

В. І. Гаврилюк<sup>1</sup>, С. С. Драпей<sup>1</sup>, Б. В. Кайдик<sup>1</sup>, В. І. Кирищук<sup>1\*</sup>, В. В. Пархоменко<sup>1</sup>,  
О. П. Романова<sup>1</sup>, А. В. Самсоненко<sup>1</sup>, Є. І. Катунін<sup>2</sup>, А. В. Бойко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Навчальний центр з фізичного захисту, обліку та контролю ядерного матеріалу,  
Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

<sup>2</sup> ДСП «Чорнобильська АЕС», Славутич, Київська область, Україна

<sup>3</sup> ВП «Хмельницька АЕС», Нетішин, Хмельницька область, Україна

\*Відповідальний автор: kirisch@mpca.kiev.ua

## РИЗИКИ У СФЕРІ ФІЗИЧНОЇ ЯДЕРНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

Розроблено підхід проведення якісної оцінки ризиків у сфері фізичної ядерної безпеки. Ідентифіковано події, пов'язані з фізичною ядерною безпекою, що можуть з певною ймовірністю мати місце в Україні. Методом експертної оцінки отримано якісні оцінки ймовірностей реалізації визначених подій та рівнів їхніх наслідків, побудовано матрицю наслідків/ймовірностей, в якій при встановленні граничних значень ризиків було застосовано числа Фібоначчі, здійснено якісну оцінку ризиків. Установлено, що у сфері фізичної ядерної безпеки України ризик вчинення диверсії щодо АЕС є найбільший.

*Ключові слова:* фізична ядерна безпека, ядерна установка, ядерні матеріали, джерела іонізуючого випромінювання, оцінка ризиків, управління ризиками, матриця наслідків/ймовірностей.

### 1. Вступ

Забезпечення фізичної ядерної безпеки ядерних та інших радіоактивних матеріалів, пов'язаних з ними установок і діяльності є предметом уваги світового співтовариства, окремих держав й операторів. ООН, інші міжнародні організації (МАГАТЕ, Інтерпол, Всесвітня митна організація та ін.) протягом двох останніх десятиліть здійснили величезну роботу щодо зміцнення глобальної фізичної ядерної безпеки.

Так, у 2004 р. Радою Безпеки ООН прийнята Резолюція 1540 [1], спрямована на запобігання придбання зброї масового знищення недержавними суб'єктами (терористами), у 2007 р. набула чинності «Міжнародна конвенція про боротьбу з актами ядерного тероризму», учасником якої є Україна [2], протягом 2010 - 2016 рр. були проведені саміти з фізичної ядерної безпеки, на яких були прийняті відповідні комюніке. Держави, виконуючи прийняті на себе зобов'язання щодо виконання рішень вищезазначених документів, постійно приділяють велику увагу забезпеченню фізичної ядерної безпеки ядерних та інших радіоактивних матеріалів, що знаходяться під їхньою юрисдикцією, витрачаючи на це сотні мільйонів доларів.

МАГАТЕ, виходячи з того, що фінансові, технічні, людські й інші ресурси окремої держави чи конкретного оператора є обмеженими, рекомендує застосовувати до забезпечення фізичної ядерної безпеки ризик-орієнтовний підхід [3].

Застосування ризик-орієнтовного підходу забезпечує отримання нових даних щодо ризиків, аналіз яких дає змогу приймати обґрунтовані рішення, як управляти ризиками і розподіляти найбільш раціонально й ефективно виділені на фізичну ядерну безпеку кошти й ресурси.

Управління ризиками у сфері фізичної ядерної безпеки ядерних та інших радіоактивних матеріалів, пов'язаних з ними установок і діяльності є ітеративним процесом і здійснюється шляхом виконання таких етапів:

- установлення контексту (тобто детально аналізується ситуація як в Україні, так і в усьому світі);
- опис ризиків та їхніх наслідків;
- оцінка ризиків;
- виявлення корінних причин виникнення ризиків;
- обмін інформацією щодо ризиків в умовах невизначеності;
- формування переліку безпекових пріоритетів;
- сприяння в запобіганні небезпечних подій на підставі результатів вивчення подій, що відбулися;
- отримання інформації, що дає змогу оцінити допустимість ризику після порівняння з попередньо встановленими критеріями;
- ідентифікація альтернативних систем і заходів фізичної ядерної безпеки;
- впровадження систем і заходів фізичної ядерної безпеки.

Основною метою фізичної ядерної безпеки є захист населення, майна й довкілля від шкідливих

наслідків подій, пов'язаних з фізичною ядерною безпекою. Тому визначення цих подій і оцінка їхніх ризиків є необхідною умовою безпечної діяльності у сфері використання ядерної енергії. Безпека досягається за рахунок управління ризиками та утримання їх на розумно досяжному на практиці низькому рівні.

За останні десятиріччя оцінці загроз ядерного тероризму присвячено багато досліджень, більшість з яких проведена в США, їхні результати опубліковані в численних наукових й аналітичних статтях, зокрема в [4]. Потрібно зауважити, що отримані оцінки ймовірностей вчинення актів ядерного тероризму розподіляються в дуже широкому діапазоні – від майже неминучої до суто теоретичної.

Для загального оцінювання ризиків розроблено й успішно використовується велика кількість методів, більшість з яких стандартизовано й детально описано в [5]. Усі методи оцінювання ризиків, незалежно від того, чи вони кількісні, чи напівкількісні, чи лише якісні, мають як переваги, так і недоліки. Крім того, кожному методу властиві й свої обмеження, що стосуються його практичного використання.

Метою цієї роботи є визначення подій, щодо яких у першу чергу повинні вживатися заходи фізичної ядерної безпеки, шляхом проведення загальної оцінки ризиків з використанням розробленого авторами підходу.

## 2. Об'єкти та методи дослідження

Для ідентифікування ризиків, якісного оцінювання ймовірності їхньої реалізації та наслідків реалізації застосовували підхід, заснований на експертних висновках, що були отримані методом Делфі. Усі залучені до дослідження експерти мають досвід роботи у сфері фізичної ядерної безпеки не менше 18 років. Експертів було опитано за допомогою напівструктурованої анкети, а вся процедура застосування методу Делфі повністю відповідала [5]. Процедура експертної оцінки складалася з таких етапів:

формування групи, яка розробляла анкети й проводила їхній аналіз;

формування групи експертів;

розроблення первинної анкети й розсилання її кожному експерту;

аналіз отриманих від експертів анкет, узагальнення їх і повторне надсилання експертам (процес повторювався доти, доки не було досягнуто консенсусу).

Більш детальний опис процедури застосування методу Делфі виходить за рамки даної статті.

Нами була запропонована градація ймовірності виникнення подій і рівнів неприйнятних наслідків і визначені критерії їхньої оцінки (табл. 1 і 2). Для визначення критеріїв рівнів неприйнятних наслідків користувалися [6 - 8].

Таблиця 1. Ранжування ймовірностей виникнення подій відповідно до критеріїв

Критерій	Ймовірність
Подія виникає дуже часто. Постійна наявність небезпеки	Дуже висока
Подія виникає часто. Очікується часте виникнення небезпеки	Висока
Подія виникає неодноразово. Очікується неодноразове виникнення небезпеки	Нижче високої
Подія виникає протягом життєвого циклу об'єкта. Обґрунтоване очікування виникнення небезпеки протягом життєвого циклу об'єкта	Вище низької
Подія виникає дуже рідко	Низька
Подія виникає надзвичайно рідко	Дуже низька

Таблиця 2. Рівні неприйнятних радіаційних наслідків і критерії їхньої оцінки

Рівень неприйнятних радіаційних наслідків	Критерії оцінки рівня неприйнятних радіаційних наслідків		
	Викид у довкілля	Зона забруднення і кількість людей у зоні радіаційного ураження	Вплив на людину
Надзвичайно важкий	Сильний викид (радіологічний еквівалент декількох десятків тисяч ТБк)	Зона забруднення поширюється за межі України	Опромінення окремих осіб, які знаходяться в зоні радіаційного ураження, понад 1 Зв. Виникнення детермістичних ефектів у опромінених осіб
Дуже важкий	Значний викид (радіологічний еквівалент декількох тисяч ТБк)	Зона забруднення охоплює значну територію України	Опромінення окремих осіб, які знаходяться в зоні радіаційного ураження, понад 500 мЗв, але менше 1 Зв

Рівень неприйнятних радіаційних наслідків	Критерії оцінки рівня неприйнятних радіаційних наслідків		
	Викид у довкілля	Зона забруднення і кількість людей у зоні радіаційного ураження	Вплив на людину
Вище важкого	Обмежений викид (радіологічний еквівалент декількох сотень ТБк)	Зона забруднення охоплює декілька населених пунктів одного чи декількох адміністративних районів/областей із загальною кількістю населення більше 10 тис. людей	Опромінення окремих осіб, які знаходяться в зоні радіаційного ураження, у дозах понад 100 мЗв, але менше 500 мЗв
Важкий	Малий викид (радіологічний еквівалент декількох десятків ТБк)	Зона забруднення охоплює територію, на якій проживає населення чисельністю до 10 тис. людей	Опромінення окремих осіб, які знаходяться в зоні радіаційного ураження, у дозах понад 50 мЗв, але менше 100 мЗв
Нижче важкого	Незначний викид (перевищує встановлені державою норми в декілька разів)	Зона забруднення незначна, опромінення зазнає лише невелика кількість осіб з персоналу чи населення	Опромінення окремих осіб, які знаходяться в зоні радіаційного ураження, у дозах нижче 50 мЗв, але вище річного ліміту доз

Для ранжування рівнів ризику нами запропонована матриця наслідків/імовірностей. Для встановлення граничних значень ризиків застосовували числа з послідовності Фібоначчі – елементи числової послідовності, в якій перші два числа дорівнюють або 0 і 1 (або 1 і 1), а кожне наступне число дорівнює сумі двох попередніх чисел: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34 ... (табл. 3).

Таблиця 3. Взаємозв'язок між рівнем ризику та якісною оцінкою ризику

Рівень ризику	Якісна оцінка ризику
$21 \leq R$	Високий
$13 \leq R < 21$	Вище середнього
$5 \leq R < 13$	Середній
$2 \leq R < 5$	Нижче середнього
$R < 2$	Допустимий

Табл. 4 представляє форму матриці, яка застосовувалась нами при проведенні оцінки ризиків.

Таблиця 4. Форма матриці наслідків/імовірностей, побудована відповідно до табл. 3

Імовірність	Рівень ризику				
	5 Середній	8 Середній	13 Вище середнього	21 Високий	34 Високий
Дуже висока	5 Середній	8 Середній	13 Вище середнього	21 Високий	34 Високий
Висока	3 Нижче середнього	5 Середній	8 Середній	13 Вище середнього	21 Високий
Нижче високої	2 Нижче середнього	3 Нижче середнього	5 Середній	8 Середній	13 Вище середнього
Вище низької	1 Допустимий	2 Нижче середнього	3 Нижче середнього	5 Середній	8 Середній
Низька	1 Допустимий	1 Допустимий	2 Нижче середнього	3 Нижче середнього	5 Середній
Дуже низька	0 Допустимий	1 Допустимий	1 Допустимий	2 Нижче середнього	3 Нижче середнього
	Нижче важкого	Важкий	Вище важкого	Дуже важкий	Надзвичайно важкий
	Рівень наслідків				

(Див. кольорову таблицю на сайті журналу.)

Для прийняття рішення щодо управління ризиками (виключення ризику, зменшення частоти, зменшення наслідків, усунення ризику тощо) виходячи з рівня ризику нами була розроблена табл. 5.

Таблиця 5. Рівень ризику – рішення

Рівень ризику	Рішення
Високий	Ризик є критичним. негайне здійснення заходів зі зменшення ризику до допустимого рівня
Вище середнього	Ризик є недопустимим. Управління ризиком є обов’язковим. Постійне здійснення заходів зі зменшення ризику до допустимого рівня
Середній	Ризик серйозний. Здійснення заходів зі зменшення ризику до допустимого рівня. Управління ризиком здійснюється із врахуванням вигода/витрати
Нижче середнього	Ризик незначний. У разі високої частоти події, якщо це можливо, здійснюються заходи зі зменшення ризику до допустимого. Ризик може бути прийнятним як допустимий при відповідному моніторингу і контролі, коли зниження ризику неможливе чи недоцільне, тоді управління ризиком зводиться до зменшення наслідків
Допустимий	Ризик знаходиться на рівні, що є допустимим у сфері фізичної ядерної безпеки. Здійснюється періодичний моніторинг ризику

### 3. Отримані результати та обговорення

У результаті дослідження була проведена якісна загальна оцінка ризиків шляхом ідентифікування ризиків, аналізування їх і наступного оцінювання.

#### 3.1. Ідентифікування ризиків

Процес ідентифікування ризиків полягав у визначенні подій у сфері фізичної ядерної безпеки, які є, на нашу думку, потенційно можливими в Україні.

У результаті експертного обговорення були вибрані такі події:

1. Підрив ядерного боєприпасу.
2. Підрив саморобного ядерного вибухового пристрою:
  - 2-1 – виготовленого з неопроміненого ядерного матеріалу прямого використання;
  - 2-2 – виготовленого з опроміненого ядерного матеріалу прямого використання;
  - 2-3 – завезеного на територію України.
3. Вчинення диверсії щодо:
  - 3-1 – АЕС, іншої ядерної установки;

- 3-2 – радіаційно-небезпечного об’єкта.
4. Крадіжка чи інше несанкціоноване вилучення джерела іонізуючого випромінювання 1, 2 чи 3 категорії з метою:
  - 4-1 – виготовлення та застосування радіологічного опромінюючого пристрою;
  - 4-2 – виготовлення та застосування радіологічного розсіюючого пристрою.
5. Захоплення окремих життєво важливих місць ядерної установки з метою висунення певних вимог до уряду, місцевої влади, адміністрації установки.

#### 3.2. Оцінка ризиків

Вхідні дані для оцінювання ризиків, отримані шляхом експертного висновку, наведено в колонках 2 і 3 табл. 6. Рівні ризику, які визначають пріоритети у прийнятті рішень і розподілі ресурсів, виходячи з прийнятності чи неприйнятності ризику визначених подій, і отримані шляхом застосування матриці наслідків/імовірностей, наведено у колонці 4.

Таблиця 6. Якісні значення ймовірностей, наслідків та ризиків розглянутих подій, пов’язаних з фізичною ядерною безпекою

Подія	Імовірність виникнення	Рівень наслідків	Рівень ризику
1	Дуже низька	Надзвичайно важкий	Нижче середнього
2-1	Низька	Дуже важкий	Нижче середнього
2-2	Дуже низька	Дуже важкий	Нижче середнього
2-3	Низька	Дуже важкий	Нижче середнього
3-1	Висока	Дуже важкий	Вище середнього
3-2	Нижче високої	Важкий	Нижче середнього
4-1	Висока	Нижче важкого	Нижче середнього
4-2	Висока	Вище важкого	Середній
5	Нижче високої	Дуже важкий	Середній

(Див. кольорову таблицю на сайті журналу.)

Як бачимо з отриманих ризиків, з тих подій, що нами були розглянуті, до високого ризику жодна подія не потрапила, найбільшу величину ризику має подія, пов'язана з диверсією на ядерній установці.

Після визначення рівнів ризику приймаються рішення щодо управління ризиками відповідно до табл. 5.

Потрібно розуміти, що будь-які оцінки ризиків не можуть бути точними з абсолютно природних причин. Головною причиною є те, що оцінка ризиків для подій, що можуть трапитися досить рідко, є ймовірнісною і перевірити її достовірність дуже важко, якщо взагалі можливо. Наприклад, якщо прийняти, що частота виникнення події становить 0,5 на рік, тобто 1 раз на 2 роки, то здійснюючи моніторинг протягом 10 років можна впевнитися в обґрунтованості прийнятої частоти події. Але якщо частота події становить 0,1 на рік, тобто раз на 10 років, (або й менші величини), то ситуація з перевіркою базового рівня ймовірності не має сенсу через непередбачуваність розвитку подій. Оскільки певні події у сфері фізичної ядерної безпеки можуть траплятися досить рідко (наприклад, раз на 100 років), а деякі з них ще ніколи не траплялися, усе одно через важкість наслідків реалізації цих подій вони мають залишатися в постійному полі зору аналітиків. У більшості випадків оцінки ризиків таких подій базуються на висновках експертів, тобто є експертно-залежними. Причому більшість експертів обмежуються лише якісною оцінкою ризиків. І хоча при цьому значно погіршується точність оцінок експертів і кінцевих результатів, це все одно може допомогти запобігти прийняттю помилкових чи не зовсім виправданих рішень.

У своєму дослідженні ми використовували тільки відкриту інформацію, яка є загальнодоступною. Експерти, які будуть мати доступ до деяких чи багатьох видів закритої інформації, можуть отримати інші оцінки ризиків, але, як нам здається, такі оцінки не будуть кардинально відрізнялися від отриманих нами. Ми сподіваємося, що інші експерти, які будуть робити оцінки ризиків вчинення актів ядерного чи радіологічного тероризму, врахують наш досвід і наші пропозиції.

#### 4. Висновки

Загальне оцінювання ризику є частиною управління ризиком, яке дає можливість мати структурований процес, у ході якого визначають, що може вплинути на досягнення цілей. Також аналізують ризик щодо ймовірностей подій та їхніх наслідків, перш ніж приймати рішення щодо необхідності подальшого оброблення ризику [5].

Звичайно ми розуміємо, що весь спектр ризиків у сфері фізичної ядерної безпеки України не обмежується тими подіями, що описані в нашій статті, проте ми вважаємо, що розглянуті нами події слід віднести до числа найбільш актуальних.

Отримані нами результати вказують на те, що найбільшої уваги потрібно приділяти управлінню ризиками, які пов'язані з подією 3-1 (вчинення диверсії щодо ядерних установок України), 4-2 (крадіжка джерела іонізуючого випромінювання I – III категорії з метою виготовлення та застосування радіологічного розсіюючого пристрою) та 5 (захоплення життєво важливих місць ядерної установки з метою висування певних вимог до уряду, місцевої влади, адміністрації установки), що в принципі проглядається на тлі всіх тих суспільно-політичних процесів, що відбуваються в Україні й у світі в цілому.

Проведені нами дослідження є першою спробою оцінити, які є в Україні ризики у сфері фізичної ядерної безпеки. Отримані результати можуть бути першим щаблем до реалізації ризикорієнтовного підходу для визначення пріоритетів при розробленні систем і заходів фізичної ядерної безпеки. Це відкриє можливості управляти ризиками й дасть змогу нашій державі визначати пріоритети й ефективно розподіляти ресурси (людські, фінансові тощо) організаціям, задіяним у забезпеченні фізичної ядерної безпеки.

Враховуючи вищевикладене, не можна стверджувати, що отримані нами оцінки ризиків можуть претендувати на високу точність, але в той же час ми очікуємо, що отримані нами оцінки ризиків указують на необхідність розбудови ефективного державного режиму фізичної ядерної безпеки в Україні.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Резолюція 1540 (2004), ухвалена Радою Безпеки на її 4956-му засіданні 28 квітня 2004 року.
2. Міжнародна конвенція про боротьбу з актами ядерного тероризму (ратифіковано Законом України № 3533-IV від 15.03.2006 р.)
3. Risk Informed Approach for Nuclear Security Measures for Nuclear and Other Radioactive Material out of Regulatory Control. Implementing Guide, IAEA Nuclear Security Series No. 24-G (Vienna, IAEA, 2015) 69 p.
4. С.І. Кондратов. Фізична ядерна безпека напередодні Гаазького саміту: чи є передумови до зміни пріоритетів? (К.: Нац. ін-т стратегічних досліджень, 2014) 33 с.
5. Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику (ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013) (К.,

6. Мінекономрозвитку України, 2015) 80 с.
7. Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій за їх рівнями. Постанова № 368 від 24 березня 2004 р., Кабінет Міністрів України (К., 2004).
8. Про затвердження Порядку проведення оцінки вразливості ядерних установок та ядерних матеріалів. Наказ № 169 від 30.11.2010 р., Державний Комітет Ядерного Регулювання України (К., 2010).
9. Про введення в дію Державних гігієнічних нормативів «Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)». Постанова № 62 від 01.12.97 р., Головний Державний Санітарний Лікар України, Перший Заступник Міністра Охорони Здоров'я України, 1997.

**V. I. Gavrilyuk<sup>1</sup>, S. S. Drapey<sup>1</sup>, B. V. Kaydyk<sup>1</sup>, V. I. Kirischuk<sup>1\*</sup>, V. V. Parkhomenko<sup>1</sup>,  
O. P. Romanova<sup>1</sup>, A. V. Samsonenko<sup>1</sup>, E. I. Katunin<sup>2</sup>, A. V. Boyko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Training Center for Physical Protection, Accounting and Control of Nuclear Material, Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> Chernobyl NPP, Slavutych, Kyiv region, Ukraine

<sup>3</sup> Khmelnytsky NPP, Netishyn, Khmelnytsky region, Ukraine

\*Corresponding author: kirisch@mpca.kiev.ua

### NUCLEAR SECURITY RISKS IN UKRAINE

An approach to conducting a qualitative risk assessment in the field of nuclear security was developed. Nuclear security events that might, with a certain probability, take place in Ukraine were identified. Using the method of expert assessment, qualitative assessments of the probabilities of the implementation of identified events and the levels of their consequences were obtained, a matrix of consequences/probabilities, in which Fibonacci numbers were applied when setting the limit values of risks, was built and a qualitative assessment of risks was carried out. It has been established that in the field of Ukraine's nuclear security, the risk of sabotage at nuclear power plants is the greatest.

*Keywords:* nuclear security, nuclear facility, nuclear materials, sources of ionizing radiation, risk assessment, risk management, consequences/probabilities matrix.

### REFERENCES

1. Resolution 1540 (2004), adopted by the Security Council at its 4956th meeting, on 28 April 2004. (Ukr)
2. International Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism (ratified by the Law of Ukraine No. 3533-IV of March 15, 2006.) (Ukr)
3. Risk Informed Approach for Nuclear Security Measures for Nuclear and Other Radioactive Material out of Regulatory Control. Implementing Guide, IAEA Nuclear Security Series No. 24-G (Vienna, IAEA, 2015) 69 p.
4. S.I. Kondratov. Nuclear security in the run-up to the Hague summit: are there any preconditions for a change in priorities? (Kyiv: National Institute for Strategic Studies, 2014) 33 p. (Ukr)
5. Risk management. Methods of general risk assessment (State standard of Ukraine IEC ISO 31010:2013) (Kyiv, Ministry of Economic Development of Ukraine, 2015) 80 p. (Ukr)
6. On approval of the Procedure for classification of emergencies according to their levels. Resolution No. 368 of March 24, 2004, Cabinet of Ministers of Ukraine (K., 2004). (Ukr)
7. On approval of the Procedure for assessing the vulnerability of nuclear installations and nuclear materials. Order No. 169 of November 30, 2010, State Nuclear Regulatory Committee of Ukraine (Kyiv, 2010). (Ukr)
8. On the enactment of the State Hygienic Standards "Radiation Safety Standards of Ukraine (RSSU-97)". Resolution No. 62 of December 1, 1997, Chief State Sanitary Physician of Ukraine, First Deputy Minister of Health of Ukraine, 1997. (Ukr)

Надійшла/Received 21.05.2021