

Цифровая модель процесса неразрушающего контроля положения и целостности комплектующих компонент тепловыделяющих элементов

Wednesday 2 July 2025 18:50 (20 minutes)

В современной атомной энергетике контроль состояния и положения компонентов тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) критически важен для обеспечения ядерной безопасности и эффективности работы реакторов. Одним из ключевых элементов ТВЭЛа является пружина, которая компенсирует тепловое расширение и фиксирует топливные таблетки. Для мониторинга состояния пружины необходимы неразрушающие методы, позволяющие регистрировать за оптимальные времена порядка 0,001 с её положение внутри ТВЭЛа и определять координаты её начала и конца.

В работе создана компьютерная модель на основе программного пакета Geant4 [1], предназначенная для моделирования прохождения гамма-излучения через движущийся ТВЭЛ. Модель позволяет рассчитывать взаимодействие гамма-квантов с материалами ТВЭЛа и определять количество квантов, достигающих детектора, в зависимости от пространственного положения ТВЭЛа. Это обеспечивает возможность определения текущего положения ТВЭЛа и в частности пружины.

Для моделирования взаимодействия с пружиной ТВЭЛа выбран диапазон энергии гамма-излучения 290-400 кэВ, который обеспечивает оптимальную проникающую и поглощающую способности и может быть использован для неразрушающего контроля. Источник гамма-излучения располагается вне ТВЭЛа, а детекторы фиксируют прошедшее через него излучение.

Результаты моделирования показали, что наличие пружины в ТВЭЛе приводит к значительным локальным изменениям интенсивности прошедшего излучения. Эти изменения однозначно связаны с различиями в коэффициентах поглощения и рассеяния гамма-излучения материалом пружины и окружающими компонентами ТВЭЛа [2].

На основе анализа профиля интенсивности излучения установлено, что начало и конец пружины могут быть определены по характерным пикам и спадам интенсивности. Эти пики соответствуют зонам, где пружина начинается и заканчивается, что позволяет локализовать её положение внутри ТВЭЛа.

Разработанная модель и проведенные численные эксперименты показали необходимую точность определения положения пружины с использованием выбранного гамма-излучения. Погрешность метода составляет не более 2-3 мм, что допустимо для практического контроля локализации пружины в ТВЭЛе.

Литература

1. S. Agostinelli et al., "Geant4 –a simulation toolkit," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 506(3), 250–303 (2003).
2. J. H. Hubbell, and S. M. Seltzer, "Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients," National Institute of Standards and Technology (1995).

Primary authors: БАХТЕЛЬ, Виктор (Воронежский государственный университет); ДЬЯЧКОВ, Вячеслав (Воронежский государственный университет); КАЛИНИН, Сергей (Воронежский государственный университет); КРАСНИКОВ, Юрий (ООО "Инженерное Бюро ВАСО"); ПИСКЛЮКОВ, Андрей (Воронежский государственный университет); СТЕПАНОВ, Александр (ООО "Инженерное Бюро ВАСО")

Presenter: ДЬЯЧКОВ, Вячеслав (Воронежский государственный университет)

Session Classification: 9. Poster Session

Track Classification: Section 3. Modern methods and technologies of nuclear physics.