

Розглянуто імовірнісний аналіз безпеки - системний аналіз, котрий дозволяє виявити основні джерела аварій, розробити необхідні засоби та міри по досягненню прийнятого рівня безпеки АЕС, а також практичне застосування ІАБ

Ключові слова: здобутки ІАБ, течі 1-2, автоматизація, помилки персоналу

Рассмотрен вероятностный анализ безопасности - системный анализ, который позволяет выявить основные источники аварий, разработать необходимые средства и меры по достижению приемлемого уровня безопасности АЭС, а также практическое применение ИАБ

Ключевые слова: достижения ИАБ, течи 1-2, автоматизация, ошибки персонала

The probabilistic analysis of safety - analysis, which allows to educe the basic sources of failures, work out necessary facilities and measures on achievement of acceptable strength of NPP security, and also practical application of PSA, is considered

Keywords: achievements of PSA, leaks 1-2, automation, errors of personnel

ІМОВІРНІСНИЙ АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ ЯК ІСТРУМЕНТ З ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ АЕС

Р.Л. Годун*

Контактний тел.: 096-983-01-63

E-mail: Godun_Roma@mail.ru

С.В. Кравець*

Контактний тел.: 063-674- 44-77

E-mail: Stasuga@ukr.net

*Кафедра атомних станцій та інженерної фізики
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна 03056

1. Вступ

Події в Японії спровокували підняття серед широких мас населення питання підвищення рівня безпеки АЕС. Одним із дієвих інструментів по вирішенню даного питання є імовірнісний аналіз безпеки (ІАБ).

В нашій країні спеціалісти в галузі атомної енергетики ведуть запеклі суперечки на тему доцільності та адекватності застосування принципів та методів ІАБ для обґрунтування безпеки АЕС. Противники ІАБ опираються на те, що детерміновані системи з малим числом степенів свободи поводять себе хаотично, причому випадкова поведінка має принциповий характер, тобто від неї не можливо позбавитися, збираючи більше інформації. Таким чином, знаючи про ймовірність виникнення певної події, ми не маємо жодної інформації коли саме матиме місце дана подія. Багато спеціалістів в галузі атомної енергетики не довіряють методам ІАБ, мотивуючи це тим, що при порівняно невеликому терміну експлуатації обладнання (25-30 років) імовірності порядку $P_1=10^{-7}$ та $P_2=10^{-8}$ не несуть в собі суттєвої різниці, адже не повинні реалізуватися за час експлуатації. *До того ж може бути так, що менш імовірна подія реалізується, більш імовірна взагалі не станеться.* Відповідно виникає запитання чи є зміст в цих цифрах і чи варті вони затрачених на них сил та коштів? У відповідь слід зауважити, що імовірнісні закони стають суворими при збільшенні числа дослідів до безкінечності. Також певним недоліком ІАБ є те, що процеси підда-

ються консервативній обробці, тобто для параметрів і характеристик заздалегідь приймаються значення та ліміти, що призводять до найбільш неблагоприємних результатів. Це відповідно дещо знижує прибуток від експлуатації АЕС.

На противагу вищесказаній точці зору прихильники ІАБ твердять, що більшість прямих логічних послідовностей поведінки такої складної системи як АЕС в різноманітних режимах та умовах являються сильно взаємозв'язаними. Тобто шлях протікання аварійних подій непередбачувано залежить від деяких подій, котрі не зв'язані з вихідною. Саме тому некоректно стверджувати, що процес протікатиме по конкретному сценарію. Правильніше ввести *поняття імовірності протікання процесу по визначеному сценарію.* ІАБ займається розглядом всіх можливих шляхів проходження аварійних подій і виділенням найнебезпечніших сценаріїв, що вносять найбільший вклад щодо небажаних наслідків, більш детальне вивчення цих сценаріїв а також дослідження методів їх попередження. Ці знання виділяють системи безпеки, які потребують першочергового вдосконалення – це і є основним здобутком ІАБ. До того ж будемо чесними перед собою. Спробуйте уявити ситуацію у авіакаси Вам запропонували послуги двох авіа фірм і на ваше прохання пред'явили статистику падінь літаків цих компаній: в одній $P_1=10^{-7}$ (один на десять мільйонів) а в другій - $P_2=10^{-8}$ (один на сто мільйонів). Хоча зрозуміло, що напевно ви не потрапите в авіакастрофу, якщо скористуетесь послугами будь-якої з цих компаній, та я впевнений, що ви виберете авіа

фірму з $P_1=10^{-8}$, що диктується здоровим глуздом та підсвідомим законом самозбереження. Саме тому є дуже дивним те, що ми не прислухаємося до голосу цих двох чинників в питаннях безпеки такої потенційно небезпечної галузі, як атомна енергетика, адже прорахунки та помилки можуть коштувати не одне людське життя, що було уже продемонстровано історією.

Також одним з основних здобутків ІАБ є можливість поглибленого якісного та кількісного дослідження проекту АЕС з точки зору його внутрішніх властивостей а також впливу зовнішнього середовища. Не менш важливим є те, що ІАБ представляє собою *математичний* інструмент для проведення кількісних оцінок ризику і дає можливість побудувати узгоджену інтегральну модель поведінки станції з точки зору безпеки. Як би там не було в нормативних документах МАГАТЕ чітко прописано, що для вдосконалення заходів зменшення ймовірності аварій на АЕС важливим напрямком є розробка імовірнісних критеріїв безпеки і проведення ІАБ для АЕС.

2. ІАБ як інструмент з підвищення рівня безпеки АЕС

В ІАБ *ризик* представляється як деякий імовірний *збиток*. Його вираховують як добуток *імовірності* виникнення можливої шкоди на очікуваний її об'єм. Загальний підхід безпеки ґрунтується на тому, що чим вища імовірність настання небажаної події, тим менш значними мають бути її наслідки. Мірою ризику при його значенні $R=1$ являється ціна життя людини. Спеціалісти водять поняття *добровільного та примусового* ризику. *Примусовий* ризик сприймається людьми більш вороже, так як він розцінюється як додатковий і населення має право вимагати його зниження до мінімально можливого а також отримувати достатній об'єм інформації по здійсненню контролю та управління таким потенційно небезпечним об'єктом як АЕС. Вищесказане підводить до розуміння необхідності висунення перед спеціалістами ІАБ немало важливого завдання – формування та донесення населенню повноцінної, адекватної, числової та логічної інформації щодо рівня такого примусового ризику як АЕС. В перспективі цей напрямок діяльності ІАБ в поєднанні з підвищенням доступності інформації про АЕС повинен змінити той факт, що для більшості населення ризик від АЕС стоїть на першому місці, а це зрозуміло заважає розвитку галузі в цілому (втру лише згадати ситуацію з Кримською АЕС, коли зупинено будівництво на 90% закінченої станції, внаслідок чого було понесено великі фінансові втрати). Населення повинно знати, що ризик від АЕС в дійсності займає 20-те місце і в 1500 разів є нижчим від шкоди нанесеної курінням та вживанням спиртних напоїв (*добровільні ризики*).

Для досягнення цілей ІАБ в повному об'ємі повинні розглядатися всі вихідні події (ВП), що передбачені проектом. Однак враховуючи великий об'єм розрахунків рекомендується як мінімум виконати ІАБ-1 для внутрішніх вихідних подій, включаючи знеструмлення атомної станції (АС). Результатом ІАБ-1 являється частота пошкодження активної зони. При цьому: ідентифікуються аварійні послі-

довності і визначаються їх частоти; ідентифікуються домінуючі елементи в аварійних послідовностях. Самим популярними інструментами розрахунку ІАБ-1 є комп'ютерні коди *Saphire* та *Risk Spectrum*. Цілі ІАБ-1 досягаються побудовою за допомогою комп'ютерного коду *дерева подій (ДП) та дерева відмов (ДВ)*.

ДП – це логічне представлення значних станційних реакцій на ініційовані вихідні події. При чому результатом кожної послідовності може бути або безпечний кінцевий стан – ОК, або пошкодження зони – СД. ДП відображають залежність протікання аварійних послідовностей від систем і функцій безпеки, що є важливими для конкретної вихідної події.

Після визначення і групування ВП визначається реакції АС на кожну групу ВП, тобто формуються аварійні послідовності – послідовності подій, котрі наступають з ВП і ведуть або до «успішного» стану, або до пошкодження зони.

ДВ – логічне представлення імовірних відмов системи (графічна модель різноманітних паралельних і послідовних збігів відмов), котрі призведуть до попередньо визначеної небажаної події). ДВ складаються з базових подій, поєднаних логічними елементами, де логічні елементи представляють булеву операцію базисних подій (відмова обладнання чи помилка персоналу). Оцінюючи (вираховуючи) ДВ, комп'ютерний код визначає мінімальні перерізи системи та імовірність відмови системи. Схеми ДВ точно визначають логічні комбінації базових подій, котрі призводять до небажаної події (вона в схемі являється верхньою).

Використання методології ДП та ДВ являється основним підходом ІАБ, що рекомендується МАГАТЕ. Проте існує проблема при такому моделюванні: визначення рівня деталізації, на якому закінчується моделювання послідовності подій і починається моделювання систем. Це проявляється в двох тенденціях: підхід «малі дерева подій – великі ДВ», при якому залежності між основними і допоміжними системами не відображаються в ДП та підхід «великі дерева подій – малі дерева відмов», при котрому залежності між основними та допоміжними системами знаходять відображення в ДП. Використовуються обидва підходи, адже вони, по суті, еквівалентні. Точний рівень переходу від послідовності подій до моделювання систем вибирає сам інженер, що виконує моделювання.

На останньому етапі якісного аналізу надійності систем безпеки виконується представлення умов невиконання функцій безпеки у вигляді *мінімальних перерізів* – логічної множини K початкових подій, що обумовлюють відмову системи, при умові, що множина $(K-1)$ подій із цього набору K подій не повинна призвести до відмови системи. Набір мінімальних перерізів системи однозначно визначений її деревом відмов і може бути отриманий вручну або за допомогою ЕОМ при використанні спеціальних алгоритмів вибору мінімальних перерізів. Суть алгоритмів в отриманні булевого виразу для умови відмови системи безпосередньо по дереву відмов і подальшій оптимізації цього виразу на основі правил алгебри логіки.

Для досягнення цілей ІАБ також виконується ІАБ-2, який визначає при пошкодженні активної зони кількість радіоактивних продуктів, їх ізотопний склад а також оцінку ймовірностей чи частот вищезгаданих подій. Існує ІАБ-3, що виконується для розробки плану дій по захисту населення, містить аналіз розповсюдження радіоактивних продуктів при запроектованих аваріях. Рівень ІАБ-0 визначений для тих же цілей, що і ІАБ-1, але для стадії проектування. Для оцінки проведених заходів з безпеки виконується «живий ІАБ», в якому враховуються всі зміни, що проводяться на енергоблоці під час ремонтів та техобслуговування.

Як приклад практичного застосування ІАБ можна навести роботу головного технічного відділу АЕС публічного акціонерного товариства «Київський науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «ЕНЕРГОПРОЕКТ», в якій у рамках побудови та дослідження імовірнісної моделі енергоблоку №4 РАЕС для цілей модернізації було розроблено оргтехзахід по управлінню аварією з протіканням теплоносія з першого контуру в другий. Завданням було отримання кількісної оцінки впливу запропонованої автоматизованої стратегії управління аварією на безпеку блоку.

Вищезгаданий оргтехзахід був реалізований в межах методики формування переліку заходів з підвищення безпеки на основі ІАБ-1, яка передбачає декілька **процедурних кроків**: *ідентифікація дефіциту безпеки та виявлення недоліків проекту* (аналізуються кількісні та якісні результати проведення робіт з ІАБ), *визначення заходів з підвищення безпеки* (ціль – визначення заходів, що компенсують виявлені дефіцити, для чого з точки зору потенційного зростання рівня безпеки виконується аналіз систем енергоблоку, проектної та експлуатаційної документації, підходів до моделювання дій персоналу, АП, систем) *та оцінка запропонованого впливу на рівень безпеки* (співвідносяться зміни, що оцінюються та пропонуються до існуючого(их) елементу(ів), і якщо такий зв'язок не виявлено, або зміни не можна належним чином проаналізувати в рамках існуючих імовірнісних моделей, то в деяких випадках виконується модифікація моделі або ж її доповнення новими логічними моделями; у випадку, коли запропоновані заходи хоча і співвідносяться з імовірнісною моделлю, але не потребують будь-яких змін в існуючій, додатковий аналіз спрямовується на визначення можливості використання існуючих результатів ІАБ чи необхідності виконання додаткових аналізів значимості і/або чутливості; зазначимо, що в ході виконання оцінки також враховується ефект наслідку нових міжсистемних/елементних залежностей та після того, як відповідні зміни вносяться в імовірнісну модель, для більшості заходів проводиться кількісна оцінка основних показників ризику для енергоблоку).

Реалізація запропонованих заходів фактично спрямована на підвищення ефективності існуючих систем і обладнання в аварійних ситуаціях, що дозволяє значно підвищити надійність основних функцій безпеки та знизити кількісні показники частоти пошкодження АкЗ та величину викиду радіоактивних речовин за межі гермооб'єму. Крім того було

проведено порівняння отриманих результатів з переліком ЗПА, що рекомендуються регламентуючими документами. З урахуванням аналізу кількісних результатів ІАБ-1, а саме домінуючих вкладників в ЧПАЗ, стає зрозуміло, що перелік ЗПА повинен бути уточнений. В перелік необхідно додати сценарії, серед яких: середні протікання із 1-го в 2-й контур з відмовою розхолодження по 2-му контуру, протікання із 1-го в 2-й контур з відмовою функції ізоляції аварійного ПГ.

Методика кількісної оцінки містить наступні дії (*етапи*):

1. Процес опису вхідних даних для аналізу аварійних послідовностей, який містить частоти ВПА, отриманих на етапі ідентифікації та групування вихідних подій аварій.

2. Процес опису кількісної оцінки, в межах якого виконуються наступні процеси: *інтегрування системної логіки* (окремо існуюча логіка дерев відмов і опису завантажується через MART - D файли з розширеннями DLS (FTL, BEA, GTD) и FTD в один інтегрований проект/файл), *інтеграції бази даних по базових подіях* (окремо існуючі бази даних з базовими подіями ІАБ завантажено через MAR - D файли з розширеннями BED, BEA і BEI в один інтегрований проект/файл), *інтеграції правил відновлення системної логіки* (окремо існуючі правила відновлення системної логіки завантажено через MAR - D файли з розширеннями FAS в один інтегрований проект/файл).

3. Процес опису інтеграції логіки аварійних послідовностей, який передбачає наступні: *інтеграції дерев подій* (для кожного ДС було присвоєно вихідну подію аварії, включений набір верхніх подій ДС, відповідний функціям безпеки, розроблена логіка аварійних послідовностей і для кожної аварійної послідовності визначений кінцевий стан; зазначимо, що в цілях мінімізації логіки ДП, логіка, яка зустрічається та повторюється для ряду ДП була реалізована в додаткових ДП, які являються дочірніми по відношенню до тих що були розроблені для аналізу ВПА і не включають частоту ВПА та не вимагають процедури генерування АП за допомогою процедури Link Trees), *функціональних дерев відмов* (виробляється логічне зв'язування дерев подій, що розробляються у рамках завдань з моделювання АП і дерев відмов, розроблених у рамках системного аналізу), *набору ознак* (в цілях привласнення аварійним послідовностям тих або інших характерних станів відповідних умовам розвитку аварійного процесу створюються набори ознак), *привласнення послідовностям наборів ознак* (розроблюються правила, що представляються в проекті файлом з розширенням ETR, зв'язування послідовностей, після чого код SAPHIRE може підтримувати індивідуальні групи прапорів для конкретних послідовностей), *зв'язування послідовностей* (виконується логічне зв'язування ДС і функціональних ДО за допомогою вбудованої функцією коду SAPHIRE "зв'язування послідовностей").

Після виконання вищевказаних дій генеруються аварійні послідовності, домінуючі перерізи і відповідно отримуються ЧПАЗ. Зазвичай для детальнішого аналізу енергоблоку, вихідні події і домінуючі аварійні послідовності, представлені в межах трьох

основних груп ВПА : аварії з втратою теплоносія 1-го контуру, перехідні процеси, спеціальні ініціатори. Як приклад, для енергоблоку №4 РАЕС вклад ВПА має вигляд , представлений на рис. 1.

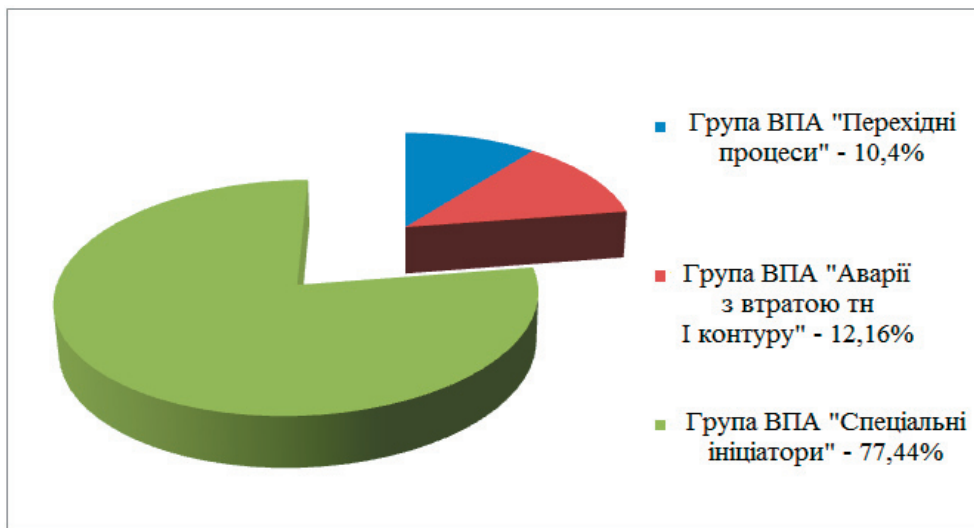


Рис. 1. Вклад груп ВПА в сумарну ЧПАЗ

Спеціальними ініціаторами є події, що призводять разом з необхідністю зупинки реактор і до залежної відмови чи не ефективної роботи однієї або відразу декількох систем, потрібних для підтримки енергоблоку в безпечному стані. До спеціальних ініціаторів відносяться такі події, як відмова забезпечуючи систем, течі з першого в другий контур, розриви паропроводів гострої пари, а також розрив корпусу реактора. ЧПАЗ в результаті виникнення подій спеціальних ініціаторів складає 77,44% від сумарної.

Найбільш значущою з точки зору ризику в межах групи являється ВПА(Т41) "Мала теча з 1-го в 2-й контур" (53% у межах групи).

З вищесказаного впливає практична цінність ІАБ: під час комплексної, інтегральної побудови імовірнісної моделі енергоблоку було виявлено проблемне місце – протікання 1-2, які вносять вагомий вклад в інтегральний показник ризику, що безумовно домінує на загальному фоні внутрішніх ВП. Відповідно проблема зниження ризику, пов'язаного з Т41 та Т42, являється актуальним питанням.

Як показують результати ІАБ для внутрішніх ВП, найбільш вагомими та найнебезпечнішими аварійними послідовностями для середніх протікань являються аварійна послідовність (АП) з невиконанням функції безпеки «Управління тиском 1-го контуру», що веде до втрат теплоносія за межі ГО і як наслідок опорожнення баків приямків ГО та пошкодженню активної зони при високому тиску, і АП з невиконанням функції безпеки «Управління тиском 1-го контуру» та не ізоляцією аварійного ПГ по парі.

Після досліджень мінімальних перерізів, з яких складаються вищезгадані аварійні послідовності стає зрозумілим, що вони містять події, пов'язані з помилками персоналу (ПП), а саме: ПП по переводу

на рециркуляцію насосів ТQ13, ПП по ізоляції аварійного ПГ по продувці, ПП по управлінню арматурою аварійного газовидалення для зниження тиску першого контуру.

Характер мінімальних критичних перерізів ще однієї домінуючої АП, пов'язаної з втратою функції відводу тепла другим контуром в режимі розхолодження, при чому кінцевий стан характеризується пошкодженням АкЗ при високому тиску, вказує на переважання подій з ПП: ПП по переводу БРУ-А в режим розхолодження, ПП по переводу БРУ-К в режим розхолодження, ПП по закриттю БЗОК неаварійного ПГ, на якому виконується розхолодження.

Аналізуючи вищесказане, стає зрозуміло, що в основі домінуючих аварійних послідовностей для середніх протікань 1-2 лежать події з помилками персоналу.

Важливо відмітити, що висока залежність логіки АП від дій персоналу продиктована існуючими вимогами регламентуючих документів АЕС. Для розглянутого типу аварій документи передбачають виконання великої кількості операцій операторами, багато з яких дійсно критичні по відношенню до стратегії управління аварією, адже не існує жодного сценарію послаблення протікання з першого контуру в другий, який би успішно реалізувався без втручання оперативного персоналу.

До того ж сама аварія накладає додаткові умови для її подолання, адже маємо справу не лише з основним критерієм ІАБ, а й з необхідністю дотримання першого проектного ліміту по температурі палива (1200°С) та обмеження виходу радіоактивних речовин за межі герметичної оболонки. Відповідно суттєво збільшується кількість необхідних функцій безпеки та систем, що їх реалізують.

В процесі реалізації методики формування переліку заходів з підвищення безпеки на основі ІАБ-1 було виявлено, що дана проблема вирішується автоматизацією управління протіканням. Суть даного заходу представлена далі.

Удосконалений алгоритм передбачає заміну ряду дій персоналу, що безпосередньо впливають на послаблення аварії, роботою систем автоматики. Також змінюється якісний склад деяких технологічних операцій та дій персоналу. Оновлений алгоритм передбачає ряд дій, що враховуються в імовірнісній моделі енергоблоку, тобто їх вплив можна наглядно кількісно оцінити і проаналізувати за допомогою коду та ДП, ДВ (введення заборони на відкриття БРУ-А на аварійному ПГ, автоматичне закриття БЗОК аварійного ПГ, повністю автоматизоване управління

САОЗ ВТ, ізоляція аварійного ПГ по основній та аварійній живильній воді, автоматичний запуск прискореного розхолодження РУ зі швидкістю 60°C/год через БРУ-К (БРУ-А) непошкоджених ПГ), а також перелік оргтехзаходів, що не враховуються імовірнісною моделлю, та являються необхідними для успішного управління аварією (введення додаткової сигналізації БЩУ для ідентифікації аварії, тобто появляється табло “Протікання 1-2, ПГ_N”(N – номер пошкодженого ПГ), відключаються із заборобою автоматичного включення всі групи ТЕН КТ, не дозволяється закриття СК ТГ (щоб не відкривались ПП аварійного ПГ по тиску в паропроводі), другий та третій канали САОЗ ВТ відключаються по факту формування сигналу “Протікання 1-2, ПГ_N” та при зниженні початкового тиску в неаварійних ПГ до вказаного значення (являється функцією тиску в аварійному ПГ), відновлення рівня в компенсаторі тиску до 4,2 м і створенні запасу до температури насищення більше 20°C).

Водночас увага акцентується на тому, що згідно з аналізом аварійних послідовностей, виконаним як частина ІАБ-1 для внутрішніх вихідних подій, робота систем автоматики і безпеки без втручання персоналу не дозволяє справитися з наслідками аварії і перевести РУ в безпечний стан, яким для даного типу аварій являється «холодна зупинка».

З врахуванням змін, передбачених оновленням алгоритмом, за допомогою програмного коду побудували ДП та ДВ, згенерували та дослідили аварійні послідовності та мінімальні перерізи, провели відповідні розрахунки, що дає змогу кількісно оцінити вплив запропонованих змін на безпеку енергоблоку.

При реалізації оргтехзаходу вклад ВПА «протікання 1-2» в ЧПАЗ зменшується в 3 рази. Зміна сумарної ЧПАЗ на рівні 5%, а ЧПАВ на 10% відповідно.

Аналіз висновків конкретної вищерозглянутої роботи вказує на актуальність та необхідність виконання ІАБ для цілей безпеки АЕС, а саме: чітко вказує на те, що в основі домінуючих аварійних послідовностей для протікань 1-2 (ВПА, що вносять вагомий вклад в сумарну ЧПАЗ) лежать події з по-

милками персоналу та наглядно кількісно показує на зміни безпеки при впровадженні автоматизованого алгоритму (зміна ЧПАЗ). Завдяки інструментам ІАБ ми визначаємо «найпроблемніші місця», які потребують особливої уваги і відповідно отримуємо найперспективніший та найактуальніший вектор для модернізації обладнання та удосконалення систем безпеки, а числові результати дають змогу застосовувати їх для різних цілей: для інформування населення про ступінь безпеки та звітування перед контролюючими органами, для прийняття рішень про найбільш корисне використання матеріально-технічних ресурсів з точки зору безпеки, тобто ІАБ може бути обґрунтованою, узгодженою основою та ефективним інструментом для прийняття рішень на основі кількісного порівняння оцінок ризику, адже можна співставляти та порівнювати варіанти запропонованих змін та альтернативних рішень в абсолютно різних проектах та технічних областях АС та співвідносити їх до відповідних затрат. До того ж ІАБ послідовно враховує всі міжсистемні та між елементні залежності, які ігноруються або недооцінюються при прийнятті рішень на основі просто детермінованого аналізу, інструментам ІАБ доступні унікальні методології по дослідженню та аналізу людського фактору та можливості по уточненню з урахуванням аналізу кількісних результатів ІАБ-1 (домінуючих вкладників в ЧПАЗ) переліку ЗПА.

Вкінці хотілось би сказати, що подальше інтегрування ІАБ та детермістичного обґрунтування безпеки (наприклад, залучення ІАБ для перевірки детермістичного проектування) дозволить отримати абсолютно нову точку зору на рівень безпеки АЕС, адже об’ємний і все сторонній аналіз дозволяє отримати цілісну оцінку надійності РУ і рівня її безпеки, що дозволить реалізувати на практиці, взятий за основу в питаннях безпеки у багатьох країнах, принцип АЛАРА (ALARA - *любий ризик повинен бути зниженим настільки, наскільки це являється практично можливим, або ж до рівня, котрий являється настільки низьким, наскільки це розумно досяжно*).

Література

1. Вероятностный анализ безопасности атомных станций: учеб. пособие / В.В.Бегун, О.В.Горбунов, И.Н.Каденко, Е.Н. Письменный, А.Ю. Зенюк, Л.Л. Литвинский – К., 2000. – 568 с.
2. Ровенская АЭС. Энергоблок №4. Окончательный отчет по анализу безопасности. Том 19. Глава 19. Вероятностный анализ безопасности. Часть 3. Количественная оценка. 38-223.203.003.ОБ.19.03. – ПАТ “КИЭП”, 2005.
3. Ровенская АЭС. Энергоблок №4. Модернизация. Мероприятие 12411. Разработка оргтехмероприятия по управлению аварией: течь теплоносителя из первого контура во второй эквивалентным сечением Ду 100. Отчет по анализу безопасности. 38-603.203.017.ОБ00. – ПАТ “КИЭП”, 2009.