

Т.В. Бібік, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.,
 Є.В. Новаківський, канд. техн. наук, старш. наук. доц., І.В. Копчинська, студентка
 Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ДАТЧИКІВ ПОТОЧНОГО КОНТРОЛЮ РАДІАЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕННЯ РАДІОАКТИВНИХ МАТЕРІАЛІВ

В даній статті проаналізовано вітчизняні та міжнародні нормативні документи що до перевезення радіоактивних матеріалів. Висунуто основні вимоги до приладів контролю радіоактивного випромінювання що, можуть застосовуватися під час перевезення в автономних системах з постійним моніторингом. Запропоновано кілька варіантів обладнання, що задовольняють висунутим вимогам.

Ключові слова: перевезення радіоактивних матеріалів, дозиметри, радіаційне випромінювання, сертифікація.

Вступ: На сьогоднішній день світова спільнота докладає максимум зусиль для забезпечення контролю та нерозповсюдження радіоактивних матеріалів та джерел іонізуючого випромінювання. Радіоактивні матеріали найбільш вразливі до пошкоджень, втрат або викрадень під час перевезення, але в Україні станом на сьогодні контроль відбувається лише при відвантаженні та отриманні радіоактивних матеріалів [1]. Зважаючи на це, контроль за радіоактивними матеріалами повинен відбуватися цілодобово. Для постійного моніторингу стану та місця знаходження контейнера при транспортування сьогодні в світі застосовуються системи навігації з GPS (GLANAS, GALELEI) або GSM позиціонування. Основною проблемою таких систем є енергозабезпечення при автономній роботі з мінімальним впливом людського чинника при експлуатації та обслуговуванні для підвищення безпеки. Основними вимогами до обладнання систем вимірювання є низьке енергоспоживання, швидкий вихід на режим, достатня точність та компактність.

В рамках проекту «Ukraine 1» Horizon 2020 [2] теплоенергетичний факультет НТУУ «КПІ» провів роботи по дослідженню датчиків поточного контролю радіаційного випромінювання, що можуть використовуватися під час перевезення радіоактивних матеріалів територією України та за її межами [3,4].

Мета та завдання: Визначення основних характеристик, що потребують контролю під час безпечного транспортування радіоактивних матеріалів та встановлення вимог до датчиків радіаційного контролю, які можуть використовуватися під час контролю безпечного транспортування радіоактивних матеріалів.

Матеріал та результати досліджень. Для визначення основних характеристик радіаційних матеріалів було проаналізовано вітчизняний ПБРМ-2006 [4] та міжнародний SSSNoTS-R-1 [5] нормативні документи.

Згідно проведеного аналізу основні значення активності невідомих радіонуклідів представлені у табл. 1

Таблиця 1 – Основні значення для невідомих радіонуклідів або сумішей

Радіоактивний вміст	A ₁	A ₂	Питома активність для матеріалу на який поширюється повне звільнення	Межа активності для вантажу, на який поширюється повне звільнення
	ТБк	ТБк	Бк/г	Бк
Відомо, що присутні тільки бета- або гамма-випромінюючі радіонукліди	0,1	0,02	1X10 ¹	1X10 ⁴
Відомо, що присутні тільки альфа - випромінюючі радіонукліди, але не випромінювачі нейтронів	0,2	9X10 ⁻⁵	1X10 ⁻¹	1X10 ³

Радіоактивний вміст	A ₁	A ₂	Питома активність для матеріалу на який поширюється повне звільнення	Межа активності для вантажу, на який поширюється повне звільнення
Відомо, що присутні радіонукліди, що випромінюють нейтрони або відповідні дані відсутні	0,001	9X10 ⁻⁵	1X10 ⁻¹	1X10 ³

де A₁ - значення активності радіоактивного матеріалу особливої форми [5,6];

A₂ - значення активності іншого радіоактивного матеріалу (радіоактивні матеріали іншої форми) [5,6];

Для відомих радіонуклідів значення активності радіонуклідів представлено в Табл. 2.

Таблиця 2 – Основні значення активності для відомих радіонуклідів*

Радіоактивний вміст матеріалу (Радіонуклід, атомний номер)	Питома активність для матеріалу, A ₁	Питома активність для вантажу, A ₂	Значення активності радіоактивного матеріалу особливої форми (на яке поширюється повне звільнення)	Значення активності іншого радіоактивного матеріалу (невідомої форми), вантажу на яке поширюється повне звільнення
	ТБк	ТБк	Бк/г	Бк
Actinium (89)				
Ac-225 (a)	8 x 10 ⁻¹	6 x 10 ⁻³	1x10 ¹	1 x 10 ⁴
Ac-227 (a)	9 x 10 ⁻¹	9 x 10 ⁻⁵	1x10 ⁻¹	1x10 ³
Ac-228	6 x 10 ⁻¹	5 x 10 ⁻¹	1x10 ¹	1 x 10 ⁶
Silver (47)				
Ag-105	2x10 ⁰	2x10 ⁰	1x10 ²	1x10 ⁶
Ag-108m (a)	7 x 10 ⁻¹	7 x 10 ⁻¹	1x 10 ¹ (b)	1 x 10 ⁶ (b)
Ag-110m (a)	4 x 10 ⁻¹	4 x 10 ⁻¹	1x10 ¹	1x10 ⁶
Ag-111	2x10 ⁰	6 x 10 ⁻¹	1x10 ³	1 x 10 ⁶
Aluminium (13)				
Al-26	1 x 10 ⁻¹	1 x 10 ⁻¹	1x10 ¹	1x10 ⁵
Americium (95)				
Am-241	1x10 ¹	1 x 10	1x10 ⁰	1 x 10 ⁴
Am-242m (a)	1x10 ¹	1 x 10	1x 10 ⁰ (b)	1 x 10 ⁴ (b)
Am-243 (a)	5x10 ⁰	1 x 10	1x 10 ⁰ (b)	1 x 10 ³ (b)
Argon (18)				
Ar-37	4x10 ¹	4x10 ¹	1x10 ⁶	1 x 10 ⁴
Ar-39	4x10 ¹	2x10 ¹	1x10 ⁷	1 x 10 ⁴
Ar-41	3 x 10 ⁻¹	3 x 10 ⁻¹	1x10 ²	1x10 ⁹
Arsenic (33)				
As-72	3 x 10 ⁻¹	3 x 10 ⁻¹	1x10 ¹	1x10 ⁵
As-73	4x10 ¹	4x10 ¹	1x10 ³	1x10 ⁷
As-74	1 x 10 ⁰	9 x 10 ⁻¹	1x10 ¹	1 x 10 ⁶
As-76	3 x 10 ⁻¹	3 x 10 ⁻¹	1x10 ²	1 x 10 ⁵

Радіоактивний вміст матеріалу (Радіонуклід, атомний номер)	Питома активність для матеріалу, A_1	Питома активність для вантажу, A_2	Значення активності радіоактивного матеріалу особливої форми (на яке поширюється повне звільнення)	Значення активності іншого радіоактивного матеріалу (невідомої форми), вантажу на яке поширюється повне звільнення
As-77	2×10^1	7×10^{-1}	1×10^3	1×10^6
Astatine (85)				
At-211 (a)	2×10^1	5×10^{-1}	1×10^3	1×10^7

* Таблиця 2 представлена фрагментом (загальний обсяг таблиці складає 12 сторінок), повний текст наведено в [4,5].

У разі сумішей радіонуклідів, основні значення активності визначаються за формулою:

$$X_m = \frac{1}{\sum \frac{f(i)}{x(i)}}$$

Де: $f(i)$ - частка активності або концентрація активності i -го радіонукліда суміші;

$x(i)$ - відповідне значення A_1 або A_2 або відповідно концентрація активності для матеріалу, на який поширюється повне звільнення, або межа активності для вантажу, на який поширюється повне звільнення, стосовно значення i -го радіонукліда;

X - похідне значення A_1 або A_2 або концентрація активності m для матеріалу, на який поширюється повне звільнення, або межа активності для вантажу, на який поширюється звільнення, стосовно суміші.

Радіоактивні матеріали повинні транспортуватися лише у пакувальних комплектах. Пакувальний комплект (Packaging) - сукупність елементів, необхідних для повного розміщення й утримання радіоактивного вмісту. Зокрема, він може включати одну або декілька приймальних ємностей, матеріали-поглиначі, конструкції, що забезпечують дистанцію, засоби захисту від випромінювання й сервісне обладнання для заповнення, спорожнення, вентилявання та скиду тиску, пристрої для охолодження, амортизації механічних ударів, обробки вантажу і кріплення, теплової ізоляції, а також сервісні пристрої, що становлять одне ціле з пакувальним комплектом. Пакувальний комплект може бути у формі ящика, коробки, бочки чи аналогічної приймальної ємності, але може бути й вантажним контейнером, резервуаром або контейнером середньої вантажопідйомності для масових вантажів.

Упаковка (Package) - пакувальний комплект з його радіоактивним вмістом у наданому для перевезення вигляді. Тип упаковки визначається типом пакувального комплекту та його радіоактивним вмістом.

Наскільки це практично можливо, пакувальний комплект повинен бути сконструйований і оброблений так, щоб зовнішні поверхні не мали частин, що виступають, і могли бути легко дезактивовані. Наскільки це практично можливо, зовнішнє покриття пакувального комплекту має бути виконане так, щоб на ньому не накопичувалася й не утримувалася вода. Будь-які пристрої, що додаються до пакувального комплекту під час транспортування, що не є частиною пакувального комплекту, не повинні робити його менш безпечним.

Згідно вимог документів [5,6] пакувальний комплект повинен бути сконструйований таким чином, щоб максимальний рівень випромінювання не перевищував:

- **2 мЗв/год** в будь-якій точці зовнішньої поверхні упаковки (крім звільненої упаковки) або транспортного пакета, крім упаковок або транспортних пакетів, що перевозяться в умовах виняткового використання залізницею або автомобільними шляхами;
- **10 мЗв/год** в будь-якій точці зовнішньої поверхні упаковки або транспортного пакета в умовах виняткового використання;
- **5 мкЗв/год** в будь-якій точці зовнішньої поверхні звільненої упаковки.

Для того щоб цілодобово перевіряти рівень випромінювання упаковки чи транспортного пакету з радіоактивними матеріалами необхідно обладнати упаковки засобами контролю. При цьому такий контроль потрібно проводити постійно в автономному режимі без присутності персоналу та з передачею інформації від пристрою в on-line режимі за допомогою супутникового зв'язку на відповідні пункти моніторингу протягом всього часу виконання операції по транспортуванню партії радіоактивних матеріалів.

У звіті, створеному Теплоенергетичним факультетом НТУУ «КПІ», представлені результати аналізу основних значень активності для відомих радіонуклідів та основні значення активності для невідомих радіонуклідів, межа активності для матеріалів і межа активності для предметів.

На підставі вимог нормативно-технічних документів, аналізу різних типів радіонуклідів і меж активності матеріалів та предметів, визначено головні вимоги для дозиметрів, що можуть використовуватися під час перевезень в автономному режимі:


1. Потужність еквівалентної дози гама-випромінювання у межах від 0,1 до 10 мЗв/год;
2. Діапазон робочих температур у межах від -20 до +50 °С;
3. Можливість роботи від батареї або акумуляторів, а також максимальна кількість годин роботи в автономному режимі на одній зарядці;
4. Тип (кількість) батареї;
5. Мінімальна вага;
6. Мінімальні габарити;
7. Наявність зв'язку з ПК;
8. Міжнародні та/або Українські дозвільні документи на використання приладу (сертифікати, ліцензія тощо).

У процесі аналізу доступних на ринку України приладів розглянуто 31 тип дозиметрів. Характеристики всіх прийнятих до розгляду документів наведено в додатку 2 до документів [3,4].

Результати досліджень. Результати виконаного аналізу представлено в Табл. 3.

Таблиця 3 – Рекомендовані типи дозиметрів:

Назва приладу	Українська сертифікація	Європейська сертифікація*	Європейська сертифікація*
1. Дозиметр рентгенівського і гамма-випромінювання RM1610;	+	-	
2. Дозиметр індивідуальний ДКС-АТ3509С;	+	-	
3. Дозиметр індивідуальний ДКГ-RM1621 // М / МА;	+	-	
4. Дозиметр індивідуальний МКС-03D "Стриж";	+	-	
5. Дозиметр індивідуальний МКС-05;	+	-	

Назва приладу	Українська сертифікація	Європейська сертифікація*	Європейська сертифікація*
6. Дозиметр індивідуальний МКС-АТ6130.	+	-	

*Обладнання поставляється малими партіями на український та європейський ринки.

Наведені дозиметри мають малі габарити, низьке енергоспоживання, швидкий вихід на режим зі сплячого режиму, інтерфейс зв'язку з комп'ютером для передачі даних. Всі індивідуальні дозиметри відповідають вимогам ГОСТу 12997-84 [7] стосовно ударо та вібростійкості, що дозволяє їх використовуватися під час перевезення.

Повні технічні характеристики дозиметрів, рекомендованих до використання для моніторингу радіоактивного випромінювання при транспортуванні радіоактивних матеріалів наведені у звіті [3,4].

Висновки. Всі зазначені типи дозиметрів мають сертифікацію в Україні. Обладнання постачається малими партіями на український та європейський та світові ринки. Європейської сертифікацію не мають. Для всіх типів дозиметрів виробники рекомендують їх щорічну перевірку. Роботи виконувалися за фінансовою підтримкою проекту «Ukraine 1» Horizon 2020 [2].

Список використаної літератури

1. Обнаружение радиоактивных материалов на границах. МАГАТЭ, ВЕНА, 2003 IAEA-TECDOC-1312/R © МАГАТЭ, 2003 Издано МАГАТЭ в Австрии Август 2003.
2. <http://www.project-ukraine.eu/>
3. ТЕФ НТУУ «КПІ». Звіт з проведення робіт по дослідженню датчиків поточного контролю радіаційного випромінювання, що використовуються під час перевезення радіоактивних матеріалів, 2015.
4. Heat-and-Power Engineering Department of NTUU «KPI». The report of work for the study sensors of current control of radiation used during the transport of radioactive materials, 2015.
5. Державний комітет ядерного регулювання України. Про затвердження Правил ядерної та радіаційної безпеки при перевезенні матеріалів (ПБПРМ-2006).
6. «Regulations for the safe transport of radioactive material» (Safety Standards Sepies № TS-R-1).
7. ГОСТ 12997-84 Изделия ГСП. Общие технические условия

T.V. Bibik, Y.V. Novakivskyy, I.V. Kopchinskay

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

RESEARCH USE SENSORS CURRENT CONTROL RADIATION DURING TRANSPORT OF RADIOACTIVE MATERIALS

In this article analyzed national and international regulations that the transport of radioactive materials. Existing basic requirements for radiation control devices that can be used during transportation in the autonomous system of continuous monitoring. A few options that meet the hardware requirements.

References

1. Detection of radioactive materials at the borders. IAEA, VIENNA, 2003 IAEA-TECDOC-1312 / R © IAEA, 2003 Printed by the IAEA in Austria August 2003.
2. <http://www.project-ukraine.eu/>
3. Heat-and-Power Engineering Department of NTUU «KPI». The report of work for the study sensors of current control of radiation used during the transport of radioactive materials (Ukrainian version), 2015.
4. Heat-and-Power Engineering Department of NTUU «KPI». The report of work for the study sensors of current control of radiation used during the transport of radioactive materials, 2015.
5. State Nuclear Regulatory Committee of Ukraine. On approval of rules of nuclear and radiation safety in the transportation of materials (PBPRM 2006).
6. «Regulations for the safe transport of radioactive material» (Safety Standards Sepies № TS-R-1).
7. GOST 12997-84 SSI products. General specifications.

Надійшла 26.11.2015

Received 26.11.2015