

М. Х. Гашев¹, І. А. Шевченко¹,
О. В. Печериця², О. В. Зелений²

¹ Державна інспекція ядерного регулювання України

² Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки (ДНТЦ ЯРБ)

Вдосконалення діяльності щодо оцінки безпеки АЕС

Наведено опис основних підходів до виконання оцінки впливу впровадження заходів на підвищення рівня безпеки енергоблоків АЕС України. На підставі виконання державної експертизи ядерної та радіаційної безпеки матеріалів з результатами виконання оцінки впливу впровадження заходів визначено напрямки вдосконалення вказаної діяльності. Запропоновано підхід до оцінки впливу заходів, розгляд яких раніш не виконувався. Представлено загальні рекомендації щодо оцінки впливу на безпеку від впровадження заходів.

Ключові слова: заходи з підвищення безпеки; оцінка впливу; кількісна оцінка; якісна оцінка; безпека АЕС.

М. Х. Гашев, І. А. Шевченко, А. В. Печериця, О. В. Зелений

Совершенствование деятельности по оценке безопасности АЭС

Описаны основные подходы к выполнению оценки влияния реализации мероприятий, направленных на повышение безопасности энергоблоков АЭС Украины. На основании выполнения государственной экспертизы ядерной и радиационной безопасности материалов с результатами оценки влияния реализации мероприятий определены направления усовершенствования указанной деятельности. Предложен подход к оценке влияния мероприятий, рассмотрение которых ранее не выполнялось. Представлены общие рекомендации по оценке влияния на безопасность от реализации мероприятий.

Ключевые слова: мероприятия по повышению безопасности; оценка влияния; количественная оценка; качественная оценка; безопасность АЭС.

© М. Х. Гашев, І. А. Шевченко, О. В. Печериця, О. В. Зелений, 2011

Вивчення досвіду експлуатації АЕС та поглиблених досліджень безпеки з використанням сучасних технологій виконання подібного роду аналізів, удосконалення використовуваної інструментальної бази, поширення спектра та забезпечення багатовекторності зазначених досліджень дають змогу своєчасно виявляти недоліки та дефіцити, усунення яких сприяє постійному підвищенню рівня безпечної експлуатації АЕС та культури безпеки.

Виявлені недоліки та дефіцити потребують всеосяжного вивчення та визначення ефективних заходів, реалізація яких усуває корінні причини проблем безпеки. У деяких випадках ці проблеми носять комплексний характер, можуть впливати на низку бар'єрів глибокоешелюваного захисту та функцій безпеки, а деякі недоліки мають відношення до локальних аспектів та напрямків підвищення безпеки. Проте *всі* проблеми безпеки, що виявляються протягом експлуатації АЕС, мають вирішуватися впровадженням відповідних коригуючих заходів. Оскільки одночасне впровадження всього переліку визначених заходів потребує великих зусиль технічного та фінансового характеру, актуальним є питання виконання оцінки впливу на безпеку реалізованих заходів з метою подальшої оптимізації розподілу зазначених зусиль. За результатами цієї оцінки встановлюється пріоритетність реалізації заходів з підвищення безпеки в межах встановленого переліку.

Як перший приклад виконання оцінки впливу на безпеку виявлених дефіцитів (та, відповідно, заходів, спрямованих на їх подолання) можна згадати роботу «Проблеми безпеки атомних електростанцій ...» для енергоблоків з реакторами типу ВВЕР та РВПК, виконану МАГАТЕ 15 років тому [1]–[4]. З того часу оцінка впливу на безпеку експлуатації АЕС України реалізації заходів з підвищення безпеки, визначених як галузевими програмами (наприклад, Концепцією підвищення безпеки — КПБ, Зведеною програмою підвищення безпеки — ЗППБ), так і на підставі досліджень в рамках розробки звітів з аналізу безпеки (ЗАБ) та звітів з переоцінки безпеки, виконується експлуатуючою організацією та підприємствами її науково-технічної підтримки на систематичній основі. Методологія оцінки постійно розвивається та вдосконалюється, і метою статті є огляд основних складових цієї методології, а також надання пропозицій щодо її вдосконалення, які склалися на підставі експертизи ЯРБ відповідних матеріалів.

Кількісна оцінка впливу реалізації заходів на підвищення безпеки

Кількісна оцінка виконується трьома основними етапами:

в імовірнісній моделі (моделях) енергоблока відображається технічна сутність заходу або низки заходів;

визначається змінення кількісних показників безпеки (ЧПАЗ — частоти пошкодження активної зони, ЧГВ — частоти граничного аварійного викиду, ЧПП — частоти пошкодження палива в басейні витримки) з урахуванням конкретного заходу з підвищення безпеки;

отримані значення порівнюються з відповідними критеріями (дивись, наприклад, [5]–[7] та табл. 1) і робиться висновок про важливість впровадження заходу з точки зору підвищення безпеки.

Таблиця 1. Категорії заходів з точки зору їх впливу на кількісні показники безпеки

Категорія	Критерій		
	ΔЧПАЗ	ΔЧПП	ΔЧГАВ
0 — незначний вплив впровадження заходу на підвищення безпеки (за результатами кількісної оцінки)	<1E-07	<1E-07	<1E-08
I — малий вплив впровадження заходу на підвищення безпеки	<1E-06	<1E-06	<1E-07
II — середній вплив впровадження заходу на підвищення безпеки	<1E-5	<1E-5	<1E-6
III — високий вплив впровадження заходу на підвищення безпеки	<1E-4	<1E-4	<1E-5
IV — дуже високий вплив впровадження заходу на підвищення безпеки	>1E-04	>1E-04	>1E-05

Пріоритетність впровадження заходу визначається зміненням кількісних показників безпеки після їх перерахунку з урахуванням наявності заходу. Величина змінення показників і є критерієм, за яким визначається важливість реалізації заходу за результатами кількісної оцінки.

Основні аспекти, яким треба приділяти увагу, виконуючи кількісну оцінку впливу реалізації заходів на підвищення безпеки, такі.

Легітимність використовуваних інструментів. «Базові» ймовірнісні моделі енергоблока, що використовуються як інструмент кількісної оцінки важливості впровадження заходів, мають бути легітимними. Це означає, що дослідження безпеки енергоблоків АЕС України, в процесі яких розробляються моделі, мають бути узгодженими в установленому порядку, а під час виконання кількісної оцінки важливості впровадження заходів необхідно використовувати моделі, які враховують відповідні зауваження та коментарі експертизи зазначених досліджень.

Це, на перший вигляд, формальне питання є досить важливим в експертизі звітних матеріалів з огляду на статус інструментів кількісної оцінки та коректність значень ЧПАЗ, ЧГАВ, ЧПП, які використовуються за критерії прийняття рішення. Наприклад, розглянувши результати кількісної оцінки важливості впровадження заходів ЗППБ для енергоблоків ВВЕР-1000/В320 АЕС України [7], було визначено, що за «базову» використано модель енергоблока № 5 Запорізької АЕС, в якій не враховано оновлені дані з надійності елементів систем енергоблоків ЗАЕС, про що йшлося у відповідних зауваженнях експертизи до матеріалів ЗАБ. Це призвело до використання некоректного значення «базової» ЧПАЗ у розрахунках величини змінення кількісних показників безпеки через впровадження заходів ЗППБ (докладніше див. [8]), а отже, викривило результати кількісної оцінки впливу заходів на підвищення безпеки.

Відображення поточного стану об'єкта дослідження. «Базові» ймовірнісні моделі повинні відображати стан енергоблока АЕС, максимально наближений до поточного.

В окремому випадку може виникнути протиріччя між застосуванням цієї рекомендації та наведеної вище, де говорилося про легітимність інструментів. Дійсно, моделі, розроблені в рамках дослідження безпеки конкретного енергоблока, можуть бути узгодженими в установленому порядку, проте не відображати поточного стану об'єкта дослідження. За такої ситуації, безперечно, необхідно оцінити ступінь застосовності наявних узгоджених моделей для виконання кількісної оцінки впливу заходів на безпеку. У разі застарілості таких моделей треба використовувати новіші моделі, розроблені під час виконання аналізу

безпеки інших аналогічних енергоблоків АЕС України. Зазначимо, що протягом останніх років ймовірнісні моделі прийнятого ступеня якості розроблено для всього реакторного парку вітчизняних АЕС, тому з пошуком прийнятого інструменту, який відображає сучасний стан безпеки «типового» енергоблока, не повинно виникати проблем.

Ця рекомендація є особливо важливою та актуальною, коли дослідження безпеки окремого енергоблока, які пройшли процес узгодження в установленому порядку, виконувались у різний період часу. Так, на енергоблоці № 1 Рівненської АЕС у процесі розробки ЗАБ за допомогою ймовірнісних методів було виконано низку досліджень безпеки, узгоджених у встановленому порядку, які відображали стан безпеки на 2003—2005 рр. Проводячи на вимогу Держатомрегулювання переоцінку безпеки зазначеного енергоблока з урахуванням впровадження на ньому заходів з підвищення безпеки, виконано аналогічні дослідження, але стан енергоблока в цьому разі відповідав кінцю 2010 р. Звітні документи з результатами зазначених досліджень також пройшли експертизу ЯРБ та є легітимними на теперішній час.

Різнити в рівні безпеки енергоблока № 1 РАЕС, визначеному в ЗАБ та в звіті з періодичної переоцінки безпеки (ЗППБ) відповідно у 2005 та 2010 рр., є очевидною (табл. 2), проте для оцінки впливу впровадження заходів ЗППБ з підвищення безпеки зазначеного енергоблока в роботі [5] некоректно використано матеріали ЗАБ за 2005 р. (докладніше див. [8]).

Підсумовуючи розгляд порушеного питання, зазначимо, що в загальному випадку чим точніше модель енергоблока відображає його поточний стан, тим більша міра довіри до отриманих результатів оцінки важливості впровадження того чи іншого заходу та його впливу на підвищення безпеки цього енергоблока.

Відображення технічного змісту заходу з підвищення безпеки під час проведення кількісної оцінки. Деталізація відображення технічного змісту заходу з підвищення безпеки в «базовій» ймовірнісній моделі має бути максимальною. Методологічний розвиток за цим аспектом є ілюстративним прикладом загального вдосконалення методології кількісної оцінки важливості впровадження заходу з точки зору підвищення безпеки. В перших роботах щодо визначення пріоритетності впровадження заходів кількісними методами (матеріали ЗАБ енергоблоків № 2 Хмельницької АЕС [9] та № 4 Рівненської АЕС [10]) технічний зміст того чи іншого заходу відображався в ймовірнісних моделях «чорною скринькою», наявність якої, безперечно, поліпшувала «базові» значення цільових показників безпеки, але

Таблиця 2. Результати досліджень безпеки енергоблока № 1 РАЕС, наведені в ЗАБ та ЗППБ

Дослідження	ЗАБ (2005 р.)	ЗППБ (2010 р.)
ІАБ 1-го рівня для внутрішніх ВПА під час роботи РУ на номінальному рівні потужності	ЧПАЗ = 4.51E-5 1/рік	ЧПАЗ = 9.843 E-6 1/рік
ІАБ 1-го рівня для внутрішніх ВПА під час роботи РУ на зниженому рівні потужності в стані останову	ЧПАЗ = 2.83E-4 1/рік	ЧПАЗ = 3.140 E-5 1/рік
ІАБ 1-го рівня з урахуванням внутрішніх пожеж	ЧПАЗ = 5.04E-4 1/рік	ЧПАЗ = 3.669 E-6 1/рік
ІАБ 1-го рівня з урахуванням внутрішніх затоплень	ЧПАЗ = 1.52E-4 1/рік	ЧПАЗ = 3.938 E-6 1/рік
ІАБ 2-го рівня для внутрішніх ВПА під час роботи РУ на номінальному рівні потужності	ЧГАВ = 1.112E-05 1/рік	ЧГАВ = 1.179 E-6 1/рік

ставила низку питань експертизи щодо консерватизму (або навпаки — оптимізму) отриманих результатів. У відповідь на зазначені зауваження експертизи ЯРБ, у дослідженнях почав більш детально моделюватися технічний зміст заходу під час виконання його кількісної оцінки. Приклади цьому можна знайти в роботах щодо пріоритетизації заходів безпеки енергоблока № 1 РАЕС, виконаних в рамках розробки ЗАБ та ЗППБ цього енергоблока. Однак, незважаючи на наявний прогрес в цьому питанні, потрібно не знижати увагу до максимального ступеня деталізації відображення технічного змісту заходу з підвищення безпеки в «базовій» імовірнісній моделі. Тому, документуючи процес виконання кількісної оцінки важливості впровадження заходу, рекомендується наводити:

принципову можливість використання обраного інструменту для виконання кількісної оцінки заходу (про це детальніше мова йшла вище);

детальний опис ключових припущень, прийнятих під час виконання кількісної оцінки заходу;

опис модифікацій імовірнісних моделей, зроблених у рамках переоцінки надійності персоналу: «базові» значення ймовірності помилки персоналу (ІПП), припущення, які було використано для переоцінки ІПП, отримані значення ІПП;

опис модифікацій імовірнісних моделей, зроблених у рамках переоцінки надійності елементів систем енергоблока: «базові» значення показників надійності, опис аргументів щодо зміни цих показників та отримані їх значення;

зображення дерев подій та/або дерев відмов імовірнісних моделей енергоблока, розроблених або модифікованих з метою відображення технічного змісту заходу з підвищення безпеки; пояснення щодо зазначених розробок та модифікацій.

Якісна оцінка впливу на підвищення безпеки від реалізації заходів

Першим прикладом якісної оцінки впливу реалізації заходів на підвищення безпеки енергоблоків АЕС України є робота, виконана експертами франко-германської компанії «Ризикаудит» в процесі аналізу програм модернізації енергоблоків РАЕС, ХАЕС (1995—1996 рр.). З тих пір методологія виконання якісної оцінки важливості заходів не зазнала суттєвих змін і полягає в аналізі впливу реалізації того чи іншого заходу на:

- частоту виникнення ВПА;
- можливі наслідки;
- функції безпеки.

Для кожного з цих факторів визначаються коефіцієнти значимості, сукупність яких й визначає загальну категорію заходу та впливає на пріоритетність його реалізації.

Значимо, що в експертизах матеріалів з результатами якісної оцінки впливу реалізації заходів на підвищення безпеки нема суттєвих типових зауважень. Методологія «Ризикаудиту» зарекомендувала себе як інструмент, застосування якого дає результати досліджень з прийнятним ступенем якості.

Окремі випадки

Як показує досвід розробки та технічної оцінки програм підвищення безпеки АЕС України останніх 15 років, серед переліку заходів, що входять до цих програм, завжди є такі, вплив від реалізації яких неможливо оцінити за допомогою описаних вище підходів.

Розрахунково-аналітичні дослідження. Дослідження, які в зазначених програмах класифіковані як окремі заходи, «относящиеся к аналитическим исследованиям, направленным на повышение безопасности (термогидравлические анализы, вероятностные оценки, радиологические исследования, прочностные расчеты и др.)» [11], безпосередньо не пов'язані з модернізацією елементів та систем АЕС, вдосконаленням експлуатаційної документації, підвищенням надійності та протиаварійної готовності персоналу. Подібні «модернізації...», «вдосконалення...» та «підвищення...» можуть бути визначені на підставі розрахунково-аналітичних досліджень, проте перш за все дослідження необхідно виконати та узгодити в устанавленому порядку. До пріоритетності виконання таких заходів пропонується підходити так:

1. Високий пріоритет реалізації повинні мати дослідження безпеки енергоблоків АЕС України згідно з існуючими вимогами норм та правил ядерної та радіаційної безпеки. Прикладом таких заходів ЗППБ (ВВЕР-1000/В320) є: «19101. Разработка ОАБ согласно требованиям НД в полном объеме»;

«19103. Учет полного спектра исходных событий для всех регламентных состояний РУ в ВАБ».

2. Пріоритетність виконання досліджень безпеки, які є подальшим етапом розгляду та аналізу раніш виявленої проблеми безпеки, залежить від впливу проблеми на безпеку (безперечно, на підставі коректної оцінки важливості цієї проблеми). Прикладом такого заходу ЗППБ (ВВЕР-440/В213) є захід «Выполнить углубленный анализ горения водорода в машзале, по результатам разработать мероприятия».

Заходи, визначені на підставі досвіду експлуатації. Серед переліку заходів ЗППБ існують такі, що не мають прямого

відношення до підвищення безпеки, — вони спрямовані на оптимізацію та підвищення ефективності експлуатації АЕС. Приклади таких заходів ЗППБ (ВВЕР-1000/В320):

«12302. Внедрение оборудования для усовершенствования уплотнения главного разъема реактора. В рамках данного мероприятия планируется закупка и установка нового модернизированного гайковерта главного разъема реактора на площадках ОП ЗАЭС и ОП ЮУ АЭС (одного на площадку)» [12];

«13510. Внедрение прочноплотных глушек в коллекторах ПГ при выполнении ремонтных работ. Мероприятие направлено на сокращение времени простоя энергоблока в плановом ремонте за счет совмещения перегрузки топлива в реакторе с работами по техническому обслуживанию и ремонту парогенераторов» [12]—[13].

Якщо експлуатуюча організація має потребу у визначенні пріоритетності впровадження таких заходів, то це можливо на підставі експертної оцінки техніко-економічних питань.

Оцінка статусу впровадження заходів

Загальна оптимізація зусиль щодо оцінки впливу на безпеку від впровадження заходів пов'язана з доцільністю розгляду статусу реалізації заходів, що є предметом оцінки. В переліку заходів ЗППБ для енергоблоків з ВВЕР-1000/В320 досить багато таких, які вже майже реалізовані для всього реакторного парку зазначеного типу. Наприклад:

«12201. Предотвращение последствий, связанных с разрывами трубопроводов второго контура за пределами герметичного объема» (протягом поточного року цей захід буде реалізований на 10 з 11 енергоблоків ВВЕР-1000/В320 АЕС України);

«13101. Анализ возможности и обоснование режима с работой САОЗ ВД/САОЗ НД от смежного приемка через линию планового расхолаживания без ТООР. Разработка соответствующих аварийных процедур» (протягом поточного року цей захід буде реалізований для всіх енергоблоків ВВЕР-1000/В320 АЕС України);

«13301. Замена ПК ПГ с квалификацией на пар, пароводяную смесь и воду, с функцией аварийного сброса давления с ПГ» (протягом поточного року цей захід буде реалізований для всіх енергоблоків ВВЕР-1000/В320 АЕС України);

«13401. Повышение надежности выполнения функции тепловода от 1-го контура (в том числе реализация функции сброс—подпитка)» (протягом поточного року цей захід буде реалізований на 9 з 11 енергоблоків ВВЕР-1000/В320 АЕС України).

Вплив на підвищення безпеки подібних заходів є очевидним, їх технічний зміст відомий, вони вже реалізовані на переважній більшості енергоблоків. Замість того, щоб виконувати оцінку впливу впровадження цих заходів на безпеку, яка нічого нового не покаже та ні на що не вплине, доцільно зосереджувати зусилля на детальній оцінці інших заходів.

Висновки

Виконання оцінки, а ще важливіше — обґрунтування вибору методу оцінки впливу на безпеку від впровадження заходів, у багатьох випадках є непростю інженерною задачею. Загальною рекомендацією з цього приводу є максимально широке виконання кількісної оцінки впливу від реалізації заходів за допомогою імовірнісних моделей. Легітимність, спектр та якість розробки інструментів такої оцінки рівня безпеки АЕС України підвищуються та розширюються з кожним роком. Використання цих інструментів (з безумовним врахуванням питань, про які мова йшла вище) дозволить виконувати оцінку впливу на безпеку від впровадження заходів в показовій, прозорій манері та забезпечувати прийнятний ступінь довіри до результатів цієї оцінки.

Список літератури

1. Отчет МАГАТЭ: Проблемы безопасности атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000/320 и их категории IAEA-EBP-WWER-05. — Вена: МАГАТЭ, 1997.
2. Отчет МАГАТЭ: Проблемы безопасности атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000 (малая серия) и их категории IAEA-EBP-WWER-14. — Вена: МАГАТЭ, 1996.
3. Отчет МАГАТЭ: Проблемы безопасности атомных электростанций с реакторами ВВЭР-440/213 и их категории IAEA-EBP-WWER-03. — Вена: МАГАТЭ, 1997.
4. Отчет МАГАТЭ: Атомные электрические станции с реакторами РБМК: общие проблемы безопасности IAEA-EBP-RBMK-04. — Вена: МАГАТЭ, 1997.
5. Оценка и ранжирование мероприятий Сводной программы повышения безопасности энергоблоков АЭС Украины с ВВЭР-440 (В-213). Итоговый отчет. АТ8-10.200.ОД.1. — 2010.
6. Оценка и ранжирование мероприятий Сводной программы повышения безопасности энергоблоков АЭС Украины с ВВЭР-1000 (В-302/338). Итоговый отчет. 04/05—10.200.ОД.1. — 2010.
7. Оценка эффективности мероприятий Сводной программы повышения безопасности энергоблоков АЭС Украины с ВВЭР-1000 (В-320). Итоговый отчет. ЕР6-2010.120.ОД.1. — 2010.
8. Звіт про виконання державної експертизи ЯРБ матеріалів «Оценка мероприятий СППБ энергоблоков АЭС Украины», № 10—09—5672 / ДНТЦ ЯРБ. — 2010.
9. Хмельницкая АЭС. Энергоблок № 2. Окончательный отчет по анализу безопасности. — Гл. 19: Вероятностный анализ безопасности. Перечень основных мероприятий по повышению безопасности на основании результатов ВАБ 1-го уровня. Перечень запроектных аварий. 43—923.203.027.АВ.00. — 2005.
10. Ровенская АЭС. Энергоблок № 4. Окончательный отчет по анализу безопасности. Гл. 19. Вероятностный анализ безопасности. Перечень основных мероприятий по повышению безопасности на основании результатов ВАБ 1-го уровня Перечень запроектных аварий. 38—223.203.027.АВ 00. — 2006.
11. Пояснительная записка к Комплексной (Сводной) программе повышения безопасности энергоблоков АЭС Украины / ГП НАЭК «Энергоатом». — 2010.
12. Карточка мероприятия 12302 СППБ для энергоблоков ВВЭР-1000/В320 / ГП НАЭК «Энергоатом». — 2010.
13. Карточка мероприятия 13510 СППБ для энергоблоков ВВЭР-1000/В320 / ГП НАЭК «Энергоатом». — 2010.

Надійшла до редакції 17.02.2011.