

М. Х. Гашев¹, О. І. Лігоцький²,
А. В. Носовський², Л. М. Печериця²

¹Державний комітет ядерного регулювання України

²Державний науково-технічний центр
з ядерної та радіаційної безпеки

Технологічний та статистичний аналіз порушень в роботі АЕС України

Проаналізовано потік порушень, що сталися на АЕС України протягом 2009 року, за рядом напрямів, які характеризують експлуатаційну безпеку.

Ключові слова: АЕС, порушення в роботі АЕС, звіт, розслідування, статистичний аналіз, корінна причина, коригувальні заходи.

М. Х. Гашев, А. І. Лігоцький, А. В. Носовський, Л. М. Печериця

Технологический и статистический анализ нарушений в работе АЭС Украины

Дан анализ потока нарушений, которые произошли на АЭС Украины в 2009 году, по ряду направлений, характеризующих эксплуатационную безопасность.

Ключевые слова: АЭС, нарушения в работе АЭС, отчет, расследование, статистический анализ, коренная причина, корректирующие меры.

Оперативний та технологічний аналіз порушень у роботі АЕС України щорічно проводиться спеціалістами Державного підприємства «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки» (ДНТЦ ЯРБ) у рамках науково-дослідної роботи (НДР). Отримані в результаті цього аналізу статистичні дані дають змогу як кількісно, так і якісно оцінювати рівень експлуатаційної безпеки, простежувати тенденції щодо його негативних або позитивних змін, виявляти проблеми в забезпеченні експлуатації, а також у забезпеченні та підтримки рівня культури безпеки.

Актуальність проведення аналізу порушень у роботі АЕС України зумовлена необхідністю оцінки поточного рівня експлуатаційної безпеки українських АЕС та спрямована в цілому на запобігання виникненню подій, підвищення ефективності використання досвіду експлуатації та підвищення рівня експлуатаційної безпеки АЕС.

У даній роботі використано методики експертної оцінки, статистичної обробки даних та аналізу корінних причин порушень, які сталися протягом 2009 р. на АЕС України, за рядом напрямів, що характеризують експлуатаційну безпеку. Надано рекомендації з 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 2009 р. на українських АЕС сталося 21 порушення [1]. У промисловій експлуатації перебувало 15 енергоблоків, три енергоблоки (з реакторами великої потужності канальними — РВПК) Чорнобильської АЕС працювали в режимі припинення експлуатації.

Порівняно з 2008 р. кількість порушень практично не змінилася, проте починаючи з 2006 р. спостерігається тенденція щодо їх зменшення (рис. 1).

Слід зазначити нерівномірність розподілу порушень у часі протягом 2009 р. (рис. 2). Найбільша кількість порушень припала на III та IV квартали через недоліки в організації та проведенні ремонтної кампанії: основний внесок у зростання кількості порушень у другому півріччі належить енергоблокам, що виходили з планово-попереджувальних ремонтів. Цей факт потребує уваги з боку експлуатуючої організації.

Середнє значення потоку порушень у роботі АЕС за останні шість років становить 1,6 (див. пряму горизонтальну жирну лінію на рис. 3); при цьому 2009 р. характеризується найнижчим за останні роки значенням (1,17). Жирною похилою лінією зображено тренд потоку порушень

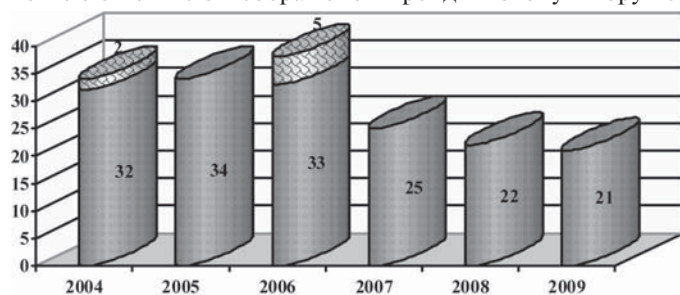


Рис. 1. Кількість порушень у роботі АЕС України в 2004–2009 рр.

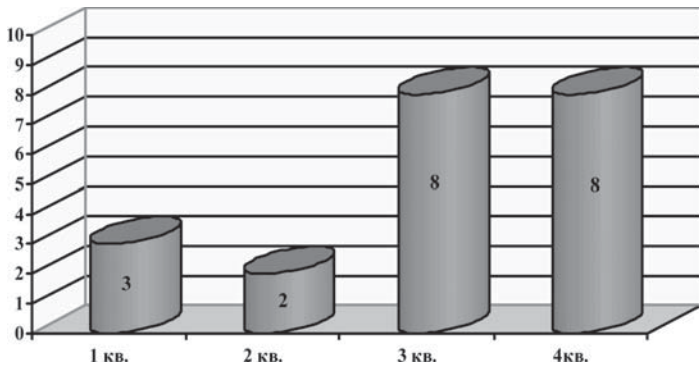


Рис. 2. Розподіл кількості порушень у роботі АЕС України по кварталах 2009 р.

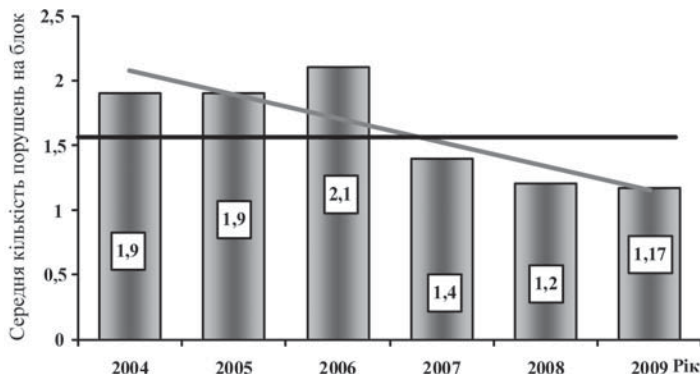


Рис. 3. Потік порушень у роботі АЕС України в 2004–2009 рр.

у роботі АЕС. За останні шість років простежується тенденція до зменшення потоку порушень.

Розподіл порушень протягом 2009 р. по майданчиках АЕС виглядає так (рис. 4):

- Запорізька АЕС (ЗАЕС, шість енергоблоків) — 7;
- Рівненська АЕС (РАЕС, чотири енергоблоки) — 3;
- Южно-Українська АЕС (ЮУ АЕС, три енергоблоки) — 5;
- Хмельницька АЕС (ХАЕС, два енергоблоки) — 6;
- ДСП Чорнобильська АЕС (ДСПЧ АЕС, три енергоблоки) — 0.

Кількість порушень порівняно з минулими роками зменшилася тільки на РАЕС (більше ніж у 2 рази), на ЮУ АЕС цей показник не змінився, а на ЗАЕС та ХАЕС збільшився (на ЗАЕС — на два порушення більше ніж у 2008 р., або в 1,4 раза).

Як видно з рис. 5, найпроблемнішою протягом шести років за середньою кількістю порушень на один енергоблок є ХАЕС. У 2009 р. цей показник ХАЕС збільшився в 1,5 раза порівняно з 2007 р. Із шести порушень, що сталися там у 2009 р., три відбулися на енергоблоці № 1 і стільки ж — на енергоблоці № 2.

Рис. 6 демонструє, що середня кількість порушень на енергоблок з водо-водяним енергетичним реактором (ВВЕР-1000) значно вища, ніж середня кількість порушень на енергоблок з реактором типу ВВЕР-440.

За шкалою INES (міжнародна шкала ядерних подій) рівнем «1» — «відхилення від дозволеного режиму експлуатації, що зумовлені відмовою обладнання, помилками персоналу або процедурними невідповідностями» [2] — класифіковано в 2009 р. одне порушення (5%), рівнем «0» — 13 порушень (62%), «поза шкалою» — 7 (33%), рис. 7). Зазначимо,

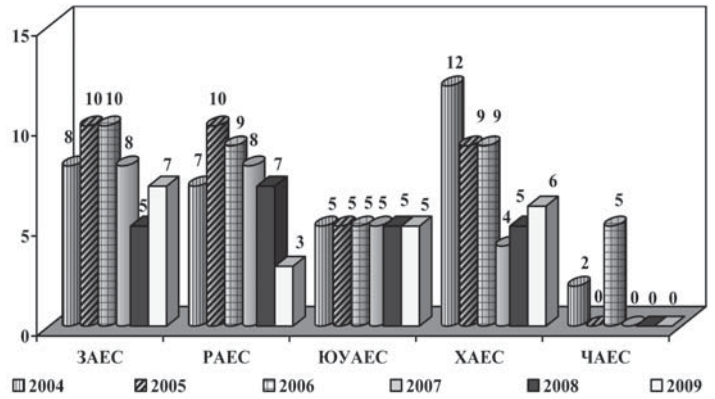


Рис. 4. Розподіл порушень по майданчиках АЕС у 2004–2009 рр.

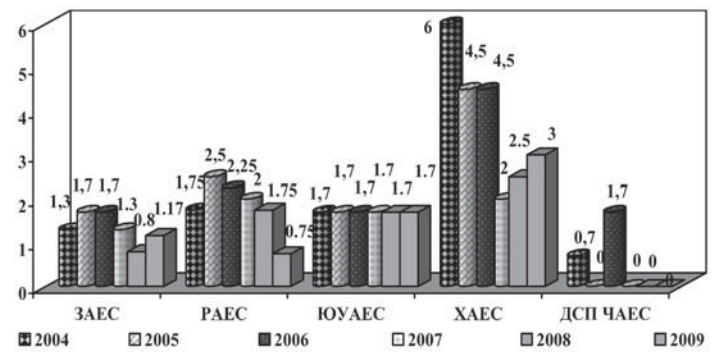


Рис. 5. Розподіл середньої кількості порушень на один енергоблок по майданчиках АЕС у 2004–2009 рр.

що у 2008 р. порушень, які були класифіковані рівнем «1», не було, а кількість порушень рівня «0» та «поза шкалою» становила відповідно 77 і 23% (рис. 8).

Переважна більшість (43%) усіх порушень в 2009 р. була пов'язана з відмовою важливого для безпеки АЕС обладнання та трубопроводів (рис. 9). Однакові частки (по 19%) становлять порушення, пов'язані з зупинкою РУ, відключенням енергоблока від мережі чи розвантаженням РУ. В 2009 р., порівняно з попередніми роками, значно збільшилася кількість порушень, які пов'язані з відмовою важливого для безпеки АЕС обладнання та трубопроводів. Порівняно з 2008 р. це збільшення склало 34% від загальної кількості порушень.

Під час 21 порушення в роботі АЕС України, які сталися в 2009 р., було зафіксовано 26 аномальних подій.

За останні шість років найбільша кількість аномальних подій зумовлена відмовами обладнання (рис. 10). Порівняно з 2008 р. внесок групи аномальних подій, які за їх характером віднесено до помилок персоналу, в загальну

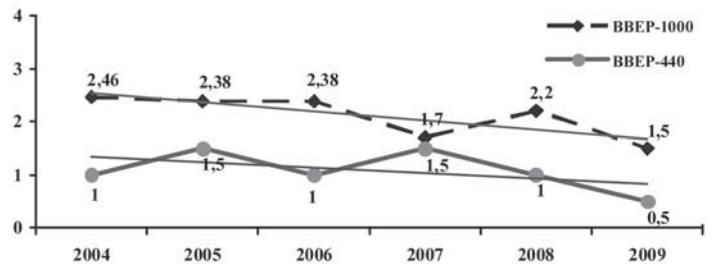


Рис. 6. Розподіл середньої кількості порушень на блок за типами реакторних установок

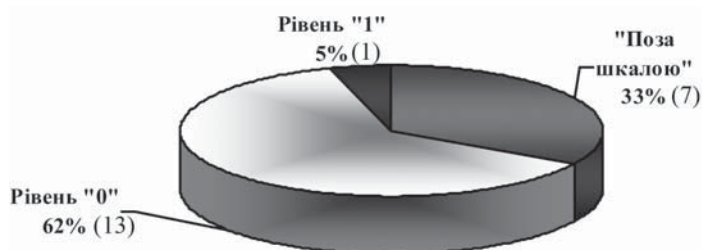


Рис. 7. Розподіл порушень у роботі АЕС за шкалою INES у 2009 р.

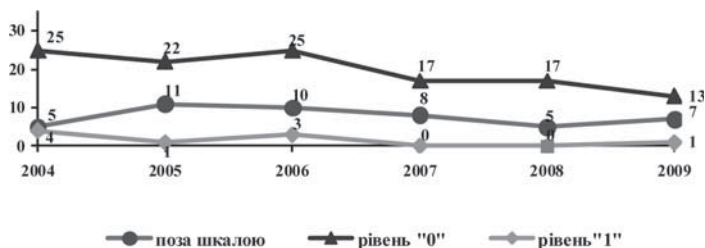


Рис. 8. Розподіл кількості порушень у роботі АЕС України за шкалою INES у 2004–2009 рр.

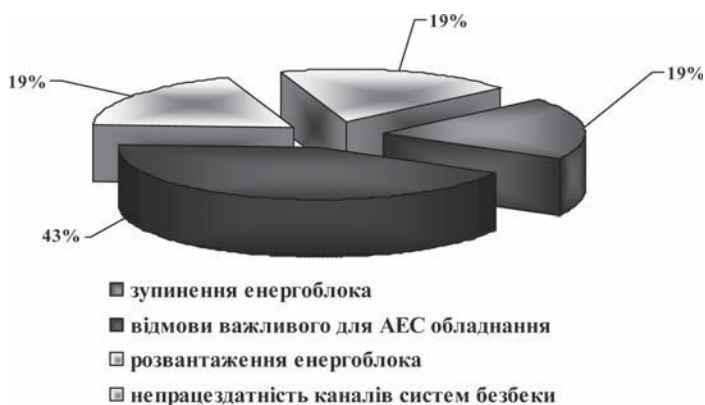


Рис. 9. Розподіл порушень у роботі АЕС за наслідками

кількість аномальних подій збільшився з 7 до 11,5 %. Професійна підготовка персоналу є одним з найважливіших елементів системи безпеки кожної АЕС, тому треба приділяти достатньо уваги виявленню помилок, їх усуненню та попередженню.

Під час 26 аномальних подій, що сталися у 2009 р., зафіксовано відмови обладнання таких систем:

- системи циркуляції теплоносія — 8;
- системи компенсації тиску — 1;
- інших технологічних систем першого контуру РО — 1;
- системи живильної води — 1;
- інших технологічних систем другого контуру турбінно-відділення — 1;
- системи зовнішнього електроживлення напругою 35 кВ і вище — 3;
- органів управління й захисту реактора — 2;
- системи аварійного охолодження активної зони — 1;
- системи аварійної подачі живильної води — 1;
- системи захисту паропроводів (другого контуру) від перевищення тиску — 1;
- системи управління захисними діями систем безпеки (зокрема, автоматики ступінчастого пуску) — 1;



Рис. 10. Розподіл аномальних подій за факторами, що обумовили їх виникнення

- системи технічної води відповідальних споживачів — 1;
- системи надійного електропостачання споживачів власних потреб 6 кВ — 1;
- маслосистеми — 2;
- системи регулювання й захисту турбіни — 1;
- допоміжних систем генератора — 1

Найбільша кількість аномальних подій (8) сталася через відмову системи циркуляції теплоносія. Три аномальні події пов'язані з відмовами системи зовнішнього електроживлення напругою 35 кВ і вище (всі вони сталися під час одного порушення [1]).

У 2009 р. значно зросла кількість відмов технологічних систем першого контуру — 10 аномальних подій, або 37 % загальної кількості. Саме відмови обладнання цих систем обумовлюють зростання в 2009 р. порушень з відмовами важливого для безпеки обладнання та трубопроводів. Друге місце посідають захисні системи безпеки — 5 аномальних подій (18,5 %), третє — допоміжні системи: 4 аномальні події (14,8 %).

Аналіз відмов обладнання показав, що найбільша їхня кількість припала на:

- обладнання технологічних систем (54 %);
- обладнання систем автоматичного керування сигналізації (30,7 %), причому найчастіше відмовляли елементи електронної схеми, логічний блок, реле (4 аномальні події, або 15 %) та кабель контрольний (2 аномальні події, або 7,7 %);
- помилки персоналу (2 аномальні події, або 7,7 %).

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

Традиційно найбільшу кількість серед безпосередніх причин становлять механічні ушкодження, електротехнічні несправності та несправності в контрольно-вимірювальних системах. Однак у 2009 р. частка аномальних подій, які виникли через несправності в контрольно-вимірювальних системах, значно зменшилася. Основний внесок у загальну кількість безпосередніх причин виникнення аномальних подій склали причини, пов'язані з механічними ушкодженнями (27 %) та несправності в електротехнічній частині (46 %). Крім того, у 2009 р. зросла частка аномальних подій, що виникли через помилку персоналу, — 15 %. Отже, майже половина всіх аномальних подій була пов'язана з несправностями в електротехнічній частині. Це найвищий за останні три роки показник щодо безпосередніх причин, тому потрібно приділити увагу підвищенню надійності електротехнічного обладнання.

З-поміж корінних причин найбільший внесок, як правило, належить відмовам обладнання. У 2009 р. через обладнання сталася 16 аномальних подій (55 %); проте

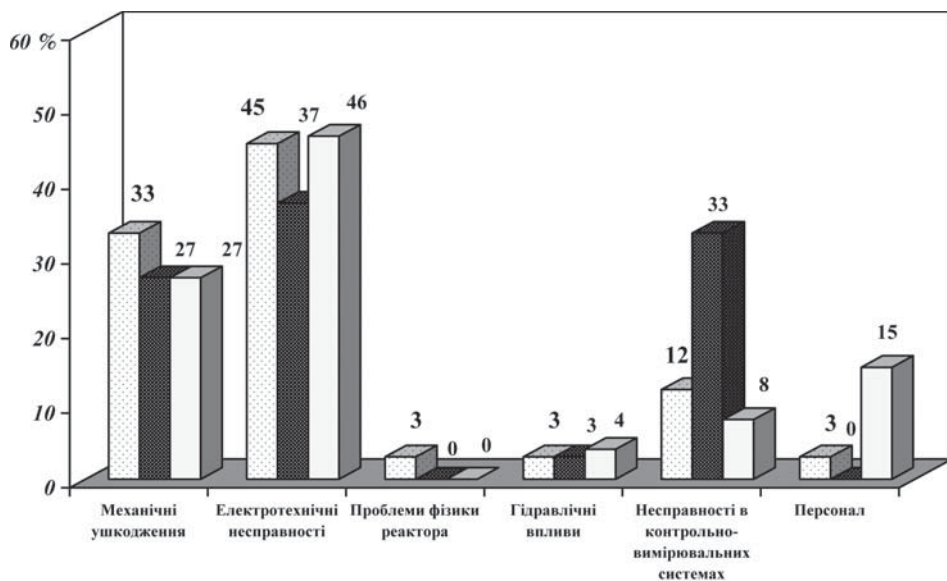


Рис. 11. Розподіл безпосередніх причин виникнення аномальних подій

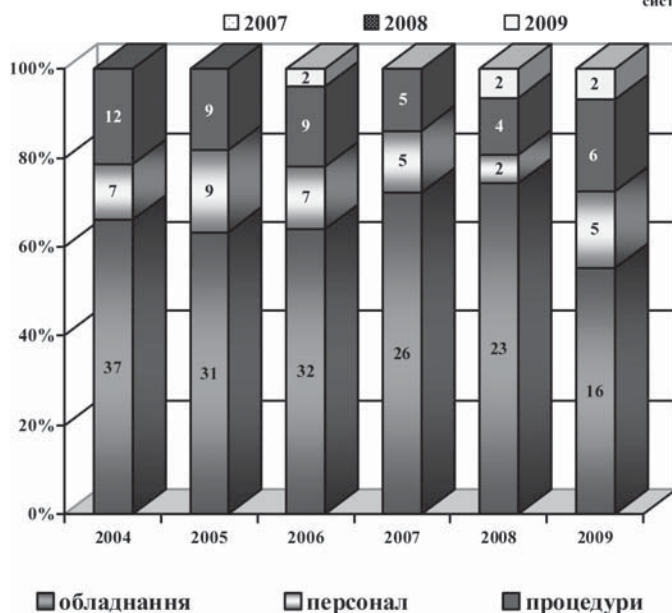


Рис. 12. Розподіл корінних причин виникнення аномальних подій

простежується тенденція до зменшення таких порушень, порівняно з 2008 р. — на 19 %. При цьому на 10,5 % зростає кількість корінних причин, пов'язаних з персоналом (5 аномальних подій, або 17 %), і на 8 % — з недоліками процедур (6 аномальних подій, або 21 %). Майже на тому самому рівні залишилася частка аномальних подій (2 аномальні події, або 7 %), корінна причина яких не визначена.

Серед причин, що пов'язані з обладнанням, найбільшу кількість складають недоліки проектування — 6 аномальних подій (20,7 %). Разом недоліки проектування, конструювання та виготовлення призвели до 13 аномальних подій (45 % усіх корінних причин).

Аналіз причин порушень та призначених коригувальних заходів

Найважливішим у розслідуванні порушень роботи АЕС є встановлення точної корінної причини, усунення якої надасть впевненості в тому, що порушення не повторюва-

тиметься [3]. Це складний процес, який потребує певного рівня професійної підготовки та практичного досвіду. Тому не завжди комісіям з розслідування порушення вдається правильно визначити корінну причину порушення.

У разі неправильного виявлення корінної причини рекомендується провести повторне розслідування (дорозслідування). Але з різних причин дорозслідування проводиться не завжди, і навіть після дорозслідування складних порушень корінна причина не завжди визначається правильно. Щодо коригувальних заходів з усунення причин порушень, то їх адекватність також оцінюється в процесі оперативного аналізу. Але часто про адекватність коригувальних заходів можна судити тільки після їх впровадження та переконання в тому, що вони дійсно усувають корінну причину порушення.

Для оцінки адекватності коригувальних заходів використовуються такі 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.

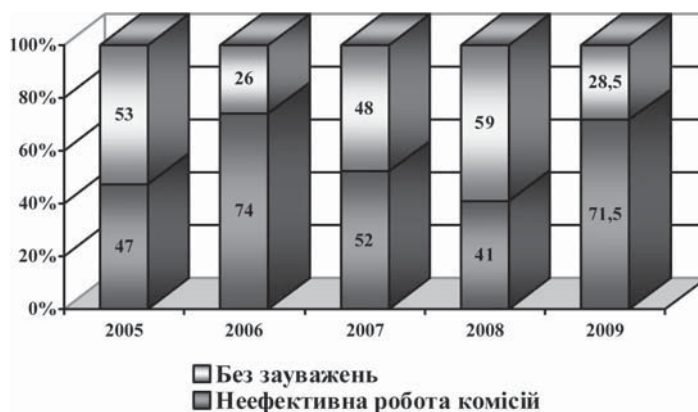


Рис. 13. Порівняльний аналіз ефективності роботи станційних комісій

Проведена оцінка ефективності роботи станційних комісій з розслідування порушень в роботі АЕС показала, що за результатами оперативних повідомлень якість розслідувань порушень значно погіршилась порівняно з 2008 р.: у 2008 р. неефективна робота комісій з розслідування була відмічена в 41% випадків (рис. 13), в 2009 р. — в 71,5%. У 2008 р. дорозслідувалися три порушення в роботі АЕС з 22 (14%), у 2009 р. — 7 з 21 (30%). У 2008 р. на повторне дорозслідування був направлений один звіт з розслідування порушення, в 2009 р. — три. Це свідчить про зниження якості роботи станційних комісій з розслідування.

Аналіз причин повторюваності порушень

Останні роки кількість порушень на АЕС України постійно знижується. При цьому частка порушень, що повторюються, становить в середньому половину усієї кількості порушень. Аналіз повторюваних подій показав, що в розслідуванні станційними комісіями визначаються не всі

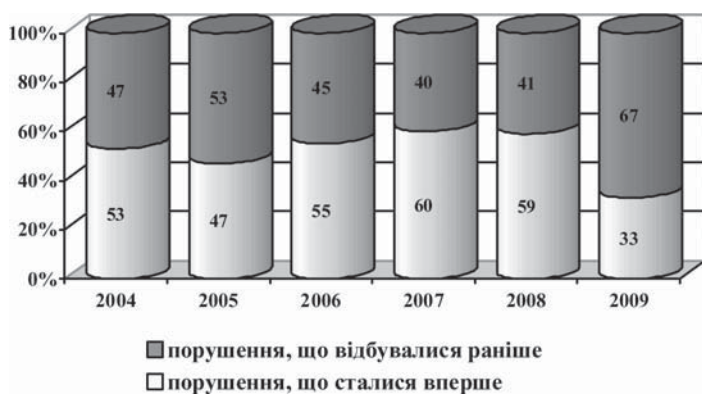


Рис. 14. Повторюваність порушень у роботі АЕС

фактори, які мають безпосередній вплив на виникнення порушень.

На підставі інформації, наданої в звітах за 2009 р. про розслідування порушень, з 21 порушення 14 (або 67%) відбувалися раніше (рис. 14). Не завжди правильність визначення причин порушення очевидна. Саме повторення аналогічного порушення свідчить про те, що причини були визначені неправильно або впроваджені коригувальні заходи виявились неефективними. Ситуація з повторенням порушень у роботі АЕС свідчить про неефективне використання досвіду експлуатації. ДП НАЕК «Енергоатом» та адміністраціям АЕС слід звернути увагу на якість розслідування порушень та необхідність вдосконалення системи використання 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.

За результатами аналізу інформації про впровадження коригувальних заходів у 2009 р., АЕС в цілому виконували коригувальні заходи, призначені за результатами розслідування порушень, але для 11 запланованих коригувальних

заходів (6 на ХАЕС, 5 на ЮУАЕС) було перенесено терміни виконання.

З боку експлуатуючої організації та керівництва АЕС потребує уваги той факт, що хоча майже всі розроблені комісіями з розслідування порушень у роботі АЕС коригувальні заходи виконуються своєчасно та в повному обсязі, кількість повторюваних порушень зростає.

Висновки та рекомендації

За результатами виконання статистичної оцінки та розподілів порушень у роботі АЕС за 2009 р. треба відмітити таке:

1) у 2009 р. сталося 21 порушення, що на одне порушення менше, ніж у 2008 р. Отже, цей показник зменшився на 4,5%. Середня кількість порушень за останні шість років дорівнює 29;

2) кількість порушень порівняно з попереднім роком зменшилася тільки на РАЕС (причому більше ніж удвічі), на ЮУ АЕС цей показник не змінився, а на ЗАЕС та ХАЕС збільшився;

3) у 2009 р. сталося одне порушення, яке класифіковане рівнем «1» за шкалою INES. Кількість порушень, класифікованих рівнем «0» та «поза шкалою», становить 62 та 33% відповідно;

4) переважна більшість (43%) усіх порушень у роботі АЕС була пов'язана з відмовою важливого для безпеки АЕС обладнання та трубопроводів; порівняно з 2008 р. внесок цих порушень збільшився на 34%;

5) основними факторами, що зумовили виникнення аномальних подій, були відмови обладнання — 80,8%; аномальні події, що виникли через помилку персоналу, становили 11,5%; 7,7% аномальних подій виникли через недоліки документації;

6) основні корінні причини аномальних подій були пов'язані з недоліками проектування (20,7%) та виготовлення (13,8%) обладнання; 17% становили корінні причини, пов'язані з персоналом; для 7% аномальних подій корінну причину не визначено;

7) найбільша кількість порушень сталась у другому півріччі 2009 р. через недоліки в організації та проведенні ремонтної кампанії;

8) для 71,5% загальної кількості порушень у роботі АЕС (15 порушень) були неправильно визначені їх причини;

9) на повторне дорозслідування в 2009 р. були направлені три звіти з дорозслідування порушення, у 2008 р. — один;

10) з усіх порушень у роботі АЕС за 2009 р. 67% відбувалися раніше. Порівняно з попереднім роком цей показник зріс на 26%;

11) станції в цілому вчасно та у повному обсязі впроваджують призначені коригувальні заходи, однак кількість повторюваних порушень збільшується;

12) недостатнє фінансування призводить до перенесення термінів виконання коригувальних заходів на тривалий час, що потребує уваги та розробки додаткових тимчасових коригувальних заходів.

Щоб запобігти повторенню порушень та зменшити загальну кількість порушень у роботі АЕС, необхідно:

1) ретельніше проводити аналіз галузевого та міжнародного досвіду експлуатації й використовувати результати цього аналізу для попередження виникнення порушень у роботі АЕС;

2) усунути наявні недоліки в організації управління і експлуатації АЕС, зокрема забезпечити взаємозв'язок між підрозділами, що займаються безпосередньо розслідуванням порушень, та тими, які аналізують порушення на інших АЕС України та світу;

3) забезпечити якість та обґрунтованість матеріалів щодо впровадження нового обладнання;

4) впроваджувати сучасні методики аналізу порушень, поряд з детерміністичними використовувати кількісні методи аналізу порушень;

5) провести на галузевому рівні всебічний комплексний аналіз порушень в роботі АЕС України, які мали місце протягом останніх років, та на його підставі розробити рекомендації щодо попередження повторюваності порушень в роботі однотипних енергоблоків АЕС, підвищення якості розслідування та визначення корінних причин;

6) для підтримання єдиної технічної політики, покращення системи використання досвіду експлуатації створити єдину базу даних з порушень і відхилень, а також єдину базу даних з технічних рішень щодо модернізації й реконструкції систем СБ та СВБ, реалізованих заходів з підвищення безпеки;

7) забезпечити своєчасне впровадження коригувальних заходів для однотипного обладнання.

Список літератури

1. Оперативний та технологічний аналіз порушень у роботі АЕС України за 2009 рік: Звіт про НДР (етап 2). — К.: ДНТЦ ЯРБ, 2010.

2. IAEA-INES-ИНЕС. Международная шкала ядерных событий. Руководство для пользователей — Вена, МАГАТЭ, 2001.

3. *НП 306.2.100-2004*. Положення про порядок розслідування та обліку порушень в роботі атомних електричних станцій. — Затвердж. наказом Держатомрегулювання від 01.12.2004 № 184 та зареєстр. Мін'юстом України 17.12.2004 за № 1594\10193.

Надійшла до редакції 16.06.2010.