

УДК 621.192

М. Х. Гашев¹, О. І. Лігоцький², С. В. Недбай²,
А. В. Носовський²

¹Державна інспекція ядерного регулювання України,
м. Київ, Україна

²Державний науково-технічний центр
з ядерної та радіаційної безпеки, м. Київ, Україна

Узагальнений аналіз порушень у роботі АЕС України з блоками ВВЕР за період 2001—2011 рр.

Наведено аналіз порушень, що сталися на АЕС України з блоками ВВЕР протягом 2001—2011 рр., 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. Лигоцкий, С. В. Недбай, А. В. Носовский

Обобщенный анализ нарушений в работе АЭС Украины с блоками ВВЭР за период 2001–2011 гг.

Приведен анализ нарушений, произошедших на АЭС Украины с блоками ВВЭР на протяжении 2001–2011 гг., по ряду направлений, характеризующих эксплуатационную безопасность.

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

© М. Х. Гашев, О. І. Лігоцький, С. В. Недбай, А. В. Носовський, 2012

Метою цієї роботи є проведення аналізу порушень у роботі АЕС України з блоками ВВЕР, що відбулися протягом 2001—2011 рр., за двома основними напрямками:

1) статистична оцінка потоку порушень у роботі АЕС з обґрунтуванням виявлених тенденцій;

2) аналіз звітів про порушення в роботі АЕС, що містить у собі:

а) оцінку правильності визначення причин порушень та адекватності призначених коригувальних заходів;

б) аналіз причин повторюваності порушень.

Результатами даної роботи є аналіз виявлених тенденцій та проблемних питань.

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

Аналіз звітів про розслідування порушень у роботі АЕС України, які сталися за останні 11 років (рис. 1), показав, що найбільший пік порушень зафіксований у 2001 р. (68 порушень), у 2002 р. їхня кількість значно зменшилася. Ця тенденція спостерігалася до 2004 р., а також у 2005—2007 рр. для енергоблоків, які знаходилися в експлуатації до 2004 р. Однак загальна кількість порушень у 2004—2007 рр. залишалася практично на незмінному рівні, що зумовлено введенням в експлуатацію у 2004 р. нових енергоблоків (№ 2 Хмельницької АЕС та № 4 Рівненської АЕС) та подіями, що відбулися під час пусконаладжувальних робіт.

Наступні роки (2008—2010) кількість порушень залишалася майже на одному рівні та в середньому дорівнювала 22 на рік. У 2011 р. сталося 15 порушень, що на третину менше ніж торік та є найнижчим значенням за всі роки.

На рис. 2 наведено розподіл середньої кількості порушень на один енергоблок за проаналізований період.

Зазначимо, що до 2011 р. найбільшою порівняно з іншими АЕС України залишалася кількість порушень у перерахунку на один енергоблок на ХАЕС, вдвічі перевищуючи аналогічний показник по галузі. Така кількість порушень на ХАЕС обумовлювалася відмовами обладнання систем безпеки під час проведення періодичних перевірок їх працездатності, що є нетиповим для інших АЕС України. В 2006 р. Держатомрегулюванням України було проведено комплексну інспекційну перевірку організації проведення ремонту та технічного обслуговування обладнання систем безпеки (СБ) на ХАЕС. Результати перевірки виявили недостатню увагу до забезпечення необхідної працездатності обладнання систем безпеки адміністративно-технічним персоналом АЕС та порушення вимог безпеки під час проведення модифікацій СБ, виконання ремонту та технічного обслуговування обладнання СБ. Ситуація на ХАЕС у 2011 р. значно покращилася внаслідок більш якісного проведення техобслуговування і ремонтів обладнання СБ та систем, важливих для безпеки (СВБ).

Розподіл середньої кількості порушень за типами реакторної установки (РУ) представлено на рис. 3. Як бачимо, середня кількість порушень на енергоблоках з реакторами типу ВВЕР-1000 у 2003—2010 рр. значно вища, ніж на енергоблоках з реакторами типу ВВЕР-440, однак у 2011 р. ці показники практично зрівнялися.

Зменшення у 2011 р. середньої кількості порушень на енергоблоках з реакторами типу ВВЕР-1000 пов'язано з початком підготовки енергоблоків до продовження терміну експлуатації у понадпроектний термін, впровадження модернізованого обладнання та заміни обладнання, яке вичерпало свій ресурс.

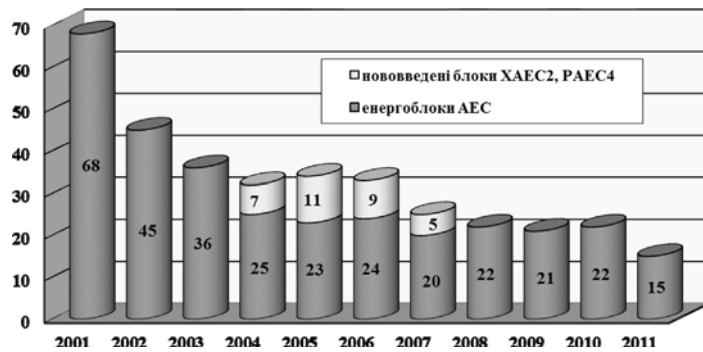


Рис. 1. Динаміка порушень у роботі АЕС України

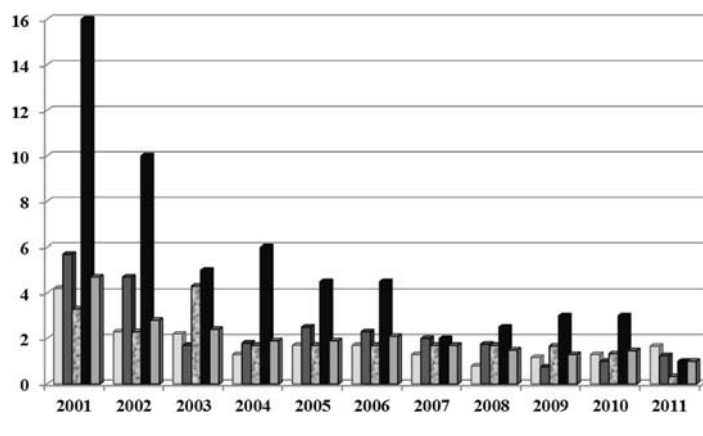


Рис. 2. Середня кількість порушень на один енергоблок

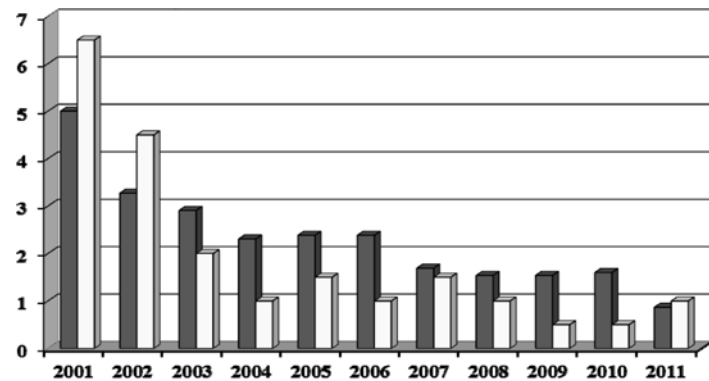


Рис. 3. Середня кількість порушень на один енергоблок за типами реакторних установок

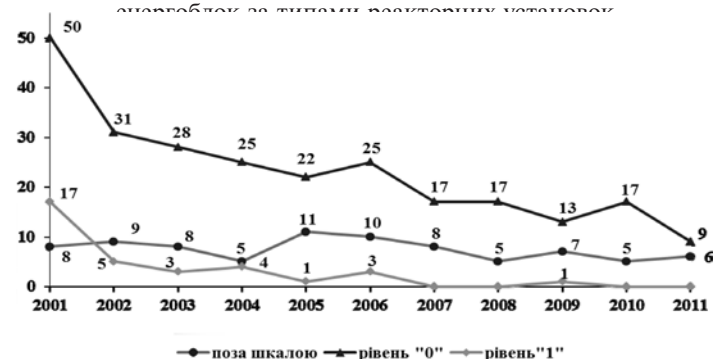


Рис. 4. Розподіл загальної кількості порушень в роботі АЕС за шкалою INES

На рис. 4 наведено розподіл порушень за шкалою INES (міжнародна шкала ядерних подій) [1]. Велика кількість порушень з рівнем «1» за шкалою INES у 2001 р. була обумовлена порушеннями, пов'язаними з перевищенням проектного часу падіння органів регулювання системи управління й захисту (ОР СУЗ) до активної зони та їх застряганням у процесі проведення іспитів, після переходу на трирічний паливний цикл. Основна причина даних порушень — деформація (викривлення) направляючих каналів тепловидільних збірок (ТВЗ) внаслідок недоліків конструкції серійних ТВЗ. Ця проблема була усунена після впровадження низки заходів щодо модернізації поглинаючих стрижнів (ПС) СУЗ та введення в експлуатацію модернізованих ТВЗ-А.

Як видно з рис. 4, останні 11 років спостерігається постійне зменшення порушень, які класифікуються рівнем «0». Кількість порушень, які належать до категорії «поза шкалою», знаходиться на стабільному рівні, середньорічне значення цього показника дорівнює 7. Є тенденція до зменшення порушень, яким присвоєно рівень «1» за шкалою INES. За останні п'ять років (2007—2011) сталося тільки одне порушення рівня «1» — на енергоблоці № 3 РАЕС у 2009 р. (звіт № ЗРОВ-П07-002-09-09д., назва порушення — «Незакриття головного предохранительного клапана ІПУ КД УР21S01 во время плановой проверки работоспособности реальным повышением давления в первом контуре перед пуском энергоблока № 3 после ППР из-за подклинивания в седле золотника импульсного клапана УР21S04 после его открытия»). Комісія з розслідування порушення оцінила його за шкалою INES рівнем «0», однак після проведення дорозслідування порушення Головний державний ін-

спектор з ядерної та радіаційної безпеки України прийняв рішення про встановлення для даного порушення рівня «1» за шкалою INES.

Традиційно найбільший внесок у загальну кількість порушень (рис. 5) припадає на порушення, пов'язані з зупиненням РУ, відключенням енергоблока від мережі чи розвантаженням РУ (категорії П05 та П08); порушення, пов'язані з відмовою важливого для безпеки АЕС обладнання та трубопроводів (категорія П07) та порушення, які сталися через непрацездатність каналу (каналів) систем безпеки протягом терміна, що не перевищує дозволений Технологічним регламентом (категорія П10).

У 2009 та 2010 рр. спостерігалось збільшення кількості порушень внаслідок відмов обладнання систем, важливих для безпеки, і обладнання 1- та 2-го класів безпеки відповідно до [2] (категорія П07).

Аналіз корінних причин порушень (рис. 6) свідчить про те, що найбільша їх частина усі роки пов'язана з відмовами обладнання (парогенератори; різноманітна арматура; елементи електронної схеми, логічний блок, реле; вимикачі, приводи регулюючого стрижня СУЗ тощо).

Із 2001 р. намітилася тенденція до зниження цієї складової (крім 2006—2008 рр.), що обумовлено впровадженням заходів з модернізації продувки парогенераторів, впровадженням нових водно-хімічних режимів на деяких енергоблоках, заміною та модернізацією обладнання, оптимізацією ремонтів тощо.

Водночас слід відмітити, що адміністраціями АЕС не приділяється достатньої уваги своєчасному перегляду та аналізу процедур, внаслідок чого цей показник у 2011 р. збільшився майже в два рази порівняно з 2010 р. Останніми роками значно зросла кількість порушень, для

Рис. 5. Розподіл категорій порушень

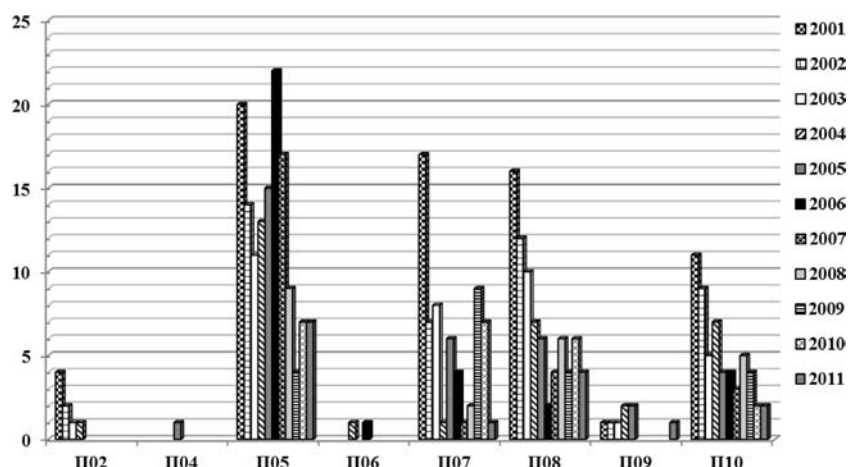
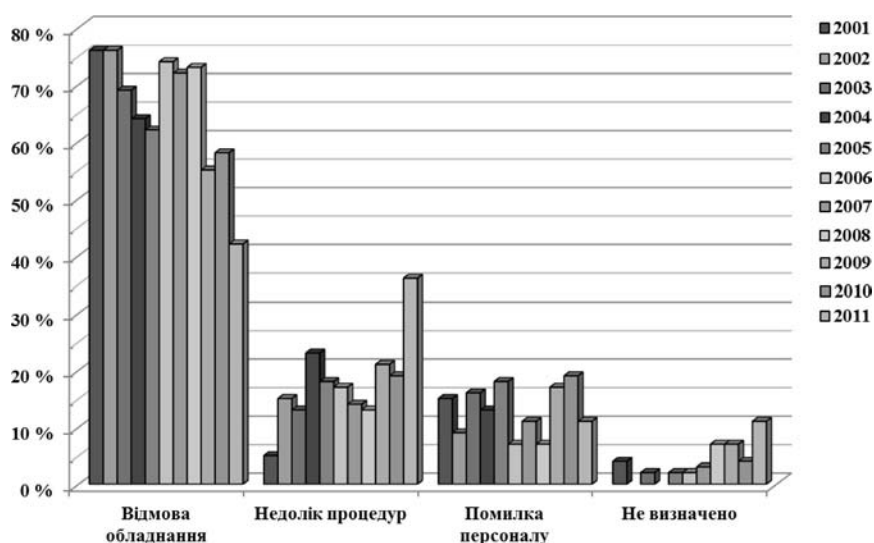


Рис. 6. Розподіл корінних причин порушень



яких не визначено конкретних корінних причин за результатами розслідування.

Кількість порушень у роботі АЕС, які відбувалися раніше, становить, у середньому, половину загальної кількості порушень (рис. 7). Така тенденція залишалась практично незмінною протягом 2001—2009 рр. Основна причина повторюваності порушень — низька якість розслідування, насамперед неправильно визначення корінної причини порушення, та формальний підхід комісії з розслідування порушень до пошуку та вивчення попередніх аналогічних подій.

Протягом 2010 та 2011 рр. спостерігається зменшення кількості порушень, що повторюються; це напряму пов'язано з вимогами Держатомрегулювання України щодо якісного розслідування порушень та впровадження заходів з підвищення безпеки. Так, протягом 2009 та 2010 рр. майже половина звітів з розслідування порушень була направлена Держатомрегулюванню України на дорозслідування для визначення конкретних корінних причин та розробки адекватних коригувальних заходів. Впровадження адекватних та (або) повних коригувальних заходів за результатами розслідування порушень та виконання заходів з підвищення безпеки сприяло зниженню рівня повторюваності порушень у 2011 р. до 18 % — мінімального значення за всю історію експлуатації українських АЕС.

Наведемо приклади того, що впровадження адекватних коригувальних заходів за результатами розслідування дає

зможу уникнути повторення відмов однотипного обладнання:

1) 25.01.2008 р. на енергоблоці № 3 РАЕС під час планового комплексного опробування (ТО-10) автоматики ступеневого пуску механізмів 3-го каналу СБ не ввімкнувся насос охолодження реактора 3ТQ32D01 (звіт про розслідування порушення ЗРОВ-П10-001-01-08). Безпосередньо причиною даного порушення було визначено «срабатывание схемы блокировки от многократных включений в схеме управления TQ32D01 из-за открытого состояния импедора в блоке УКТС БКЛ1-ДПИ». Корінна причина — «отсутствие потенциальной развязки электронной схемы управления механизмами 6 кВ, выполненной на базе импедорных блоков БКЛ УКТС, от релейной схемы управления

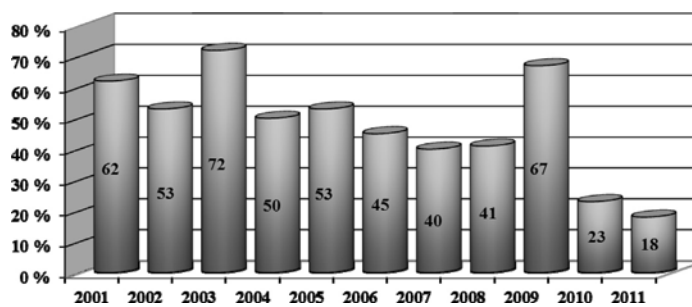


Рис. 7. Внесок порушень, що повторюються, у загальну кількість порушень

коммутационными аппаратами на постоянном оперативном токе». Аналогічні порушення відбувалися й раніше на енергоблоках РАЕС. За результатами розслідування порушення експлуатуючою організацією було розроблено та погоджено з Держатомрегулюванням України технічне рішення № 151–09-ТР-ЭЦ «О доработке схемы управления выключателями 6 кВ механизмов собственных нужд энергоблоков № 3, 4 ОП РАЭС, управляемых с УКТС». Аналіз схеми управління вимикачами 6 кВ, реалізованими на ЗАЕС, ЮУАЕС та ХАЕС, показав їх відмінність від РАЕС. Впровадження доопрацьованої схеми управління вимикачами 6 кВ дозволило уникнути повторення порушень з відмовами вимикачів 6 кВ;

2) 06.10.2010 р. на енергоблоці № 4 РАЕС сталося порушення «Разгрузка энергоблока № 4 на 48 % от уровня электрической мощности, непосредственно ей предшествовавшего, из-за прикрытия регулирующих клапанов подачи пара на турбину вследствие снижения давления управляющего масла в системе регулирования» (звіт про порушення 4РОВ-П08-03-10-10). Корінною причиною порушення було визначено «Наличие в составе гидравлической части ЭГП устаревшей системы следящих золотников, характеризующейся повышенной чувствительностью к качеству рабочей среды и попаданию воздуха в рабочие элементы. Недостатки конструирования. После отключения ЭГП по маслу система регулирования работает в стабильном режиме».

Аналогічні порушення фіксувалися неодноразово на українських АЕС (4РОВ-004-002-05-09, 2ТЦ-020-004-08-04, 2ХМЕ-004-004-04-05, 2ХМЕ-004-003-07-06, 2ХМЕ-004-004-08-06, 2ХМЕ-П05-007-08-06, 1ХМЕ-П05-002-08-07, 2ХМЕ(ТЦ)-004-002-11-09). За результатами аналізу порушень з відмовами систем регулювання турбіни, експлуатуюча організація розробила «Програму підвищення надійності експлуатації систем регулювання турбін енергоблоків АЭС Украины» ПМ-Д.0.41.457–10. Відповідно до графіка виконання заходів цієї програми, на ХАЕС розроблено технічне рішення ТР № 2.ТЦ.0081. ТР-СЭ від 29.01.2010 р. про модернізацію САРЗ турбіни К-1000–60/3000 шляхом заміни ЕГП золотників конструкції ЛМЗ на прямоприводний золотник з електромагнітом фірми MOOG GmbH.

26.08.2010 р. прямоприводний золотник з електромагнітом впроваджено на енергоблоці № 2 ХАЕС. За результатами розслідування порушення та відповідно до програми «Повышения надежности эксплуатации систем регулирования турбин энергоблоков АЭС Украины» ПМ-Д.0.41.457–10 на енергоблоці № 4 РАЕС заплановано у 2012 р. виконати «модернизацию САРЗ ТА-6 путем замены ЭГП на прямоприводной золотник с электромагнитом фирмы MOOG GmbH по результатам опытно-промышленной эксплуатации на Х-2». Впровадження на галузевому рівні модернізованої системи регулювання турбіни К-1000–60/3000 дасть змогу уникнути повторення порушень у роботі АЕС внаслідок недоліків конструкції управління турбіною;

3) у 2007 та 2008 рр. було зафіксовано 6 порушень, пов'язаних зі зменшенням періоду зміни нейтронного потоку за апаратурою АКНП. Результати розслідування порушень та роботи міжгалузевої робочої групи показали, що реалізований в АКНП-ІФ СНВО «Імпульс» (Северодонецьк) алгоритм формування сигналу за періодом реактора сформовано без урахування природних зворотних зв'язків при спрацьовуванні УПЗ (УРБ). Як коригувальний захід, було розроблено галузеве технічне рішення

«О внедрении усовершенствованного алгоритма формирования сигнала АЗ в аппаратуре контроля нейтронного потока АКНП-И (ИФ) по периоду изменения нейтронной мощности реактора ВВЭР-1000» ОТР-М.1234.03.127–08 від 19.05.2008 р., погоджене з Держатомрегулюванням України (вих. № 15–29/2950 від 30.05.2008 р.). Після коректування алгоритму обчислення періоду нейтронної потужності в режимі спрацьовування УПЗ проведено випробування АКНП-ІФ на енергоблоці № 2 ЗАЕС, які показали відсутність спрацьовування АЗ по зменшенню періоду менше 10 секунд, відсутність спрацьовування ПЗ-1 по зменшеному періоду менше 20 секунд і відсутність у перехідному режимі порушень меж і умов безпечної експлуатації. Відповідно до цього рішення розроблено графік впровадження модернізованого ПТК АКНП на енергоблоках АЕС. На даний час графік виконано в повному обсязі. У подальшому таких порушень зафіксовано не було.

Ще одним важливим фактором запобігання виникненню порушень у роботі АЕС та підвищення безпеки енергоблоків є впровадження заходів з підвищення безпеки, що розробляються за результатами аналізу безпеки енергоблоків АЕС та виявлених дефіцитів безпеки. Приклади впровадження ефективних заходів:

1) з 1996 р. на енергоблоках АЕС України сталося 48 порушень внаслідок відмов обладнання СУЗ (АЗ, АРМ-РОМ, СГІУ розробки ВНИИЕМ; АКНП розробки СНИИП). Наявні проектні системи, що виконують функції керування та захисту, мають ряд дефіцитів безпеки, найсуттєвішими з яких є: недостатній рівень діагностування для своєчасного виявлення й усунення прихованих відмов; фізичне зношення технічних засобів (більш як 20 років), що давно морально та фізично застаріли.

На даний час більша частина цих систем замінена на модернізовані (крім обладнання на енергоблоках ЗАЕС), що є радикальним шляхом усунення дефіцитів безпеки. Заміну обладнання проведено відповідно до «Плана-графика реализации мероприятий Комплексной (сводной) программы повышения безопасности энергоблоков АЭС Украины» та «Перспективного графика реконструкции АСУ ТП» в рамках «Программы проведения поузловой замены АСУ ТП энергоблоков ВВЭР-1000, ВВЭР-440 АЭС Украины на 2007–2010 гг.». На енергоблоках, де повністю впроваджено заходи щодо заміни обладнання СУЗ, порушень у роботі АЕС внаслідок відмов цього обладнання нема, а на енергоблоках ЗАЕС, де використовується застаріле обладнання, порушення продовжуються (останнє порушення було зафіксовано 12.11.2011 р. на енергоблоці № 2 ЗАЕС). Отже, впровадження нового, більш сучасного обладнання дозволило попередити виникнення порушень;

2) на енергоблоках АЕС України сталося 16 порушень внаслідок відмов герметичних проходок через короткі замикання, зокрема останнє порушення — на енергоблоці № 4 ЗАЕС 15.04.2008 р. (звіт про розслідування порушення 4ЗАП-П08-03-04-08 «Разгрузка энергоблока № 4 до 580 мВт ($N_{эл}$) по факту отключения ГЦН-1 из-за ложного формирования сигнала на закрытие арматуры YD10S04 на подводе масла к ГЦН-1»). Відповідно до «Комплексной (сводной) программы модернизации и повышения безопасности энергоблоков АЭС Украины» силові та управляючі герметичні кабельні проходки замінюються на модернізовані проходки фірми «Елокс». Після заміни гермопроходок на модернізовані, порушення внаслідок їх відмов не відбуваються.

Висновки

За результатами проведеного аналізу порушень у 2001—2011 рр. необхідно відмітити, що у 2002 р. кількість порушень значно зменшилася, у 2008—2010 рр. залишалася на рівні 22, а в 2011 р. знизилася на третину (15 порушень), що є найкращим показником за всі роки.

Основними причинами зменшення кількості порушень на АЕС України є: розпочаті роботи з підготовки енергоблоків до продовження терміну експлуатації в понадпроектний термін;

впровадження модернізованого обладнання та заміна обладнання, яке вичерпало свій ресурс;

зниження кількості порушень, корінними причинами яких були відмови обладнання;

відсутність подій, що сталися під час пусконаладжувальних робіт протягом 2004—2007 рр. на нових енергоблоках № 2 ХАЕС та № 4 РАЕС;

відсутність останніми роками порушень, які напряду впливають на безпеку АЕС (рівень «1» за шкалою INES);

зменшення в 2010 та 2011 рр. кількості порушень, які повторюються, що пов'язано з вимогами Держатомрегулювання України щодо якісного розслідування порушень та впровадження заходів з підвищення безпеки;

покращення якості розслідування порушень, впровадження адекватних та (або) повних коригувальних заходів за результатами розслідування порушень та виконання заходів з підвищення безпеки.

Незважаючи на значне зниження кількості порушень на енергоблоках АЕС України протягом останніх років, існують проблеми, що потребують уваги:

адміністративно-технічним персоналом АЕС не приділяється достатньої уваги до забезпечення необхідної працездатності систем та елементів з продовженим терміном експлуатації;

традиційно найбільший внесок у загальну кількість порушень складають порушення, які виникають внаслідок зупинення реакторної установки, відключення енергоблока від мережі чи розвантаження РУ, та порушення, що виникають через відмову важливого для безпеки АЕС обладнання та трубопроводів;

найбільша частина корінних причин в усі роки була пов'язана з відмовами обладнання;

адміністраціями АЕС не приділяється достатньої уваги своєчасному перегляду та аналізу процедур;

основними причинами повторюваності подій є низька якість розслідування порушень, насамперед неправильне визначення корінної причини. Комісії з розслідування порушень формально підходять до пошуку та вивчення попередніх аналогічних подій, що у подальшому призводить до їх повторення.

Для вирішення цих проблем необхідно усунути наявні недоліки в організації управління й експлуатації АЕС, удосконалити систему організації розслідування порушень і оптимізувати систему зворотного зв'язку від досвіду експлуатації, що неодмінно сприятиме підвищенню рівня експлуатаційної безпеки АЕС.

Список використаної літератури

1. *IAEA-INES-ИНЕС*. Международная шкала ядерных событий. Руководство для пользователей. — Вена : МАГАТЭ, 2001.
2. *НП 306.2.141-2008*. Загальні положення безпеки атомних станцій.

Отримано 01.10.2012.