

УДК 620.1:621.039

**М. П. Одейчук**, кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
Національного наукового центру  
“Харківський фізико-технічний інститут”

### ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ОБМЕЖЕННЯ НЕЗАКОННОГО ОБІГУ ЯДЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Статтю присвячено проблемі відвернення й обмеження незаконного обігу ядерних матеріалів, аналізу технічних засобів ідентифікації та технологій, що здатні мінімізувати загрозу розповсюдження ядерних матеріалів, а також забезпечити можливість їх виявлення, ідентифікації та контроль переміщення. Для проведення ідентифікації ядерних матеріалів невідомого складу запропоновано використовувати стандартні зразки ядерних матеріалів.*

*Стаття посвячена проблеме предупреждения и ограничения незаконного оборота ядерных материалов, анализу технических средств идентификации и технологий, способных минимизировать угрозу распространения ядерных материалов, а также обеспечить возможность их обнаружения, идентификации и контроль перемещения. Для проведения идентификации ядерных материалов неизвестного состава предложено использовать стандартные образцы ядерных материалов.*

*The article is devoted to the problem of prevention and control of illicit trafficking of nuclear materials, analysis of identification technical tools and technologies that can minimize the proliferation of nuclear materials, as well as enable their detection, identification and control of movement. There are proposed for the identification of unknown structure nuclear materials using standard samples of nuclear materials.*

**Ключові слова.** Незаконний обіг ядерних матеріалів, технічні засоби ідентифікації, стандартні зразки ядерних матеріалів.

**Вступ.** Одним з побічних ефектів процесу ядерного роззброєння стало посилення страху з приводу того, що ядерні матеріали збройної якості з місць їх переробки та складування можуть потрапити до рук радикально налаштованих держав або терористичних угруповань. Економічна нестабільність у поєднанні з величезним запасом ядерних матеріалів робить додатковий внесок у занепокоєння світової спільноти. У зв'язку з підписанням навесні 1995 р. Договору про нерозповсюдження ядерних матеріалів і технологій у всьому світі все більше уваги приділяється питанню забезпечення безпеки плутонію та високозбагаченого урану, що використовуються з цивільною метою. Відповідальність за безпеку ядерних матеріалів лягає на всі держави, що володіють ядерними технологіями. За відсутності розв'язання проблеми довготривалого зберігання плутонію та збагаченого урану (багато країн розглядають ці матеріали як національні скарби, що потрібно зберегти для використання в майбутньому у високопоточних дослідних реакторах, реакторах-розмножувачах тощо) є технології, котрі здатні мінімізувати загрозу витоку ядерних матеріалів з місць їх переробки і накопичення, а також забезпечити виявлення, ідентифікацію і контроль переміщення.

І все-таки випадки заволодіння ядерними матеріалами терористичними групами й окремими громадянами та їх незаконного переміщення через кордони держав мали і мають місце [1].

© М. П. Одейчук, 2010

**Постановка завдання.** У глосарії МАГАТЕ зазначено: “незаконним обігом є одержання, володіння, використання, передача або вилучення радіоактивного матеріалу без дозволу”, і таке визначення широко застосовується. У подальшому в документах МАГАТЕ роз'яснюється, що даний термін не слід тлумачити як такий, котрий охоплює всі несанкціоновані події, пов'язані з радіоактивними матеріалами, незалежно від їх типу і причин, оскільки більшість з них можуть являти собою лише адміністративні порушення і питання для національного ядерного або радіологічного регульовного органу, а не для правоохоронних органів [2]. Таким чином, термін “незаконний обіг” запропоновано використовувати для позначення будь-якого навмисного несанкціонованого переміщення або торгівлі (особливо міжнародної) радіоактивними матеріалами (включаючи ядерні матеріали) зі злочинними намірами.

Від січня 1993 р. до грудня 2006 р. у спеціальній Базі даних МАГАТЕ з незаконної торгівлі зареєстровано 275 випадків несанкціонованого володіння ядерними матеріалами. Ця база (з повної доповіді 31 грудня 2000 р.) про випадки незаконного обігу показує масштаб таких дій (табл. 1) [2]. Сто п'ятдесят інцидентів зафіксовано тільки в 2006 р. Особливе занепокоєння МАГАТЕ викликають випадки крадіжок цих матеріалів, оскільки вони свідчать про відсутність належного контролю та неадекватну систему безпеки.

Таблиця 1

**Ядерні матеріали в Базі даних МАГАТЕ з незаконного обігу (2000) [2]**

Елемент	Опис матеріалу	
	Тип матеріалу	Діапазон мас
Уран	Природний	0,1 г – 82 кг
	Збіднений	0,1 г – 100 кг
	Низькозбагачений	4,11 г – 149,8 кг
	Високозбагачений	0,17 г – 2,972 кг
Плутоній	Весь	0,05 мг – 363 г
Торій	Різні хімічні форми	0,3 кг – 1400 кг

До найбільш серйозних випадків на пострадянському просторі належать: крадіжка 1,5 кг урану 90 %-го збагачення в Подольську з підприємства “Луч” у 1992 р., крадіжка 1,8 кг урану 36 %-го збагачення з військово-морської бази в Андреевій губі в 1993 р., конфіскація в 1995 р. у Москві 1,7 кг урану 21 %-го збагачення, раніше викраденого із заводу в Електросталі, припинення крадіжки 18,5 кг матеріалу, який міг би бути використаний для створення ядерної зброї, групою співробітників одного з ядерних підприємств Челябінської області в 1998 р. [3]. У більшості інших випадків фігурували грами, максимум – два кілограми.

Найчастіше матеріали викрадалися з підприємств, що пов’язані з виробництвом ядерного палива або зберіганням ядерних матеріалів.

Існує багато відомостей, коли злочинці видають за збройові матеріали низькозбагачений уран або радіоактивні ізотопи, а то й узагалі речовини, що не мають нічого спільного з ядерними матеріалами. Як приклад фальсифікації такого роду можна навести випадок (2001 р., РФ), коли злочинне угруповання намагалося видати уранові паливні таблетки низького збагачення за високозбагачений уран [3].

Наведені дані показують, що для контролю переміщення ядерних матеріалів необхідно виконати комплекс завдань технічного та організаційного характеру.

Серед найбільш важливих організаційних завдань на найближчий час слід виділити консолідацію ядерних матеріалів на обмеженій кількості об’єктів, оскільки чим менше об’єктів, тим швидше та ефективніше можна довести захист кожного з них до необхідного рівня. Пильної уваги також заслуговують науково-дослідні інститути, які проводять експерименти з ядерними матеріалами, де контроль і захист часто набагато слабші, ніж на підприємствах паливного циклу і військовому виробництві. Необхідно домагатися якнайшвидшого введення і чіткого виконання сучасної системи обліку та контролю ядерних матеріалів. Через відсутність у радянський час точних інвентарних даних про кількість ядерних матеріалів на підприємствах з їх переробки неможливо точно встановити, чи всі випадки втрат і крадіжок ядерних матеріалів виявлено.

Важливе науково-технічне завдання в системі контролю і нерозповсюдження ядерних матеріалів – визначення їх якісних і, особливо, кількісних характеристик.

**Результати дослідження.** Останнім часом усе більше поширення в промислових лабораторіях підприємств різних галузей промисловості отримує рентгенофлуоресцентний метод аналізу хімічного складу матеріалів. Цей метод набуває популярності завдяки не тільки експресності, але й високій продуктивності, широкому діапазону визначення елементів (включаючи уран) і можливості проведення неруйнівного аналізу [6]. В Україні освоєно випуск двох моделей приладів рентгенофлуоресцентного аналізу: апаратно-аналітичний комплекс “Спрут” (Харків) та аналізатор елементного складу “Експерт” (Київ).

Апаратно-аналітичний комплекс “Спрут” забезпечує можливість якісного і кількісного аналізу складу підготовлених зразків розміром 15×40 мм з ділянкою плоскої поверхні не менше 15×15 мм і чистотою обробки поверхні не нижче 6. Хімічні елементи вимірюються по черзі. Час вимірювання не більше 2 хв на один хімічний елемент, тобто аналіз підготовленого зразка сплаву, що складається з 8–10 елементів, можна отримати лише за 15–20 хв.- Для роботи з невідомими речовинами існує методика “Невідомий зразок”. Потребує калібрування за відповідним комплектом ДСЗ (державні стандартні зразки).

Аналізатор елементного складу “Експерт” – це настільний прямопоказуючий прилад, призначений для вимірювання масової частки (концентрації) хімічних елементів у зразках сплавів, порошків і рідин без використання еталонів. За довільної форми проби, без спеціальної пробопідготовки, кількість аналізованих елементів за один вимір не обмежена. Не потребує застосування ДСЗ.

Для кількісних характеристик ядерних матеріалів (збагачення, вміст урану-235 або плутонію-239) створено автоматичні портальні монітори для контролю співробітників і транспортних засобів підприємств ядерного циклу, що реєструють характеристичне випромінювання, породжене ядерними матеріалами збройової або реакторної якості [7]. Після виявлення радіоактивного матеріалу портативним гамма-спектрометром можна перевірити, чи є він *спеціальним ядерним матеріалом* (СЯМ), тобто плутонієм, ураном зі збагаченням > 20 %  $^{235}\text{U}$  або  $^{233}\text{U}$ .

Покладатися під час контролю ядерних матеріалів тільки на один метод вимірювання – не найкраще рішення, тому що будь-яка технологія має свої обмеження і може не дати позитивного результату. Застосування комбінації гамма- та нейтронних пристроїв контролю дозволяє зареєструвати СЯМ навіть у тому випадку, коли він захищений матеріалом з великим атомним номером, наприклад свинцем. Така комбінація дуже ефективна як для транспорту, так і для людей. Пішохідні гамма-портали в поєднанні з металошукачами також дозволяють виявляти захищені СЯМ, реєструючи підозрілі металеві контейнери, які можуть бути використані для захисту СЯМ.

До передачі ядерних матеріалів (ЯМ) у ННЦ ХФТІ під контроль МАГАТЕ їх облік і контроль проводиться за процедурою, прийнятою в колишньому ЄСРП. Вихідна інформація у вихідному документі для матеріалу, отриманому безпосередньо від його виробника, найбільш надійна, однак інформація щодо матеріалу, який був підданий переробці, може неточно показувати його справжній склад. Таким чином, може з’являтися ядерний матеріал без ідентифікуючих ознак.

За міжнародною класифікацією для такого роду матеріалів використовується назва "балк-форма": ядерний матеріал у вигляді газу, рідини, порошку або великої кількості твердих предметів, що не мають індивідуальних номерів чи інших ідентифікаторів.

ННЦ ХФТІ розробив спеціальні підходи, методи і процедури, які вперше дозволили провести незалежні вимірювання підтвердженого типу щодо ЯМ, котрі десятиліттями вважалися важковимірюваними. Отримані результати становлять певну цінність як для продовження ідентифікації ЯМ у ННЦ ХФТІ, так і для інших підприємств ядерного паливного циклу України, що володіють ЯМ у балк- і майже балк-формі [8].

Для виконання завдань цієї роботи використовувалися спектрометричні системи на основі напівпровідникового планарного Ge-детектора (GL 0515R Ge, Low Energy, Ø 25,2×15,0 мм, енергетична роздільна здатність для енергії гамма-квантів 122 keV становить 550 eV), для обробки сигналу використовувався цифровий багатоканальний аналізатор DSA-1000 (Sanbeta), а також активний лічильник нейтронних збігів колодозного типу AWCC моделі JCC-51, які є в ННЦ ХФТІ і служать для визначення ізотопного складу, збагачення і маси уранових та плутонієвих зразків [9, 10]. Лічильник нейтронних збігів складається з 42 пропорційних детекторів, заповнених  $^3\text{He}$ , вони розташовані у два шари і забезпечують ефективність реєстрації 26 % для зразків малого розміру. Розміри вимірювальної камери можуть змінюватися від Ø 22,9×20,6 см до Ø 22,9×35,1 см.

Застосування приладів серії AWCC і відповідного програмного забезпечення дозволило перейти до експресного визначення кількісних параметрів (в активному режимі) вмісту урану-235 у невідомих подільних матеріалах. При цьому для активного аналізу за допомогою AWCC еталони мають бути репрезентативними для матеріалу в балк-формі, наскільки це можливо, у плані подібності щільності  $^{235}\text{U}$ , геометрії та матриці, тому що відгук безпосередньо пов'язаний зі швидкістю викликаного поділу, на яку можуть впливати всі перераховані параметри.

Використання нових калібрувальних кривих дозволило визначати вміст урану-235 у відповідних ядерних матеріалах з похибкою менше 1,2 % для зразків вагою до 100 г і з похибкою менше 3,5 % для зразків вагою до 2 кг. Використання отриманих калібрувальних кривих у розрахунках вмісту урану-235 у матеріалах, в яких фазовий склад відрізнявся від використовуваного в контрольних експериментах, характеризується зниженням точності визначення подільного ізотопу в 2–3 рази. Це може бути пов'язано з наявністю в таких досліджуваних матеріалах декількох фаз і домішок.

Сучасні методи неруйнівного контролю ядерних матеріалів стали важливим аналітичним засобом у проведенні вимірювань для систем обліку і контролю. У ряді випадків методи неруйнівного контролю (НРК) швидші, дешевші й доступніші, ніж руйнівний хімічний аналіз, потребують меншої підготовки персоналу, що проводить вимірювання, і не спричиняють яких-небудь значних змін у стані досліджуваного матеріалу. У переважній більшості методи НРК відносні, тому потребують калібрування з використанням високоякісних стандартних зразків (СЗ). Такі СЗ повинні мати властивості, які відповідатимуть вимірюваному матеріалу за всіма характеристиками, що впливають на результати вимірювань.

Зараз в Україні практично відсутні СЗ для методів НРК для обліку і контролю ядерних матеріалів, що, у свою чергу, гальмує процес метрологічної атестації та впровадження існуючих і розробки нових методик НРК.

У ННЦ ХФТІ є велика кількість ЯМ. У подальшому передбачається їх більш детальне дослідження й уточнення матеріального складу, особливо вмісту подільного ізотопу.

Для підвищення точності визначення подільного ізотопу передбачається розробити і створити в ННЦ ХФТІ декілька комплектів СЗ з наявних ядерних матеріалів зі збагаченням урану-235 від 0,3 до 90 % для методів НРК. Ці СЗ представлятимуть типові ядерні матеріали, що розповсюджені в ядерному паливному циклі України. Вони можуть бути виготовлені на основі, наприклад, металевго урану, металевго торію, діоксиду, карбіду, нітриду, оксикарбонітриду та інших сполук урану, сумішей діоксиду урану й діоксиду торію, типових зразків ядерних матеріалів у балк-формі відповідного збагачення за ураном-235 у порошковій і компактній модифікаціях.

**Висновки.** Реалізація запропонованих заходів дозволить створити бібліотеку калібрувальних кривих AWCC для широкого спектра складів і збагачення ядерних матеріалів та визначати подільний ізотоп з високою точністю. Такі СЗ використовуватимуться для оцінки та розробки методик вимірювань ядерних матеріалів методами вимірювання на основі нейтронного і гамма-випромінювання, для градування вимірювального обладнання

і в навчальних програмах з впровадження та використання методів НРК.

Проектування, специфікація, виготовлення й атестація СЗ – це складне завдання, що потребує знань і досвіду в багатьох галузях. Ретельна специфікація необхідних характеристик та розробка детального плану виконання робіт – мабуть, найбільш важливі етапи в процесі створення високоякісних СЗ.

#### Література

1. МАГАТЭ обеспокоено проблемой контрабанды радиоактивных и ядерных материалов. 2007 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.unmultimedia.org/radio/russian/detail/51488.html>
2. Обнаружение радиоактивных материалов на границах. IAEA-TECDOC-1312/R. МАГАТЭ, Вена, 2003. – 44 с.
3. Интервью "Nuclear Watch", 26 апреля 2002. Черный рынок радиоактивных материалов в России. Мифы и реальность. На вопросы отвечает ведущий эксперт Центра по нераспространению Монтерейского института международных исследований (США) Елена Сокова [Электронный ресурс]. – Режим доступа : NuclearNo.ru
4. Ядерная контрабанда в Украине. 2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://talks.guns.ru/forum\\_light\\_message/151/452091.html](http://talks.guns.ru/forum_light_message/151/452091.html)
5. Украинский гражданин попался на контрабанде урана в Россию. 2008 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://vovremya.info/news/1230206494.html>
6. Сыч Л. А. Рентгенофлуоресцентные аналитические приборы (краткий обзор) [Текст] / Л. А. Сыч // Литьё Украины. – № 8 (72). – 2006.
7. Минимизация утечки ядерных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа :

[www.canberra.com/russia/index.html](http://www.canberra.com/russia/index.html)

8. Use of AWCC in evaluation of unknown fissile materials. IAEA-SM-367/A/4/04/P [Text] / V. Mykhaylov, M. Odeychuk, V. Tovkanetz etc. / Symposium on international Safeguards. Verification and Nuclear Material Security. Book of extended synopses. Vienna, Austria, 29 October – 2 November 2001. – IAEA-SM-367, 2001. – P. 56–57.

9. Использование активного нейтронного счетчика совпадений в задачах разработки полупроводниковых детекторов нейтронного потока [Текст] / Д. В. Кутний, В. Е. Кутний, Н. П. Одейчук и др. // Вестник ХГУ. Серия физическая “Ядра, частицы, поля”. – 2008. – № 823. – С. 71–77.

10. Определение обогащения урановых материалов гамма-спектрометрическими методами [Текст] / Д. В. Кутний, Ю. Н. Телегин, Н. П. Одейчук и др. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. – 2009. – № 4 (94). – С. 256–262.