

УДК 621.039.58

**С. І. Азаров**, д. т. н., ст. наук. співр., провід. наук. співр.

Інститут ядерних досліджень НАН України  
пр. Науки, 47, м. Київ, Україна, 03680

**В. Л. Сидоренко**, к. т. н., доц., проф. каф.

Інститут державного управління у сфері цивільного захисту  
вул. Вишгородська, 21, м. Київ, Україна, 04074

**О. С. Задунай**, нач. центру

Державний науково-дослідний інститут спеціального зв'язку та захисту інформації  
вул. Залізняка, 6, м. Київ, Україна, 03142

## ЩОДО ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ АТОМНИХ СТАНЦІЙ УКРАЇНИ

У статті надається стислий опис методології імовірнісного аналізу безпеки, що застосовується в даний час для вирішення питань з безпеки в процесі експлуатації атомних станцій з реакторами ВВЕР. Розглядаються її переваги та недоліки. Показано, що проблема оцінки ризику в умовах невизначеності стану атомної станції займає домінуюче місце в загальній проблемі прийняття рішень. Наведено алгоритм імовірнісного аналізу безпеки атомних станцій та етапи його проведення. Перелічено проблеми, які повинні вирішуватися при оцінці безпеки атомних станцій за допомогою імовірнісного аналізу безпеки. Зазначаються причини значних невизначеностей імовірнісного аналізу безпеки. Приведено додаткові імовірнісні і ризик-орієнтовані показники і критерії для обґрунтування галузевих заходів щодо підвищення надійності управління аваріями на атомних станціях. Зроблено висновки про те, проведені у роботі дослідження не дають можливості обґрунтовано використовувати існуючі та розробляти нові технічні та організаційні заходи, що дозволяють знижувати частоту виникнення аварій до нормованого рівня.

**Ключові слова:** атомна станція, безпека, аналіз, ризик, реактор, потенційна небезпека, аварія, наслідки.

**Постановка проблеми.** Станом на 2017 р. в Україні експлуатується чотири атомні станції (АС) до складу яких входить 15 енергоблоків. За встановленою потужністю енергоблоків АС Україна посідає 7 місце в світі. Загальна встановлена потужність діючих українських енергоблоків складає 13835 МВт(ел.). Значущість атомної енергетики в Україні останніми роками суттєво підвищилась. До 2016 року майже 50 % електроенергії ОЕС України генерувалось вітчизняними АС, а останніми роками ця частка для окремих календарних місяців перевищувала показник 65 %.

Атомні станції внаслідок накопичення в процесі експлуатації значної кількості радіоактивних продуктів і наявності принципової можливості виходу їх при аваріях за передбачені межі представляють собою джерело потенційної небезпеки або джерело ризику радіаційного впливу на персонал, населення і навколишнє середовище. Ступінь радіаційного ризику прямо залежить від рівня безпеки АС, яка є одним з основних властивостей АС, що визначають можливість їх використання в якості джерела теплової та електричної енергії.

Відповідно до документа [1] поняття (або термін) «Безпека АС» визначено як «властивість АС при нормальній експлуатації і порушень нормальної експлуатації, включаючи аварії, обмежувати радіаційний вплив на персонал, населення і навколишнє середовище встановленими межами».

АС, що експлуатуються на даний час, є джерелами енергії, що задовольняють найжорсткішим екологічним вимогам в умовах їх

нормальної експлуатації. Вони повинні відповідати дуже жорстким міжнародним нормам [2]:

– щорічна імовірність тяжкого пошкодження АС не повинна перевищувати величини  $1 \cdot 10^{-5}$  на один реактор;

– імовірність виходу радіоактивних речовин (РР) за межі герметичної оболонки АС –  $1 \cdot 10^{-7}$ ;

– радіаційний вплив АС на населення та навколишнє середовище не повинен перевищувати ~1 % дози, що отримується від джерел природної радіації.

Потенційна небезпека виникає під час аварій, в процесі яких накопичені в тепловиділяючих елементах (твелах) та теплоносії 1-го контуру радіоактивні продукти можуть виходити за передбачені границі в кількостях, що перевищують встановлені для нормальної експлуатації межі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Над проблемою дослідження безпеки АС працює багато вітчизняних і закордонних спеціалістів та науковців. Різні аспекти та окремі підходи до дослідження цієї проблеми висвітлено в чисельних працях, наприклад, [2–4], але через те, що цей процес є безперервним, постійним і надзвичайно актуальним, дослідження тривають.

Так, використовуючи класичну методологію імовірнісного аналізу безпеки (ІАБ) аварійних подій на АС не стає менш. Більшість наукових праць відмічають переваги методології ІАБ, що застосовується в даний час для вирішення питань з безпеки в процесі експлуатації АС з реакторами ВВЕР, але мало хто вказує на її недоліки. Недостатня увага приділяється і до відносно малоімовірних аварійних подій на АС, які мають

катастрофічні наслідки. Постає питання доцільності використання класичної методології ІАБ, яке майже не порушується в останніх публікаціях.

#### **Постановка завдання та його вирішення.**

Загальноприйняті в світовій практиці атомної енергетики, в тому числі і в Україні, підходи до аналізу безпеки АС засновані на оцінках інтегральних імовірнісних показників безпеки їх роботи [5]. Інтегральна імовірність виникнення тяжкої аварії (з пошкодженням ядерного палива) для сучасних АС повинна становити менш ніж  $10^{-4}$  –  $10^{-5}$  (1/реактора-років), а інтегральна ймовірність наднормативного радіаційного викиду – менше ніж  $10^{-6}$  –  $10^{-7}$  (1/реактора-років) [6].

Аварія в 2011 році на 1–4 енергоблоках АС Fukushima-Daiichi, а також серії інцидентів і аварій на ряді інших АС в різних країнах світу виявили певну обмеженість загальноприйнятих підходів до аналізу та оцінками безпеки АС, що експлуатуються. Так, наприклад, всі аварійні енергоблоки АЕС Fukushima-Daiichi відповідали зазначеним встановленим імовірнісним критеріям безпеки, однак, уникнути великої аварії (максимальний 7-й рівень за шкалою МАГАТЕ), що мала катастрофічні екологічні наслідки, не вдалося. Події, що відбулися на АС Fukushima-Daiichi, змусили все світове ядерне співтовариство і державні органи регулювання ядерної безпеки знову (після Чорнобильської катастрофи) повернутися до необхідності перегляду підходів до оцінки (інакше, до переоцінки) безпеки всіх діючих АС [7]. Одним з основних виявлених концептуальних недоліків існуючих загальноприйнятих підходів до оцінки ядерної та радіаційної безпеки АС слід визнати недостатню увагу до відносно малої ймовірності аварійних подій, які мають катастрофічні наслідки.

У той же час необхідно відзначити, що проведені Державною інспекцією ядерного регулювання України (ДІЯРУ) «стрес-тести» за оцінкою (переоцінкою) безпеки діючих АС після аварії на АЕС Fukushima-Daiichi фактично не виявили нові «дефіцити» безпеки щодо зовнішніх екстремальних подій природного характеру [8, 9]. Однією з можливих причин таких результатів «стрес-тестів» можна вважати недостатнє врахування цілого ряду відносно малої ймовірності аварійних подій внаслідок недостатнього використання в існуючих підходах до оцінки безпеки обґрунтованих методів моделювання процесів, які викликають ці події, що в свою чергу вимагає вдосконалення методологічних основ концепції розробки ефективних стратегій управління відносно малої ймовірності тяжкими аваріями на АС.

Тому, вдосконалення існуючих підходів і методів у рамках загальної концепції аналізу та забезпечення техногенної безпеки АС, що враховують відносно малої ймовірності аварійні події з катастрофічними наслідками, формалізація на їх основі наукових обґрунтувань положень і принципів, а також організація практичних заходів щодо забезпечення безпеки АС є актуальною проблемою державного значення.

АС являють собою складні людино-машинні системи, що мають ряд специфічних особливостей, наявність яких визначає необхідність розробки на основі використання методів теорії ймовірностей і теорії надійності, спеціальної методології для проведення комплексних досліджень і оцінки безпеки таких об'єктів.

Аналізи безпеки АС – це аналітичні оцінки фізичних явищ, що відбуваються при їх нормальній експлуатації та в умовах аварійних подій (в тому числі малої ймовірності). Сучасні вітчизняні вимоги до аналізу та обґрунтування безпеки АС передбачають використання імовірнісних методів як необхідної умови повноти дослідження безпеки на всіх етапах життєвого циклу систем і устаткування ядерної енергоустановки. Відповідно до рекомендацій МАГАТЕ [6] результати оцінки безпеки належить використовувати для прийняття рішень з використанням інтегрованого ризик-інформованого підходу при якому результати та інформація, отримані в ході імовірнісних оцінок враховуються в сукупності в процесі прийняття рішень з питань безпеки.

На даний час такою загальноприйнятою методологією аналізу безпеки АС є традиційна класична методологія ІАБ [10]. В ній враховуються специфічні особливості АС, включаючи різноманіття експлуатаційних станів АС, конфігурацій або структур важливих для безпеки систем, режимів їх використання та проведення технічного обслуговування і ремонтів, видів і наслідків відмов систем, обладнання, елементів і помилкових дій експлуатаційного персоналу щодо впливу їх на виникнення вихідних подій аварій та виконання заданих функцій безпеки. Предметом дослідження ІАБ є так звані рідкісні події з можливими небажаними наслідками. Методологія ІАБ має прийнятну точність і практичну значущість, якщо всі її обмеження належним чином виконуються. Не існує чіткого кількісного критерію, що розділяє події з порушенням нормальної експлуатації і рідкісні події (наприклад, за частотою виникнення).

Проблема оцінки ризику в умовах невизначеності стану АС займає домінуюче місце в загальній проблемі прийняття рішень. Метою оцінок ризику є розробка рекомендацій щодо підвищення рівня безпеки АС (управління ризиком) на основі аналізу результатів оцінок ризику, що включає визначення домінуючого вкладу в нього, аналіз значущості, чутливості і невизначеності результатів оцінки. Основний внесок в ризик можуть вносити відмова обладнання і систем безпеки, відмова через загальні причини і людський фактор (персонал). Імовірнісний аналіз безпеки за своєю суттю націлений на визначення ймовірностей розвитку всіляких процесів (сценаріїв) на АС за початкових подій, що задаються. Як і ймовірність вихідних подій, так і ймовірності розвитку ініційованого процесу є предметом аналізу ІАБ. Паралельно йде аналіз станів АС, включаючи заданий кінцевий стан, що визначає наслідки. На виході ІАБ представля-

ється функція розподілу ймовірності певних наслідків або чисельні характеристики такого розподілу. Характеристикою ймовірнісної невизначеності є дисперсія такого розподілу або середньоквадратичне відхилення, що відображають усереднене значення можливих відхилень величини наслідків від математичного очікування. Чим менше відношення дисперсія – математичне очікування, тим менше невизначеність можливої величини наслідків.

Методологія ІАБ складається з таких кроків [11]:

1) постулювання або відбір вихідних подій аварій;

2) визначення можливих шляхів розвитку аварій (побудова «дерев подій»);

3) створення банку даних по надійності систем і елементів;

4) аналіз надійності систем безпеки;

5) облік людського чинника, що визначає надійність функціонування систем АС;

6) аналіз фізико-хімічних процесів при всіх можливих шляхах розвитку аварій;

7) оцінка ризику в прийнятій інтерпретації.

Етапи проведення ІАБ наведено на рисунку 1.

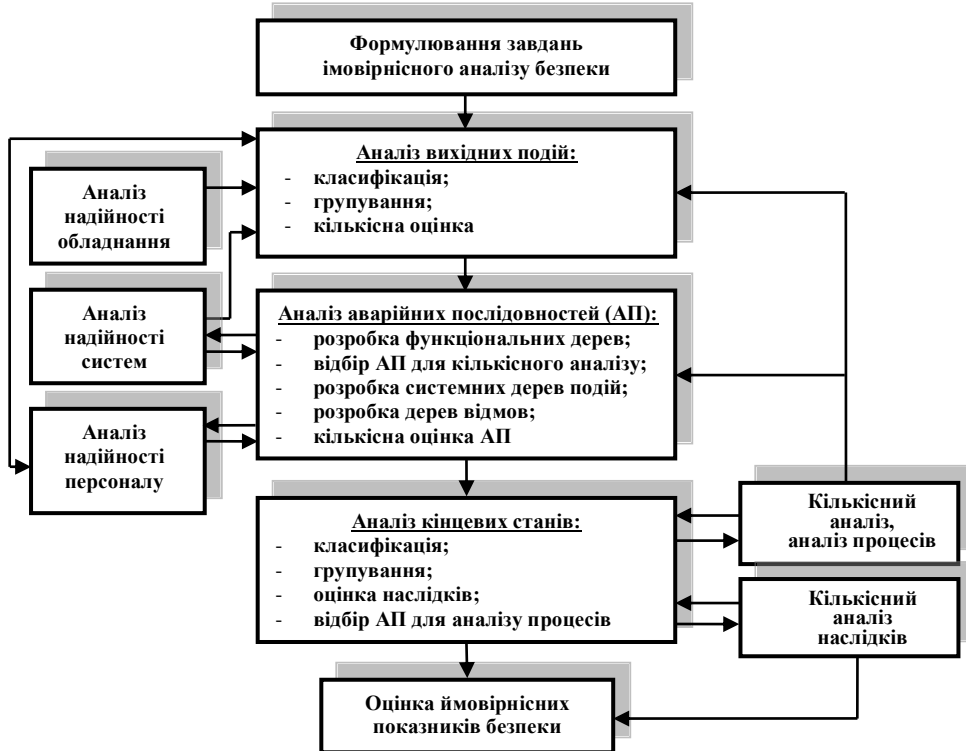


Рисунок 1 – Етапи проведення імовірнісного аналізу безпеки АС

Призначення ІАБ для АС – це оцінка рівня безпеки АС в імовірнісних кількісних показниках (імовірність пошкодження активної зони реактора, імовірність граничного аварійного викиду тощо) та підтвердження їх відповідності вищезгаданим міжнародним вимогам з безпеки.

На даний час ІАБ для АС виконується в кілька етапів [12]:

– ІАБ-1 – змістом якого є розробка ймовірнісної моделі блоку АС для визначення фінальних станів з пошкодженням джерел радіоактивності й оцінки значень ймовірностей їх реалізації;

– ІАБ-2 – змістом якого є розробка ймовірнісної моделі блоку АС для визначення розподілу аварійних викидів і наслідків аварій;

– ІАБ-3 має на увазі аналіз поширення радіоактивних речовин, що викидаються за межі герметичної оболонки, оцінку створюваних при цьому доз опромінення, розрахунок комплексних показників безпеки, включаючи оцінку ризику від АС.

ІАБ виконується для всіх експлуатаційних станів станції, в тому числі і для станів із зупиненим

реактором, для всіх видів внутрішніх і зовнішніх впливів. Для розробки ймовірнісних моделей ІАБ АС використовується метод дерев подій та дерев відмов.

Багаторічний досвід застосування ІАБ в ядерній енергетиці показав його високу ефективність у разі вирішення наступних завдань [4]:

– оцінка ефективності заходів (модернізацій) щодо підвищення безпеки;

– обґрунтування інструкцій (керівництв) з управління аваріями;

– порівняльний аналіз рівня безпеки різних енергоблоків АС;

– виявлення домінантних груп аварійних процесів, специфічних для кожного реактора;

– визначення «дефіцитів» безпеки, тобто найбільш вразливих місць для забезпечення безпечної експлуатації та ін.

Однак досвід також показав, що застосування ймовірнісних показників в якості нормативів безпеки недоцільно і необґрунтовано. Незважаючи на широке поширення ймовірнісних моделей для оцінки безпеки АС, що експлуатуються в Україні,

вони мають ряд суттєвих недоліків. Якщо не брати до уваги споконвічне для всіх дослідників питання отримання достовірних вихідних даних, то під час проведення оцінки безпеки АС за допомогою ІАБ необхідно вирішувати такі проблеми:

1) побудова динамічних (таких, що найбільш відповідають реаліям і потребам практики) моделей АС, що складаються з сотень і тисяч елементів (проблема розмірності);

2) автоматизація та формалізація процесів моделювання та розрахунку (проблема правдивості отриманих результатів і спосіб вирішення проблеми розмірності);

3) моделювання процесів функціонування та організаційних відносин між підсистемами та елементами АС (проблема адекватності моделей);

4) визначення множин працездатних станів АС, врахування багаторежимності і багатofункціональності її систем і елементів, широти діапазону зовнішніх умов застосування за призначенням (проблема адекватності і достовірності);

5) моделювання умов впливу уражаючих факторів на АС (проблеми адекватності, достовірності і розмірності);

6) моделювання процесів відновлення технічних засобів, що відмовили і дій обслуговуючого персоналу (проблеми розмірності, вихідних даних, достовірності);

7) оцінка стійкості підсистем і елементів АС до несприятливих впливів (проблема вихідних даних).

Можна стверджувати, що найбільш гостро стоїть проблема розмірності, а всі інші проблеми певною мірою зводяться до неї. Принциповою складністю, також є отримання інформації про поведінку параметрів АС у численних станах, які диктуються деревами подій, що вимагає статистичних методів і математичних моделей, довготривалих спостережень для встановлення стійких рядів даних згідно із законом великих чисел. Проведення ІАБ в сформованому поданні, коли немає ще інженерно-технічного опрацювання всіх систем АС – річ нереальна. Наближеність можливих оцінок вносить значний вклад в невизначеність одержуваних результатів.

Згідно із сучасними математичними уявленнями невизначеність аналізу досягнення (недосягнення) заданих критеріїв ефективності може бути віднесена до одного з двох основних типів: випадковому (імовірнісному) і нечіткому (теорія можливостей, теорія нечітких множин та ін.). Традиційні підходи до управління ризиками ґрунтуються на оцінці можливих наслідків потенційних подій. Вони не зовсім придатні до вкрай малоімовірних ризиків з серйозними наслідками, оскільки навіть якщо чекати настання цих подій, їх наслідки не вкладаються в передбачувані межі.

Проблема ускладнюється тим, що в процесі проведення ІАБ часто недооцінюється розмір невизначеностей вихідних даних. В результаті оцінки будуть більш невизначеними, ніж заявляється. Невизначеність збільшується, якщо є кореляція між

вихідними даними. У випадку великої невизначеності вхідних даних їх значна кореляція веде до такого великому розміру невизначеностей результатів, що вони стають практично безглуздими.

Інформація про характеристики випадкових вхідних даних у вигляді функції щільності ймовірності або її численних характеристиках формується на підставі відповідних статистичних даних. Оскільки статистичні дані щодо надійності і безпеки для різних підсистем АС відсутні, виникає задача адаптації наявних даних для подібних підсистем і елементів діючих АС.

Основною проблемою є недостатня повнота адекватної бази даних. Не існує однозначних критеріїв її визначення і немає однорідної документації про неї. Вноситься велике свавілля, коли для конкретної АС виділяють дані і коли їх комбінують, використовуючи різні джерела.

Необхідне створення достовірних баз даних за показниками надійності систем, обладнання, устаткування та елементів ядерних енергоустановок, які є вихідними даними для розробки логіко-імовірнісних моделей ІАБ і виконання розрахунків. Використання недостовірних вихідних даних призводить до спотворення результатів ІАБ. Процес формування необхідної бази даних поряд з наявною статистичною інформацією носить вольовий експертний характер. До ймовірнісної невизначеності тут додається суб'єктивна невизначеність, пов'язана з рішеннями експертів. Необхідна розробка консолідованої методики для визначення показників надійності пасивних елементів (корпусного обладнання реакторів і турбін, трубопроводів, теплообмінників та ін.).

Методика імовірнісних розрахунків на міцність пасивних елементів відпрацьована в повному обсязі, а вихідні дані для неї часто задаються на підставі експертно-нормативного підходу, без урахування реальної дефектності матеріалів і надійності засобів контролю. Не виконується аналіз чутливості результатів розрахунків до змін вихідних даних, відсутні оцінки невизначеності, що призводить, зокрема, до значних розбіжностей в оцінках частот ініціюючих подій.

Зазвичай методологія ІАБ базується на незалежних відмовах, залежні ж відмови враховують на пізньому етапі, причому існуюча обробка даних неповна. Слід зазначити, що база даних залежних відмов особливо мала. Залежності між інтенсивностями відмов і вихідними подіями приймаються в розрахунок недостатньо. Відсутні методики або моделі, що дозволяють отримувати надійні результати з досить вузьким діапазоном невизначеностей. Розрахунок однієї і тієї ж АС різними групами аналітиків може привести до результатів, що відрізняються на декілька порядків. Це ще одна причина значних невизначеностей ІАБ. Сучасні оцінки дають занадто мале значення імовірнісних показників через неповне врахування лише залежних відмов, навіть якщо всі інші проблеми ігноруються. Необхідно створити бази

даних для моделювання відмов загального вигляду великої розмірності, коли число резервних елементів в групі обладнання, що аналізується, перевищує чотири пасивних елементи (зворотних клапанів, теплообмінників, повітряних затворів та ін.).

На АС, що експлуатуються, в ряді випадків часто відсутня в повному обсязі необхідна технічна документація, що регламентує виявлення і аналіз рідкісних, малоімовірних подій з відмовами загального вигляду, результатом чого є відсутність експлуатаційної бази даних по вказаних подіях. Необхідно моделювання відмов загального вигляду багатоканальних систем зі зниженим впливом факторів спільності, збільшення розрахункового інтервалу моделювання роботи систем у разі виникнення аварії (більше 24 год після виникнення ініціюючої події) і оцінка неготовності через виведення у позаплановий ремонт устаткування систем безпеки.

В ІАБ береться до уваги тільки простий вид людських помилок – необачність, похибка. З ІАБ виключені складні форми помилок людини, непередбачувані фізичні процеси, саботаж, терористичні акти, багато видів неочікуваних дефектів. Вони включають в себе наступні категорії: напруги трубопроводів, що перевищують допустимі значення; неправильна установка обладнання; втрата пожежостійкості електричних кабельних проходок; помилки в електромережах і контрольних контурах; несейсмостійке виконання приладових панелей. У більшості випадків такі дефекти не можуть бути включені в ІАБ, так як непередбачувані і немає адекватної бази для оцінки імовірностей відмови.

Результати ІАБ, швидше за все, – індикатор ризику обмеженого масштабу, корисний тільки для обмежених цілей. Критики практичного використання ІАБ вважають, що існуюча інтерпретація отриманих результатів ІАБ вводить в оману і повинна бути змінена.

Однак наведені висновки не відкидають доцільність ІАБ. Навпаки, вони вказують на необхідність розширення можливостей його застосування, наприклад, у вигляді ризик-орієнтованого підходу в атомній енергетиці. Перспективним питанням стає розширення його можливостей у частині вирішення конкретних практичних завдань щодо підвищення безпеки АС, в тому числі, і застосування таких додаткових імовірнісних і ризик-орієнтованих показників і критеріїв для обґрунтування галузевих заходів щодо підвищення надійності управління аваріями:

– імовірнісний показник ризику відмови

(непрацездатності) системи (в тому числі з причини помилкових дій персоналу);

– критерій ризику – проектні показники надійності;

– імовірнісний показник ризику невиконання проектних функцій (в тому числі з причини помилкових дій персоналу);

– критерій ризику – показники надійності виконання призначених функцій;

– імовірнісний показник ризику – не виявлення дефектів (прихованих відмов);

– критерій ризику – проектні показники надійності контролю технічного стану систем і устаткування та ін.

**Висновки.** 1. Аналіз і систематизація основних причин, екологічних наслідків і уроків важких техногенних аварій на АС Fukushima-Daiichi визначає необхідність принципового перегляду загальноприйнятих підходів до розгляду оцінки впливу відносно малоімовірних аварійних подій на безпеку систем і устаткування ядерних енергоустановок.

2. Проведений аналіз ефективності застосування основних імовірнісних методів, моделей та підходів існуючої концепції оцінки безпеки функціонування ядерних енергоустановок АС показав, що в даний час відсутні достатньо обґрунтовані імовірнісні методи моделювання впливів запроєктних малоімовірних аерогідродинамічних геофізичних процесів на системи та обладнання, що розташовані на промислових майданчиках АС. Це обумовлює актуальність розробки нових і вдосконалення існуючих імовірнісних і детерміністських методів і моделей для оцінки безпеки ядерних енергоустановок.

3. Незважаючи на широке поширення ймовірнісного методу для оцінки безпеки АС, він має низку істотних недоліків:

– неточності оцінювати ймовірність виникнення аварії на АС з урахуванням відмов із загальних причин;

– виявився з достатнім для практичних цілей ступенем малоефективним у випадках, коли невизначеності невідповідного походження відіграють вирішальну роль;

– програмні комплекси створені на основі ІАБ, мають ряд обмежень.

Все це в свою чергу не дає можливості обґрунтовано використовувати існуючі та розробляти нові технічні та організаційні заходи, що дозволяють знижувати частоту виникнення аварій до нормованого рівня.

## ЛІТЕРАТУРА

1. НП 306.2.141-2008. Общие положения безопасности атомных станций. – Введ. 2008-04-01. – К.: Государственный комитет ядерного регулирования Украины, 2008. – 58 с.

2. Разработка и применение вероятностной оценки безопасности уровня 1 для атомных электростанций: Специальное руководство по безопасности № SSG-3 [Электронный ресурс] / Международное Агентство по Атомной Энергии. – 2014. – Режим доступа: [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1430r\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1430r_web.pdf) (Дата обращения: 25.11.2015).

3. Разработка и применение вероятностной оценки безопасности уровня 2 для атомных электростанций:

Специальное руководство по безопасности № SSG-4 [Электронный ресурс] / Международное Агентство по Атомной Энергии. – 2014. – Режим доступа: [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1443r\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1443r_web.pdf) (Дата обращения: 25.11.2015).

4. Дыбач, А. М. Методологические основы анализа и учета неопределённостей вероятностного анализа безопасности АЭС [Текст] / А. М. Дыбач // Ядерная и радиационная безопасность. – 2014. – № 4(64). – С. 8–16.

5. Комплексная (сводная) программа повышения безопасности энергоблоков АЭС Украины [Электронный ресурс]. – К.: Энергоатом, 2010. – Режим доступа: [http://www.npp.zp.ua/Content/docs/safety/KsPPB\\_p1.pdf](http://www.npp.zp.ua/Content/docs/safety/KsPPB_p1.pdf) (Дата обращения: 25.11.2015).

6. Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants // A report by the International Nuclear Safety Advisory Group. – Vienna: IAEA, 1999. – Safety Series № 75\_INSAG\_3. – 105 p.

7. Щодо Плану дій з виконання цільової позачергової перевірки та подальшого підвищення безпеки АЕС України з урахуванням подій на Фукусіма-1 («stress-test»): Постанова Колегії Держатомрегулювання № 2 від 19 травня 2011 року [Електронний ресурс] / Державна інспекція ядерного регулювання України. – Режим доступу: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/uk/publish/article/155446> (Дата звернення: 25.11.2015).

8. Результаты проведения «стресс-тестов»: Национальный отчет Украины [Электронный ресурс] / Государственная инспекция ядерного регулирования Украины. – 2011. – Режим доступа. <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document?id=173977> (Дата обращения: 23.11.2014).

9. Про результати виконання цільової позачергової оцінки стану безпеки діючих енергоблоків АЕС з урахуванням подій на АЕС Фукусіма [Електронний ресурс] / Державна інспекція ядерного регулювання України. – 2011. – Режим доступу: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/uk/publish/article/167923> (Дата звернення: 15.11.2014).

10. Вероятностный анализ безопасности атомных станций. Методика выполнения [Текст] / Ю. В. Швыряев и др. – М.: Ядерное общество, 1992. – 266 с.

11. Руководство по проведению вероятностного анализа безопасности атомных станций: Отчет. – М: МАГАТЭ, 1990.

12. Острейковский, В. А. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ [Текст] / В. А. Острейковский, Ю. В. Швыряев. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 352 с.

*Стаття надійшла до редакції 01.11.2017 р.*

**S. Azarov, V. Sydorenko, O. Zadunay**

#### **ABOUT ESTIMATION OF SECURITY OF ATOMIC STATIONS OF UKRAINE**

The article presents a brief description of the methodology of probabilistic safety analysis, which is currently used to address safety issues in the operation of nuclear power plants with LWR reactors. Its advantages and disadvantages are considered. It is shown that the problem of risk assessment in conditions of uncertainty of the state of the nuclear power plant takes a dominant place in the general problem of decision making. The algorithm of probabilistic analysis of the safety of nuclear power plants and the stages of its conduct are presented. The problems that should be solved when assessing the safety of nuclear power plants using a probabilistic safety analysis are listed. Causes of significant uncertainties in probabilistic safety analysis are indicated. Additional probabilistic and risk-oriented indicators and criteria for justifying sectoral measures to improve the reliability of accident management at nuclear power plants are presented. Conclusions are drawn that the studies carried out in the work do not provide an opportunity to make good use of existing ones and develop new technical and organizational measures that allow reducing the frequency of occurrence of accidents to the normalized level.

**Keywords:** nuclear station, safety, analysis, risk, reactor, potential danger, accident, aftermath.

**С. И. Азаров, В. Л. Сидоренко, А. С. Задунай**

#### **ОБ ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ УКРАИНЫ**

В статье представлено краткое описание методологии вероятностного анализа безопасности, которая применяется в настоящее время для решения вопросов по безопасности в процессе эксплуатации атомных станций с реакторами ВВЭР. Рассматриваются ее преимущества и недостатки. Показано, что проблема оценки риска в условиях неопределенности состояния атомной станции занимает доминирующее место в общей проблеме принятия решений. Приведен алгоритм вероятностного анализа безопасности атомных станций и этапы его проведения. Перечислены проблемы, которые должны решаться при оценке безопасности атомных станций с помощью вероятностного анализа безопасности. Указываются причины значительных неопределенностей вероятностного анализа безопасности. Приведены дополнительные вероятностные и риск-ориентированные показатели и критерии для обоснования отраслевых мероприятий по повышению надежности управления авариями на атомных станциях. Сделаны выводы о том, проведенные в работе исследования не дают возможности обоснованно использовать существующие и разрабатывать новые технические и организационные мероприятия, позволяющие снижать частоту возникновения аварий до нормированного уровня.

**Ключевые слова:** атомная станция, безопасность, анализ, риск, реактор, потенциальная опасность, авария, последствия.