

НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ ЯДЕРНО-ПАЛИВНОГО ЦИКЛУ

Розглянуто та запропоновано напрямки удосконалення системи імовірнісного аналізу безпеки, що дозволять забезпечити більш ефективне управління безпекою об'єктів ядерно-паливного циклу. Показано, що експлуатація енергоблоків в Україні здійснюється відповідно до вимог норм безпеки, які були закладені в період їх створення. Це не забезпечує належного рівня безпеки сьогодні, оскільки вони значно різняться з вимогами, що ставляться до таких об'єктів у Європі та світі. Зазначено, що з метою підвищення рівня безпеки атомних електростанцій Україна приєдналася до ініціативи Європейського Союзу щодо оцінки безпеки таких об'єктів. Обґрунтовано, що класичний метод визначення безпеки об'єктів ядерно-паливного циклу, а саме метод імовірнісного аналізу безпеки – застарілий, що підтверджує ряд масштабних катастроф на таких об'єктах. Запропоновано запровадити в розрахунках аналізу безпеки об'єктів ядерно-паливного циклу поєднання апріорного та апостеріорного методів управління безпекою об'єкта, а також перейти на управління безпекою об'єкта у реальному часі та ін.

Ключові слова: система безпеки; охорона навколишнього середовища; імовірнісний аналіз безпеки; радіація; об'єкти ядерно-паливного циклу.

Постановка проблеми. Перед людством сьогодні особливо гостро стоять три головні взаємозалежні проблеми – забезпечення харчуванням, енергією та екологічна безпека. У розв'язанні цих проблем особливе місце належить енергетиці, від розвитку якої залежить економічний стан суспільства, а також стан навколишнього середовища. Концентруючи величезні матеріальні та переробляючи колосальні паливно-енергетичні ресурси, активно втручаючись у гідро-, літо- і атмосферне середовище, енергетика може змінити і вже змінює навколишнє природне середовище.

За даними МАГАТЕ зараз у світі експлуатується понад 400 атомних реакторів, будується 65 реакторів. Наведена статистика враховує й українську складову. Понад 47 % електроенергії в Україні виробляють АЕС (Рівненська, Запорізька, Південно-Українська та Хмельницька). На 4 атомних електростанціях України експлуатується 16 енергоблоків:

- кількість працюючих реакторів – 16;
- загальна потужність, МВт – 15 000;
- реактор-років експлуатації – 215;
- кількість зупинених або закритих реакторів – 4.

Експлуатація енергоблоків здійснюється відповідно до вимог та правил норм безпеки, які були закладені у період їх створення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Норми та вимоги до безпеки АЕС встановлюються за міжнародними конвенціями та договорами, до яких приєдналася Україна (в першу чергу, це Віденська конвенція про цивільну відповідальність за ядерну шкоду, Конвенція про ядерну безпеку, Об'єднана конвенція про безпеку поводження з відпрацьованим паливом та про безпеку поводження з радіоактивними відходами, Договір про нерозповсюдження ядерної зброї та ін.), та вітчизняним ядерним законодавством. Основними законодавчими актами з цього питання є Закони України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку», «Про поводження з радіоактивними відходами», «Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання», «Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань» та інші.

З метою забезпечення захисту людей та охорони навколишнього середовища від шкідливого впливу іонізуючого випромінювання, норми безпеки встановлюють основоположні принципи безпеки:

- вимоги та заходи для забезпечення контролю за радіаційним опроміненням людей і викидами радіоактивних матеріалів у навколишнє середовище,

- обмеження ймовірності подій, які можуть призвести до втрати контролю за активною зоною ядерного реактора, ядерної ланцюгової реакції, радіоактивним джерелом або будь-яким іншим джерелом випі

© Т.Г. Іващенко, 2014

- пом'якшення наслідків таких подій, якщо вони матимуть місце.

Атомна станція вважається безпечною, якщо:

– радіаційний вплив від неї на персонал, населення і навколишнє середовище за умов нормальної експлуатації та проектних аварій не призводить до перевищення умовних значень;

– радіаційний вплив обмежується до прийнятних значень у разі важких (позапроектних) аварій.

Наприклад, при експлуатації АЕС допустимі добові газоподібні викиди повинні бути не більше:

- Йод-131 (газоподібна та аерозольна фаза) – 0,06 Кі/добу (середньодобові допустимі викиди з АЕС газоаерозольних радіоактивних речовин);
- Стронцій-90 – 9 Кі / міс (середньомісячні допустимі викиди з АЕС газоаерозольних радіоактивних речовин).

Також застосовуються критерії безпеки атомної станції не за окремими показниками, а АЕС в цілому: вірогідність великих радіоактивних викидів у навколишнє середовище і ймовірність руйнування активної зони реактора протягом року, а також ймовірність смерті людини внаслідок аварії на АЕС.

Розрахунок числових значень зазначених параметрів проводиться для кожного енергоблоку окремо на основі методів імовірного аналізу безпеки, рекомендованих МАГАТЕ.

Граничні значення таких інтегральних критеріїв безпеки для одного реактора становлять:

- ймовірність радіоактивних викидів – $1 \cdot 10^{-7}$ /год.; (1)
- вірогідність пошкодження активної зони – $1 \cdot 10^{-5}$ /год.; (2)
- індивідуальний ризик для здоров'я – $1,65 \cdot 10^{-4}$ /люд. бер. (3)

На наведених граничних значеннях інтегральних критеріїв безпеки базується загальноприйнятий класичний метод імовірного аналізу безпеки (ІАБ) [1–4].

Проте вкрай актуальним стало критичне переосмислення цієї методології, що пов'язане з існуючими реаліями, в першу чергу, з низкою масштабних катастроф на АЕС: «Три Майл Айленд», Чорнобильська і «Фукусіма-1».

Мета і постановка завдання. Проаналізувати сучасні підходи до методу імовірного аналізу безпеки та запропонувати шляхи удосконалення зазначеного методу.

Викладення основного матеріалу. Обмеженість і недостатня достовірність ІАБ стали вагомим додатком за формування негативного ставлення до атомної енергетики на рівні країн. Хоча сьогодні атомна енергетика зберігає свої позиції як одне з основних світових джерел енергії. На ядерну енергію припадає близько 6 % світового паливно-енергетичного балансу і близько 17 % всієї електроенергії, що виробляється. При цьому є країни, де сьогодні ядерна енергетика забезпечує найбільший внесок у національне виробництво електроенергії, а саме: Франція (76,4 %), Литва (73,7 %), Бельгія (56,8 %), Словаччина (53,4 %) і Україна (47,3 %). Тобто Україна входить до п'ятірки країн з найбільш розвинутою атомною енергетикою.

Але у межах європейського континенту відразу після аварії на АЕС «Фукусіма» Німеччина зупинила 8 найбільш старих реакторів із 17. Уряд Німеччини ухвалив рішення про припинення експлуатації всіх блоків АЕС до 2022 року [5]. Подібне рішення щодо закриття своїх АЕС до 2034 року та відмову від подальшого використання атомної енергетики в червні 2011 року прийняла Швейцарія, в якій за рахунок АЕС виробляють близько 40 % всієї споживаної в країні енергії.

Країни-члени Європейського Союзу (ЄС) спільно з сусідніми державами 24 червня 2011 р. у Брюсселі прийняли Декларацію про проведення всесторонньої переоцінки ризиків і безпеки експлуатації атомних електростанцій (стрес-тестів) та вжиття відповідних заходів. Мета проведення «стрес-тестів» комплексна. Це переоцінка резервів АЕС та їх реакції на різні надзвичайні ситуації, у першу чергу екстремальні природні явища (сейсмічність, повені), підвищення рівня безпеки АЕС, визначення найефективнішого порядку дій у випадку виникнення надзвичайних ситуацій. Оцінювання ризику та безпеки («стрес-тестів») АЕС здійснювалось на основі методичних рекомендацій відповідно до ІАБ, узгоджених Європейською комісією та Європейською групою ядерного регулювання безпеки (ENSREG) [6, 7].

З метою підвищення рівня безпеки своїх АЕС Україна приєдналася до ініціативи Європейського Союзу щодо проведення «стрес-тестів». Ця робота здійснювалась упродовж усього другого півріччя 2011 р. підрозділами ДП НАЕК «Енергоатом». Її фіналом став «Національний звіт України щодо результатів проведення «стрес-тестів» для АЕС України», який був направлений до Європейської Комісії 30 грудня 2011 року [8]. Головним результатом оцінювання АЕС за «стрес-тестами» став висновок про те, що в Україні відсутні чинники загроз природного характеру, які спроможні спричинити аварію, подібну «Фукусімі» [9].

За результатами проведення позачергової переоцінки рівня безпеки енергоблоків АЕС (стрес-тестів) та на виконання рішень постанови Колегії Держатомрегулювання від 24–25 листопада 2011 року № 13 НАЕК «Енергоатом» розробив «Комплексну (зведену) програму підвищення рівня безпеки енергоблоків атомних електростанцій» (далі – Програма). Виконання заходів Програми, що затверджені постановою Кабінету Міністрів України № 1270 від 7 грудня 2011 року, розраховано на період до 2017 року. Її завдання включають більш ніж 800 заходів підвищення безпеки, а ефективність заходів значною мірою залежатиме від правильності підходу до оцінки безпеки.

Імовірнісна концепція аварії, що ґрунтується на принципах ІАБ [10–12], вичерпала можливості удосконалення та має обмежене застосування. Досвід низки катастроф підтверджує, що її використання не гарантує реальної безпеки АЕС вже на концептуальному рівні.

У ІАБ «імовірність» розглядається як математичний образ частоти виникнення подій. Проте імовірнісна модель аварії може використовуватися для оцінювання безпеки тільки в тих випадках, коли є статистична закономірність аварій (сталість її частоти). Застосування моделей ІАБ під час оцінки безпеки АЕС теоретично постулює сталість частоти аварій і, як наслідок, теоретичну неминучість аварії.

Згідно з ІАБ, безпека АЕС забезпечується за умови досягнення показників (1)–(3), які будь-яким чином не узгоджуються з технологією управління безпекою АЕС. Зазначені показники не можуть бути параметрами управління, їх неможливо ні проконтролювати, ні використовувати під час експлуатації об'єктів.

Саме ІАБ, за яким сформовані показники безпеки (1)–(3), має базові похибки аналізу безпеки через неоднозначності та суб'єктивності вибору аварійних послідовностей із сукупності дискретних можливих комбінацій – безвідмовних і відмовних станів функціонуючих елементів АЕС (аналіз дерева подій). Кількість станів об'єкта аналізу $Z = 2n$, де n – кількість елементів, катастрофічно зростає, що створює суттєву проблему з розмірністю станів у разі збільшення кількості елементів об'єкта. З усієї сукупності дискретних станів Z експерт зазвичай обирає аварійні послідовності, які, на його думку, становлять небезпеку. Зі збільшенням кількості елементів n кількість станів $Z = 2n$ зростає настільки, що втрачається практична можливість їх перебору. У результаті виключається як однозначність, так і об'єктивність аналізу безпеки. Наприклад, для схеми реактора з $n = 18$ елементів, що містить два технологічні контури і контур балансу потужності, кількість станів $Z > 260000$.

Застосовуючи ІАБ, не можна обґрунтувати вимоги до надійності підсистем управління та їх елементів, необхідні для забезпечення допустимого значення ризику аварії. Щоб визначити ці вимоги, потрібно було б застосувати метод структурного аналізу об'єкта з підсистемами управління безпекою, який би враховував ступінь впливу кожного елемента підсистем управління на стан безпеки об'єкта. Проте для структурного аналізу необхідно знати закони зв'язку елементів, що враховують роль кожного елемента. Такі закони ґрунтуються на зв'язку потоків інформації елементів з потоками інформації підсистем і об'єкта. Їх можна визначити на основі алгоритму управління безпекою об'єкта [11, 12]. Проте в теорії ІАБ відсутні як поняття таких потоків, так і закони їх зв'язку. Внаслідок цього неможливо здійснити структурний аналіз, який би враховував потоки інформації елементів, вимоги до їх надійності, що необхідно для забезпечення допустимого значення показника ризику аварії.

До цього, в ІАБ неможливе поєднання методів імовірнісного і детерміністичного аналізів щодо виникнення аварії, що виключає управління працездатним станом об'єкта з метою попередження його переходу в аварійний стан. Тобто цей метод не дозволяє гарантувати управління безпекою АЕС у реальному часі та своєчасне реагування за поточним станом.

Як напрямки удосконалення системи ІАБ пропонується:

- запровадити в розрахунках аналізу безпеки АЕС поєднання апіорного (імовірнісного) і апостеріорного (детермінованого) методів управління безпекою об'єкта;
- перейти на управління безпекою об'єкта в реальному часі за поточним станом контрольованих параметрів, що визначають рівень безпеки об'єкта контролю;
- оптимізувати витрати на безпеку на основі аналізу залежності сумарних витрат від показників ризику аварії.

Для обґрунтування економічно прийняттого значення ризику аварії пропонується використати аналіз сумарних витрат на безпеку (крива 3, рис. 1).

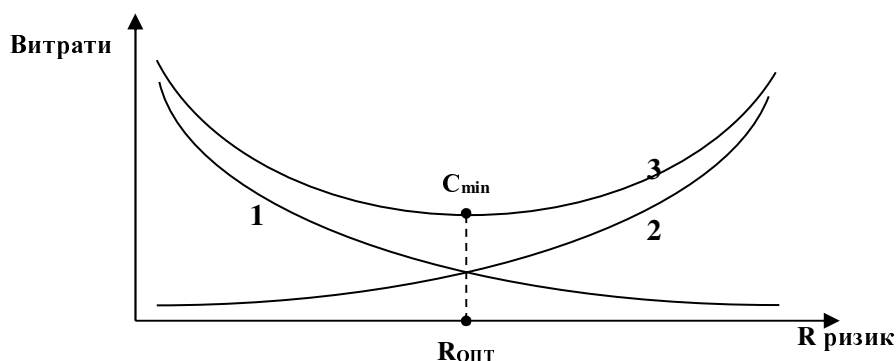


Рис. 1. Залежність витрат на безпеку від показника ризику аварії:

- C_{min} – мінімальні сумарні витрати на безпеку; $R_{опт}$ – оптимальне значення показника ризику аварії;
 крива 1 – витрати на технологію попередження і ослаблення аварії;
 крива 2 – витрати на страхування наслідків можливої аварії;
 крива 3 – сумарні витрати за позиціями 1 та 2

У цьому разі критерієм оптимізації будуть загальні витрати, які залежать від показника ризику. Показник ризику, у свою чергу, враховує безпеку системи як комплексну властивість, що включає в себе ядерну, радіаційну та екологічну безпеку.

Висновки. Результати досліджень роботи демонструють обмеженість і недостатню достовірність імовірнісного аналізу безпеки. Це значно впливає на контроль за рівнем реальної безпеки атомних електростанцій. Запропоновані напрямки удосконалення системи імовірнісного аналізу безпеки дозволять забезпечити більш ефективне управління безпекою об'єктів ядерно-паливного циклу.

Список використаної літератури:

1. Хенли Э. Надежность технических систем и оценка риска / Э.Хенли, Х.Кумато. – М. : Машиностроение, 1979. – 528 с.
2. Уивер Л. Риск от аварии на АЭС с легководными реакторами / Л.Уивер. – М. : Атомиздат, 1980. – С. 114–133. – (Безопасность ядерной энергетики).
3. Острейковский В. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ / В.Острейковский, Ю.Швыряев. – М. : Физматлит, 2008. – 352 с.
4. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. ОПБ–88/97. НП–001–97 (ПНАЭ Г–01–011–97) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.gosthelp.ru/text/NP00197Obshhiepolozheniya.html>.
5. Германия объявила о полном отказе от атомной энергетики к 2022 году : (РИА Новости 30/05/2011) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://eco.ria.ru/nature/20110530/381648425.html>
6. EU Stress Tests [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ensreg.eu/EU-Stress-Tests>.
7. EU stress_tests_specifications [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.ec.europa.eu/energy/nuclear/safety/doc/20110525_eu_stress_tests_specifications.pdf.
8. Національний звіт України щодо результатів проведення «стрес-тестів» для АЕС України. – К. : ДІЯР, 2011. – 137 с.
9. Стрес-тести не виявили загроз безпеці українських АЕС – національний звіт // День. – № 53, 27 березня. – 2012 [Електронний ресурс]:. – Режим доступу : <http://www.day.kiev.ua/3043502>.
10. Pampuro V.I. Management of Individual Ecological Safety of Potentially Hazardous Object / V.Pampuro, V.Borisenko // The third American Nuclear International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control and Human-Machine Interface Technologies (NPIC & HMIT 2000), November 13–17, 2000. – Washington, D.C. – Pp. 707–722.
11. Пампура В.И. Структурная информационная теория надежности систем / В.И. Пампура. – К. : Наукова думка, 1992. – 324 с.
12. Пампура В.И. Метод разработки математических моделей управления экологической безопасностью объектов / В.И. Пампура // Доповіді НАН України, 1999. – № 1. – С. 197–203.

ІВАЩЕНКО Тарас Григорович – кандидат технічних наук, завідувач кафедри водно-екологічних проблем Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління Міністерства екології та природних ресурсів України.

Наукові інтереси:

- радіаційна та ядерна безпека;
- технології екологічно безпечного перероблення багатотонажних відходів;
- екологічно безпечні технології поводження з матеріалами, обладнанням, забрудненими природними радіонуклідами;
- екологічна експертиза;
- екологічний аудит;
- збалансоване природокористування.

Тел.: (044) 206–31–85.

E-mail: emaa@bk.ru.

Стаття надійшла до редакції 01.10.2014