

О. М. Горпинченко, Є. О. Немоловський,  
О. І. Лігоцький

Державний науково-технічний центр з ядерної  
та радіаційної безпеки

## Аналіз впливу заходів з підвищення безпеки енергоблока № 1 Рівненської АЕС на цільові показники безпеки

Для оцінки впливу заходів з підвищення безпеки енергоблока № 1 Рівненської АЕС на цільові показники безпеки проведено розрахунки частоти пошкодження активної зони, частоти граничного аварійного викиду радіоактивних речовин та частоти пошкодження палива для басейну витримки, а також порівняння їх значень до і після впровадження заходу.

О. Н. Горпинченко, Е. О. Немоловский, А. И. Лигоцкий

**Анализ влияния мероприятий по повышению безопасности энергоблока № 1 Ривненской АЭС на целевые показатели безопасности**

Для оценки влияния мероприятий по повышению безопасности энергоблока № 1 Ривненской АЭС на целевые показатели безопасности выполнены расчеты частоты повреждения активной зоны, частоты предельного аварийного выброса радиоактивных веществ и частоты повреждения топлива для бассейна выдержки, а также сравнение их значений до и после внедрения мероприятия.

© О. М. Горпинченко, Є. О. Немоловський, О. І. Лігоцький, 2010

**Н**а сьогоднішній день АЕС України проводять модернізацію енергоблоків. Планування заходів щодо підвищення безпеки здійснюється на підставі довгострокових програм, перспективних і поточних планів, зокрема «Концепції підвищення безпеки діючих енергоблоків атомних електростанцій» [1].

Основними цілями модернізації є: підвищення рівня безпеки діючих енергоблоків АЕС України шляхом реалізації пріоритетних заходів, пов'язаних з посиленням глибокошелюваного захисту (вирішення проблем ядерної, радіаційної та пожежної безпеки); підтримання досягнутого рівня безпеки, надійності та експлуатаційної готовності, включаючи заміну обладнання, яке відпрацювало свій ресурс; продовження терміну експлуатації енергоблоків АЕС.

Відповідність енергоблока прийнятому рівню безпеки оцінюється за такими показниками безпеки, як частота пошкодження активної зони (ЧПАЗ), частота граничного аварійного викиду радіоактивних речовин (ЧГАВ) та частота пошкодження палива (ЧПП) для басейну витримки, які не повинні перевищувати допустимих значень. Розрахунки цих показників для визначення впливу заходів з підвищення безпеки виконано за допомогою інтегрованого програмного інструменту для імовірнісного аналізу ризику — SAPHIRE. Вплив заходів з підвищення безпеки вивчався на імовірнісних моделях, розроблених у програмному коді SAPHIRE для енергоблока № 1 РАЕС.

Пріоритезація заходів проводиться в декілька кроків. Перший крок — оцінка заходу на якісному рівні: частота виникнення вихідних подій аварій (ВПА); можливі наслідки; функції безпеки. Другий крок — внесення змін до імовірнісних моделей, які відображають вплив заходів з підвищення безпеки енергоблока на протікання аварійних процесів та на надійність виконання функцій безпеки. Далі — кількісна оцінка заходів, реалізованих або запланованих до реалізації на енергоблоці, з необхідними обґрунтованими інженерними розрахунками. Така оцінка дає вхідну інформацію для категоризації та пріоритезації заходів за їх впливом на підвищення безпеки енергоблока [3].

Категоризація заходу залежить від його внеску в кількісні показники безпеки (ЧПАЗ; ЧГАВ). Пріоритетність заходу може бути визначена, наприклад, із співвідношення

$$P = \max_{\forall \Delta \text{ЧПАЗ}_i} \Delta \text{ЧПАЗ}_i,$$

де  $\Delta \text{ЧПАЗ}_i$  — зниження ризику внаслідок проведення заходу, %:

$$\Delta \text{ЧПАЗ}_i = \text{ЧПАЗ}_b^i - \text{ЧПАЗ}_a^i;$$

$\text{ЧПАЗ}_b^i$  — частота пошкодження активної зони (АкЗ) до впровадження заходу;  $\text{ЧПАЗ}_a^i$  — частота пошкодження АкЗ після впровадження заходу.

Мета статті — показати важливість проведення кількісної оцінки впровадження заходів з підвищення безпеки на цільові показники безпеки АЕС.

Сумарна частота пошкодження активної зони для імовірнісного аналізу безпеки (ІАБ) рівня 1 щодо внутрішніх вихідних подій енергоблока № 1 РАЕС становить  $4,51\text{E}-05$  1/рік [4]. Згідно з [2], критерієм безпеки є перевищення оціночного значення частоти важкого пошкодження активної зони, рівного  $10^{-4}$  реактор/рік. Отже, розраховане значення ЧПАЗ відповідає вказаному критерію.

Результати проведеної оцінки [4] вказують на те, що заходи, реалізовані до 2010 р., сприяють підвищенню загального рівня безпеки енергоблока і зниженню ЧПАЗ.

Найзначущими вкладниками в підвищення рівня безпеки відповідно до виконаної кількісної оцінки є:

- комплекс заходів щодо управління течєю теплоносія з першого контуру в другий еквівалентним діаметром до 100 мм — зниження ЧПАЗ на 16,3 % (7,37E-06 1/рік);
- підвищення надійності виконання функції тепловідведення від реакторної установки через другий контур — зниження ЧПАЗ на 25,7 % (1,16E-05 1/рік);
- підвищення надійності аварійного електропостачання — зниження ЧПАЗ на 17,9 % (8,06E-06 1/рік);
- удосконалення управління аварійними процесами — зниження ЧПАЗ на 27,1 % (1,22E-05 1/рік).

За період 2006–2007 рр. на енергоблоці було зібрано додаткову статистику відмов устаткування й замінено частину технологічного устаткування та контрольно-вимірювальних приладів і автоматики (КВПіА). Проведений аналіз чутливості показав, що зміна значень показників надійності технологічного устаткування сприяє зменшенню ЧПАЗ на 6,0 % (2,69E-06 1/рік), а заміна КВПіА майже зовсім не впливає на ЧПАЗ (менше 0,05 %).

Після внесення змін до імовірнісної моделі було оцінено кумулятивний вплив усіх заходів з підвищення безпеки, впроваджених на енергоблоці № 1 РАЕС або тих, що плануються до реалізації, на показники безпеки АЕС.

За результатами кількісних розрахунків, з урахуванням усіх заходів, визначено сумарну ЧПАЗ при ступені відсікання мінімальних перетинів 1E-12, яка дорівнює 2,81E-05 1/рік, що на 1,7E-05 1/рік менше, ніж до впровадження заходів.

Сумарна частота пошкодження активної зони для ІАБ внутрішніх пожеж становить 5,041E-04 1/рік [6]. Результати оцінки свідчать про те, що заходи, реалізовані до 2010 р. на енергоблоці, сприяють підвищенню загального рівня безпеки енергоблока і зниженню ЧПАЗ.

Найзначущими вкладниками в підвищення рівня безпеки відповідно до виконаної кількісної оцінки є:

- виконання аналізу працездатності устаткування (елементів) систем безпеки (СБ), для яких існує загроза залежних відмов при виникненні ВПА, та реалізація коригуючих заходів за наслідками аналізу (зниження ЧПАЗ — 3,29E-04 1/рік);
- підвищення надійності виконання функції тепловідведення від реакторної установки через другий контур (зниження ЧПАЗ — 4,87E-04 1/рік);

Оціночне наближене зниження ЧПАЗ для ІАБ пожеж від основних заходів, що реалізуються на енергоблоці № 1 РАЕС, дорівнює 65 %. Отже, сумарна частота пошкодження активної зони для ІАБ пожеж, розрахована з урахуванням заходів щодо підвищення безпеки, дорівнює приблизно 1,75E-04 1/рік.

Сумарна частота пошкодження активної зони для ІАБ внутрішніх затоплень становить 1,515E-04 1/рік [7]. Результати оцінки говорять про сприяння реалізованих до 2010 р. заходів з підвищення загального рівня безпеки енергоблока і зниження ЧПАЗ.

Найзначущими вкладниками в підвищення рівня безпеки відповідно до виконаної кількісної оцінки є:

- проведення аналізу працездатності устаткування (елементів) СБ, для яких існує загроза залежних відмов при виникненні ВПА, і реалізація коригуючих заходів за наслідками аналізу (зниження ЧПАЗ — 8,99E-05 1/рік);

- підвищення надійності виконання функції тепловідведення від реакторної установки через другий контур (зниження ЧПАЗ — 1,39E-04 1/рік);

- оцінка реалізації заходу щодо введення додаткової системи подачі аварійної живильної води в парогенератори (зниження ЧПАЗ — 1,98E-05 1/рік).

Оціночне значення зниження ЧПАЗ для ІАБ затоплень від основних заходів, що реалізуються на енергоблоці № 1 РАЕС, складає близько 92 %. Таким чином, сумарна частота пошкодження активної зони для ІАБ затоплень, розрахована з урахуванням заходів щодо підвищення безпеки, становитиме приблизно 1,32E-05 1/рік.

Завдяки запланованим до 2010 р. заходам значно підвищився загальний рівень безпеки енергоблока і знизилася ЧПАЗ [8]. Спільна реалізація заходів «Підвищення надійності аварійного електропостачання» і «Підвищення надійності виконання функції тепловідведення від реакторної установки через другий контур» в повному обсязі дозволяє знизити ЧПАЗ ІАБ зовнішніх екстремальних впливів за приблизними оцінками більш як на 90 %.

Сумарна частота пошкодження активної зони для ІАБ на зниженому рівні потужності та в стані останову (ІАБ ППР) складає 2,833E-04 1/рік [9]. Результати проведеної оцінки вказують на сприяння заходів, реалізованих до 2010 р., підвищенню загального рівня безпеки енергоблока і зниженню ЧПАЗ.

Найзначущими вкладниками в підвищення рівня безпеки відповідно до виконаної кількісної оцінки є:

- забезпечення резервування компонентів системи планового розхолодження реакторної установки у водоводяному режимі (зниження ЧПАЗ — 2,59 %);
- підвищення надійності захисту першого контуру від високого тиску в холодному стані і термоудару (зниження ЧПАЗ — 1,24 %);
- удосконалення управління аварійними процесами (зниження ЧПАЗ — 0,99 %).

Зниження ЧПАЗ для ІАБ на зниженому рівні потужності та в стані останову порівняно з ЧПАЗ до впровадження основних заходів, що реалізуються на енергоблоці № 1 РАЕС, дорівнює приблизно 2,59 %.

Отже, сумарна частота пошкодження активної зони для ІАБ ППР, розрахована з урахуванням заходів щодо підвищення безпеки, складе приблизно 2,76E-04 1/рік.

Сумарна частота пошкодження палива для ІАБ басейну витримки (БВ) вимірюється 4,574E-06 1/рік [10]. За результатами проведеної оцінки заплановані до реалізації заходи сприяють підвищенню загального рівня безпеки енергоблока і зниженню ЧПП.

Серед запланованих є такі заходи:

- підвищення надійності аварійного електропостачання (зниження ЧПП приблизно на 0,37 %);
- удосконалення управління аварійними процесами (зниження ЧПП на 1,62E-06 1/рік, що складає близько 35,45 %);
- оптимізація міжсистемних залежностей систем розхолодження БВ (зниження ЧПП — близько 0,08 %).

Як бачимо, найзначущим вкладником з підвищення рівня безпеки відповідно до виконаної кількісної оцінки є удосконалення управління аварійними процесами.

За проведеними розрахунками зниження ЧПП для ІАБ БВ від основних заходів, що реалізуються на енергоблоці № 1 РАЕС, складає більше, ніж 35 %. Таким чином, сумарна розрахована частота пошкодження палива для

ІАБ БВ з урахуванням заходів щодо підвищення безпеки дорівнює приблизно  $2,9E-06$  1/год.

Сумарна частота граничного аварійного викиду для ІАБ рівня 2 —  $1,541E-05$  1/рік [11]. Згідно з [2], критерієм безпеки є неперевищення значення частоти граничного аварійного викиду радіоактивних речовин в навколишнє природне середовище для діючих АЕС —  $10^{-5}$  реактор/рік.

Результати проведеної оцінки свідчать, що заплановані до реалізації на енергоблоці заходи сприяють підвищенню загального рівня безпеки енергоблока і зниженню ЧГАВ.

Найзначущими вкладниками в підвищення рівня безпеки відповідно до виконаної кількісної оцінки є:

- комплекс заходів щодо управління течєю теплоносія з першого контуру в другий еквівалентним діаметром до 100 мм — зниження ЧГАВ на 7,3 %;
- підвищення надійності виконання функції тепловідведення й управління тиском в першому контурі — зниження ЧГАВ на 19,9 %;
- підвищення надійності аварійного електропостачання — зниження ЧГАВ на 48,4 %;
- удосконалення управління аварійними процесами — зниження ЧГАВ на 21 %.

Оціночне значення зниження ЧГАВ для ІАБ рівня 2 від основних заходів, реалізованих на енергоблоці № 1 РАЕС, перевищує 21 %. Таким чином, сумарна частота граничного аварійного викиду для ІАБ рівня 2, з урахуванням реалізованих заходів щодо підвищення безпеки, складе приблизно  $1,22E-05$  1/рік.

## Висновки

За результатами кількісної оцінки впливу заходів з підвищення безпеки на цільові показники безпеки енергоблока № 1 РАЕС можна відмітити:

1) сумарна частота пошкодження активної зони для ІАБ-1 зменшилася порівняно з розрахованим значенням без урахування заходів з підвищення безпеки більше, ніж на 60 %, незважаючи на те, що збільшилася кількість подій, пов'язаних з малою течєю першого контуру, що в свою чергу збільшило значення ЧПАЗ;

2) частота пошкодження активної зони для імовірного аналізу безпеки внутрішніх пожег з урахуванням модернізації енергоблока зменшилася більш як на 65 %;

3) сумарне зменшення частоти пошкодження активної зони для ІАБ внутрішніх затоплень від основних заходів, що реалізуються на енергоблоці № 1 РАЕС, складає більше 90 %;

4) після впровадження заходів з підвищення безпеки ЧПАЗ для ІАБ зовнішніх екстремальних впливів зменшується за приблизними оцінками більш як на 90 %;

5) сумарна частота пошкодження активної зони для ІАБ на зниженому рівні потужності та в стані останову, розрахована з урахуванням заходів щодо підвищення безпеки, зменшується приблизно на 2 %;

6) оціночне наближене зниження ЧПП для ІАБ БВ від основних заходів, що реалізуються на енергоблоці № 1 РАЕС, складає понад 35 %;

7) частота граничного аварійного викиду радіоактивних речовин після впровадження заходів з підвищення безпеки зменшилася приблизно на 20 %.

Отже, впровадження заходів з підвищення безпеки на енергоблоці № 1 РАЕС покращило цільові показники безпеки і в цілому підвищило рівень безпеки енергоблока.

Будь-який захід, від якого залежать показники безпеки АЕС, необхідно піддавати кількісній оцінці з метою визначення доцільності його впровадження.

## Список літератури

1. Концепция повышения безопасности действующих энергоблоков атомных электростанций: утв. распоряжением Кабинета Министров Украины № 515-р от 13.12.2005.

2. *НП 306.2.141-2008*. Загальні положення безпеки атомних станцій: затверджено наказом Держатомрегулювання від 19.11.2007 № 162; зареєстр. Мін'юстом України 19.11.2007 за № 56/14747.

3. Ривненская АЭС. Энергоблок № 1. Приоритезация мероприятий по повышению безопасности (расчет вклада инициаторов) энергоблока № 1 РАЭС. Приоритезация мероприятий повышения безопасности энергоблока № 1 РАЭС. 22.1.145.ОБ.04.2.

4. РАЭС. Энергоблок № 1. ОППБ. — Т. 2. Гл. 2: Анализ безопасности энергоблока. Ч. 2: Вероятностный анализ безопасности энергоблока. Кн. 4: Результаты вероятностных анализов. Ч. 1: ВАБ уровня 1. 22.1.145.ОППБ.02.02.04.01, 38-741.203.003.ОБ.02.02.04.01.

5. Ривненская АЭС. Энергоблок № 1. Отчет по анализу безопасности. Вероятностный анализ безопасности 1-го уровня для внутренних исходных событий аварий. Итоговый отчет. 22.1.145.ОБ.04.

6. РАЭС. Энергоблок № 1. ОППБ. — Т. 2. Глава 2: Анализ безопасности энергоблока Ч. 3: Анализ влияния на безопасность энергоблока экстремальных внутренних и внешних событий. Кн. 4: Результаты анализа влияния экстремальных событий. Ч. 2: ВАБ внутренних пожаров. 22.1.145.ОППБ.02.03.04.02, 38-741.203.003.ОБ.02.03.04.02.

7. РАЭС. Энергоблок № 1. ОППБ. — Т. 2. Гл. 2: Анализ безопасности энергоблока. Ч. 3: Анализ влияния на безопасность энергоблока экстремальных внутренних и внешних событий. Кн. 4: Результаты анализа влияния экстремальных событий. Ч. 3: ВАБ внутренних затоплений. 22.1.145.ОППБ.02.03.04.03, 38-741.203.003.ОБ.02.03.04.03.

8. РАЭС. Энергоблок № 1. ОППБ. — Т. 2. Гл. 2: Анализ безопасности энергоблока. Ч. 3: Анализ влияния на безопасность энергоблока экстремальных внутренних и внешних событий. Кн. 4: Результаты анализа влияния экстремальных событий. Ч. 1. ВАБ внешних экстремальных воздействий. 22.1.145.ОППБ.02.03.04.01, 38-741.203.003.ОБ.02.03.04.01.

9. РАЭС. Энергоблок № 1. ОППБ. — Т. 2. Гл. 2.: Анализ безопасности энергоблока. Ч. 2: Вероятностный анализ безопасности энергоблока. Кн. 4: Результаты вероятностных анализов. Ч. 3: ВАБ уровня 1 при работе энергоблока на пониженном уровне мощности и в состоянии останова. 22.1.145.ОППБ.02.02.04.03, 38-741.203.003.ОБ.02.02.04.03

10. РАЭС. Энергоблок № 1. ОППБ. — Т. 2. Гл. 2: Анализ безопасности энергоблока. Ч. 2: Вероятностный анализ безопасности энергоблока. Кн. 4: Результаты вероятностных анализов. Ч. 2. Анализ бассейна выдержки. 22.1.145.ОППБ.02.02.04.02, 38-741.203.003.ОБ.02.02.04.02.

11. РАЭС. Энергоблок № 1. ОППБ. — Т. 2. Гл. 2: Анализ безопасности энергоблока. Ч. 2: Вероятностный анализ безопасности энергоблока. Кн.:4: Результаты вероятностных анализов. Ч. 4: ВАБ уровня 2. 22.1.145.ОППБ.02.02.04.04, 38-741.203.003.ОБ.02.02.04.04.

*Надійшла до редакції 27.01.2010.*