

Ю.Л. Забулонов, д.т.н., В.М. Буртняк, к.т.н.

Інститут геохімії навколишнього середовища НАН и МНС України

ОСОБЛИВОСТІ ВИЯВЛЕННЯ ПОРУШЕНЬ РЕЖИМУ ОХОРОНИ ОБ'ЄКТІВ З ЯРМ ПРИ ПРОВЕДЕНІ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ

Main peculiarities of security violations detection at the objects with nuclear and radioactive materials during the automatic control carried out using a standard statistical information processing method are considered. The analysis of information processing stages for detection of security violations is conducted.

Зберігання ядерно-радіаційних матеріалів (ЯРМ) пов'язане з певними ризиками, які необхідно мінімізувати і забезпечувати захист від них за допомогою застосування належних норм радіаційної безпеки. Для забезпечення і підтримки ефективного контролю за нерозповсюдженням ядерно-радіаційними матеріалами існують відповідні регулюючі системи, які повинні відповідати нормам і керівним матеріалам МАГАТЕ [1]. Проте, контроль за об'єктом з ЯРМ може бути втрачений по різноманітних причинах. Наприклад, це може бути обумовлено людським чинником - користувач радіоактивних матеріалів може не виконувати процедури, які вимагаються регулюючими положеннями. Втрата контролю може також стати наслідком недоліків в самій інфраструктурі або як наслідок недостатньої фізичної ядерної безпеки (охорони ЯРМ). ЯРМ можуть також намагатися заволодіти і терористичні угруповання. Зважаючи на проблеми, пов'язані з не розповсюдженням ЯРМ і тероризмом, в цьому відношенні виникає особлива заклопотаність у зв'язку з необхідністю надійного і ефективного контролю за матеріалами, які використовуються в народному господарстві країни.

Для автоматичного контролю за об'єктами з ЯРМ застосовуються прилади, що формують сигнал тривоги при виникненні іонізуючого випромінювання, рівень якого перевищує деяке задане значення. Це значення — його називають пороговим — тим або іншим способом встановлюють в самому приладі. Розташований у віддалені, часом в труднодоступному місці, такий прилад повинен завчасно попереджати про радіаційну небезпеку, що насувається.

Своєчасне, можливо, завчасне виявлення ефектів порушення зберігання ЯРМ є найважливішим завданням системи автоматичного контролю і спостереження (САКС) [2].

Така система є як правило, стаціонарним пристроєм, що складається з інтелектуальних блоків детектування, контролерів, блоків живлення, інтерфейсів передачі даних і «центру управління» - центрального пристрою обробки і відображення інформації на базі персонального комп'ютера. Потік

гамма-квантів, що потрапляють на детектор, реєструється в блоках детектування. Контролер забезпечує перетворення потоку гамма-квантів, що потрапляють на детектор, в чисельне значення швидкості підрахунку числа імпульсів іонізуючого випромінювання. У випадку, якщо результат чергового вимірювання перевищив встановлений поріг спрацьовування над рівнем фону (як у бік збільшення, так і у бік зменшення показників), система видає повідомлення про факт перевищення встановлених порогів. Поріг спрацьовування тривожної сигналізації в системі встановлюється трохи вище за природний радіаційний фон зі всіма можливими його відхиленнями від середнього значення. Повідомлення про факт перевищення встановлених порогів спрацьовування з'являється на дисплеї в «центрі управління». Одночасно видається звуковий сигнал високого тону за допомогою акустичних систем, підключених до центрального пристрою обробки і відображення інформації.

При контролі і спостереженні за об'єктами з ЯРМ методом спектрометричного аналізу необхідно розрізняти фоновий спектр і спектр, який належить до джерела випромінювання. Спектрометричний аналіз проводиться в діапазоні енергії γ -квантів в широкому діапазоні 0.05 – 7 МеВ.

Для обробки спектрів γ -квантів застосовується теорія перевірки статистичних гіпотез, яка дозволяє на основі результатів вимірювань визначити наявність або відсутність ефекту порушення режиму охорони із заданою вірогідністю помилкових тривог α і правильного виявлення $1 - \beta$. Ці величини залежать від вибраного порогу (наприклад, від числа відліків детектора). Перевищення порогу свідчить про наявність ефекту. При будь-якому способі обробки результатів вимірювань система виявлення порушень режиму охорони ЯРМ характеризується масою радіоактивної речовини, яка визначається із заданими вірогідностями правильної ідентифікації і помилкових тривог.

Процес виявлення порушення режиму охорони зберігання ЯРМ включає три основні етапи:

- визначення рівня спрацьовування сигналу тривоги;
- визначення рівня аналізу сигналів тривоги;
- аналіз сигналів тривоги (переконатися, що тривожний сигнал викликаний реальним підвищенням рівня радіоактивного випромінювання);
- ідентифікація радіонуклідів, що стали причиною сигналу тривоги

Проблема вибору рівнів спрацьовування і аналізу сигналів тривоги.

Поріг спрацьовування сигналу тривоги визначається як рівень радіоактивного випромінювання, що перевищує рівень фону (як у бік збільшення, так і у бік зменшення показників), досягши якого система видає повідомлення про факт перевищення встановлених порогів спрацьовування.

Поріг аналізу сигналу тривоги визначається як рівень радіоактивного випромінювання, досягши якого робиться подальший аналіз сигналів тривоги.

Розглянемо мал. 1 на якому відображено два спектри: спектр фону (В) і спектр деякого джерела радіоактивного випромінювання (А). Припустимо, що рішення про проведення аналізу сигналів тривоги буде прийняте всякий раз, коли рівень випромінювання буде перевищувати деяку величину, яка відповідає точці А. Якщо встановити рівень спрацьовування сигналу тривоги системи в цій точці (А), то в половині випадків, коли виникає така потужність дози, спрацьовування тривожного сигналу не відбудеться. Тобто в цьому випадку, зважаючи на статистичний характер радіоактивного розпаду інтенсивність відмов складе 50%. Тому, для того щоб понизити інтенсивність відмов до якогось прийнятнішого рівня, порогове значення для спрацьовування сигналу тривоги необхідно встановлювати на деякому нижчому рівні (наприклад, в точці С). Проте, потужність дози фонового випромінювання сильно впливає (як перешкода) на виявлення порушення. Тому, якщо бажаний рівень аналізу сигналів тривоги (А) дуже близький до потужності дози фонового випромінювання (В), виникне неприйятна кількість помилкових спрацьовувань сигналів тривоги, які пов'язані з фоновим випромінюванням. З вище викладеного витікає, що визначенням рівнів спрацьовування і аналізу сигналу тривоги системи є нетривіальним завданням.

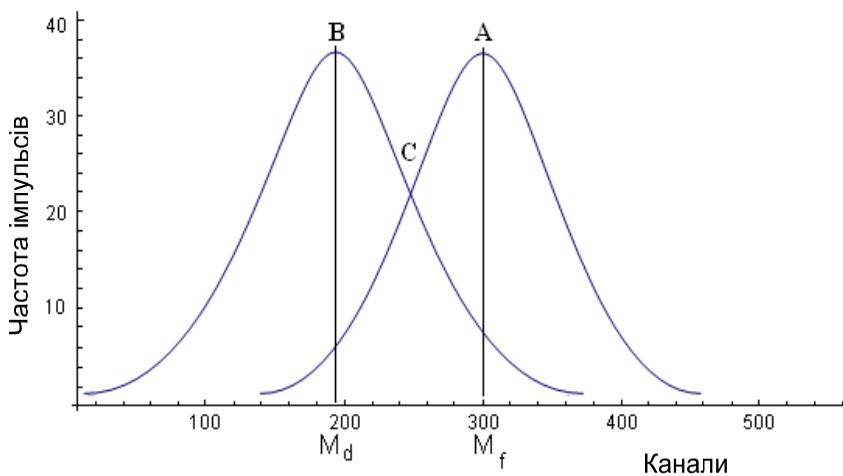


Рис. 1. Сигнали фону і джерела випромінювання, які перекриваються

Визначення порогу спрацьовування сигналу тривоги системи

Вибір певного порогу для аналізу сигналу тривоги в системі контролю за ЯРМ означає, що необхідно відповідним чином (у відповідності деякому алгоритму) встановити поріг спрацьовування сигналу тривоги. Поріг спрацьовування сигналу тривоги можна виразити у вигляді величини, яка кратна рівню фонового випромінювання, або у вигляді величини, яка кратна стандартному відхиленню швидкості рахунку рівня фонового

випромінювання (σ). Але, не дивлячись на те, що ці рівні (поріг спрацювання сигналу тривоги і поріг його аналізу) взаємозалежні, вивести деяку узагальнену аналітичну залежність для визначення і установки рівня аналізу сигналу тривоги не вдається. Це пов'язано з тим що:

- потужність дози фонового випромінювання і її стандартне відхилення залежать від чутливості детектора системи, а також і від реального рівня фонового випромінювання;
- не відомі такі чинники, як ступінь екранування і енергія випромінювання радіоактивного джерела.

Отже, представляється розумним встановлювати таке значення рівня аналізу сигналу тривоги, яке забезпечувало б максимальну чутливість і в той же час не викликало б дуже великої кількості помилкових спрацювань.

При встановленні практичного рівня порогу спрацювання сигналу тривоги необхідно прагнути до досягнення компромісу, з тим щоб можна було виявляти порушення зберігання ЯРМ, яке може бути неавтоматичним або умисним його переміщенням, і в той же час забезпечувалася прийнятно низька частота помилкових спрацювань системи. ЯРМ, які переміщуються в законному порядку, також викличуть спрацювання тривожних сигналів, проте подальший аналіз цих сигналів повинен прояснити ситуацію і дозволити їх подальше переміщення.

Як уже вказано вище, для того, щоб врахувати статистичні відхилення, поріг спрацювання сигналу тривоги системи повинен бути встановлений значно нижчим, ніж номінальний вибраний рівень його аналізу. Для досягнення вірогідності виявлення порушення режиму охорони 99,9%, для ідеального випадку розподілу Гауса, пороговий рівень системи повинен бути встановлений принаймні на 3σ нижче, ніж бажаний рівень, що забезпечить охоплення всіх подій, які статистично потрапляють на "нижній хвіст кривої" розподілу (див. рис. 1). З іншого боку, поріг спрацювання сигналу тривоги в системі повинен залишатися на безпечній відстані від значень, дуже близьких до фонового рівня. Для того, щоб частота помилкових спрацювань складала від 1 до 10 000, поріг спрацювання сигналу тривоги системи повинен бути встановлений принаймні на 4σ вище, ніж середній фоновий рівень і на 3σ для частоти помилкових спрацювань від 1 до 1000.

Результати польових випробувань систем радіаційного контролю вантажного транспорту показують [3], що, для того, щоб забезпечити робочі характеристики відносно помилкових спрацювань системи, які приведені вище, необхідно встановити рівень аналізу сигналів тривоги, рівним принаймні 1,2 рівня природного фонового випромінювання. Якщо рівень аналізу сигналів тривоги підняти до значення, рівного 1,4 фонового рівня, то, крім виконання вимог відносно частоти помилкових спрацювань, можна приблизно в 10 разів зменшити частоту появи тривожних сигналів, не пов'язаних з порушеннями. При такому підвищенні рівня аналізу сигналів

тривоги все ще забезпечується чутливістю виявлення, яка потрібна для реальних випадків незаконного переміщення ЯРМ.

При певних допущеннях іноді встановлюють поріг аналізу сигналів тривоги залежно від значення стандартного відхилення фонового випромінювання. Так для типової детекторної системи із швидкістю рахунку за фонових умов 1000 імпл/с забезпечення вищезгаданих робочих характеристик означає, що номінальне значення рівня аналізу сигналу тривоги, яке в 1,2 рази перевищує фоновий рівень, буде відповідати приблизно 7 стандартним відхиленням. Значення, що становить 1,4 фонового рівня, відповідає в цих умовах приблизно 14 стандартним відхиленням.

При монтажі та наладці устаткування САКС належні пороги спрацьовування сигналу і аналізу тривоги системи, необхідно вибирати в контексті місцевих умов. Після певного періоду експлуатації системи, виходячи з експлуатаційного досвіду, необхідно буде внести певні коректування для порогу спрацьовування тривожного сигналу.

Аналіз сигналів тривоги

Спрацьовування порогового рівня сигналів тривоги можуть визвати наступні три типи сигналів:

- помилкові сигнали тривоги;
- сигнали тривоги, які не пов'язані з порушенням;
- сигнали тривоги, які визвані порушенням.

Сигнали тривоги, що виникають в системі не обов'язково можуть бути викликані проходженням через детектор зарядженої частинки. Їх причиною можуть бути внутрішні шуми детекторів, а також різноманітні радіочастотні перешкоди від довколишніх джерел. Помилкові сигнали тривоги можуть з'являтися і у зв'язку із статистичними флуктуаціями інтенсивності фонового випромінювання. Для зменшення швидкості рахунку помилкових імпульсів (імпульсів шуму) застосовуються різні схемо-технічні рішення. Наприклад, встановлюють поріг дискримінатора таким, щоб амплітуда шумових імпульсів стала менше порогу спрацьовування. Для сучасних високоякісно сконструйованих спектрометрів γ -випромінювання проблема помилкових сигналів тривоги не є актуальною.

Сигнали тривоги, не пов'язані з порушенням, – це такі сигнали, які є наслідком реального підвищення рівня випромінювання, але викликані причинами, які не пов'язані з навмисним порушенням зберігання ЯРМ. Існує ряд потенційних причин виникнення не пов'язаних з порушенням тривожних сигналів, і в основному вони виникають в процесі регламентних робіт, які періодично необхідно проводити в сховищі ЯРМ.

Помилкові тривожні сигнали при контролі ЯРМ, які з'являються з високою інтенсивністю можуть стати причиною того, що система радіаційного контролю стане практично марною і нікому не потрібною. Тому доводиться добиватися компромісу між надмірно високою частотою появи помилкових сигналів тривоги і неприпустимо низькою чутливістю.

Реальні тривожні сигнали, або сигнали які визвані порушенням ситемі охорони – визначаються як такі сигнали, що: а) викликаються реальним підвищенням інтенсивності випромінювання; і б) пов'язані з навмисним переміщенням або незаконним оборотом радіоактивних матеріалів.

Перевірка тривожних сигналів за допомогою радіаційного контролю

При надходженні сигналу тривоги необхідно відповідним чином на нього зреагувати. Розрізняють наступні види реагування:

- перевірка сигналу;
- оперативне реагування;
- тактичне реагування;
- стратегічне реагування.

Перевірка сигналу тривоги (система зафіксувала рівень радіаційного випромінювання, що перевищує заданий поріг) зазвичай пов'язана з повторенням вимірювання в ідентичних умовах і/або використанням іншого приладу. Отриманий аналогічний результат є достовірним підтвердженням реального підвищення рівня радіації.

Необхідний рівень реагування на тривожний сигнал буде залежити від виявлених радіологічних умов. Більшість ситуацій, які виникають характеризуватимуться відсутністю небезпеки, або незначною небезпекою і можуть бути врегульовані черговим персоналом (людьми, що не є фахівцями в області радіаційної безпеки). Цей процес називають реагуванням на оперативному рівні.

Реагування на вищому тактичному рівні з викликом і участю фахівців в області радіаційної безпеки рекомендується здійснювати в тому випадку, якщо виявлена ситуація, коли рівень випромінювання перевищує деякий гранично-допустимий рівень, який може бути викликаний умисним порушенням герметичності або неконтрольованим руйнуванням

Подальший перехід до реагування на стратегічному рівні, яке рідко здійснюється залежить тільки від масштабів і тяжкості радіаційної обстановки. При цьому вірогідне приведення в дію національного або регіонального плану аварійного реагування.

Оцінка виявлених ЯРМ

Наступним етапом в аналізі сигналу тривоги є ідентифікація виявлених радіонуклідів. Ідентифікація радіонукліда з гамма-випромінюванням в САКС зазвичай проводиться після підтвердження тривожного сигналу і вимірювання потужності дози. Ідентифікація радіонукліда допоможе в оцінці того, чи є даний тривожний сигнал сигналом, пов'язаним або не пов'язаним з порушенням. Тому ідентифікація радіонукліда – це тільки частина оцінки того, чи має місце випадок ненавмисного переміщення або незаконного порушення захисту.

В сучасних пристроях для ідентифікації радіонуклідів, як правило, проводиться вимірювання спектру гамма-випромінювання і на основі

математичної обробки отриманої інформації ідентифікують радіонуклід. Технологія, пов'язана з ідентифікацією радіонуклідів, постійно удосконалюється, і немає можливості дати прогноз того, які поліпшення можуть з'явитися в найближчому майбутньому. Проте незалежно від того, який пристрій використовується для ідентифікації радіонуклідів, можна сказати, що аналіз спектру радіаційного випромінювання займе час, значно більший чим, наприклад процес проведення певевірки персоналу на порталному моніторі КПП. Проте ідентифікацію радіонуклідів можна проводити в «центрі управління» спостереженням і контролем за ЯРМ, де є сервер з високою обчислювальною потужністю. Чим вища швидкість обробки даних сервера, що забезпечується програмним забезпеченням, яке використовується тим швидше результати аналізу поступають для оперативного використання. Якщо радіонуклід не вдається ідентифікувати однозначно, то такі чіткі повідомлення, як “не ідентифікується” або повідомлення, що вимагають розширеного вимірювання, є значно кориснішими, ніж неправильна ідентифікація.

При вимірюванні гамма-спектра в цілях ідентифікації радіонуклідів в умовах спостереження представляють інтерес два різні часові параметри. Одним з них є час вимірювання, який необхідний для збору даних про гамма-спектр. Цей час залежить від активності джерела, енергії ліній гамма-випромінювання, присутності екранування і відстані від джерела. Час вимірювання час може змінюватися в діапазоні від десятих часток секунди до приблизно 10 хвилин. Після закінчення вимірювання відбувається обробка гамма-спектра для визначення присутніх радіонуклідів. Необхідний для цього час зазвичай не перевищує 30 секунд.

Одержані спектри необхідно зберігати в пам'яті і дуже корисною є можливість передачі їх в «центр управління» по каналу передачі даних для подальшої експертизи. Це особливо актуально в тих випадках, коли проблеми не можуть бути вирішені на місці.

У багатьох відношеннях вимірювальна апаратура для радіаційного контролю і спостереження за об'єктами з ЯРМ все ще знаходиться на недостатньому рівні «інтелектуальності» та чутливості і необхідні подальші зусилля по її вдосконаленню і надійності.

1. МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Кодекс поведения по обеспечению безопасности и сохранности радиоактивных источников, IAEA/CODEC/2001, МАГАТЭ, Вена (2001).
2. Забулонов Ю.Л., Буртняк В.М.. Система контроля и слежения за хранением ядерных материалов. // Зб. наук. пр. Інституту проблем моделювання в енергетиці НАНУ. „Моделювання та інформаційні технології” – К., 2008. - Вип. 47. – С.107-118.
3. AUSTRIAN RESEARCH CENTERS SEIBERSDORF, Illicit Trafficking Radiation Detection Assessment Program, Final Report, OEFZS-G-0002, Seibersdorf (2000).

Поступила 10.03.2011р.