

## КОМПЛЕКСНЫЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ТВЭЛОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТОМОГРАФИИ

Чинь Ван Бак, С.П. Осипов, А.В. Батрагин  
Томский политехнический университет  
Осипов Сергей Павлович, к.т.н  
[vanbac1008@gmail.com](mailto:vanbac1008@gmail.com)

Рентгеновские вычислительные томографы могут использоваться как на стадии тотального выходного контроля готовых изделий, так и в технологическом процессе с целью оперативного внесения возмущающих воздействий для корректировки параметров технологического процесса с целью поддержания качества ТВЭЛ на заданном уровне.

Система РВТ может решать ряд задач, характерных для испытываемого объекта контроля. К указанным задачам относятся:

1. измерение длины среднего (активного) слоя объекта контроля (погрешность не более 1 мм);
2. длину «холостых» концов, под которой понимается расстояние от торца объекта до начала среднего слоя (погрешность не более 1 мм);
4. обнаружение частиц активного материала с условным диаметром 0,1 мм в «холостой» части изделия с доверительной вероятностью 95 %;
5. оценка неоднородности распределения солей урана в среднем слое по коэффициенту  $K_T$  (относительная погрешность не более 5 % при площади усреднения 50 мм<sup>2</sup>);
6. обнаружение скоплений (1×1 мм<sup>2</sup>) частиц урана с доверительной вероятностью не менее 95% и измерение координат скоплений частиц урана в среднем слое;
7. измерение толщины оболочки (погрешность не более 0,03 мм);
8. измерение толщины среднего слоя (погрешность не более 0,05 мм).

На первом этапе определена схема получения исходной информации для РВТ, то есть схема сканирования. Схема сканирования существенно влияет на производительность и качество получаемых трехмерных изображений внутренней структуры.

Разработана Общая методика расчета параметров схемы сканирования и Продемонстрирована возможность применения предложенной выше методики сравнения схем сканирования для цилиндрического объекта массовой толщиной 4 г/см<sup>2</sup>, эффективный атомный номер  $Z_{eff} \approx 15$ . Длина объекта 1300 мм. Поперечный размер единичного детектора 0,1×0,1 мм<sup>2</sup>. Угол  $\theta=40^\circ, 60^\circ, 80^\circ$   $E_{max}=250$  кэВ.

Проведена экспериментальная проверка возможности контроля ТВЭЛ методом рентгеновской вычислительной томографии, включающая имитатор с крупными включениями и имитатор с мелкими включениями.

В качестве имитатора ТВЭЛ был взят полый цилиндр диаметром 25 мм из алюминиевого сплава с толщиной стенки 2 мм. В качестве матрицы использовали каменную поваренную соль крупного помола с насыпной плотностью 1,6 г/см<sup>3</sup>. Частицы тяжелого металла имитировали свинцовой дробью диаметром около 2 мм. Длина заполненной части цилиндра около 100 мм.

Для более реалистичной модели был разработан тестовый образец с более мелкими свинцовыми включениями. Основная часть включений в среднем слое имеет размеры от 0,3 до 1 мм. Для оценки возможности решения задачи 4, то есть обнаружения частиц активного материала с условным диаметром 0,1 мм в «холостой» части изделия с доверительной вероятностью 95 %, были помещены в холостой части имитатора ТВЭЛ несколько зерен из свинца условным диаметром около 0,1 мм. Для сопоставления размеров зерен в холостой части имитатора ввели дробинку с формой близкой к сфере диаметром 2 мм.

В результате теоретических и экспериментальных исследований сделан ряд выводов, касающихся сформулированных выше задач.

Список литературы

1. Кузелев, Н.Р., Косарев, Л.И., Юмашев, В.М., Штань, А.С. Исследование применения радиационной компьютерной томографии при контроле качества виброуплотненных ТВЭЛов // *Атомная энергия*. – 1987. – Т. 62. – № 3. – С. 22–26.
2. Жуков, Ю.А., Карлов, Ю.К., Косых, В.П., Поташиников, А.К., Обидин, Ю.В., Чащин, С.Б. Компьютерная томография в задачах контроля сварных соединений ТВЭЛ // *Автоматрия*. – 1997. – № 4. – С. 43.
3. Косарев, Л.И., Кузелев, Н.Р., Штань, А.С., Юмашев, В.М., Дворецкий, В.Г., Жителев, В.А. Опыт применения методов и аппаратуры радиационной интроскопии и томографии при отработке технологии изготовления топливных элементов АЭС // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. – 2006. – Т. 72. – № 1. – С. 32–35.
4. Gras C., Stanley S.J. Post-irradiation examination of a fuel pin using a microscopic X-ray system: Measurement of carbon deposition and pin metrology // *Annals of Nuclear Energy*. – 2008. – Vol. 35. – № 5. – P. 829–837.

## ПРИБОР ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПОГОННОЙ ЕМКОСТИ ПРОВОДА

*Вавилова Галина Васильевна, Гольдштейн Александр Ефремович, Мазиков Сергей Валерьевич*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

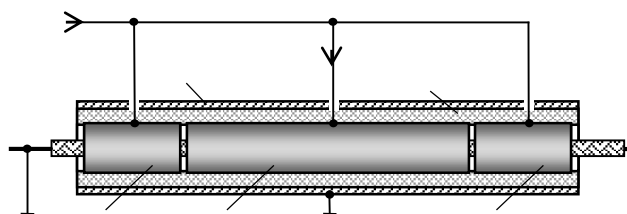
*Научный руководитель: Гольдштейн А. Е., д.т.н.*

[wgw@tpu.ru](mailto:wgw@tpu.ru)

При производстве одножильного электрического провода для контроля его качества необходимо контролировать диаметр жилы и изоляции, эксцентricность, отсутствие дефектов и т.п. [1,2]. Отклонение этих параметров приводит к изменению емкости, поэтому контроль погонной емкости может дополнить, а иногда и заменить указанные виды контроля.

Для реализации технологического контроля погонной емкости можно использовать прибор, основанный на использовании трубчатого электрода [3], погруженного вместе с контролируемым проводом в охлаждающую ванну экструзионной линии производства провода. Этот метод контроля широко распространен в кабельном производстве (Sikora, Zumbach [4,5]) и фактически не имеет альтернативы. В настоящее время на рынке представлены лишь приборы зарубежного производства, которые имеют высокую стоимость, а также не учитывают особенности эксплуатации в российских условиях производства кабельных изделий. Это приводит к необходимости разрабатывать отечественные приборы контроля емкости. Представленный в данной статье прибор САР-10 является попыткой решить данную проблему.

Конструкция и внешний вид основного элемента измерителя емкости – электроемкостного измерительного преобразователя (ЭЕИП) – представлены на рисунке 1. ЭЕИП состоит из измерительного 1 и двух дополнительных электродов 2,3, заключенных в металлический корпус 4 и изолированных от него слоем диэлектрика 5. На вход преобразователя подается гармоническое напряжение известной амплитуды и частоты. Значение емкости провода определяется по силе тока, протекающего через измерительный трубчатый электрод. Подробно принцип действия ЭЕИП описан в [6]. В [7] изложен принцип подбора с помощью численного моделирования оптимальных конструктивных параметров ЭЕИП, позволяющих минимизировать методическую погрешность измерения емкости.



а



б

*Рис.1. Конструкция ЭЕИП и внешний вид САР-10*

САР-10 предназначен для технологического контроля погонной емкости провода. Внешний вид основных блоков САР-10 представлен на рис. 1 б. Прибор состоит из ЭЕИП, блока аналогового