

Манідіна Євгенія Анатоліївна, доцент, кандидат технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID 0000-0003-4090-9991

Бєлоконь Карина Володимирівна, доцент, кандидат технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID 0000-0003-2000-4052

Румянцев Владислав Ростиславович, доцент, кандидат технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID 0000-0002-4404-3454

Гордиман Олександр Михайлович, студент кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Запорізький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОАКТИВНИХ ІЗОТОПІВ У ПОЖЕЖНИХ ДАТЧИКАХ

Деякі роботи у промисловості пов'язані з використанням джерел іонізуючого випромінювання як у вигляді радіоактивних ізотопів кобальту, плутонію, америцію, цезію тощо, так й із застосуванням спеціальних приладів на кшталт рентгенівських трубок або прискорювачів елементарних часток. Хоча частка цих робіт є незначною у загальному обсязі виробництва, само по собі поводження з джерелами іонізуючого випромінювання, радіоактивними речовинами, потребує особливої уваги, ретельного дотримання правил безпеки, використання, за потребою, засобів індивідуального захисту та безпечної утилізації відпрацьованих пристроїв. У статті зі всього комплексу видів діяльності такого типу відокремлено застосування трансуранових ізотопів у пожежних сповіщувачах (датчиках). Наданий порівняльний аналіз з точки зору радіаційної безпеки основних ізотопів, що використовуються у датчиках – плутонію-239 і америцію-241. Встановлено, що пробіг альфа-часток у повітрі при розпаді плутонію складає 56 мм, а при розпаді америцію – 61 мм, що порівняно з розмірами сповіщувача 1151E (діаметр 108 мм, висота 43 мм). Крім того, альфа-промені мають дуже низьку проникну здібність – кілька десятків мікрометрів у тканинах організму. Активність плутонію у сповіщувачі ИФТП значно більше, ніж америцію 1151E – у 570 разів. Однак, з точки зору утилізації, довгоживучий Pu-239 являє проблему, тому його більш доцільно замінити на Am-241. Зазначено, що небезпека застосування америцію – його відносна велика розчинність у воді, але потраплення америцію від пожежного датчика у воду у значній кількості при нормальній експлуатації є мало імовірним. Зроблено висновок, що застосування радіоізотопних пожежних датчиків при правильній експлуатації є цілком безпечним, проте більш доцільно використовувати ізоотоп америцію.

Ключові слова: радіаційна безпека, пожежні датчики, плутоній, америцій

Вступ. Металургійні та машинобудівні підприємства, що розташовані у нашому регіоні, не належать до об'єктів підвищеної небезпеки з точки зору радіаційної безпеки. Але деякі види робіт передбачують застосування джерел іонізуючого випромінювання у вигляді радіоактивних речовин або спеціальних пристроїв. До таких робіт можна віднести контроль брухту на наявність радіоактивного забруднення, використання джерел гамма-випромінювання з метою виявлення внутрішніх дефектів у металічних виробках, застосування іонізуючого випромінювання у КВП та пожежних сповіщувачах. Останні широко застосовуються не тільки у промисловості, а також у закладах торгівлі, освіти, офісах тощо. Тому доцільно розглянути безпечність застосування саме цих пристроїв.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У промисловості застосовують різні види пожежних датчиків. За типом сигналу, на який реагує датчик, їх поділяють на теплові, димові, газові, датчики полум'я і комбіновані.

За принципом виявлення пожежі автономні димові пожежні сповіщувачі поділяють на два типи: оптико-електронні та радіоізотопні.

Радіоізотопні (іонізаційні) димові пожежні сповіщувачі (СП) автоматично виявляють загоряння по появі диму і передають сигнал на пульт охорони. Вони розпізнають навіть незначні відхилення в атмосфері.

Їх перевага – високий ступінь захищеності. Їх встановлюють, коли монтаж інших сповіщувачів неможливий через жорстких умов (екстремальні температури, як в металургійних цехах, вологість). СП розрахований на безперервний режим роботи. Він складається з двох відсіків. У верхньому встановлена плата підсилювача, в нижньому – блок іонізаційних камер (робоча і компенсаційна). Робоча іонізаційна камера через отвори в корпусі сполучається з повітрям. У компенсаційну камеру доступ продуктів горіння утруднений. У кожній камері встановлено джерело альфа-випромінювання [1].

Дія датчика заснована на зменшенні струму іонізаційної камери при попаданні в неї продуктів горіння. При попаданні в робочу камеру аерозолі або продуктів горіння спрацьовує електроніка сповіщувача, що формує стрибок струму, який відповідає сигналу «Пожежа». Він подається на керуючу автоматику, яка запускає протипожежну сигналізацію, і/або систему пожежогасіння.

Джерелом випромінювання у сповіщувачів ИФТП є радіоактивний ізотоп Pu-239 активністю не більше 21 МБк [1], у сповіщувачів 1151E (рис. 1) – Am-241 [2].



Рисунок 1 – Радіоізотопний сповіщувач 1151E

Формулювання мети дослідження. Завжди застосування радіоактивних речовин викликає відповідні ризики впливу іонізуючого випромінювання на організм людини. Широке застосування радіоізотопних сповіщувачів, наявність у них джерел випромінювання і можливість пошкодження внаслідок аварії чи пожежі викликає питання: наскільки вони безпечні?

За мету даного дослідження було поставлено з'ясування ступеню радіоекологічної небезпеки того чи іншого радіоактивного ізотопу, що застосовуються у сповіщувачах та визначити найприйнятніший з них.

Виклад основного матеріалу. Взагалі, у промислових пожежних датчиках застосовуються в основному ізотопи плутонію та америцію. Їх характеристика надана у табл. 1.

Таблиця 1 – Властивості ізоотопів, застосованих у пожежних датчиках [3–5]

Параметр	Ізотоп	
	Pu-239	Am-241
Період напіврозпаду, р.	24110	433
Питома активність, ТБк/кг	2,3	127
Основний тип розпаду	α	α
Енергія α -часток, МеВ	5,16	5,49

Пробіг альфа-часток у повітрі при температурі 15°C і тиску 101,3 кПа можна розрахувати за формулою, м:

$$d = 4,76 \cdot 10^{-3} \sqrt{E^3}, \quad (1)$$

де E – енергія часток у Ме В.

Використовуючи цю формулу, знаходимо, що пробіг альфа-часток у повітрі при розпаді плутонію складає 56 мм, а при розпаді америцію – 61 мм, що порівняно з розмірами сповіщувача 1151Е (діаметр 108 мм, висота 43 мм [2]). Крім того, альфа-проміні мають дуже низьку проникну здібність – кілька десятків мікрометрів у тканинах організму. Але при розпаді америцію утворюється нептуній за схемою:



Нептуній-237 також є альфа-активним ізотопом і, у свою чергу, розкладається з утворенням протактинію:



Енергія альфа-часток при цьому розпаді 4,77–4,79 Ме В. Довжина пробігу у повітрі складає близько 50 мм. Розпад нептунію супроводжується гамма-випромінюванням з енергією до 0,28 Ме В. Це гамма-проміні з довжиною хвилі 4,4 пм.

Америцій в димовому сповіщувачі зменшується і включає близько 3% нептунію через 19 років і близько 5% через 32 роки. Кількість америцію в типовому новому димовому сповіщувачі становить 0,29 мкг з активністю 37 кБк [6].

Питома активність нептунію складає 26 ГБк/кг [7], що приблизно у 4900 разів менше, ніж питома активність америцію, тобто з часом загальна активність радіонуклідів у датчику зменшується. Період напіврозпаду нептунію-237 більше 2 млн років [7], тому активність його дочірнього нукліду, протактинію, можна не враховувати.

Гамма-кванти, що утворюються при розпаді нептунію, мають велику проникну здібність. Проте, зважаючи на мікроскопічну кількість цього ізотопу у датчику і великий період напіврозпаду, можна стверджувати, що потужність експозиційної та поглиненої доз у повітрі навіть близько від сповіщувача буде незначною.

Активність плутонію у сповіщувачі ИФТП значно більше, ніж америцію 1151Е – у 570 разів. Плутоній розпадається за схемою [8]:



У свою чергу, уран при розпаді перетворюється на торій:



Питома активність урану-235 складає близько 80 МБк/кг, що майже у 30 тис. разів менше, ніж у вихідного ізотопу плутонію. Період напіврозпаду урану-235 більше 700 млн років. Тому випромінювання цього дочірнього ізотопу можна не враховувати.

Однак, з точки зору утилізації, довгоживучий Pu-239 являє проблему, тому його більш доцільно замінити на Am-241. Ще одна небезпека застосування америцію – його відносна велика (у порівнянні з плутонієм) розчинність у воді. Тому він має більш велику рухливість в навколишньому середовищі ніж плутоній. При надходженні америцію-241 через органи дихання відзначається, що ізотоп швидко переміщається з легких в кров і має здатність до накопичення в скелеті і печінці людини.

Встановлено, що америцій-241 може надходити в організм і через шкіру. Так на дослідах з поросятами було встановлено, що близько 0,02% Am-241 від нанесеного на шкіру надходить в організм тварини. При пошкодженні шкірних покривів спостерігається різке збільшення всмоктування – у 100–250 разів [5; 6].

Основними органами депонування америцію в організмі тварин і людини є скелет, печінка і нирки. На рівні відкладення радіонукліда в цих органах впливають хімічна форма сполуки, стан, вік тварин (людини).

Гранично допустима концентрація америцію-241 у повітрі складає $4 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³, у питній воді – 1000 Бк/м³. Так як у сповіщувачі активність ізотопу дорівнює 37000 Бк, потрапляння такої кількості у воду, а тим більше, у повітря, є досить небезпечним.

Коли можливе потрапляння у навколишнє середовище небезпечної кількості Am-241? Америцій не є летючою речовиною. Сам ізотоп реагує із сухим повітрям дуже повільно і покривається плівкою оксиду, що не розчиняється у воді, а розчиняється у соляній та азотній кислотах. У воді розчиняються хлориди та нітрати тривалентного америцію [5, 6].

Таким чином, потрапляння америцію від пожежного датчика у повітря або воду у значущій кількості при нормальній експлуатації здається мало імовірним.

Є імовірність небезпеки при руйнуванні датчика внаслідок пожежі під дією високих температур. Температура плавлення америцію 1175 °С [5]. При деяких пожежах така температура може бути досягнута.

Бібліографічний перелік

1. Пожарные извещатели. ИФТП. URL: <https://iftp.ru/cat/Pozharnye-izveshateli/> (дата звернення: 15.11.2022).
2. 1151E – Дымовой радиоизотопный извещатель. *TECHPORTAL*. URL: <http://www.techportal.ru/material/?id=765> (дата звернення: 15.11.2022).
3. Audi G., Bersillon O., Blachot J., Wapstra A.H. The NUBASE evaluation of nuclear and decay properties. *Nuclear Physics*. 2003. Vol. 729. P. 3–128.
4. Василенко И.Я. Радиоактивный цезий. *Природа*. 1999. № 3. С. 70–76.
5. Радиоактивные вещества. Америций. URL: <http://surl.li/hpgdp> (дата звернення: 17.11.2022).
6. Америций-241. URL: <https://gaz.wiki/wiki/ru/Americium-241> (дата звернення: 17.11.2022).
7. Нептуній-237. URL: <https://znaimo.com.ua/Нептуній-237> (дата звернення: 17.11.2022).
8. Плутоній-239. URL: <http://surl.li/hpgcm> (дата звернення: 25.11.2022).

References

1. Fire detectors. IFTP. URL: <https://iftp.ru/cat/Pozharnye-izveshateli/> (accessed 15.11.2022).
2. 1151E – Dymovoy radioizotopnyy izveshchatel'. *TECHPORTAL*. URL: <http://www.techportal.ru/material/?id=765> (accessed 15.11.2022).
3. Audi G., Bersillon O., Blachot J., Wapstra A.H. The NUBASE evaluation of nuclear and decay properties. *Nuclear Physics*. 2003. Vol. 729. P. 3–128.
4. Vasilenko I.Ya. Radioaktivnyy tseziy. *Priroda*. 1999. Vol. 3. С. 70–76.
5. Radioaktivnyye veshchestva. Ameritsiy. URL: <http://surl.li/hpgdp> (accessed 17.11.2022).
6. Ameritsiy-241. URL: <https://gaz.wiki/wiki/ru/Americium-241>. (accessed 17.11.2022).
7. Neptune-237. URL: <https://znaimo.com.ua/Нептуній-237> (accessed 17.11.2021).
8. Plutony-239. URL: <http://surl.li/hpgcm> (accessed 25.11.2022).

Manidina Yevheniia, associate professor, candidate of technical sciences, Zaporizhzhia National University, ORCID: 0000-0003-4090-9991

Belokon Karina, associate professor, candidate of technical sciences, Zaporizhzhia National University, ORCID 0000-0003-2000-4052

Rumyantsev Vladislav, associate professor, candidate of technical sciences, Zaporizhzhia National University, ORCID 0000-0002-4404-3454

Hordyman Oleksandr, student of the department of metallurgical technologies, ecology and man-made safety, Zaporizhzhia National University

APPLICATION OF RADIOACTIVE ISOTOPES IN FIRE DETECTORS

Some works in industry are associated with the use of sources of ionizing radiation, both in the form of radioactive isotopes of cobalt, plutonium, americium, cesium, etc., and with the use of special devices such as X-ray tubes or particle accelerators. Although the share of these works is insignificant in the total volume of production, the handling of sources of ionizing radiation, radioactive substances, in itself requires special attention, careful observance of safety rules, use, if necessary, of personal protective equipment and safe disposal of used devices. In the article, the use of transuranium isotopes in fire detectors (sensors) is separated from the entire complex of activities of this type. A comparative analysis is provided from the point of view of radiation safety of the main isotopes used in sensors – plutonium-239 and americium-241. It was established that the distance of alpha particles in the air during the decay of plutonium is 56 mm, and during the decay of americium – 61 mm, which compares with the dimensions of the detector 1151E (diameter 108 mm, height 43 mm). In addition, alpha rays have a very low penetrating ability – several tens of micrometers in body tissues. The activity of plutonium in the IFTP detector is much greater than that of americium 1151E – 570 times. However, from the point of view of disposal, the long-lived Pu-239 presents a problem, so it is more appropriate to replace it with Am-241. It is noted that the danger of using americium is its relatively high solubility in water, but it is unlikely that americium from a fire detector will enter the water in a significant amount during normal operation. It was concluded that the use of radioisotope fire detectors with proper operation is quite safe, but it is more appropriate to use the isotope americium.

Keywords: radiation safety, fire detectors, plutonium, americium

Стаття надійшла до редакції 03.06.2023 р.