

УДК 531:535

Банзак О.В., докт. техн. наук, професор

Банзак Г.В., канд. техн. наук, доцент

Лещенко О.І., канд. техн. наук, доцент

Жеребцова Л.Н., старший викладач

Державний університет інтелектуальних технологій та зв'язку, м. Одеса,

banzakoksana@gmail.com

РОЗРОБКА МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ЯДЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ І СТАН ЗАХИСНИХ БАР'ЄРІВ НА АЕС

Ключова проблема ядерної енергетики – радіаційна безпека – вирішується шляхом забезпечення надійності захисних бар'єрів основних об'єктів технологічного процесу функціонування АЕС: твелів, тепловиділяючих зборок (ТВЗ), контурів передачі теплоносія та ін.

Створені в цій роботі радіаційні датчики нового покоління та вимірювальні системи на їх основі відкривають раніше невідомі можливості у вирішенні завдань аналізу ядерного палива, збільшення точності та ефективності контролю технологічних параметрів та стану захисних бар'єрів в АЕС, створення засобів для інспекцій МАГАТЕ.

Для об'єктів такого класу запропоновано методи реконструктивної томографії алгебри (АРТ) [1]. В алгоритмах відновлення цього класу інтенсивність зареєстрованого в кожній точці поля є лінійною комбінацією активності випромінювання від кожного пікселя, на які ділиться поперечний переріз об'єкта, що аналізується. За результатами вимірювань результуючої інтенсивності випромінювання в N точках по периметру об'єкта, що досліджується складається система з N лінійних рівнянь, яка вирішується за певним алгоритмом. Для високоякісного відновлення томограми система має бути перевизначеною (тобто має виконуватися умова $N \geq M$, де M – загальна кількість твелів у ТВЗ). Незважаючи на те, що, як буде показано нижче, методи АРТ є основними при пасивній емісійній томографії ядерного палива, завдання вирішення перевизначеної системи лінійних рівнянь алгебри також є некоректною і, отже, дуже чутливою до вимірювальних шумів. Тож її вирішення застосовуються спеціальні алгоритми відновлення.

Для розв'язання задачі складалася система рівнянь:

$$\begin{pmatrix} w_{11} w_{12} w_{13} \dots w_{1N} \\ w_{21} w_{22} w_{23} \dots w_{2N} \\ w_{31} w_{32} w_{33} \dots w_{3N} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_{M1} w_{M2} w_{M3} \dots w_{MN} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ A_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ I_M \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де w_{mn} – внесок пікселя (елемента) n у вимірювання інтенсивності у точці m ;

A_n – активність пікселя (елемента) ТВЗ із номером n ;

I_m – виміряна інтенсивність у точці m .

Або в матричному вигляді:

$$WA=I.$$

Далі для встановлення активності елементів застосовувалися три алгоритми

реконструкції томограми методом послідовних наближень [1]:

1. Equal Activity Correction (EAC).
2. Contribution Activity Correction (CAC).
3. Algebraic Reconstruction Technique (ART).

Усі три алгоритми засновані на виборі початкового наближення матриці, що знаходиться для активності у вигляді рівноелементної:

$$A_0 = \frac{\sum I_m}{\sum_{m,n} w_{mn}}. \quad (2)$$

Алгоритми відрізняються способом корекції, яка вноситься на кожній наступній ітерації [2].

При аналізі всіх описаних алгоритмів встановлено, що, у зв'язку з їх ітеративним характером, вони мають ряд недоліків:

– швидкість збіжності їх невисока (більше того, збіжність їх у загальному випадку взагалі не доведена), відповідно час рахунку може бути великий настільки, що алгоритм може бути незастосовний у реальному масштабі часу при здійсненні штатних технологічних операцій;

– усі алгоритми використовують емпіричні стартові параметри ітераційного процесу, від яких також сильно залежить збіжність; в окремих випадках невдалий вибір параметра ітераційного процесу може збільшити час рахунку до неприпустимих практично значень, а може викликати розбіжність ітераційного процесу.

Тому застосування реконструкції томограми алгоритмів ітеративного типу вимагає високої точності вимірювань.

Проведений аналіз стану питання дозволив зробити висновки:

– існує принципова можливість застосування емісійної гамма-томографії ядерного палива з метою відновлення розподілу продуктів поділу на прикладі ТВЗ реактора BWR з 64 твелями;

– для ТВЗ реактора ВВЕР-1000, що містить значно більше структурних елементів, потрібна розробка нового, більш ефективного алгоритму томографії;

– з точки зору реалізації томографії в реальному масштабі часу при проведенні штатних операцій з ЯП, зокрема, навантаження, потрібна досить висока обчислювальна ефективність алгоритму.

Проведений аналіз стану питання дозволив зробити висновки:

– існує принципова можливість застосування емісійної гамма-томографії ядерного палива з метою відновлення розподілу продуктів поділу на прикладі ТВЗ реактора BWR з 64 твелями;

Список посилань

1. Банзак О.В. Полупроводниковые детекторы нового поколения для радиационного контроля и дозиметрии ионизирующих излучений / О.В. Банзак, О.В. Маслов, В.А. Мокрицкий: Под ред. В.А. Мокрицкого, О.В. Маслова. – Монография. – Одесса, 2013. – Изд-во «ВМВ». – 220 с.

2. Banzak O.V. CdZnTe sensors in the gamma-radiation dosimeter / O. V. Banzak, H. V. Banzak, O.I., Leschenko, K.S. Ganja / The 7th International scientific and practical conference “Scientific progress: innovations, achievements and prospects” (April 3-5, 2023) MDPC Publishing, Munich, Germany. 2023. P. 147 – 151.