

# АНАЛИЗ ДИСПЕРСИИ ВОЛН ЛЭМБА ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ МАТЕРИАЛА ОБОЛОЧЕК ТВЭЛ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

© 2025 г. Алексей Витальевич Васильев<sup>1\*</sup>, Д.В. Перов<sup>2</sup>, Д.Ю. Бирюков<sup>1</sup>,  
В.Н. Костин<sup>2</sup>, А.Ф. Зацепин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
620002 Екатеринбург, ул. Мира, д. 19

<sup>2</sup> – Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, 620108 Екатеринбург,  
ул. С. Ковалевской, д. 18

\* - [vasilev.a.v98@list.ru](mailto:vasilev.a.v98@list.ru)

В последние десятилетия особое внимание уделяется исследованию влияния радиационного воздействия на материалы, используемые в ядерной энергетике, особенно в контексте их применения в топливных элементах (ТВЭЛ) реакторов [1]. Радиационные повреждения, вызванные потоками высокоэнергетических частиц, таких как электроны с энергией порядка 10 МэВ, могут влиять на механические и акустические характеристики используемых материалов. Многократное смещение атомов под действием облучения приводит к вакансионному набуханию, потере пластичности и прочности материалов ТВЭЛ [2]. Поэтому в атомной промышленности поставлена задача увеличения срока их службы с целью снижения затрат на производство электроэнергии.

Волны Лэмба позволяют выявлять изменения в структуре и механических свойствах тонкостенных объектов типа пластин или труб, которые являются акустическими волноводами, поскольку их толщина сравнима с длиной акустической волны [3].

В настоящей работе исследовались исходный и облученный образцы в виде пластин, изготовленные из развернутой цилиндрической оболочки ТВЭЛ.

Измерение ультразвуковых импульсов волн Лэмба выполнено одним совмещенным пьезоэлектрическим преобразователем (ПЭП) при отражении сигналов от торцов исследуемых образцов. Параметры преобразователя: угол ввода  $\alpha = 40^\circ$ , рабочая частота  $f = 5$  МГц. Общее расстояние, пройденное волной в образце  $h = 60$  мм. Ультразвуковые импульсы волн Лэмба были зарегистрированы в образцах на дефектоскопе PCUS-10.

С использованием алгоритма оценки мгновенной частоты акустических сигналов, основанного на использовании специализированного непрерывного вейвлетного преобразования [4], была выполнена обработка импульсов волн Лэмба. Это позволило восстановить протяженные участки дисперсионной характеристики моды волн Лэмба типа  $s_0$  (рис. 1).

Дисперсионная характеристика моды  $s_0$  в облученном образце заметно смещена вправо по оси частот относительно исходного. Данное смещение может быть связано как с изменением модуля упругости материала вследствие радиационных повреждений, так и с

появлением внутренних напряжений, вызванных структурными изменениями под воздействием излучения.

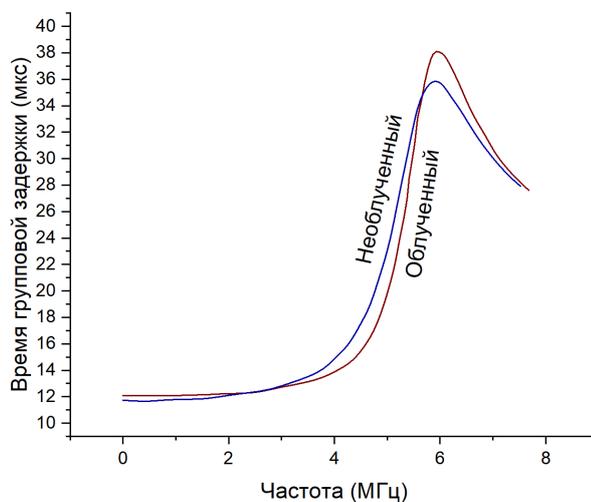


Рис. 1. Дисперсионные зависимости мод  $s_0$  волн Лэмба в исходном и облученном образцах

Результаты измерений и расчетов показали, что для получения объективной информации с использованием волн Лэмба уточнение и анализ дисперсионных зависимостей представляет собой важный и ответственный этап организации прецизионного контроля радиационных повреждений объектов типа оболочек ТВЭЛ.

*Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки России для УрФУ (проект FEUZ-2023-0014) и госзадания Минобрнауки России для ИФМ УрО РАН.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горбунов В.А., Андрианов С.Г., Коновальцева С.С. Оценка влияния радиационного теплообмена на параметры температурных полей твэлов различного конструктивного исполнения // Вестник ИГЭУ. 2021. № 2. С. 23–31.
2. Сухих А.В. Содержание кобальта и вакансионное распухание стали ЧС-68 // Атомная энергия. 2007. Т. 102. Вып. 3. С. 163–168.
- 3 Викторов И.А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике. М., Наука, 1966.
4. Перов Д.В., Ринкевич А.Б. Локализация отражателей в пластинах при ультразвуковом контроле волнами Лэмба // Дефектоскопия. 2017. № 4. С. 27–41.