

УДК 620.179.16

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА КОРПУСОВ РЕАКТОРОВ ВВЭР,
ПОДВЕРГАЕМОГО НЕЙТРОННОМУ ОБЛУЧЕНИЮ,
ПО ПАРАМЕТРАМ УПРУГИХ ВОЛН**

© 2011 г.

А.А. Хлыбов¹, А.Л. Углов²¹Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,²Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем, Н. Новгород

hlybov_52@mail.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Приводятся результаты исследований влияния радиационного облучения на акустические характеристики материала корпуса реактора типа ВВЭР-440. Исследования проводились на образцах-темплатах, вырезанных из корпуса реактора. Показано, что облучение вызывает охрупчивание изучаемых материалов. Характеристики упругих волн оказываются чувствительными к величине флюенса и охрупчиванию материала.

Ключевые слова: рассеянные микрповреждения, упругие волны, продольная волна, сдвиговая волна, диагностический параметр.

Корпус водо-водяного энергетического реактора (ВВЭР) – наиболее важный элемент 3-го багера безопасности реакторной установки, ресурс которого определяет предельный срок эксплуатации АЭС [1, 2, 3]. Нейтронное облучение и высокая температура приводят к значительному изменению микроструктуры и механических свойств материалов корпусов реакторов из низколегированных конструкционных сталей (сталь 15Х2МФА). Снижение пластичности и сдвиг температуры перехода от вязкого разрушения к хрупкому в область эксплуатационных температур повышает вероятность хрупкого разрушения. Однако до сих пор нет полного понимания механизма радиационного охрупчивания. Это создает трудности долгосрочного прогнозирования поведения металла корпуса и обоснования ресурса корпусов реакторов.

Оценка влияния облучения на материалы корпуса реактора ВВЭР-1000 и контроля за изменением состояния материала корпуса реактора в процессе его эксплуатации выполняется по программе образцов-свидетелей. Образцы-свидетели разного типа (в частности, образцы Шарпи), размещаются в области внутри корпусного пространства активной зоны под радиационной нагрузкой. Образцы-свидетели вырезаются из материала корпуса реактора с соблюдением всех технологий, используемых при изготовлении корпуса.

Так как система контроля свойств материала корпусов с помощью образцов-свидетелей для реакторов ВВЭР-440 первого поколения без коррозийной наплавки не была предусмотрена, то

для их оценки с внутренней поверхности корпуса реактора из металла сварного шва (СШ) и основного металла были вырезаны темплеты. Из них были изготовлены и затем исследованы малоразмерные образцы мини-Шарпи. Образцы мини-Шарпи имеют размеры: 5×5×27.5 мм.

Методика эксперимента

Приводятся результаты исследования влияния нейтронного облучения на акустические характеристики. Акустические исследования позволяют контролировать механические характеристики по данным акустических измерений. Акустические исследования проводились на образцах свидетелей и образцах-темплатах (типа Шарпи).

В качестве измеряемых акустических характеристик использовались время распространения (задержка) импульсов объемных – продольных и сдвиговых (поляризация вдоль и поперек образца) – волн. Измерения проводились с помощью спектрально-акустического измерительно-вычислительного комплекса (ИВК) «АСТРОН» [4]. ИВК реализует акустический метод отраженного излучения (эхо-метод) и предназначен для генерации зондирующих сигналов и регистрации параметров отраженных упругих волн. Погрешность измерения задержек отраженных импульсов при работе с преобразователем, имеющим номинальную частоту 5 МГц, не превосходит 10^{-9} с.

Зависимость средних значений скоростей продольных и сдвиговых волн от величины флюенса представлена на рис. 1а и рис. 1б соответ-

ственно: 1, 2 – Хмельницкая АЭС (блок 1, выгрузка 3), 3, 4 – Кольская АЭС (блоки 1 и 2), 5, 6 – Новovorонежская АЭС (блоки 3 и 4).

нических характеристик, например модулей упругости. Результаты расчета представлены на рис. 2.

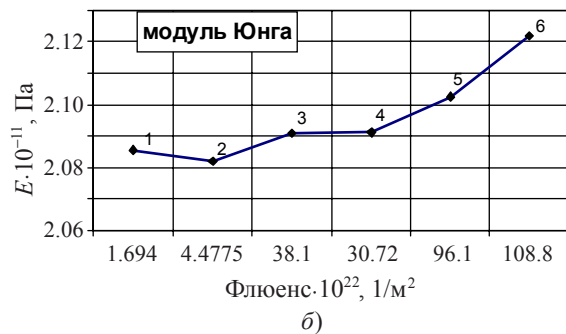
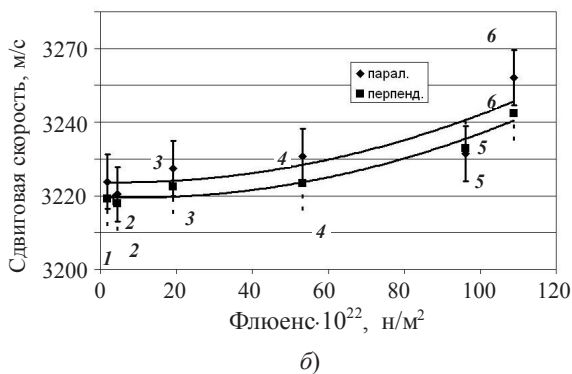
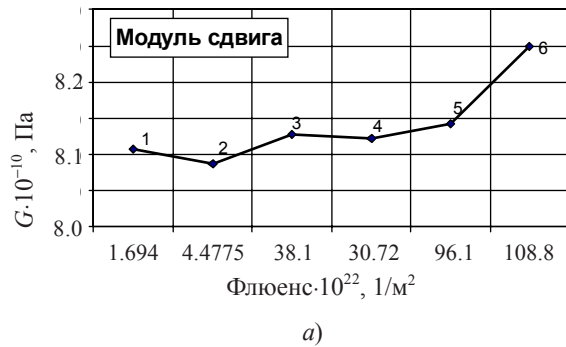
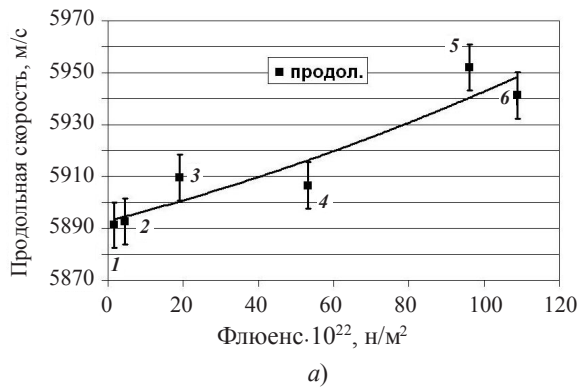


Рис. 1

Рис. 2

Влияние флюенса нейтронов на модуль сдвига и модуль Юнга для исследуемых энергоблоков представлена на рис. 2а и рис. 2б соответственно. Усреднение проводилось по всем исследуемым образцам для каждого блока.

Полученные данные показывают, что материал сварного шва и основного металла отличаются по акустическим характеристикам: скорость упругих волн для основного металла выше, чем для шва. Эти различия необходимо учитывать при создании алгоритма и методики контроля материала реактора. Материал из зоны термического влияния занимает промежуточное положение.

Полученные результаты позволяют оперативно получить информацию об изменении меха-

Список литературы

1. Штромбах Я.И. Радиационный ресурс металла корпусов действующих ВВЭР // Атомная энергия. 2005. Т. 98, вып. 6. С. 460–472.
2. Николаев А.В., Николаев Ю.А., Кеворкян Ю.Р. Экспериментально-статистический анализ радиационного охрупчивания материалов корпусов ВВЭР-440 // Атомная энергия. 2001. Т. 90, вып. 4. С. 260–267.
3. Николаев А.В., Николаев Ю.А., Кеворкян Ю.Р. Радиационное охрупчивание материалов корпусов ВВЭР-1000 // Атомная энергия. 2001. Т. 90, вып. 5. С. 271–276.
4. Хлыбов А.А., Васильев В.Г., Углов А.Л. Исследование состояния материала корпусов реакторов ВВЭР, подвергаемого нейтронному облучению по параметрам упругих волн // Атомная энергия. 2009. Т. 106, вып. 1. С. 31–35.

STUDYING THE EFFECT OF RADIATION ON THE ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF THE REACTOR TANK MATERIAL

A.A. Khlybov, A.L. Uglov

The results of investigating the effect of nuclear radiation on the acoustic characteristics of the reactor tank material for the WWER-440 reactor. Samples-templates cut out from the reactor tank were investigated. It was found that the radiation causes embrittlement of materials under investigation; the characteristics of elastic waves are sensitive to the fluence size and material embrittlement.

Keywords: scattered micro damages, elastic waves, longitudinal wave, shear wave, diagnostic parameter.