

М. Х. Гашев¹, О. І. Лігоцький,
С. В. Недбай, А. В. Носовський²

¹Державний комітет ядерного регулювання України

²Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки

Аналіз потоку порушень в роботі АЕС України, які сталися протягом 2007 року

Наведено аналіз потоку порушень, що сталися на АЕС України протягом 2007 року, за рядом напрямків, що характеризують експлуатаційну безпеку.

М. Х. Гашев, А. І. Лігоцький, С. В. Недбай, А. В. Носовський

Анализ потока нарушений в работе АЭС Украины, произошедших в 2007 году

Приведен анализ потока нарушений, которые произошли на АЭС Украины на протяжении 2007 года, по ряду направлений, характеризующих эксплуатационную безопасность.

Проведення аналізу потоку порушень у роботі АЕС України спрямовано на запобігання виникненню подій, підвищення ефективності використання досвіду експлуатації та підвищення рівня експлуатаційної безпеки АЕС. Актуальність роботи зумовлена необхідністю: оцінки поточного рівня експлуатаційної безпеки українських АЕС за результатами аналізу інформації про порушення; забезпечення ефективного застосування результатів аналізу порушень в роботі АЕС у системі зворотного зв'язку від досвіду експлуатації.

Результати роботи використовуються для проведення аналізу поточного рівня експлуатаційної безпеки енергоблоків АЕС України, а також тенденцій його зміни.

У даній роботі застосовано методики експертної оцінки, статистичної обробки даних та аналізу корінних причин.

В статті наведено аналіз порушень, які сталися протягом 2007 р., за рядом напрямків, що характеризують експлуатаційну безпеку, та надано рекомендації щодо удосконалення системи організації розслідування порушень в роботі АЕС і оптимізації системи зворотного зв'язку від досвіду експлуатації.

Статистична оцінка порушень у роботі АЕС України

У 2007 р. в Україні у промисловій експлуатації перебували 15 енергоблоків АЕС та 3 енергоблоки (з реакторами типу РВПК) на Чорнобильській АЕС в режимі припинення експлуатації, на яких відбулося 25 порушень [1], зокрема:

- на Запорізькій АЕС (ЗАЕС) (6 енергоблоків) — 8;
- на Рівненській АЕС (РАЕС) (4 енергоблоки) — 8;
- на Хмельницькій АЕС (ХАЕС) (2 енергоблоки) — 4;
- на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС) (3 енергоблоки) — 0;
- на Южно-Українській АЕС (ЮУАЕС) (3 енергоблоки) — 5.

Загальний потік порушень у роботі АЕС України за останні 5 років (2003—2007 рр.) представлено на рис. 1.

Середня кількість порушень на один енергоблок у 2007 р. є найнижчою за останні 5 років і майже у півтора рази меншою, ніж середнє значення за цей період (1,94).

Динаміку порушень у роботі АЕС України за останні п'ять років наведено на рис. 2.

Загальна кількість порушень у роботі АЕС України у 2007 р. (25) зменшилася на третину в порівнянні з попереднім роком. Це обумовлено різким зниженням (більш як на 50 %) кількості порушень на ХАЕС та тим фактом, що на ЧАЕС у 2007 р. не сталося жодної події (рис. 3).

Аналіз потоку порушень по майданчиках АЕС України показав, що кількість порушень у 2007 р., в порівнянні з попереднім роком, знизилася на всіх АЕС України, крім ЮУАЕС, де цей показник залишається незмінним протягом чотирьох років. Найбільше зниження кількості порушень — на ХАЕС (понад 2 разів у порівнянні з 2006 р.).

На рис. 4 наведено розподіл середньої кількості порушень на один енергоблок по майданчиках АЕС.

Як і в останні роки, кількість порушень у перерахунку на один енергоблок залишається найвищою в порівнянні з іншими АЕС України на ХАЕС та РАЕС (по 2 порушення на енергоблок). Але необхідно зазначити, що в 2007 р. вперше за останні роки кількість порушень на ХАЕС у перерахунку на один енергоблок була на одному рівні з аналогічними показниками на інших АЕС України.

Найбільша кількість порушень за 2007 р. припадає на такі енергоблоки:

№ 1 ЗАЕС — 4 порушення;

№ 2 ЗАЕС, № 2 ХАЕС, № 3 РАЕС — по 3 порушення.

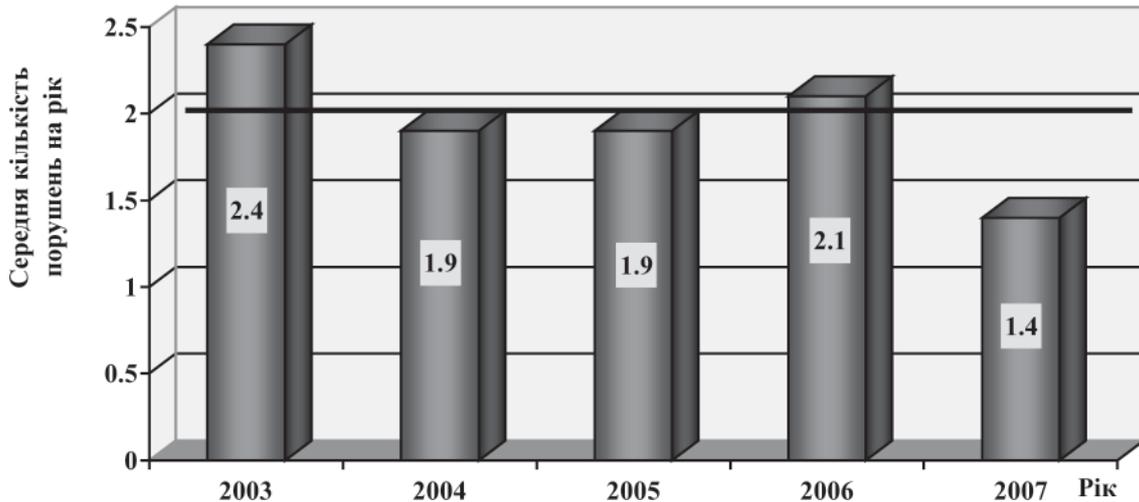


Рис. 1. Потік порушень у роботі АЕС України в 2003–2007 рр.



Рис. 2. Динаміка порушень у роботі АЕС України за 2003–2007 рр.

Серед діючих енергоблоків жодного порушення не було зафіксовано на енергоблоках №№ 3, 4, 6 ЗАЕС.

Розподіл порушень для окремих типів реакторних установок (РУ) діючих енергоблоків (рис. 5) демонструє, що середні кількості порушень на енергоблок з реакторами типу ВВЕР-1000 та ВВЕР-440 у 2007 р. майже однакові. У порівнянні з аналогічним періодом попереднього року середня кількість порушень на блок для реакторів ВВЕР-1000 зменшилася у 2 рази, а для енергоблоків з ВВЕР-440, навпаки, збільшилася в 1,5 раза.

У 2007 р. порушень меж та умов безпечної експлуатації на АЕС України зареєстровано не було.

У цьому ж році не сталося жодного порушення, класифікованого рівнем «1» за шкалою INES (Міжнародна шкала ядерних подій) [2], відповідно до якої рівнем «1» класифікуються «відхилення від дозволеного режиму експлуатації, що зумовлені відмовою обладнання, помилками персоналу

або процедурними невідповідностями». Усі порушення в роботі АЕС України в 2007 р. мали рівень «0» або «поза шкалою». Розподіл порушень за рівнями за шкалою INES наведено на рис. 6.

У 2007 р. дві третини порушень були класифіковані рівнем «0» (не суттєво для безпеки) за шкалою INES. Інші порушення в роботі АЕС України мали рівень «поза шкалою».

На рис. 7 представлено розподіл кількості порушень в роботі АЕС України, що відбулися протягом 2003–2007 рр., за шкалою INES.

Аналіз інформації, наведеної на рис. 7, показує, що в 2007 р. на АЕС України вперше за останні 5 років не відбулося жодного порушення, класифікованого рівнем «1» за шкалою INES. Кількість порушень, класифікованих за шкалою INES рівнем «0», знизилася в 1,5 раза порівняно з 2006 р.

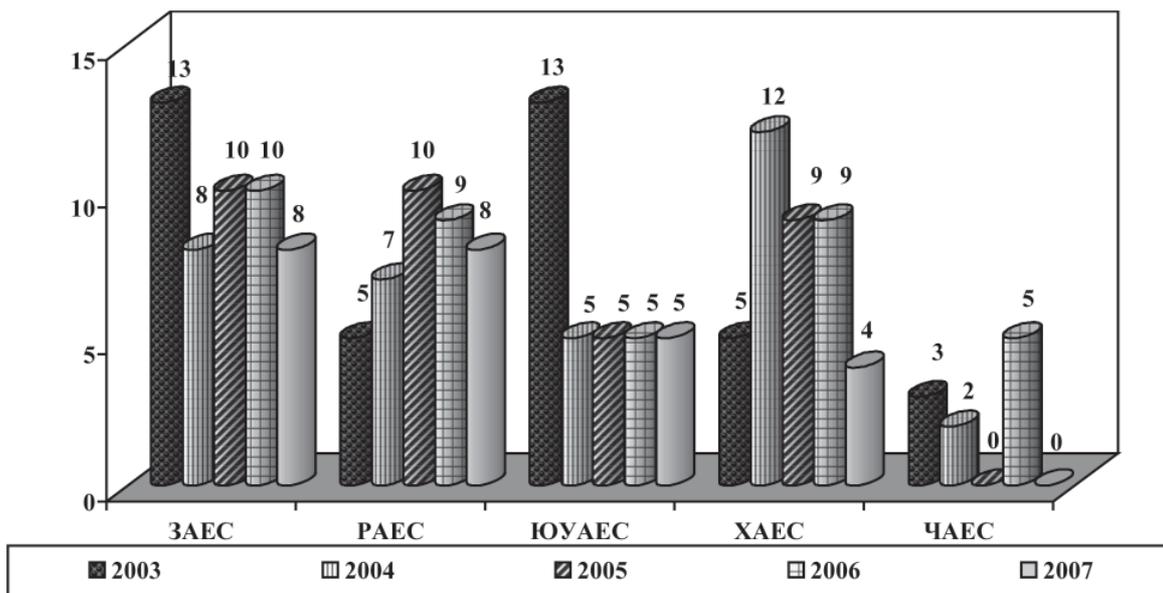


Рис. 3. Розподіл порушень по майданчиках АЕС у 2003 – 2007 рр.

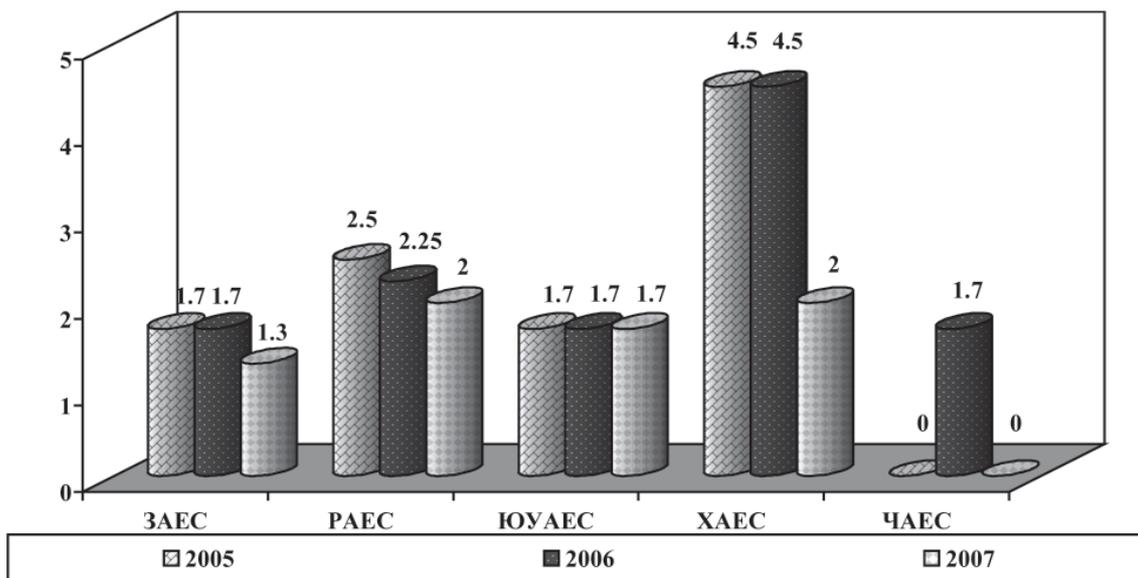


Рис. 4. Середня кількість порушень на один енергоблок по майданчиках АЕС у 2005–2007 рр.

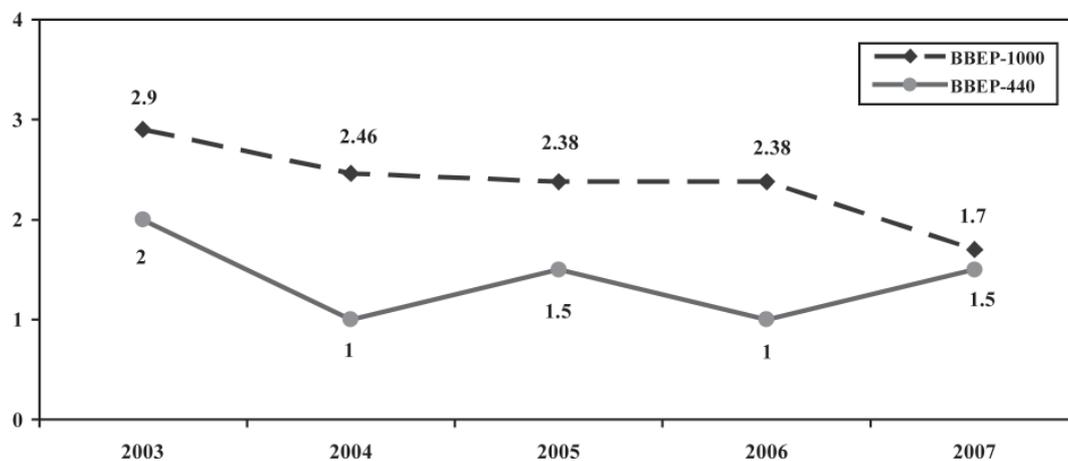


Рис. 5. Розподіл середньої кількості порушень на блок за типами реакторних установок

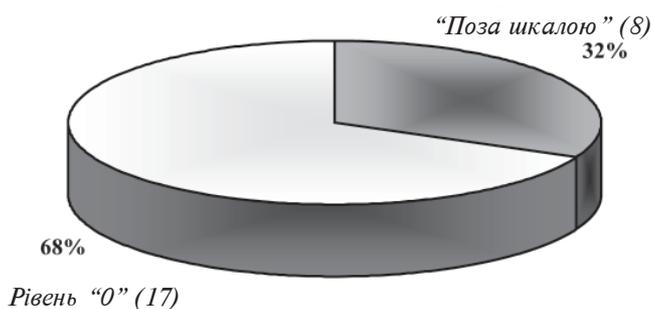


Рис. 6. Розподіл порушень у роботі АЕС за шкалою INES

Розподіл порушень у роботі АЕС України за наслідками представлено на рис. 8.

Переважає більшість порушень у роботі АЕС у 2007 р. була пов'язана із зупиненням РУ, відключенням енергоблока від мережі чи розвантаженням РУ. В одному випадку (на ЗАЕС) сталося порушення через відмову важливого для безпеки АЕС обладнання та трубопроводів. Восьма части-

на порушень сталася через непрацездатність каналу (каналів) систем безпеки протягом терміна, що не перевищує дозволений Технологічним регламентом. Слід зазначити, що всі порушення, пов'язані з відмовами систем безпеки, сталися на нових енергоблоках (два — на енергоблоці № 2 ХАЕС та одне — на енергоблоці № 4 РАЕС); причинами їх були недоліки проектування та виготовлення обладнання.

Під час 25 порушень у роботі АЕС України було зафіксовано 31 аномальну подію. Розподіл аномальних подій за факторами, що обумовили їх виникнення, за 2006 та 2007 рр. наведено на рис. 9.

Як і в 2006 р., основними факторами, що зумовили виникнення аномальних подій, є відмови обладнання. Кількість аномальних подій, що виникли через недоліки процедур, зменшилася у 1,5 раза.

Аномальних подій через помилки персоналу в 2007 р. не сталося.

Розподіл порушень за системами, що відмовили, наведено на рис. 10.

Найбільша кількість відмов серед систем припадає на: системи електропостачання — 20,6 % (2006 р. — 13,4 %); допоміжні системи — 17,6 % (2006 р. — 22,2 %); технологічні системи 2-го контуру — 14,7 % (2006 р. — 2,2 %).

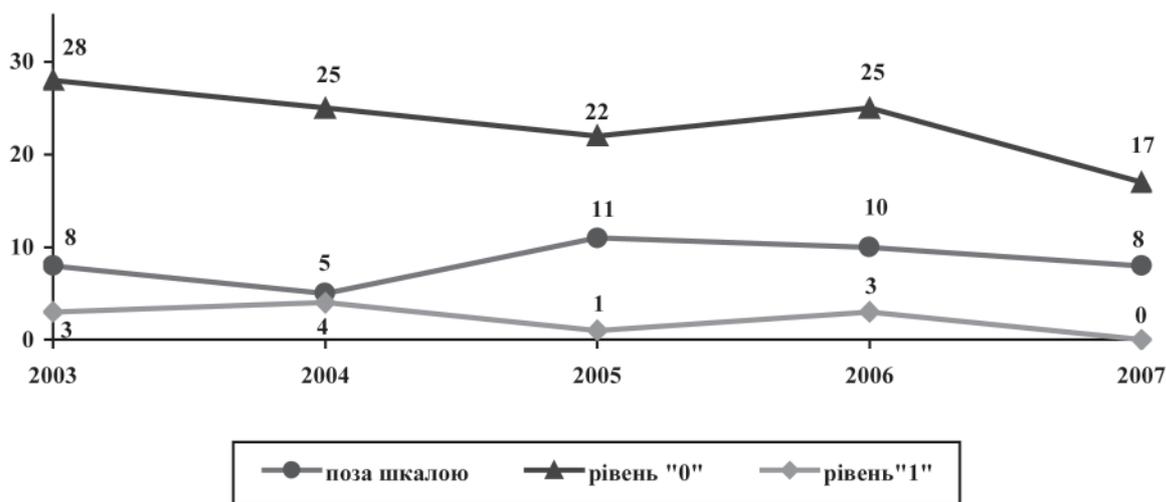


Рис. 7. Розподіл кількості порушень у роботі АЕС України за шкалою INES, 2003 — 2007 рр.

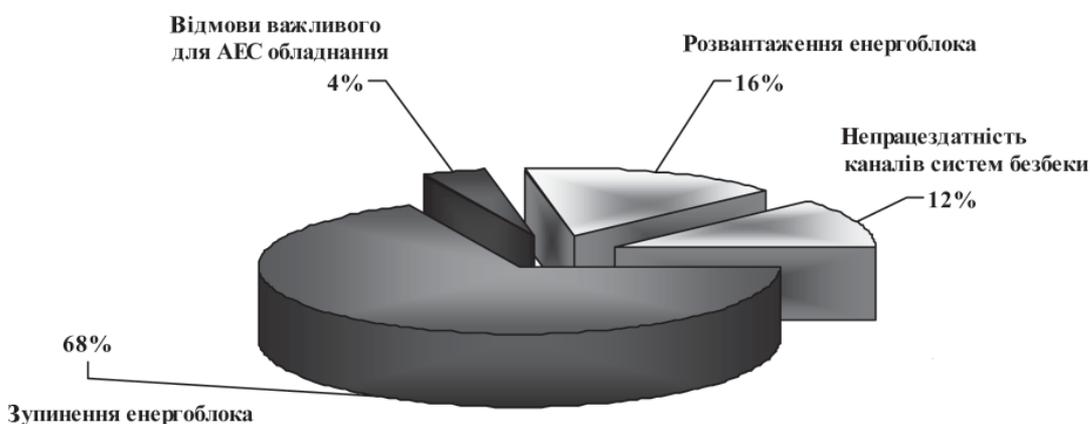


Рис. 8. Розподіл порушень у роботі АЕС за наслідками



Рис. 9. Розподіл аномальних подій за факторами, що обумовили їх виникнення

Зазначимо, що значно зменшилася (в 6 разів), у порівнянні з 2006 р., кількість відмов систем реактора, проте в 7 разів зросла кількість відмов технологічних систем 2-го контуру. Також необхідно відмітити стабільно високий процент відмов систем електропостачання (п'ята частина від загальної кількості відмов).

З аналізу систем, що відмовляли, впливає, що найбільше було відмов системи генератора і мережі генераторної напруги (17,6%), яка входить до складу систем електропостачання. Половина з цих відмов сталася на РАЕС.

Аналіз обладнання, яке відмовило, показав, що п'ята частина усіх відмов припадає на відмови елементів електронної схеми, логічного блока та реле, причому більша частина цих відмов сталася на РАЕС.

Розподіл безпосередніх та корінних причин виникнення аномальних подій за їх типами наведено на рис. 11 та 12.

Безпосередні причини виникнення аномальних подій майже у половині випадків були пов'язані з електротехнічними несправностями, що на 10% вище, ніж у 2006 р.; третина подій виникла через механічні ушкодження (цей показник знизився на 16% порівняно з 2006 р.). Складова «помилки персоналу» у 2007 р. в 4 рази менша ніж у 2006 р., однак значно зросла кількість безпосередніх причин, що виникли через несправності в контрольно-вимірювальних системах.

Основними безпосередніми причинами аномальних подій були:

- корозія, ерозія;
- коротке замикання, іскріння;
- внутрішнє ушкодження;
- непередбачений зв'язок (перемикання).

Як і в минулі роки, найбільша частина (майже три чвертини) корінних причин виникнення аномальних подій була пов'язана з обладнанням. Складові корінних причин, пов'язаних з документацією та персоналом, зменшилися порівняно з 2006 р. у 1,3 раза. В одному випадку корінну причину аномальної події не визначено.

Основні корінні причини аномальних подій пояснюються недоліками проектування (третина від загальної кількості причин) та недоліками конструювання обладнання. При цьому необхідно відзначити, що більшість корінних причин, пов'язаних з цими недоліками, виникла на енергоблоках РАЕС.

Аналіз причин порушень та призначених коригувальних заходів

Результатами аналізу порушень, який проводиться на АЕС комісією з розслідування, є визначення причин порушень та розробка відповідних коригувальних заходів, які спрямовані на усунення наслідків порушення в роботі АЕС, на запобігання повторення порушення у майбутньому та (або) на підвищення рівня експлуатаційної безпеки. Результатом оперативного аналізу порушень, який висвітлено у статті, є оцінка роботи станційних комісій з розслідування порушень та пропозиції щодо використання результатів розслідування в рамках системи зворотного зв'язку від досвіду експлуатації.

Для оцінки адекватності коригувальних заходів було обрано наступні критерії:

- правильність визначення корінної причини аномальної події;
- ефективність призначеного коригувального заходу;
- мінімальний термін виконання коригувального заходу;
- можливість реалізації запропонованого коригувального заходу;
- відсутність аналогічних порушень у роботі АЕС після впровадження коригувального заходу.

Результати аналізу правильності визначення причин порушень та адекватності призначених коригувальних заходів для 25 порушень в роботі АЕС, які сталися протягом 2007 р., у порівнянні з аналогічними даними за 2003–2006 рр. наведено в табл. 1.

Дані табл. 1 говорять, що в 2007 р. майже для 50% загальної кількості порушень були правильно визначені їх причини та призначені відповідні коригувальні заходи. Цей

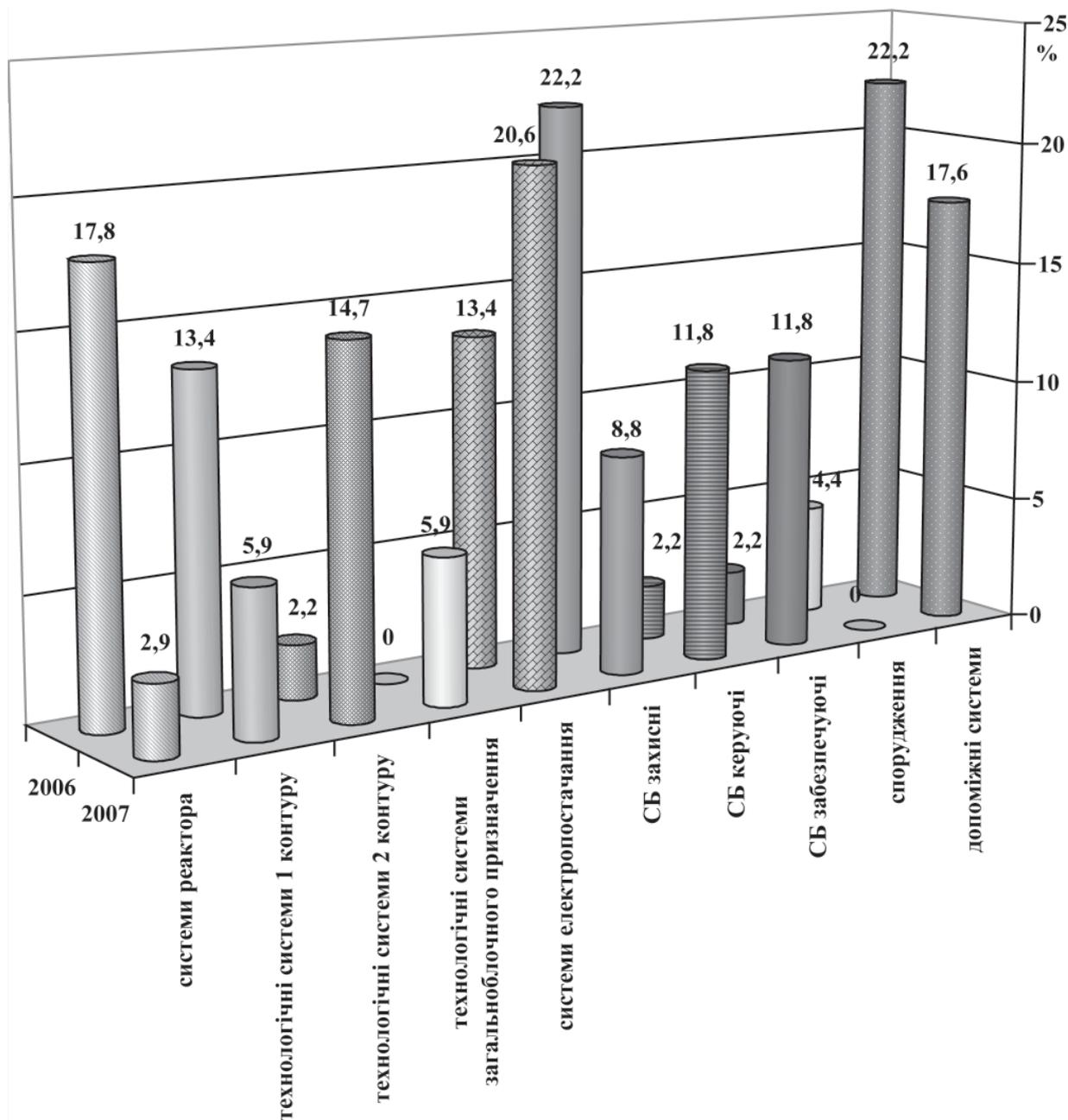


Рис. 10. Розподіл порушень за системами, що відмовили

показник покращився у порівнянні з 2006 р. на 22 %, однак ще не досягає показників 2003–2005 рр. Більш як для чверті порушень їх причини визначено неправильно, а це призводить до призначення малоефективних коригувальних заходів, які не в змозі запобігти виникненню аналогічних порушень у майбутньому. До цього ж призводить і призначення формальних коригувальних заходів (12 % порушень у 2007 р.).

Як позитивний момент необхідно зазначити, що більше ніж у 3 рази знизився відсоток порушень, для яких неможливо оцінити адекватність коригувальних заходів через неповноту інформації, що наводиться у звіті з розслідування порушення.

На рис. 13 наведено порівняльний аналіз ефективності роботи станційних комісій по АЕС України на підставі виконання оперативного аналізу.

Проведена оцінка ефективності роботи станційних комісій з розслідування порушень у роботі АЕС показала, що більше ніж до половини звітів про розслідування порушень були зауваження спеціалістів з оперативного аналізу стосовно роботи станційних комісій. Найкращий показник якості розслідування — на РАЕС, найгірший — на ЮВАЕС та ХАЕС, де лише до п'ятої та четвертої частин, відповідно, не було виявлено зауважень до роботи комісій.

Основні виявлені недоліки роботи комісій — неправильне визначення аномальних подій, корінних причин порушень та призначення неадекватних коригувальних заходів; інформація про порушення надається не в повному обсязі, не відповідає вимогам нормативних документів, призначені коригувальні заходи є неповними, що неодмінно призводить до виникнення аналогічних порушень.

Таблиця 1. Результати аналізу правильності визначення причин порушень та адекватності призначених коригувальних заходів

Показник	2003 р.	2004 р.	2005 р.	2006 р.	2007 р.
Загальна кількість проаналізованих порушень у роботі АЕС	39 100 %	34 100 %	34 100 %	38 100 %	25 100 %
Кількість порушень у роботі АЕС, для яких правильно визначено причини та призначено адекватні коригувальні заходи	21 54 %	19 55,9 %	18 52,9 %	10 26,3 %	12 48 %
Кількість порушень у роботі АЕС, для яких неправильно визначено причини	3 8 %	4 11,8 %	4 11,8 %	13 34,2 %	7 28 %
Кількість порушень у роботі АЕС, для яких призначено формальні коригувальні заходи	9 23 %	4 11,8 %	7 20,6 %	11 29 %	3 12 %
Кількість порушень у роботі АЕС, для яких неможливо оцінити адекватність коригувальних заходів	15 38 %	11 32,3 %	12 35,3 %	15 39,5 %	3 12 %

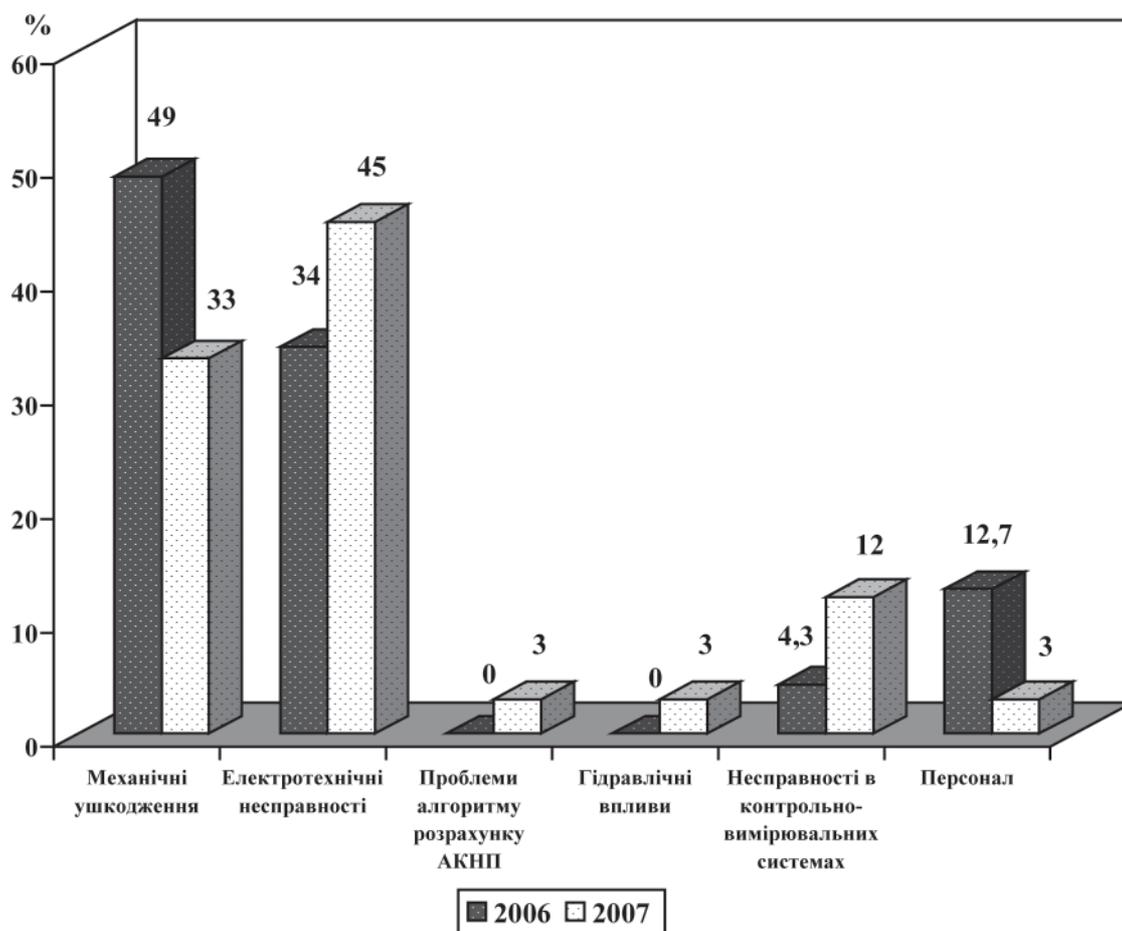


Рис. 11. Розподіл безпосередніх причин виникнення аномальних подій

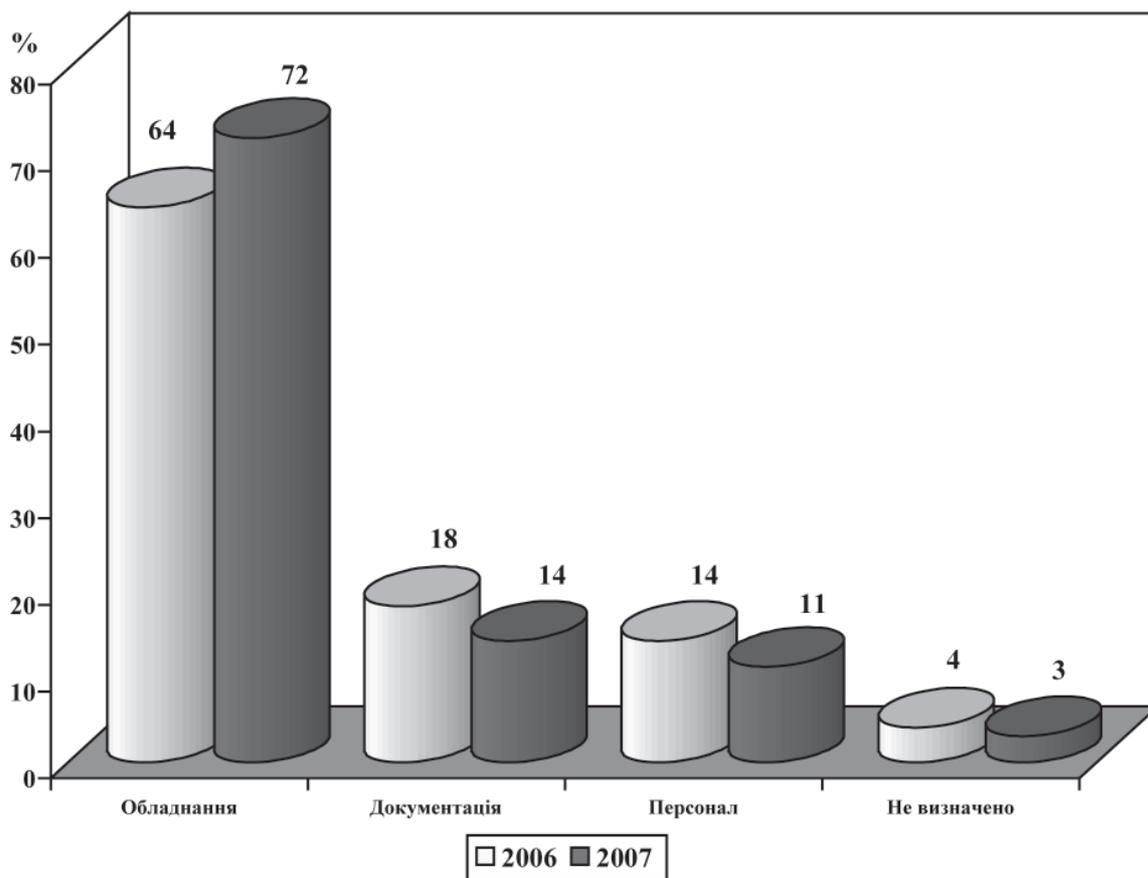


Рис. 12. Розподіл корінних причин виникнення аномальних подій

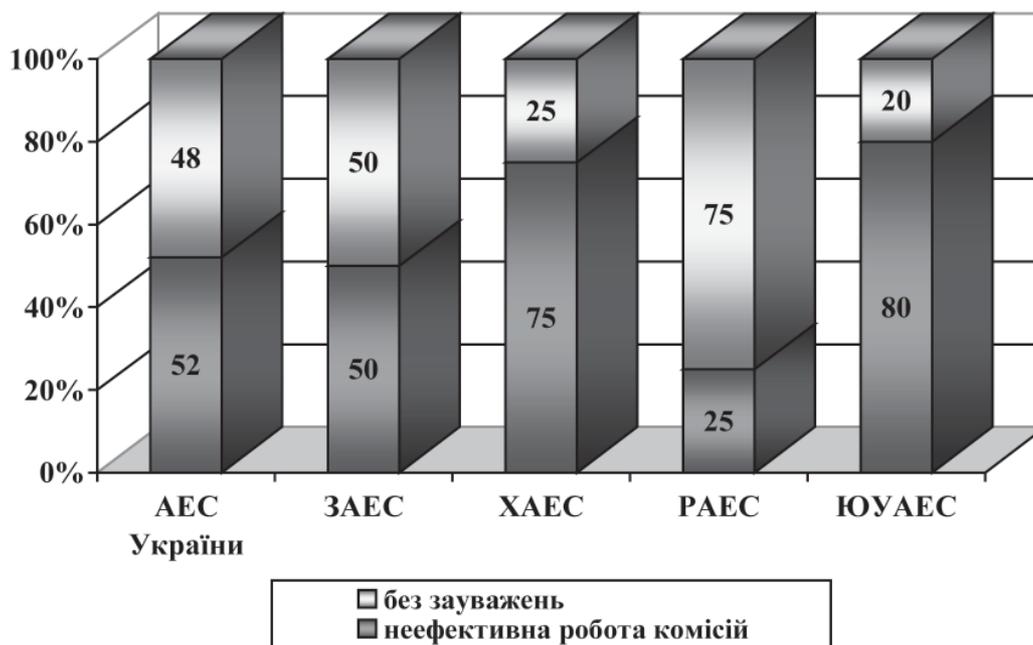


Рис. 13. Порівняльний аналіз ефективності роботи станційних комісій

Комісією з розслідування порушення в роботі АЕС, як результат аналізу порушень, повинні бути розроблені коригувальні заходи, спрямовані на усунення наслідків порушення та на запобігання повторення порушення в майбутньому. Якщо причини порушення неправильно визначені або не розглянуто всі аномальні події, що мали місце під час порушення, то призначені коригувальні заходи є неадекватними.

Аналіз причин повторюваності порушень

Останні роки кількість порушень, що відбувалися на АЕС України, постійно знижується. При цьому частина порушень, що повторюються, складає в середньому половину від усієї кількості порушень. Аналіз подій, які повторюються, показав, що розслідування станційними комісіями проводиться формально, визначаються не всі фактори, які

мають безпосередній вплив на виникнення порушень. На підставі інформації, представленої в звітах про розслідування порушень, з 25 порушень у роботі АЕС за 2007 р. 10 відбувалися раніше (з них два повторилися вже в 2007 р.).

Найбільше порушень, що відбувалися раніше, зареєстровано на ЗАЕС та РАЕС — по 4, що становить половину від загальної кількості подій на кожній із зазначених АЕС. Це свідчить про неефективне використання зворотного зв'язку від досвіду експлуатації на цих АЕС.

Якщо порушення повторюється, потрібні детальний аналіз попереднього аналогічного порушення, розгляд його причин та оцінка коригувальних заходів, призначених для усунення цих причин та запобігання їх повторенню. Якщо порушення відбулося знову, необхідно проаналізувати, чому це сталося: через неправильне визначення причин попереднього порушення, призначення неадекватних коригувальних заходів, несвоєчасне їх впровадження або невиконання тих коригувальних заходів, що були заплановані. Крім

Таблиця 2. Результати аналізу повторюваності порушень у роботі АЕС

Показник	2003 р.	2004 р.	2005 р.	2006 р.	2007 р.
Кількість порушень у роботі АЕС	39 100 %	34 100 %	34 100 %	38 100 %	25 100 %
Кількість порушень у роботі АЕС, що відбувалися раніше	27 69 %	16 47 %	18 53 %	17 45 %	10 40 %
Кількість порушень у роботі АЕС, що повторилися у звітному році	2 5 %	5 15 %	3 9 %	5 13 %	2 8 %

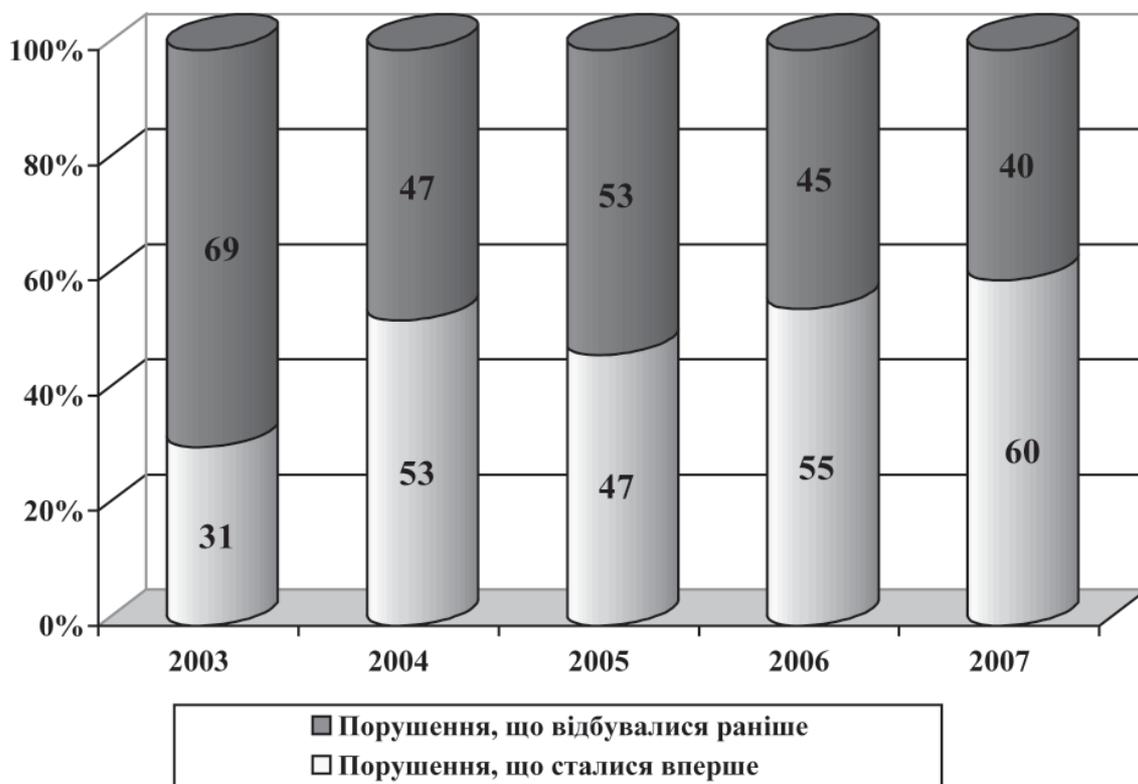


Рис. 14. Повторюваність порушень у роботі АЕС

того, аналіз попередніх аналогічних порушень може дати важливі результати, які можуть бути корисними для всієї галузі. Тому такий аналіз є важливим елементом системи використання досвіду експлуатації

У табл. 2 та на рис. 14 наведено результати аналізу повторюваності порушень у роботі АЕС за 2007 р. у порівнянні з аналогічними даними 2003–2006 рр. (отриманими на підставі звітів про порушення в роботі АЕС).

Дані табл. 2 та рис. 14 ілюструють стан використання досвіду експлуатації, а саме той факт, що недостатньо ефективно використовуються позитивні уроки, які впливають з розслідування порушень у роботі АЕС.

Кількість порушень у роботі атомних електростанцій, що відбувалися раніше, становить 40 % загальної кількості порушень за 2007 р., а 8 % порушень від загальної кількості складають ті, що вже повторилися у тому ж році. Ці показники нижчі, ніж у 2006 р., однак залишаються ще досить високими.

Для запобігання аналогічним порушенням у майбутньому адміністраціям АЕС необхідно ширше використовувати здобуті уроки з досвіду експлуатації та переглянути процедури аналізу досвіду експлуатації.

Статус реалізації коригувальних заходів

Несвоєчасне впровадження запланованих коригувальних заходів може стати причиною повторення порушення в роботі АЕС незважаючи на те, що причини порушення були встановлені правильно, а призначені коригувальні заходи є адекватними.

Важливим питанням під час розробки коригувальних заходів є термін їх реалізації. Цей термін має бути реалістичним з погляду на можливе впровадження цього заходу. З іншого боку, з метою запобігання повторюванню порушень у роботі АЕС необхідно встановлювати найменші терміни впровадження коригувальних заходів. Комісії з розслідування порушень у роботі АЕС повинні проводити оцінку цих аспектів і призначати оптимальні терміни для впровадження коригувальних заходів або розробляти додаткові коригувальні заходи на той час, поки не буде усунуто корінну причину.

За результатами аналізу інформації про впровадження коригувальних заходів у 2007 р., в цілому АЕС виконують коригувальні заходи, призначені за результатами розслідування порушень у роботі АЕС, проте проблеми з дотриманням термінів виконання деяких окремих коригувальних заходів ще існують. Як правило, це стосується тих заходів, реалізація яких потребує залучення додаткових коштів. Ще одним фактором, який впливає на несвоєчасність впровадження коригувальних заходів, є потреба у взаємодії АЕС з іншими організаціями (проектними, виробничими, ремонтними, науково-технічними тощо) та необхідність узгодження й затвердження прийнятих технічних рішень або змін в експлуатаційній документації з відповідними організаціями.

Ці фактори слід враховувати під час розробки коригувального заходу. Беручи до уваги, що термін його виконання може збільшитись, потрібно проаналізувати, як це може вплинути на безпечну експлуатацію АЕС та, за необхідності, розробити компенсуючі заходи, які б зменшили негативний вплив. Досвід експлуатації показує, що невчасно впроваджені коригувальні заходи призводять до появи аналогічних порушень. Тому важливо дотримуватися графіка

впровадження коригувальних заходів. Використання цих рекомендацій допоможе підтримувати належний рівень експлуатаційної безпеки.

Висновки та рекомендації

Під час виконання даної роботи проведено статистичну оцінку потоку порушень у роботі АЕС України за 2007 р. та виконано аналіз порушень у роботі АЕС України, які сталися протягом звітного періоду.

За результатами виконання статистичної оцінки та розподілів порушень у роботі АЕС за 2007 р. необхідно відмітити наступне:

1) середнє число порушень на один енергоблок знизлося, у порівнянні з минулим роком, у 1,5 раза та є найнижчим за останні п'ять років;

2) на АЕС України не було зафіксовано жодного порушення, класифікованого рівнем «1» за шкалою INES;

3) переважна більшість порушень у роботі АЕС (84 %) була пов'язана із зупиненням РУ, відключенням енергоблока від мережі чи розвантаженням РУ;

4) п'ята частина відмов серед систем припадає на системи електропостачання;

5) основними факторами, що зумовили виникнення аномальних подій, є відмови обладнання. Безпосередні причини їх виникнення у половині випадків були пов'язані з електротехнічними несправностями. Корінні причини аномальних подій були пов'язані з недоліками проектування та конструювання обладнання;

6) до 52 % звітів з розслідування порушень були виявлені зауваження до якості розслідування. Цей показник знизився у порівнянні з 2006 р., однак ще не досягає значень 2003–2005 рр.;

7) в останні роки відмічається незначне зниження кількості порушень в роботі АЕС України, що відбувалися раніше, однак цей показник (40 %) залишається ще досить високим;

8) станціями в цілому вчасно здійснюється впровадження призначених коригувальних заходів, але існують проблеми щодо дотримання призначених термінів реалізації окремих коригувальних заходів. Несвоєчасне впровадження запланованих коригувальних заходів може стати причиною повторення порушення в роботі АЕС, тому необхідно призначати оптимальні терміни для впровадження коригувальних заходів або розробляти додаткові компенсуючі заходи на той час, поки не буде усунуто корінну причину.

З метою запобігання повторення порушень та зменшення загальної кількості порушень у роботі АЕС, а також для удосконалення системи організації розслідування порушень і оптимізації системи зворотного зв'язку від досвіду експлуатації необхідно:

1) усунути існуючі недоліки в організації управління і експлуатації АЕС, зокрема забезпечити керівництвом АЕС взаємозв'язок між підрозділами, що займаються безпосередньо розслідуванням порушень, та тими, що займаються аналізом порушень, які відбуваються на інших АЕС України та світу;

2) впроваджувати сучасні методики аналізу порушень, які пройшли відповідну апробацію та рекомендовані МАГАТЕ;

3) провести на галузевому рівні всебічний комплексний аналіз порушень в роботі АЕС України, які мали місце протягом останніх років, та на його підставі розробити та надати до Держатомрегулювання рекомендації щодо попе-

редження повторюваності порушень в роботі однотипних енергоблоків АЕС, підвищення якості розслідування та визначення корінних причин;

4) забезпечити впровадження галузевої системи обліку результатів розслідування порушень та моніторингу виконання коригувальних заходів по галузі в цілому;

5) забезпечити обмін уроками, що здобуваються з негативних подій, між АЕС галузі (на рівні результатів аналізів, прийнятих коригувальних дій та їх ефективності), іншими вітчизняними і міжнародними організаціями через програму обміну досвідом експлуатації;

6) проводити семінари з обміну досвідом щодо аналізу подій та призначення коригувальних заходів із залученням

спеціалістів з боку експлуатуючої організації та Держатомрегулювання;

7) провести аналіз та вдосконалення системи техобслуговування та ремонтів.

Література

1. Звіти про розслідування порушень у роботі АЕС України, що сталися протягом 2007 року.
2. IAEA-INES-ИНЕС: Международная шкала ядерных событий. Руководство для пользователей, МАГАТЭ. — Вена, 2001.