

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ

TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT IN ENERGY

УДК 621.039

DOI 10.20535/1813-5420.4.2024.315549

С.О. Горбачик¹, аспірант, ORCID 0009-0008-4293-2064

В.А. Кондратюк¹, канд. тех. наук, доцент, ORCID 0000-0001-5035-311X

С.В. Клевцов¹, канд. тех. наук, доцент, ORCID 0000-0003-1405-5048.

¹Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЗАСТОСУВАННЯ АНАЛІЗУ КРИТЕРІЇВ УСПІХУ ІМОВІРНІСНОГО АНАЛІЗУ БЕЗПЕКИ АЕС ПРИ ІМОВІРНІСНІЙ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ

Одним із інструментів, що тривалий час використовується для кількісної оцінки стану безпеки атомних електростанцій (АЕС) у всьому світі – є імовірнісний аналіз безпеки (ІАБ).

Однак, не дивлячись на всі позитивні сторони ІАБ АЕС, він, наприклад, не враховує таку складову, як фізичний захист, що несе за собою відповідний негативний ефект, який пов'язаний з вразливістю ядерних установок щодо диверсій.

Безпосередньо залучити ІАБ АЕС для оцінки ефективності фізичного захисту ядерних установок не є можливим, так як існуюча методологія та процедура застосування даного інструменту не підходить для фізичного захисту, що вимагає розроблення нової методології імовірнісного аналізу фізичного захисту. При цьому, необхідно зазначити, що в одних випадках можливо застосовувати методи традиційного ІАБ АЕС для виконання деяких елементів імовірнісного аналізу фізичного захисту без змін (наприклад, аналіз надійності обладнання), в інших випадках необхідно розробити нові методи для частини елементів імовірнісного аналізу фізичного захисту по аналогії з традиційним ІАБ АЕС (тобто адаптувати, наприклад, аналіз критеріїв успіху), і, нарешті, в інших випадках необхідно розробити власні нові методи (наприклад, аналіз дій правопорушника) для елементів імовірнісного аналізу фізичного захисту, які відсутні в традиційному ІАБ АЕС.

В загальному, процес застосування ІАБ АЕС для оцінки ефективності систем фізичного захисту ядерних установок, вимагає не лише розроблення нової методології, а й потребує доволі великої витрати часу з залученням значних людських та матеріальних ресурсів. Тому, для першого ітераційного кроку застосування традиційного ІАБ АЕС для оцінки ефективності фізичного захисту ядерних установок, як приклад, розглядається можливість адаптації методології аналізу критеріїв успіху традиційного ІАБ АЕС для імовірнісного аналізу фізичного захисту ядерних установок.

Ключові слова: *система фізичного захисту, імовірнісний аналіз безпеки, аналіз критеріїв успіху, критерії прийнятності, внутрішній правопорушник, неправомірне вилучення ядерних матеріалів, функції безпеки, фізичний захист ядерних установок.*

Вступ.

З огляду на нинішню ситуацію, що пов'язана з дією військового стану та без перебільшень, із загрозою національній безпеці, що викликана ракетними обстрілами об'єктів генерації теплової та електричної енергії, питання захисту об'єктів критичної інфраструктури є, як ніколи актуальними. Зокрема, особливу увагу необхідно приділити ядерним установкам та об'єктам, що призначені для поводження з радіоактивними відходами, адже при виникненні певних небезпечних подій, вони можуть нести не тільки невидиму загрозу, що пов'язана з радіоактивним забрудненням, а й можливість використання ядерних матеріалів для створення ядерного вибухового пристрою.

На сьогоднішній день, рівень фізичного захисту ядерних установок знаходиться на досить високому рівні, проте з розвитком технологій, з'являються можливості обійти систему фізичного захисту для здійснення неправомірних дій, які можуть понести за собою тяжкі радіологічні, економічні та соціальні наслідки.

Тому, для оцінки ефективності фізичного захисту ядерних установок пропонується застосувати такий інструмент, як ІАБ АЕС для фізичного захисту, розглянувши приклад адаптації методів аналізу критеріїв успіху, як складової загальної методології імовірнісного аналізу фізичного захисту.

1. Характеристика фізичного захисту ядерних установок

На сьогоднішній день, ІАБ АЕС є широко відомим інструментом для ефективної оцінки та підвищення безпеки атомних станцій.

Імовірнісний аналіз безпеки – це метод кількісної та якісної оцінки, що використовується для аналізу імовірності виникнення та шляхів розвитку аварій, а також для визначення частоти пошкодження активної зони реактора, граничного аварійного викиду та оцінки радіаційного впливу на населення [1].

Виходячи з визначення, імовірнісний аналіз безпеки АЕС спрямований на оцінку ризиків з огляду на системи, обладнання та дії персоналу, що враховуються безпосередньо при експлуатації ядерних установок, проте він не бере до уваги події, що пов'язані з їх фізичним захистом.

Фізичний захист атомних станцій – це сукупність технічних і організаційних заходів, спрямованих на виявлення і припинення спроб несанкціонованого проникнення на територію атомної станції, у її життєво важливі зони, а також несанкціонованого вилучення, переміщення, передачі, використання ядерних матеріалів й інших радіоактивних речовин, що є на атомних станціях [2].

Цілями фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел радіоактивного випромінювання є [2]:

1. створення умов, спрямованих на мінімізацію можливості виникнення диверсії, крадіжки або будь-якого іншого неправомірного вилучення радіоактивних матеріалів та зміцнення режиму нерозповсюдження ядерної зброї;

2. сприяння здійсненню заходів з розшуку та повернення зниклих ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання та зведення до мінімуму радіологічних наслідків диверсії.

Для забезпечення захисту ядерних установок та ядерних матеріалів необхідно враховувати три типи ризиків [3]:

1. ризик несанкціонованого вилучення ядерних матеріалів з намірами виготовити ядерний вибуховий пристрій;

2. ризик несанкціонованого вилучення ядерних матеріалів, що може призвести до подальшого розповсюдження матеріалу;

3. ризик диверсії.

Для створення умов, за яких відбувається належне виконання цілей фізичного захисту ядерних установок створюється система фізичного захисту.

Система фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання – це сукупність організаційно-правових та інженерно-технічних заходів, що здійснюються з метою створення умов, спрямованих на мінімізацію можливості виникнення диверсії, крадіжки або будь-якого іншого неправомірного вилучення радіоактивних матеріалів та зміцнення режиму нерозповсюдження ядерної зброї.

Фізичний захист ядерних установок є невід'ємною складовою державної системи фізичного захисту, що створюється для досягнення цілей фізичного захисту на державному рівні.

Загальна ціль державного режиму ядерної захищеності – це захист осіб, майна, суспільства (людей) і навколишнього середовища від злочинних дій, що пов'язані з ядерними матеріалами та іншими радіоактивними матеріалами [4].

Функціонування державної системи фізичного захисту ґрунтується на результатах оцінки загрози вчинення диверсії, крадіжки або будь-якого іншого неправомірного вилучення радіоактивних матеріалів [2].

Цілі державного режиму фізичного захисту, що є одним з найважливіших компонентів державного режиму ядерної захищеності полягають в наступному:

1. забезпечення захисту від несанкціонованого вилучення – захист від крадіжки або іншого незаконного отримання ядерних матеріалів;

2. визначити місцезнаходження та забезпечити повернення ядерних матеріалів, що зникли – забезпечення здійснення оперативних та комплексних заходів по виявленню і в належних випадках по поверненню зниклих або викрадених ядерних матеріалів;

3. забезпечити захист від диверсії – захист ядерного матеріалу на ядерних установках від диверсії;

4. пом'якшити чи звести до мінімуму наслідки диверсії – пом'якшення або зведення до мінімуму радіологічних наслідків диверсії.

2. Необхідність адаптації ІАБ АЕС для фізичного захисту

Державна система фізичного захисту ґрунтується на проведенні державної оцінки загрози. На основі різних джерел достовірної інформації, відповідним державним органам необхідно визначити загрози і відповідний потенціал шляхом оцінки загрози і, в належних випадках, визначити проектні загрози.

Визначення проектної загрози здійснюється на основі оцінки державою загрози несанкціонованого вилучення матеріалів і диверсії [3].

Проектна загроза – це ознаки та характеристики потенційних внутрішніх правопорушників та/або зовнішніх правопорушників, що можуть зробити спробу несанкціонованого вилучення матеріалу або диверсії, для протидії яким створюється та оцінюється система фізичного захисту.

В процесі проведення оцінки вразливості ядерної установки та ядерних матеріалів складається список цілей правопорушника, на основі яких розробляються сценарії дій правопорушників, що можуть призвести до неприйнятних радіаційних наслідків.

Сценарії дій правопорушників розглядаються окремо для зовнішніх правопорушників, внутрішніх правопорушників, зовнішніх правопорушників у змові з внутрішніми [5].

Не зважаючи за яким сценарієм будуть діяти правопорушники, система фізичного захисту має забезпечити їх своєчасне виявлення, затримку правопорушників та адекватне реагування виходячи з принципів глибокоошелюваного захисту, диференційованого підходу, збалансованого захисту і мінімальних наслідків при відмові одного елемента системи [6].

Відповідно, на шляху правопорушника, що має на меті здійснити несанкціоноване вилучення ядерних матеріалів чи диверсію, створюють фізичні бар'єри захисту.

Фізичний бар'єр – це інженерні споруди, що призначені для перешкоджання переміщенню правопорушника [2]. Кожен фізичний бар'єр виконує певні функції безпеки.

Функції безпеки – це конкретна мета, яка повинна бути досягнута для забезпечення безпеки [1].

Провівши даний аналіз, отримано висновок про доцільність адаптації ІАБ АЕС для фізичного захисту, адже традиційний ІАБ АЕС охоплює відмову систем, елементів, обладнання на атомних станціях та помилки персоналу, які можуть призвести до аварії чи аварійної ситуації. При цьому, у традиційному ІАБ АЕС не розглядаються такі аспекти безпеки, як диверсія, поява внутрішнього, зовнішнього чи зовнішнього правопорушника у змові з внутрішнім. Відповідно до традиційного ІАБ АЕС у імовірнісному аналізі фіззахисту зміняться методології та процедури виконання деяких елементів, наприклад, аналізу критеріїв успіху, що викликає необхідність формулювання відповідних критеріїв прийнятності.

3. Підхід до аналізу критеріїв успіху у фізичному захисті ядерних установок

Для кожної вихідної події визначаються мінімальні вимоги до систем, що необхідні для виконання цими системами функцій безпеки та, як наслідок, для запобігання виникнення небажаних подій (для традиційного ІАБ АЕС – це пошкодження активної зони реактора та/чи викид радіоактивності). Внаслідок чого, визначаються критерії успіху для систем (первинні критерії успіху) та критерії успіху для обладнання і систем забезпечення (вторинні критерії успіху).

Критерії успіху розробляються для кожної функції безпеки, їм відповідають визначені критерії прийнятності для контролю виконання функцій безпеки.

З огляду на фізичний захист ядерних установок, під терміном «функція безпеки» мається на увазі будь-яка технологічна функція системи фізичного захисту, яка запобігає реалізації сценарію правопорушника. До основних функцій системи фізичного захисту відносяться [6]:

1. виявлення – це встановлення факту несанкціонованого проникнення в зону обмеженого доступу та виявлення інших протиправних дій щодо ядерних установок та ядерних матеріалів;
2. затримка – це сповільнення дій правопорушника при виконанні ним своєї задачі;
3. реагування – це недопущення силами реагування виконання правопорушником своєї задачі.

Якщо адаптувати визначення «критеріїв успіху» традиційного ІАБ АЕС для оцінки фізичного захисту ядерних установок, то критерії успіху – це мінімальний набір вимог до роботи системи фізичного захисту ядерних установок, що визначає умову успішного виконання функцій безпеки СФЗ з врахуванням специфічних умов, що накладаються в кожному конкретному випадку здійснення проектної загрози.

Для фізичного захисту ядерних установок, необхідний час спрацювання системи, технічна характеристика її обладнання, конкретні дії по комунікації, оповіщенню, розгортанню, реагуванню – є складовими частинами критеріїв успіху.

Критерії прийнятності – це цільовий показник верхнього рівня по відношенню до якого визначаються первинні чи вторинні критерії успіху.

Для фізичного захисту ядерних установок, первинними критеріями успіху буде вважатися мінімальний набір вимог по відношенню до системи фізичного захисту, як в цілому, так і з точки зору виконання нею необхідних функцій безпеки. Вторинні критерії успіху визначають набір вимог по відношенню до відповідної системи забезпечення з точки зору підтримання нею необхідних мінімальних умов для надійної роботи систем фізичного захисту.

У системах фізичного захисту ядерних установок можна виділити низку критеріїв успіху (КУ), яким відповідають певні критерії прийнятності (КП), з огляду на цілі імовірнісного аналізу для фізичного захисту, наприклад:

1. КУ: переривання диверсії, що спрямована на важке пошкодження активної зони реактора – КП: не перевищення проектної межі 1200 °С по температурі оболонки максимально навантаженого тепловиділяючого елемента (ТВЕЛ);

2. КУ: переривання диверсії, що спрямована на створення надграничного аварійного викиду у навколишнє середовище – КП: значення еквівалентних індивідуальних доз, розрахованих за найгірших погодних умов на території АЕС, на кордоні санітарно-захисної зони та за її межами, не повинні перевищувати:

1) 0,3 Зв/рік (30 бер/рік) на щитовидну залозу дітей за рахунок інгаляції;

2) 0,1 Зв/рік (10 бер/рік) на все тіло за рахунок зовнішнього опромінення;

3. КУ: переривання системою фізичного захисту вилучення ядерних матеріалів – КП: час на переривання силами реагування дій правопорушника по вилученню ядерних матеріалів, менший часу, який необхідний правопорушнику для досягнення мети;

4. КУ: переривання системою фізичного захисту вилучення радіоактивних матеріалів – КП: час на переривання силами реагування дій правопорушника по вилученню радіоактивних матеріалів, менший часу, який необхідний правопорушнику для досягнення мети.

Якщо говорити про вторинні критерії успіху, то критерії прийнятності – це максимальні/мінімальні допустимі значення робочих параметрів, наприклад: напруга, що подається на обладнання, температура та волога навколишнього середовища, освітленість, якість та швидкість передачі інформації і т.д.

4. Висновки

У статті наведено аргументи, які вказують, що безпосереднє використання імовірнісного аналізу безпеки АЕС для оцінки ефективності фізичного захисту ядерних установок не є можливим, так як традиційний ІАБ АЕС не враховує великої кількості аспектів, що пов'язані з фізичним захистом (поява зовнішніх, внутрішніх правопорушників, які можуть діяти окремо чи у змові; особливості системи фізичного захисту, без врахування яких, отримати реальні результати оцінки стану фізичного захисту неможливо). Відповідно з появою таких особливостей, необхідно розробляти нові методи та процедури використання імовірнісного аналізу для оцінки рівня фізичного захисту ядерних об'єктів. Зокрема, додаткових досліджень вимагає підхід до аналізу критеріїв успіху, так як на основі наявності об'єктових проектних загроз, визначаються цілі правопорушника (вразливі об'єкти критичної інфраструктури) по відношенню до яких може бути здійснена протиправна діяльність. Маючи сформовані цілі правопорушника, формуються його наміри (диверсія, неправомірне вилучення ядерних чи радіоактивних матеріалів).

Відповідно, за наявності якісної характеристики об'єктів по відношенню до яких можуть бути здійснені протиправні дії, формуються критерії успіху, яким відповідають визначені критерії прийнятності. Маючи на початковому етапі подібний набір інформації та характеристику системи фізичного захисту, в першому ітераційному кроці, можливо виконати аналіз критеріїв успіху.

Подібний підхід до розроблення методології імовірнісного аналізу системи фізичного захисту в перспективі дозволить робити оцінку рівня ядерної захищеності, знаходити «слабкі місця» у фізичному захисті ядерних установок з подальшою модернізацією фізичного захисту з мінімальним використанням часових, людських та матеріальних ресурсів для досягнення необхідного рівня ядерної захищеності.

Необхідний подальший розвиток запропонованого підходу для створення відповідної методології та процедури виконання аналізу критеріїв успіху для імовірнісного аналізу фізичного захисту.

Список використаної літератури

1. ДЕРЖАВНИЙ КОМІТЕТ ЯДЕРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ УКРАЇНИ «Про затвердження Загальних положень безпеки атомних станцій», наказ від 19.11.2007 № 162.

2. ЗАКОН УКРАЇНИ «Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання» від 19.10.2000 р. № 2064-III. Відомості Верховної Ради України, 2001, № 1, ст.1.

3. Рекомендации по физической ядерной безопасности, касающиеся физической защиты ядерных материалов и ядерных установок (INFCIRC/225/REVISION 5). Вена: МАГАТЭ, 2012. 69 с. (Серия изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности, № 13).

4. Практическое руководство «Физическая защита ядерного материала и ядерных установок» (практическое применение рекомендаций INFCIRC/225/Revision 5). Вена: МАГАТЭ, 2022. с.140 (Серия изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности, № 27-G).

5. ДЕРЖАВНИЙ КОМІТЕТ ЯДЕРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ УКРАЇНИ «Про затвердження Порядку проведення оцінки вразливості ядерних установок та ядерних матеріалів», наказ від 30.11.2010 № 169.

6. ДЕРЖАВНИЙ КОМІТЕТ ЯДЕРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ УКРАЇНИ «Про затвердження Правил фізичного захисту ядерних установок та ядерних матеріалів», наказ від 04.08.2006 № 116.

S. Gorbachyk¹, Ph.D. student, ORCID 0009-0008-4293-2064

V. Kondratyuk¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0001-5035-311X

S. Klevtsov¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0003-1405-5048

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

APPLICATION OF THE ANALYSIS OF THE SUCCESS CRITERIA OF THE PROBABILISTIC ANALYSIS OF NPP SAFETY IN THE PROBABILISTIC ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF PHYSICAL PROTECTION

Probabilistic safety analysis (PSA) is one of the tools that has been used for a long time to quantitatively assess the safety status of nuclear power plants (NPPs) around the world.

However, despite all the positive aspects of the PSA of nuclear power plants, it, for example, does not take into account such a component as physical protection, which carries with it a corresponding negative effect, which is associated with the vulnerability of nuclear facilities to sabotage.

It is not possible to directly involve the PSA of NPPs to evaluate the effectiveness of physical protection of nuclear facilities, since the existing methodology and procedure for applying this tool is not suitable for physical protection, which requires the development of a new methodology for the probabilistic analysis of physical protection. At the same time, it should be noted that in some cases it is possible to apply the methods of the traditional NPP PSA to perform some elements of the probabilistic analysis of physical protection without changes (for example, the analysis of equipment reliability), in other cases it is necessary to develop new methods for some of the elements of the probabilistic analysis of physical protection by analogy with the traditional NPP PSA (that is, to adapt, for example, the analysis of success criteria), and finally, in other cases, it is necessary to develop own new methods (for example, the analysis of the offender's actions) for the elements of the probabilistic analysis of physical protection, which are absent in the traditional NPP PSA.

In general, the process of applying PSA of nuclear power plants to evaluate the effectiveness of physical protection systems of nuclear facilities requires not only the development of a new methodology, but also requires a rather large expenditure of time with the involvement of significant human and material resources. Therefore, for the first iterative step of using the traditional PSA of nuclear power plants to evaluate the effectiveness of physical protection of nuclear facilities, as an example, the possibility of adapting the methodology of the analysis of the success criteria of the traditional PSA of nuclear power plants for the probabilistic analysis of physical protection of nuclear facilities is considered.

Keywords: *physical protection system, probabilistic security analysis, analysis of success criteria, acceptance criteria, internal offender, illegal removal of nuclear materials, security functions, physical protection of nuclear facilities.*

References

1. STATE NUCLEAR REGULATORY COMMITTEE OF UKRAINE "On the approval of the General Regulations for the safety of nuclear power plants", order No. 162 of 11/19/2007.
2. LAW OF UKRAINE "On physical protection of nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, other sources of ionizing radiation" dated 10/19/2000 No 2064-III // *Bulletin of the VR of Ukraine*. 2001, N 1, Article 1.
3. Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225/Revision 5) Vienna: IAEA, 2012, 69 p. (IAEA Nuclear Security Series N 13).
4. Practical guidance "Physical protection of nuclear material and nuclear installations" (practical application of recommendations INFCIRC/225/Revision 5). Vienna: IAEA, 2022. p.140 (Series published by the IAEA on physical nuclear safety, No. 27-G).
5. STATE NUCLEAR REGULATORY COMMITTEE OF UKRAINE "On Approval of the Procedure for Conducting the Vulnerability Assessment of Nuclear Installations and Nuclear Materials", Order No. 169 dated November 30, 2010.
6. STATE NUCLEAR REGULATORY COMMITTEE OF UKRAINE "On approval of the Rules for physical protection of nuclear installations and nuclear materials", order No. 116 dated 04.08.2006.

Надійшла: 27.08.2024

Received: 27.08.2024