 % та 34 % відповідно), електричні компоненти – 16 % та елементи систем контролю та управління – 9 %;

4) причинами старіння є:

- механічна відмова (основна безпосередня причина подій, зумовлених старінням);

- найбільш поширені корінні причини:

- а) недоліки в обслуговуванні або нагляді (55 подій);

- б) проєктні недоліки (30 подій) та недоліки в ПУС (25 подій);

5) основними механізмами старіння є корозія (38 подій) та втома (28 подій), іншими важливими чинниками є електричне старіння (15 подій), знос (15 подій) та термічне старіння (13 подій);

6) основними наслідками є окрихчування і розтріскування елементів (36 подій) та втрата матеріалу (30 подій);

7) основними коригувальними заходами є заміна або ремонт обладнання. Другим найбільш поширеним коригувальним заходом є внесення змін в програму технічного обслуговування, за яким слідували – вдосконалення системи моніторингу та (або) контролю; конструктивні зміни, а також зміни в ПУС.

Крім того, за результатами дослідження було зазначено, що чимало подій відбуваються тільки після тривалої експлуатації обладнання й елементів, та основною причиною яких є прихований конструктивний недолік.

За результатами проведеного дослідження та більш детального розгляду подій було отримано 110 уроків для конкретних подій, які були згруповані за такими напрямками:

1) приховані недоліки в проєкті або конструкції:

повинні бути вжиті відповідні заходи та передбачатись конструктивні особливості (на стадії проєктування), щоб полегшити ефективне управління старінням протягом всього строку служби;

2) вплив модифікацій:

ПУС, а також програми технічного обслуговування повинні переглядатись і оновлюватись з урахуванням виконаних змін та модифікацій;

3) актуальність умов навколишнього середовища:

моніторинг стану навколишнього/робочого середовища, як джерела інформації для управління старінням, має велике значення. Необхідно розглядати можливі зміни умов середовища (температура, радіоактивне випромінювання тощо), в якому працює обладнання, які можуть вплинути на старіння в разі експлуатаційних змін або модифікацій;

4) вплив старіння на технічне обслуговування та контроль:

програми технічного обслуговування та перевірок мають оцінюватись та, за необхідності, переглядатись (щодо періодичності, методів випробувань тощо) за результатами застосування ПУС;

5) прискорене старіння:

для попередження або пом'якшення прискореного старіння (наприклад, прискорена корозія, знос, корозійне розтріскування під напругою, термічне старіння тощо) мають бути розроблені ПУС для конкретних механізмів руйнування. Також важливо виявити й обґрунтувати зміни експлуатаційних умов (наприклад, режиму потоку, швидкості, вібрації), які можуть бути пов'язані з прискореним старінням і можуть призвести до передчасного старіння та виходу з ладу;

6) відповідність методів обстеження та контролю:

відповідність і ефективність методів обстеження й контролю слід періодично переглядати для підтримки безпеки та забезпечення зворотного зв'язку і постійного поліпшення управління старінням. Оцінка технологій і методів повинна враховувати необхідність виявлення неочікуваної деградації залежно від того, наскільки критичний елемент для безпеки;

7) застосування для виробництва обладнання й компонентів відповідних матеріалів з урахуванням умов та середовища, в яких він буде експлуатуватись:

для уникнення випадків застосування невідповідних матеріалів, з боку ліцензіата має проводитись належний нагляд за всіма етапами, зокрема, проектування, закупівля, випробування, вхідний контроль і монтаж. Якщо обладнання з невідповідного матеріалу або матеріалу з низькими показниками, вже встановлено швидкість деградації матеріалу може бути знижена завдяки оптимізації експлуатаційних режимів та параметрів системи;

8) урахування досвіду експлуатації в ПУС:

інформація про досвід експлуатації може бути використана як вхідні дані для управління старінням. Аналіз досвіду експлуатації може визначити сфери, в яких можуть бути покращені ПУС або розроблені нові програми;

9) раннє виявлення та аналіз виявлених дефектів:

раннє виявлення деградації необхідне для забезпечення своєчасного застосування стратегій пом'якшення наслідків. Існує імовірність того, що раннє фізичне пошкодження (наприклад, зміна локально усереднених властивостей матеріалу) може бути виявлене за допомогою відповідних датчиків;

10) недоліки або відсутність ПУС:

експлуатуюча організація (ЕО) повинна забезпечити, на регулярній основі, перегляд ПУС та, за необхідності, внесення змін, щоб забезпечити ефективність управління старінням. Наприклад, за результатами аналізу досвіду експлуатації мають розроблятися нові ПУС.

Результати аналізу подій на АЕС України, зумовлених старінням

Джерелами вихідних даних для виконання аналізу прийнято звіти з розслідування порушень у роботі АЕС України, які відбулися за період 2010-2019 рр. (150 реакторороків) та виникли через прояви ефектів старіння обладнання. Відбір подій, що призвів до порушень, проводився за допомогою інформаційної системи «Порушення у роботі АЕС» (база даних Держатомрегулювання) та web-версії БД «CAESAR-i» (база даних ЕО). Відбір подій виконувався в два етапи.

На першому етапі було виконано початковий відбір подій шляхом використання кодів причин, установлених у словнику кодів НП 306.2.100-2004 [2], а також застосовано пошук за контекстним словом. Так, було проведено відбір подій, причинами яких були:

корозія, ерозія (код 5.1.1.1);

знос (код 5.1.1.2);

стомленість металу конструкції, дефект зварювального шва, внутрішній дефект матеріалу (код 5.1.1.3);

перевищення допустимого навантаження (код 5.1.1.4);

вичерпання ресурсу (код 5.1.1.6);

деформація, перекид, зсув, неправильне розміщення, роз'єднання, послаблення зв'язку (код 5.1.1.9);

послаблення кріплення до фундаменту, будівельних конструкцій, руйнування фундаменту, будівельних конструкцій (код 5.1.1.10).

Пошук за контекстним словом проведено для таких термінів: «старіння», «фізичний знос», «повзучість», «ослаблення», «втомленість», «знос», «деградація матеріалу», «розтріскування», «окричування», «потоншення», «тріщина» та інші.

За результатами початкового відбору зі 150 подій (під час деяких подій відбувалось декілька подій, пов'язаних із старінням, тому далі буде використовуватись термін подія), для подальшого аналізу було відібрано 62 події, більш ретельний аналіз дозволив відіяти ще 13 подій. У результаті – під час подаль-

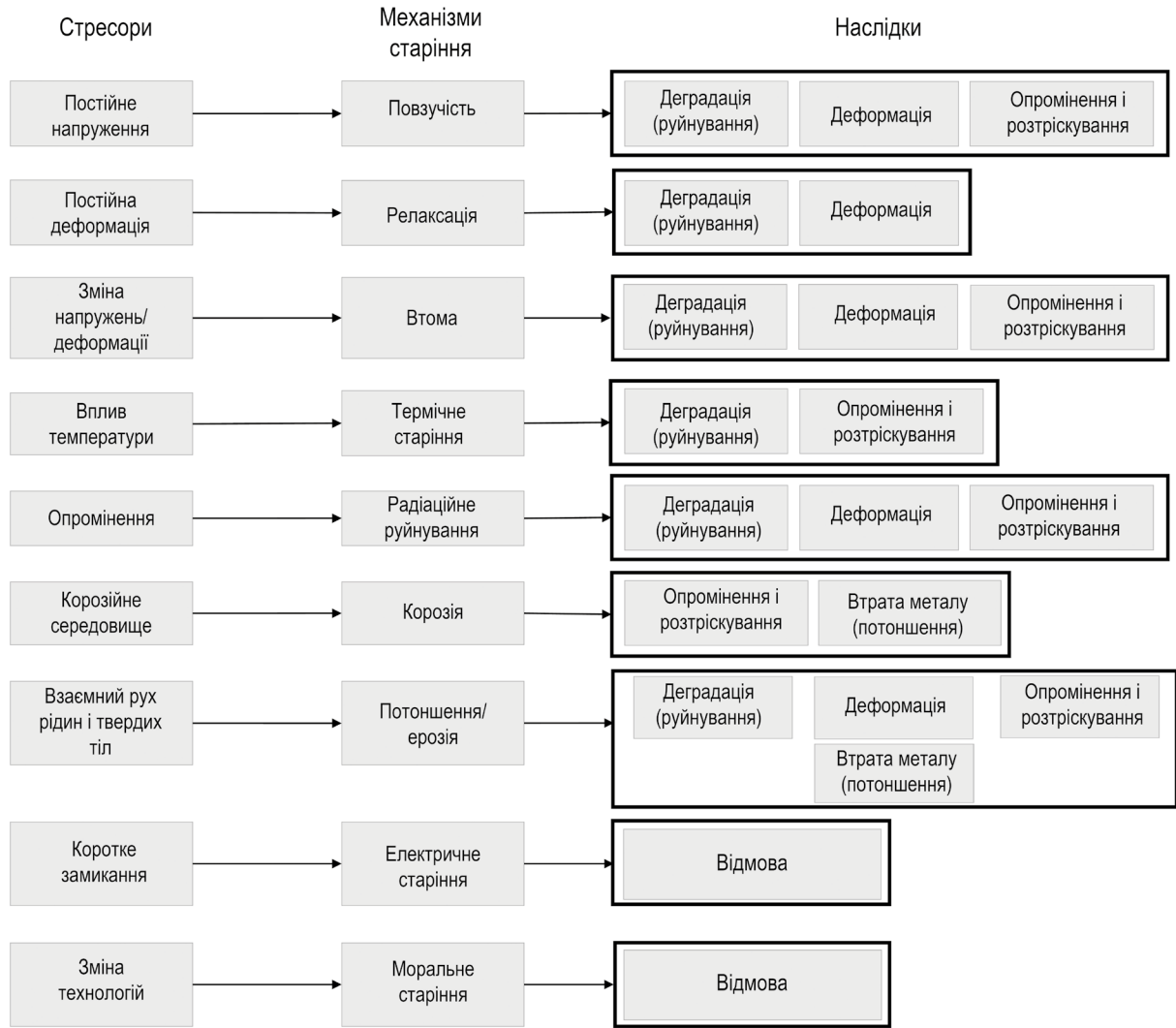


Рисунок 1 – Систематизація проявів ефектів старіння

шого поглибленого аналізу розглянуто 49 подій, зумовлених проявом механізмів деградації, що призвели до появи відповідних ефектів старіння.

З метою узагальнення та ґрунтовного аналізу проявів ефектів старіння всі події проаналізовані та систематизовані за схемою, зображеною на Рисунку 1. Прийнята систематизація аналогічна наведеній в звіті [1].

Систематизацією виконано на основі аналізу розподілу подій за:

- системами;
- компонентами, на яких сталися події;
- безпосередньою причиною;
- корінною причиною;
- механізмами деградації, що спричинили подію;
- наслідками події;
- коригувальними заходами.

Розподіл за системами, які відмовили або зазнали впливу, наведено на Рисунку 2.

Чверть від усіх відмов (26 %) сталася на допоміжних системах забезпечення працездатності обладнання основних систем, по одній п'ятій частині

припало на технологічні системи 1 контуру (21 %) та технологічні системи 2 контуру (19 %), 15 % – на системи електропостачання. 9 % і 6 % – на керуючі та захисні СБ, відповідно. Сталася по одній відмові на системах реактора та технологічних системах загальнооблочного призначення.

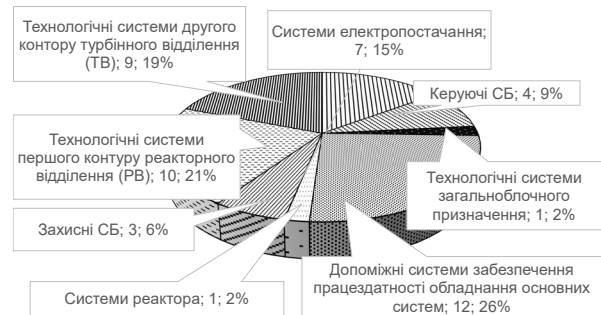


Рисунок 2 – Розподіл за системами, які відмовили або зазнали впливу

Розподіл за компонентами, на яких сталися події, які відмовили або зазнали впливу, наведено на Рисунку 3.

Розподіл щодо безпосередньої причини виникнення подій наведено на Рисунку 4.

Розподіл за корінною причиною наведено на Рисунку 5.

Розподіл за механізмами деградації, що спричинили подію для компонентів, які відмовили або зазнали впливу під час відібраних подій, у відсотковому співвідношенні наведено на Рисунку 6.

Розподіл за наслідками події для компонентів, які відмовили або зазнали впливу під час відібраних подій, у відсотковому співвідношенні наведено на Рисунку 7.

Розподіл за коригувальними заходами для компонентів, які відмовили або зазнали впливу

під час відібраних подій, у відсотковому співвідношенні наведено на Рисунку 8.

Аналізуючи склад та зміст коригувальних заходів, зазначимо, що для переважної більшості подій вони є однотипними. Тобто, на першому етапі відбувається заміна/ремонт обладнання, а на другому впроваджуються заходи з покращення/удосконалення експлуатаційної документації, процедур технічного обслуговування і ремонту (ТОiP) тощо. Водночас, у жодному разі не застосовано такий коригувальний захід, як внесення змін у ПУС. Відповідно до вимог п. 13 розділу II НП 306.2.210-2017 [3] ЕО забезпечує ефективне управління старінням і враховує ефекти старіння під час обґрунтування безпеки енергоблока АЕС. ЕО здійснює періодичну (не рідше одного разу на рік) оцінку ефективності ПУС і, за необхідності, здійснює перегляд ПУС,



Рисунок 3 – Розподіл за компонентами, які відмовили або зазнали впливу

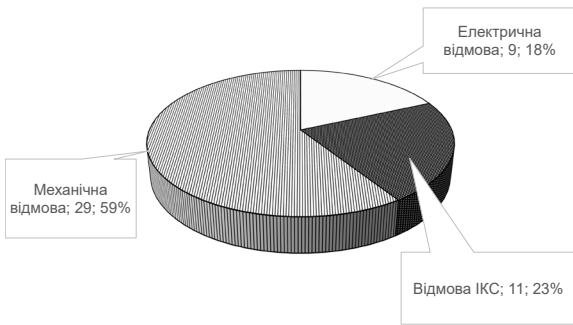


Рисунок 4 – Розподіл щодо безпосередньої причини виникнення події для компонентів, які відмовили або зазнали впливу

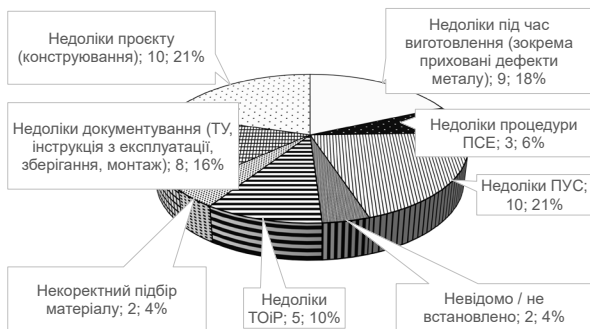


Рисунок 5 – Розподіл за корінною причиною



Рисунок 6 – Розподіл за механізмами деградації, що спричинили події для компонентів, які відмовили або зазнали впливу

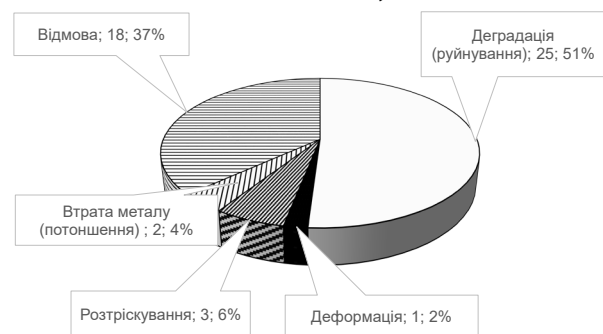


Рисунок 7 – Розподіл за наслідками події

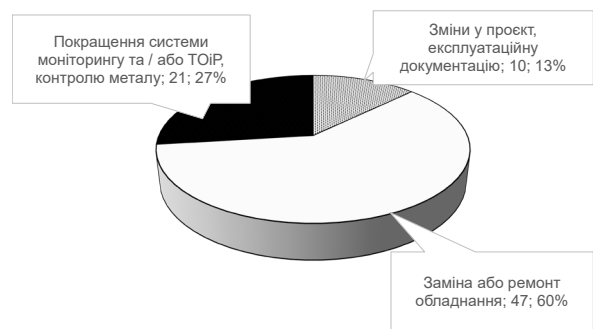


Рисунок 8 – Розподіл за коригувальними заходами

розробляє та впроваджує додаткові програми контролю, випробувань, оцінку технічного стану елементів і конструкцій, дослідження. Під час експлуатації енергоблоків АЕС управління старінням елементів і конструкцій здійснюється завдяки координації ПУС із існуючими програмами – підвищення безпеки, експлуатаційного контролю, ТОіР, зразків-свідків, водно-хімічного режиму, перевірок і випробувань, кваліфікації обладнання. До того враховуються результати аналізу, що визначає строк служби, та інформація з досвіду експлуатації. Оцінка поточного стану справ на прикладі «Аналізу подій» дозволяє зробити висновок про відсутність будь-яких взаємозв'язків між ПУС та рештою програм, принаймні такі зв'язки відсутні в звітах з аналізу порушень.

Зіставлення результатів аналізу національного та міжнародного досвіду

Результати зіставлення розподілу подій з національного та міжнародного досвіду аналізу подій, що відбулися на АЕС та зумовлені процесами старіння, наведено в Таблиці 1.

Аналіз цих даних дозволяє сформулювати такі узагальнення:

на АЕС України та світу до основних елементів, які відмовляли або зазнали впливу, належать пасивні та активні механічні елементи, електричні компоненти та компоненти систем контролю й управління (п. 2 Таблиці 1);

основною безпосередньою причиною подій, зумовлених старінням, як у світі [1], так і в Україні, є механічна відмова (п. 3 Таблиці 1);

найбільш поширеними корінними причинами, в обох випадках, можна виділити проєктні недоліки та недоліки у ПУС (п. 4 Таблиці 1);

основними механізмами старіння на АЕС у світі (згідно з [1]) визначено корозію (33%), втому (25%), електричне старіння (13%) та знос (13%), тоді як на АЕС України домінуючими механізмами визначено втому (39%) та електричне старіння (35%), а такий механізм старіння, як корозія займає лише 6%. Така ситуація може бути пояснена тим, що в Україні розроблено та впроваджено низку ПУС для конкретних механізмів старіння [4] – [9] (п. 5 Таблиці 1);

основними наслідками на АЕС у світі визначено окрихчування та розтріскування елементів (32% подій) і втрата матеріалу (26,5%), тоді як на АЕС України основними наслідками визначено деградацію/руйнування (51%) та відмову (37%) (п. 6 Таблиці 1);

основними коригувальними заходами як на АЕС у світі [1], так і на АЕС України, є ремонт та заміна обладнання, що є абсолютно зрозумілим, оскільки після порушення в роботі АЕС будь-який елемент потребуватиме заміни або ремонту. Як правило, одночасно з ремонтом або заміною елемента на-

Таблиця 1 – Зіставлення розподілу подій на підставі даних національного та міжнародного досвіду

№ з/п	Напрямок аналізу	Міжнародні результати	Національні результати
1	Кількість подій по системах:		
	Системи реактора	36 %	2 %
	Системи електропостачання	21 %	15 %
	Допоміжні системи	13 %	26 %
2	Елементи, що відмовляли:		
	Пасивні	38 %	41 %
	Активні	34 %	18 %
	Електричні компоненти	16 %	12 %
	Компоненти систем контролю та управління	9 %	29 %
3	Причини подій:		
	Механічна відмова – основна безпосередня причина подій, пов'язаних зі старінням	+	+
4	Корінні причини:		
	Недоліки обслуговування або нагляду	48,7 %	10 %
	Проєктні недоліки	26,5 %	21 %
	Недоліки в ПУС	22,1 %	21 %
5	Основні механізми старіння:		
	Корозія	33,6 %	6 %
	Втому	24,8 %	39 %
	Електричне старіння	13,3 %	35 %
	Знос	13,3 %	2 %
	Термічне старіння	11,5 %	2 %
6	Основні наслідки:		
	Окрихчення і розтріскування елементів	31,9 %	6 %
	Втрата матеріалу	26,5 %	4 %
	Деградація (руйнування)	-	51 %
	Відмова	-	37 %
7	Основні коригувальні заходи:		
	Заміна або ремонт обладнання	+	+
	Вдосконалення системи моніторингу та (або) контролю	+	+
	Внесення змін до проєкту, експлуатаційної документації	+	+
	Зміни в ПУС	+	-
8	Розглянуто подій	113	49

ступним коригувальним заходом є удосконалення системи та відповідних програм моніторингу, ТОiP, контролю металу, конструктивні зміни, а також зміни в ПУС. І в цьому разі зауважимо, що жодної зміни в ПУС за наслідками аналізу подій на АЕС України до внесення не запропоновано ЕО, що, фактично, може свідчити про те, що на практиці не втілено вимогу п. 13 розділу II НП 306.2.210-2017 [3] в частині того, що управління старінням елементів і конструкцій здійснюється через взаємозв'язок ПУС із існуючими програмами експлуатаційного контролю, ТОiP, перевірок і випробувань тощо (п. 6 Таблиці 1).

Висновки за результатами проведеного дослідження

Проведене дослідження показує, що використання досвіду експлуатації через постійний аналіз подій, спричинених старінням, дає важливу інформацію для підвищення якості ПУС і запобігання виникненню аномальних подій, що сприяє підвищенню безпеки.

Виконаний аналіз подій у роботі АЕС, які відбулися в період проєктної експлуатації та ДСЕ і прямо або побічно пов'язані з проявом ефектів старіння, дозволяє стверджувати таке:

1) значна кількість розглянутих подій обумовлена прихованими недоліками в проєкті елементу або під час його виготовлення. Найявний неідентифікований дефект обов'язково проявляє себе з часом в процесі експлуатації. Це фактично свідчить про необхідність впровадження певних заходів з управління старінням ще на стадії проєктування (по суті, така ситуація вже врахована в нормативно-правовому полі й відповідні вимоги зазначені в п. 2 розділу II НП 306.2.210-2017 [3]);

2) як засвідчили результати аналізу, старіння суттєво впливає на технічне обслуговування, моніторинг та контроль стану металу. Через це програми технічного обслуговування та перевірок мають оцінюватись і, в разі необхідності, переглядатись (в частині періодичності, методів випробувань тощо) за результатами втілення ПУС (по суті, взаємозв'язок ПУС із іншими експлуатаційними програмами передбачається вимогами п. 13 розділу II НП 306.2.210-2017 [3], але на практиці цю вимогу на АЕС України ще не втілено в повному обсязі). Висновок є спільним, як за результатами дослідження JRC [1], так і аналізу подій на АЕС України;

3) частина подій зумовлена невдалим вибором матеріалу для певного елементу й така ситуація з часом призводить до відмови елемента, який виготовлено з матеріалу, що не здатний витримувати відповідні експлуатаційні навантаження та впливи. Тому для уникнення випадків вибору невідповідного матеріалу повинен проводитись належний нагляд за всіма етапами: проєктування, закупівля,

випробування, вхідний контроль та монтаж (по суті, така ситуація вже врахована в нормативно-правовому полі й відповідні вимоги зазначені в п. 1 розділу II НП 306.2.210-2017 [3]). Висновок є спільним, як за результатами дослідження JRC [1], так і аналізу подій на АЕС України;

4) значна кількість подій зумовлена електричним старінням та відмовами кабельної продукції й елементів інформаційно-керуючих систем. Але в жодному разі до коригувальних дій для зазначених елементів не передбачено перегляд та внесення змін до ПУС кабелів (як для Типової ПУС кабелів [10], так і для блочних ПУС кабелів).

Узагальнюючи результати виконаного аналізу прояву та перебігу подій, зумовлених старінням, зауважимо, що ЕО доцільно посилити роботу щодо моніторингу процесів старіння на періодичній основі, здійснювати оцінку ефективності та перегляд ПУС, як це передбачено вимогами НП 306.2.210-2017 [3], та забезпечити взаємозв'язок ПУС з іншими експлуатаційними програмами. За необхідності, наприклад, за результатами аналізу досвіду експлуатації, можуть розроблятися додаткові ПУС (для окремих елементів за окремими механізмами старіння).

Список використаної літератури

1. JRC Technical Report. Analysis of ageing related events occurred in nuclear power plants. European Commission. Joint Research Center, 2019.
2. НП 306.2.100-2004. Положення про порядок розслідування та обліку порушень в роботі атомних електричних станцій. Затвердж. наказом Держатомрегулювання України від 01.12.2004 № 184, зареєстр. в М-ві юстиції України від 17.12.2004 за № 1594/10193.
3. НП 306.2.210-2017. Загальні вимоги до управління старінням елементів і конструкцій та довгострокової експлуатації атомних станцій. Затвердж. наказом Держатомрегулювання від 13.04.2017 за № 136., зареєстр. в М-ві юстиції України 05.05.2017 за № 578/30446.
4. СОУ НАЕК 040:2017. Инженерная, научная и техническая поддержка. Управление старением оборудования и трубопроводов АЭС, склонных к эрозионно-коррозионному износу. Общие требования. Затвердж. наказом ДП «НАЕК «Енергоатом» від 14.02.2017 № 153.
5. СОУ НАЕК 109:2016. Эксплуатация технологического комплекса. Мониторинг строительных конструкций АЭС. Общие положения. Затвердж. наказом ДП «НАЕК «Енергоатом» від 19.01.2016 № 40.
6. СОУ-Н ЯЕК 1.013:2014. Теплоносій першого контуру ядерних енергетичних реакторів типу ВВЕР-1000. Технічні вимоги і способи забезпечення якості. Настанова. Затвердж. наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 29.12.2014 № 909 та наказом ДП «НАЕК «Енергоатом» від 22.01.2015 № 70-р.

7. СОУ-Н ЯЕК 1.012:2014. Теплоносій першого контуру ядерних енергетичних реакторів типу ВВЕР-440. Технічні вимоги і способи забезпечення якості. Настанова. Затвердж. наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 29.12.2014 № 909 та наказом ДП «НАЕК «Енергоатом» від 22.01.2015 № 70-р.

8. СОУ НАЕК 171:2018. Інженерна, наукова та технічна підтримка. Водно-хімічний режим другого контуру атомних електростанцій з реакторами типу ВВЕР. Технічні вимоги до якості робочого середовища другого контуру. Затвердж. наказом ДП «НАЕК «Енергоатом» від 06.03.2019 № 215.

9. СОУ НАЕК 067:2013. Управління хімічними технологіями. Водно-хімічний режим системи технічного водопостачання відповідальних споживачів АЕС з ВВЕР. Загальні вимоги. Затвердж. наказом ДП «НАЕК «Енергоатом» від 23.01.2014 № 43.

10. ПМ-Т.0.08.121-14. Програма управління старінням кабелей АЭС.

References

1. JRC Technical Report. Analysis of ageing related events occurred in nuclear power plants. European Commission, Joint Research Center, 2019.

2. NP 306.2.100-2004. Provisions on the Procedure for Investigation and Accounting of NPP Operational Events approved by SNRIU Order No. 184 dated 01 December 2004 and registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 17 December 2004 under No. 1594/10193.

3. NP 306.2.210-2017. General Requirements for Aging Management of Components and Structures and Long-Term Operation of Nuclear Power Plants approved by SNRIU Order No. 136 dated 13 April 2017 and registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 05 May 2017 under No. 578/30446.

4. SOU NAEK 040:2017. Engineering, Scientific and Technical Support. Aging Management of NPP Equipment and Piping Prone to Flow Accelerated Corrosion.

5. SOU NAEK 109:2016. Operation of Technological Complex. Monitoring of NPP Civil Structures. General Provisions.

6. SOU-N YaEK 1.013:2014. Primary Coolant of WWER-1000 NPP Units. Technical Requirements and Quality Assurance Methods.

7. SOU-N YaEK 1.012:2014. Primary Coolant of WWER-440 NPP Units. Technical Requirements and Quality Assurance Methods.

8. SOU NAEK 171:2018. Water Chemistry of the Secondary Side of WWER NPP Units. Technical Requirements for Quality of the Secondary Side Working Medium.

9. SOU NAEK 067:2013. Chemical Technology Management. Water Chemistry of the Essential Service Water System of WWER NPPs. General Requirements.

10. ПМ-Т.0.08.121-14. NPP Cable Aging Management Program.

Results of Analysis of Aging Related Events at Ukrainian NPPs

Shugailo O-i¹, Ligotskyy O.¹, Pecherytsia O.¹, Kulman O.¹, Moskalysyn R.¹, Khalenko R.², Kurman O.²

¹ State enterprise «State Scientific and Technical Center for Nuclear and Radiation safety», Kyiv, Ukraine

² State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The design lifetime (30 years) of Ukrainian NPPs has already been expired or will be expired soon. One of the priority areas for the development of nuclear energy is long-term operation (LTO) based on the results of periodic safety review. At present, eleven Ukrainian NPP units are operated under LTO conditions, which in turn causes certain features of operation related to wear, fatigue and general aging of components and structures.

An issue of aging management is considered one of the main factors to ensure the safety of a nuclear installation, both in the design lifetime and in the long-term operation. The primary purpose of aging management is to ensure the safety and maximum efficiency of operation through the implementation of technically and economically feasible measures aimed at timely detection and keeping of degradation of NPP components caused by aging within the limits.

One way to determine the efficiency of implemented measures and aging management programs is to analyze operational experience and, in particular, analyze the number of NPP operational occurrences during the design and long-term operation period and that are directly related to the aging effects. This paper presents the results of the analysis of the events at Ukrainian NPPs caused by aging processes, compares the results of national and international experience.

Key words: aging, analysis, event, incompliance.

Отримано 17.03.2020.