

## ОТЗЫВ

официального оппонента Потрахова Николая Николаевича на диссертацию Чинь Ван Бак «Разработка системы комплексного контроля параметров тепловыделяющих элементов для ядерных реакторов методом компьютерной томографии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 - «Приборы и методы контроля природной среды, веществ материалов и изделий»

### Актуальность темы

Рентгенография в настоящее время является наиболее распространенным методом неразрушающего контроля самых различных объектов практически во всех отраслях промышленности. Основным достоинством метода является относительная простота реализации на практике и высокая наглядность получаемых результатов.

Однако в ряде случаев, например, в атомной энергетике возникают задачи контроля, для решения которых диагностических возможностей этого метода недостаточно. Одной из таких задач является неразрушающий контроль при производстве тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) для атомных электростанций (АЭС). Малые размеры как самих объектов контроля, так и особенно типичных дефектов при высокой плотности материала ТВЭЛ обуславливают повышенные требования к методике рентгеновской съемки и техническим средствам ее реализации. Практика показывает, что традиционная рентгенография не удовлетворяет требованиям неразрушающего контроля ТВЭЛ по чувствительности, пространственной разрешающей способности, а также производительности при 100 % диагностике всех изделий. Кроме того, в процессе проведения рентгеновской съемки ТВЭЛ неизбежно влияние субъективного фактора на выбор режимов работы источника рентгеновского излучения, а также – интерпретацию получаемых рентгеновских изображений.

Как известно рентгеновская компьютерная томография позволяет принципиально расширить диагностические возможности традиционной рентгенографии. Этот метод уже давно и успешно зарекомендовал себя в медицине и биомедицинской инженерии. В нашей стране неоднократно предпринимались попытки использовать рентгеновскую компьютерную томографию при производстве микро- и нанокомпонентов электронной техники.

Поэтому тема диссертации Чинь Ван Бак, посвященной разработке методики высокоинформативного контроля ТВЭЛ с помощью рентгеновской компьютерной томографии, несомненно является важной и актуальной.

## **Содержание работы**

Диссертация Чинь Ван Бак включает в себя введение, четыре главы, заключение и два приложения. Текст изложен на 123 страницах, в том числе 8 таблиц и 27 рисунков. Список литературных источников содержит 132 российских и зарубежных наименования.

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулирована цель и поставлены задачи для ее достижения. Представлены научные положения, выносимые на защиту, описаны научная новизна и практическая значимость результатов диссертационного исследования.

**В первой главе** на основе обзора и анализа литературных источников подробно описана проблема диагностики ТВЭЛ, включая особенности их технологии и эксплуатации на АЭС. Указаны и проанализированы недостатки используемых технических средств рентгенографии. Предложен и обоснован метод рентгеновской компьютерной томографии для высокоинформативного неразрушающего контроля ТВЭЛ.

**Во второй главе** с учетом конструкции и технологии ТВЭЛ описаны рентгенооптические схемы съемки и комплект технических средств для реализации каждой схемы. Подробно рассмотрены вопросы оценки времени проведения томографического исследования ТВЭЛ и, соответственно, важного параметра контроля – производительности, а также расчетов параметров систем рентгеновской компьютерной томографии, обеспечивающих необходимую чувствительность контроля ТВЭЛ.

**В третьей главе** рассмотрены теоретические вопросы реализации метода дуальных энергий при проведении томографических исследований ТВЭЛ, включая выбор величины энергии рентгеновского излучения, а также материала и толщины первичных фильтров излучения. Сделан обоснованный и аргументированный вывод о возможности точной оценки пространственного распределения активного вещества ТВЭЛ по его объему.

**В четвертой главе** подробно описаны эксперименты по оценке диагностических возможностей метода рентгеновской компьютерной томографии при неразрушающем контроле ТВЭЛ. На имитаторах ТВЭЛ продемонстрированы способности использованного комплекта технических средств томографии для измерения геометрических параметров ТВЭЛ и пространственного распределения активного вещества ТВЭЛ по его объему.

## **Новизна исследований и основных результатов работы**

Научная новизна результатов диссертации заключается в разработке:

- методики расчета основных параметров рентгенооптических схем томографического исследования протяженных осесимметричных объектов;

- методики расчета основных параметров и характеристик систем рентгеновской компьютерной томографии для неразрушающего контроля ТВЭЛ;

- методики оценки в рентгеновской компьютерной томографии пространственного распределения вещества по его эффективному атомному номеру псевдо-монохроматическим методом дуальных энергий.

### **Практическая значимость результатов работы**

Практическая значимость результатов диссертации заключается в следующем:

- предложен и апробирован способ высокоинформативного неразрушающего контроля ТВЭЛ методом рентгеновской компьютерной томографии;

- составлены рекомендации по выбору рентгенооптических схем томографической съемки при разработке систем неразрушающего контроля для высокоинформативной рентгеновской томографии ТВЭЛ.

### **Достоверность полученных результатов и выводов**

Изложенные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации аргументированы и обоснованы, не противоречат общефизическим принципам и ранее опубликованным результатам. Достоверность представленных подходов подтверждается согласованностью теоретических и экспериментальных результатов диссертационного исследования.

### **Замечания по диссертационной работе**

Основные замечания относятся к грамматике и редакции некоторых разделов, а также к погрешностям при оформлении некоторых рисунков. Среди них следует отметить:

1. При изложении материала диссертационной работы нормативной документацией рекомендовано использовать неопределенную форму глагола.
2. Термин «радиография» – заимствованный неточный перевод с английского языка. В соответствующей отечественной научной школе принят термин «рентгенография». В связи с этим также хотелось бы выслушать пояснения, что подразумевается под фразой «... информация, получаемая трансмиссионным и эмиссионным способом...».
3. Раздел «Заключение» в целом требует редакторской правки:  
- «...анализ диссертационных исследований...»? Анализ результатов диссертационных исследований.

- «...расследованы чувствительность и достоверность...»? Количественно оценены чувствительность и достоверность;
  - «...исследованы методы реализации...»? Реализованный метод – это способ.
4. В списке литературы к автореферату не указаны тезисы докладов на международных конференциях, в которых были непосредственно представлены и обсуждались основные результаты диссертационного исследования.
  5. В 4 главе недостаточно подробно описаны технические средства реализации рентгеновской компьютерной томографии, в первую очередь, источник и приемник рентгеновского излучения, с помощью которых получены важные и интересные, с практической точки зрения, результаты.

Перечисленные замечания не влияют общую высокую оценку результатов диссертационной работы. По совокупности проведенных исследований, полученных результатов, их актуальности, новизне и достоверности, научной и практической значимости, а также количеству публикаций, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском университете, предъявляемыми к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук (dis.tpu.ru), а автор Чинь Ван Бак заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

#### **Официальный оппонент**

Потрахов Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электронных приборов и устройств, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)».

197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, дом 5  
E-mail: [kzhamova@gmail.com](mailto:kzhamova@gmail.com); Тел.: +7 (812) 234-21-59

✓

Н.Н. Потрахов

26.08.197

