

О. І. Лігоцький, Г. Г. Мелешко,  
Е. О. Завізіон

Державний науково-технічний центр  
з ядерної та радіаційної безпеки

## Результати оцінки рівня безпеки енергоблока № 1 Рівненської АЕС

Наведено результати оцінки рівня безпеки енергоблока № 1 РАЕС, які підтверджують прийнятний рівень його безпеки та мають використовуватися під час проведення переоцінки безпеки.

Ключові слова: РАЕС, енергоблок, оцінка, безпека, аналіз, ЗЗАБ.

А. И. Лигоцкий, Г. Г. Мелешко, Э. А. Завизион

### Результаты оценки уровня безопасности энергоблока № 1 Ровенской АЭС

Представлены результаты оценки уровня безопасности энергоблока № 1 РАЭС, которые подтверждают приемлемый уровень его безопасности и должны быть использованы во время проведения переоценки безопасности

Ключевые слова: РАЭС, энергоблок, оценка, безопасность, анализ, СОАБ.

Відповідно до Законів України «Про використання ядерної енергії і радіаційну безпеку» [1], «Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії» [2] та вимог нормативно-правових актів з ядерної та радіаційної безпеки експлуатуюча організація зобов'язана виконувати аналіз та обґрунтування безпеки енергоблоків АЕС, розробляти та реалізовувати проекти їх модернізації з метою підвищення безпеки. При цьому треба показати, що рівень безпеки ядерної установки відповідає міжнародно визнаним вимогам та оцінений з урахуванням усіх факторів, які впливають на безпеку.

Головним документом, в якому у концентрованому вигляді подається зведена оцінка стану безпеки енергоблока АЕС, описується система технічних й організаційних заходів із забезпечення безпеки та наводяться відомості, що підтверджують прийнятний рівень безпеки, є *звіт з аналізу безпеки* (ЗАБ).

Основними цілями і завданнями ЗАБ є:

оцінка за допомогою сучасних методів аналізу відповідності енергоблока, що експлуатується, діючим нормативним документам з ядерної та радіаційної безпеки та оцінка впливу наявних відступів на функції безпеки;

оцінка фактичного впливу АЕС на персонал, населення й довкілля в порівнянні з проектними даними, критеріями безпеки, закладеними в нормативних документах, що діють в Україні;

визначення ефективних шляхів підвищення безпеки АЕС та розробка експлуатуючою організацією конкретних заходів з підвищення безпеки АЕС (енергоблока).

Ціллю даної оглядової статті є представлення результатів оцінки матеріалів зведеного звіту з аналізу безпеки енергоблока № 1 Рівненської АЕС (далі – ЗЗАБ).

### Методологія оцінки безпеки

Згідно з вимогами [4], в ЗАБ енергоблока має бути представлений детерміністичний та імовірнісний аналіз безпеки.

Для підготовки матеріалів ЗЗАБ енергоблока № 1 РАЕС експлуатуючою організацією на підставі аналізів та відомостей обов'язкових додатків до ЗАБ виконано:

коригування, доповнення й перевидання Технічного обґрунтування безпеки (далі – ТОБ) з урахуванням усіх реалізованих модернізацій станом на 1999 р.; ТОБ підтримується в актуальному стані; в ЗЗАБ використані матеріали актуалізованого ТОБ енергоблока № 1 РАЕС;

розробку додаткових матеріалів з аналізу безпеки (далі – ДМАБ); у ЗЗАБ матеріали ДМАБ доповнені даними станом на 2005 р.;

аналіз проектних аварій з використанням розрахункових кодів RELAP5/MOD3.2, CONTAIN, MELCOR, DYN-3D, охоплюючи аналізи вихідних подій (ВП) при поводженні з паливом та радіаційними відходами (РАВ), вихідних подій під час розолодження й останову та аналіз радіологічних наслідків проектних аварій;

імовірнісний аналіз безпеки першого рівня для внутрішніх вихідних подій з використанням імовірнісного коду SAPHIRE і теплогідравлічного коду RELAP5/MOD3.2;

додаткові аналізи імовірнісного аналізу безпеки (далі – ІАБ): ІАБ першого рівня стосовно внутрішніх пожег і затоплень, ІАБ другого рівня, аналіз наслідків порушень тепловідведення від басейну витримки і перевантаження палива, ІАБ першого рівня при роботі енергоблока на

зниженому рівні потужності та в стані останову, ІАБ зовнішніх екстремальних подій, оцінку й категоризацію заходів щодо підвищення безпеки за допомогою ймовірнісних методів;

аналіз запроектованих аварій.

У процесі аналізу матеріалів ЗЗАБ енергоблока № 1 РАЕС виконувалась оцінка за такими напрямками:

аналіз поданих документів на відповідність фундаментальним принципам та критеріям безпеки;

оцінка відповідності структури, змісту та обсягу інформації, наведеної в ЗЗАБ, вимогам чинних в Україні норм, правил і стандартів з ЯРБ та підходам, що прийняті в міжнародній практиці;

аналіз відсутності протиріч між положеннями ЗЗАБ та інформацією, наведеною в обов'язкових додатках до нього;

оцінка коректності визначення та обґрунтування заходів з підвищення безпеки на підставі інформації, яка міститься в ЗЗАБ;

аналіз повноти і достатності усунення зауважень, які наведені у попередньому звіті про виконання державної експертизи ядерної та радіаційної безпеки за матеріалами «Сводный Отчет по анализу безопасности. Блок № 1. Ривненская АЭС» [7].

### Результати аналізу ЗЗАБ енергоблока № 1 РАЕС за окремими напрямками безпеки

**Опис майданчика АЕС.** За період будівництва й експлуатації енергоблока № 1 РАЕС характеристики та параметри метеорологічних процесів і явищ не зазнали змін, окрім характеристик смерчу.

Матеріали гідроекологічного моніторингу в пункті РАЕС достатньо інформативні, оскільки накопичено дані за період більше 20 років. На даний час Рівненською АЕС виконується комплексний об'єктний моніторинг геологічного середовища, сейсмічний моніторинг в зоні спостереження (в радіусі 30 км від РАЕС) і на проммайданчику. Аналіз представлених матеріалів показав, що додаткових досліджень майданчика не потребується внаслідок постійного проведення моніторингу, який дає змогу контролювати всі параметри природних характеристик майданчика. Техногенні чинники достатньою мірою були вивчені під час розробки матеріалів ТОБ і ДМАБ.

**Загальний опис об'єкта, що розглядається.** Закладені та реалізовані в проекті енергоблока № 1 РАЕС основи, що відстежуються за показниками експлуатаційної безпеки, підтверджують відповідність енергоблока діючим вимогам з ЯРБ та міжнародним рекомендаціям.

**Характеристика технічного забезпечення найважливіших функцій безпеки.** Завдяки передбаченим у проекті технічним і організаційним заходам досягнута базова мета безпеки. Основні принципи забезпечення глибокоешелонованого захисту, функції безпеки та методи їх забезпечення, критерії контролю й забезпечення стану цілісності фізичних бар'єрів безпеки та відомості про призначення систем і функцій, які вони виконують під час різних режимів експлуатації, відповідають нормам, правилам та стандартам з ЯРБ.

**Верифікація проекту.** Для верифікації проекту застосовувалися розрахункові коди RELAP5/MOD3.2 (NUREG/CR5535); SAPHIRE 6.59; MELCOR 1.8.4 та DYN3D під час виконання відповідно ІАБ, АПА та АЗПА; ІАБ; АПА та ІАБ, АПА.

Були розроблені, верифіковані та валідовані:

розрахункова модель енергоблока для комп'ютерного коду RELAP5/MOD3.2 — з метою виконання теплогідравлічних аналізів процесів у контурах ядерної паровиробної установки (ЯПВУ);

розрахункова модель для коду MELCOR — з метою розрахунків процесів у гермооб'ємі та аналізування виходу й розповсюдження радіонуклідів у межах ЯПВУ і гермооб'єму під час постульованих вихідних подій;

розрахункова модель енергоблока для комп'ютерного коду DYN3D — з метою виконання розрахунку як стаціонарних, так і нестаціонарних режимів експлуатації активної зони реактора;

ймовірнісна модель енергоблока у форматі SAPHIRE; за її допомогою побудовано дерева відмов та дерева подій, згенеровано та розраховано мінімальні перетини, виконано аналіз невизначеності та значимості.

Аналіз матеріалів ЗЗАБ показав, що в цілому розроблена аналітична модель енергоблока № 1 РАЕС адекватно відображає поведінку систем та обладнання енергоблока в перехідних режимах та відповідає чинним нормам і правилам з ЯРБ і сучасним міжнародним рекомендаціям.

**Аналіз внутрішніх та зовнішніх небезпек.** На майданчику РАЕС повною мірою здійснено ефективний комплекс заходів щодо обмеження негативних зовнішніх та внутрішніх впливів на будівлі, споруди та обладнання, важливе для безпеки, яке бере участь в останові енергоблока. Розроблено компенсуючі заходи, впровадження яких сприятиме підвищенню безпеки будівель і споруд енергоблока № 1 РАЕС, обладнання систем безпеки та систем, важливих для безпеки, від усіх видів зовнішніх та внутрішніх впливів.

Слід зазначити, що за результатами аналізу матеріалів ДМАБ було виявлено, що будівлі та споруди РАЕС не мають паспорта технічного стану. Також визначено потребу в доробці нормативної бази з обстеження та паспортизації будівель і споруд РАЕС. Ці недоліки планується виправити під час проведення робіт з продовження терміну експлуатації енергоблока № 1 РАЕС.

**Аналіз вихідних подій порушень нормальних умов експлуатації та проектних аварій.** Загальні підходи, застосовані для аналізування проектних аварій, полягають в аналізі розвитку перехідних процесів після виникнення вихідних подій з метою перевірки дотримання критеріїв прийнятності стосовно:

умов охолодження (зберігання цілісності) паливних елементів;

зберігання цілісності першого контуру реакторної установки (у випадках, коли цілісність першого контуру не порушена безпосередньо виникненням вихідної події);

зберігання герметичності захисної оболонки енергоблока;

виходу радіоактивних продуктів за межі гермооб'єму та доз опромінення населення за рахунок їх розповсюдження у довкіллі.

Аналіз радіаційних наслідків проведено для двох вихідних подій:

двосторонній розрив головного циркуляційного трубопроводу (МПА);

розущільнення кришки колектора ПГ.

Вибір вихідних подій є цілком обґрунтованим з точки зору найбільших радіаційних наслідків. Розглянуто консервативний варіант радіаційних наслідків для населення в разі викиду радіоактивних речовин внаслідок обох

вихідних подій. Розрахунки проводились відповідно до гаусової моделі атмосферної дифузії, яка рекомендована МАГАТЕ і вважається консервативною щодо задач прогнозу для розрахунків перенесення радіоактивного викиду на невеликі відстані. В документі розглянуто консервативні зовнішні та внутрішні умови викиду. При цьому рівні впливу на населення є такими, що не потребують будь-яких невідкладних заходів щодо його захисту і не можуть призвести до будь-яких детермінованих ефектів, пов'язаних з радіаційним опроміненням.

На підставі отриманих результатів зроблено висновок про те, що РУ енергоблока № 1 РАЕС достатньою мірою:

володіє властивостями внутрішнього самозахисту;

оснащена системами безпеки, виконаними за триканальним принципом, які забезпечують, з урахуванням принципу одиничної відмови або однієї незалежної від вихідної події помилки персоналу, радіаційну та ядерну безпеку в будь-якому з проектних режимів роботи РУ та під час проектних аварій;

радіаційний вплив від енергоблока на персонал, населення і довкілля під час нормальної експлуатації та проектних аварій не призводить до перевищення встановлених величин, наслідків аварії та обмежуються встановленими для таких аварій системами.

Порівняння отриманих результатів АПА з результатами ТОБ (розділ «Аналіз безпеки» [5]) свідчить про відсутність істотних відмінностей.

За результатами проведеної експертної оцінки подій порушення нормальних умов експлуатації та проектних аварій слід зробити загальний висновок про підтвердження факту дотримання встановлених проектом меж безпеки після виникнення проаналізованих подій, з урахуванням принципу одиничної відмови і консерватизму у виборі початкових та граничних умов.

Аналіз проектних аварій в частині порушень у процесі поводження з ядерним паливом та РАВ продемонстрував потребу в запровадженні та підтвердженні ефективності додаткових організаційно-технічних заходів для забезпечення дотримання критерію  $K_{сф} < 0,95$  для басейну витримки (БВ) в разі виникнення проектних аварій, а також виконання додаткового аналізу безпеки для вузла свіжого палива.

**Аналіз досвіду експлуатації.** Оцінки впливу РАЕС на довкілля та кількісні показники поточного рівня безпеки, тенденції зміни показників і результати впливу цих змін на безпеку відповідають вимогам нормативно-технічної документації, правилам та стандартам ЯРБ.

Аналіз матеріалів показав, що інформація щодо досвіду експлуатації є достатньо повною і систематизованою та охоплює всі аспекти, пов'язані з забезпеченням енергоблока № 1 РАЕС.

**Аналіз впливу енергоблоків РАЕС на довкілля.** Аналіз інформації щодо радіаційного впливу енергоблоків РАЕС на персонал, населення та довкілля свідчить про таке:

доза опромінення персоналу станції нижчі за допустимі значення, надходження радіонуклідів до організму персоналу є мінімальним;

викиди та скиди радіонуклідів в атмосферу та воду значно нижчі за відповідні нормативні рівні;

за весь період експлуатації в атмосферних випаданнях у районі розташування АЕС не відмічено присутності радіонуклідів «станційного» походження;

потужність експозиційної дози гамма-випромінення у межах зони спостереження РАЕС знаходиться на рівні

фоновому випромінювання, характерного для даної місцевості;

інтегральні дози в контрольних точках санітарно-захисної зони та зони спостереження не перевищують середньостатистичних значень для даного регіону;

основним джерелом дозових навантажень на населення, яке проживає в межах зони спостереження, є природні радіонукліди; дозові навантаження населення лежать в межах норм.

За результатами аналізу матеріалів ЗЗАБ хімічний, тепловий, електромагнітний та акустичний вплив РАЕС на довкілля є незначним (практично відсутній) та не перевищує встановлених нормативних критеріїв.

У рамках робіт з АПА проведено розрахунковий аналіз з метою продемонструвати виконання встановлених проектом критеріїв за еквівалентними індивідуальними дозами для населення на межі санітарно-захисної зони та поза нею. Аналіз отриманих результатів показав виконання критеріїв прийнятності для найнесприятливіших подій з точки зору радіаційних наслідків — максимальної проектної аварії (МПА) та великої течії з першого контуру до другого.

**Аналіз відповідності прийнятих технічних рішень вимогам нормативно-технічної документації з безпеки.** Аналіз прийнятих технічних рішень показав, що кількісні показники поточного рівня безпеки, межі та умови безпечної експлуатації, результати аналізу порушень у роботі АЕС, охоплюючи помилки персоналу, та підходи до аналізу відступів від вимог нормативних документів відповідають чинним нормам правилам та стандартам ЯРБ.

**Аналіз запроектних аварій.** У рамках робіт з АЗПА розроблено перелік запроектних аварій, за яким виконано розрахунковий аналіз їх протікання. Крім того, з метою виокремлення елементів запроектних аварій, які можуть бути застосовані для енергоблока № 1 РАЕС, проаналізовано розроблені переліки запроектних аварій для енергоблоків № 2 ХАЕС і № 4 РАЕС та їх розрахункові результати.

Слід зазначити, що результати АЗПА в разі виникнення більше ніж однієї відмови у локалізуючих системах безпеки показують виконання останніми своїх функцій.

За результатами виконаних розрахункових аналізів розроблено рекомендації до протиаварійних дій персоналу, спрямованих на запобігання важкому пошкодженню активної зони, а також складено перелік ЗПА, для яких не визначено ефективних методів запобігання важкому пошкодженню активної зони та які потребують подальшого аналізу для вироблення стратегій щодо пом'якшення наслідків цих подій.

У цілому матеріали АЗПА відповідають нормативним вимогам та міжнародним рекомендаціям, однак мають ряд обмежень, зокрема не проведено аналіз запроектних аварій на зниженому рівні потужності та в стані останову і аналіз запроектних аварій з важким пошкодженням активної зони. Вищезазначені роботи виконуються в рамках робіт щодо продовження експлуатації енергоблока № 1 РАЕС.

**Імовірнісний аналіз безпеки (ІАБ).** За результатами проведених аналізів були отримані результати значення частоти пошкодження активної зони (ЧПАЗ) та частоти граничного аварійного викиду (ЧГАВ), які в основному відповідають цільовим показникам безпеки, що прийняті в Україні відповідно до НП 306.2.141-2008 «Загальні положення безпеки атомних станцій» [3] для діючих АЕС на рівні  $10^{-4}$  реактор/рік. Винятком є аварії, викликані внутрішніми пожежами, затопленнями, та аварії, які

відбуваються на зниженому рівні потужності та під час останову енергоблока

За попередніми оцінками, які наведені у [5], коректна та обґрунтована розробка технічних рішень і адекватна реалізація заходів з підвищення безпеки на енергоблоці дозволить привести імовірнісні показники безпеки до значень, які набагато нижчі, ніж критерії з безпеки.

Однак треба зазначити, що представлені матеріали ІАБ мають обмеження:

не виконано коригування ймовірнісного аналізу безпеки для внутрішніх затоплень з урахуванням галузевої бази даних;

не оцінено інтегральну частоту пошкодження активної зони на основі інтегральної ймовірності моделі;

не враховано категорію викидів RC-1 «Утечка через проектні неплотності СГО» під час розрахунку частоти граничного аварійного викиду для ймовірнісного аналізу безпеки 2-го рівня.

Вищезазначені роботи виконуються в рамках робіт щодо продовження експлуатації енергоблока № 1 РАЕС.

**Основні заходи з підвищення безпеки.** В даному розділі подано перелік заходів з підвищення безпеки, сформований за результатами детерміністичного та ймовірнісного аналізу безпеки, виконаного в рамках ЗАБ, концепції підвищення безпеки діючих енергоблоків АЕС та проекту зведеної програми з підвищення безпеки. Враховано результати звіту МАГАТЕ «Проблеми безпеки атомних електростанцій з реакторами ВВЕР-440/213 та їх категорії» ІАЕА-ЕВР-ВВЕР-03 [6].

Заходи з підвищення безпеки, розроблені за результатами ЗАБ, в повному обсязі внесено до концепції підвищення безпеки та зведеної програми з підвищення безпеки.

## Висновок

Представлена інформація у ЗЗАБ щодо обґрунтування безпеки енергоблока № 1 РАЕС охоплює всі аспекти безпеки та дозволяє визнати її прийнятною.

Підтвердження дотримання в проекті критеріїв безпеки визначає можливість обмежувати радіаційний вплив на персонал, населення та довкілля встановленими межами в умовах нормальної експлуатації, порушень нормальної експлуатації, аварійних ситуацій, проектних аварій та можливість зменшення наслідків запланованих аварій. Розрахункові значення річної дози опромінення населення на межі санітарно-захисної зони, наведені в ЗЗАБ, не перевищують допустимого внеску в ліміт дози.

Принципи забезпечення реакторної установки енергоблока № 1 РАЕС та отримані результати виконаних досліджень з аналізу безпеки ІАБ, АПА, АЗПА в основному відповідають нормам, правилам та стандартам з ядерної та радіаційної безпеки і сучасним міжнародним рекомендаціям у сфері використання ядерної енергії за винятком аварій, спричинених внутрішніми пожежами, затопленнями, та аварій, які відбуваються на зниженому рівні потужності та під час останову енергоблока.

Відповідно до отриманих результатів експлуатуючою організацією розроблено заходи з підвищення безпеки, реалізація яких дасть зниження значень частоти пошкодження активної зони і частоти граничного аварійного викиду та, за попередніми оцінками, забезпечить у повному обсязі дотримання встановлених критеріїв безпеки.

За результатами аналізу безпеки фахівцями ДНТЦ ЯРБ виявлено ряд обмежень та недоліків виконаних досліджень, а саме:

не враховано заходи з підвищення безпеки, реалізовані в 2006–2009 рр.;

не виконано аналізу запланованих аварій для зниженого рівня потужності та останову;

не виконано аналізу важких аварій;

не виконано коригування ймовірнісного аналізу безпеки для внутрішніх затоплень з урахуванням галузевої бази даних;

не виконано оцінку інтегральної частоти пошкодження активної зони на основі інтегральної ймовірності моделі;

не враховано категорію викидів RC-1 «Утечка через проектні неплотності СГО» під час розрахунку частоти граничного аварійного викиду для ймовірнісного аналізу безпеки 2-го рівня;

будівлі та споруди РАЕС не мають паспорта технічного стану, потрібна доробка нормативної бази з обстеження та паспортизації будівель та споруд РАЕС;

не виконано аналізу вузла свіжого палива та розрахункове обґрунтування запропонованих РАЕС організаційно-технічних заходів для забезпечення виконання критерію  $K_{\text{эф}} < 0,95$  для БВ; дані питання потребують вирішення на галузевому рівні.

Посилаючись на результати розгляду ЗЗАБ, можна підтвердити, що експлуатація енергоблока № 1 РАЕС безпечна, але беручи до уваги, що на даний час виконуються роботи з переоцінки безпеки енергоблока № 1 РАЕС, треба продовжити дослідження та усунути зазначені недоліки в рамках робіт щодо продовження експлуатації в понад-проектний строк.

Виконані роботи в рамках аналізу безпеки енергоблока № 1 РАЕС та отримані результати мають стати основою для переоцінки безпеки енергоблока та використовуватися для продовження терміну його експлуатації.

## Список літератури

1. Закон України «Про використання ядерної енергії і радіаційну безпеку».
2. Закон України «Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії».
3. Загальні положення безпеки атомних станцій: НП 306.2.141 2008: затверджено наказом Держ. комітету ядерного регулювання України 19.11.2007 № 162. — К., 2008. — 72 с.
4. Требования к содержанию отчета по анализу безопасности действующих на Украине энергоблоков АЭС с реакторами типа ВВЭР. — Введ. в дію наказом Держкоматому України від 27.11.95 № 386.
5. Отчет по анализу безопасности. Блок № 1. Ривненская АЭС. 22.1.145.ОБ.00.
6. Проблеми безпеки атомних електростанцій з реакторами ВВЕР-440/213 та їх категорії. ІАЕА-ЕВР-ВВЕР-03.
7. Звіт про виконання державної експертизи ядерної та радіаційної безпеки за матеріалами «Сводный Отчет по анализу безопасности. Блок № 1. Ривненская АЭС. 22.1.145.ОБ.00». — Реєстр. № 07 — 09 — 4357.
8. Звіт про виконання державної експертизи ядерної та радіаційної безпеки за матеріалами «Сводный Отчет по анализу безопасности. Блок № 1. Ривненская АЭС. 22.1.145.ОБ.00». — Реєстр. № 09 — 09 — 5080.

Надійшла до редакції 18.03.2010.