

**К КОРРЕКТИРОВКЕ ДАННЫХ О РАДИАЦИОННОМ ОХРУПЧИВАНИИ
МАТЕРИАЛОВ КОРПУСОВ ВВЭР-440**

С. С. Ломакин, ведущий научный сотрудник НТЦ ЯРБ, канд. техн. наук

В настоящее время весьма актуальна проблема радиационного охрупчивания материалов корпусов ВВЭР, особенно в связи с практическими шагами по продлению срока службы корпусов ВВЭР-440 первой серии на ряде АЭС, которые эксплуатируются без образцов-свидетелей.

Оценки степени охрупчивания материалов этих корпусов ВВЭР-440 показали, что фактическое радиационное охрупчивание оказывается более значительным, чем проектное, установленное по прогнозной нормативной зависимости [1]. Указанная зависимость подтверждалась базой экспериментальных данных, полученных в исследовательских, материаловедческих и других реакторах с помощью образцов, облученных, как правило, либо в активных зонах, либо вблизи активных зон. Во всех случаях условия облучения образцов существенно отличались от условий облучения внутренней поверхности корпуса реактора, главным образом по плотности потока нейтронов.

Более низкая плотность потока при одинаковых флюенсах нейтронов, как и более низкая температура облучения, приводят к большему охрупчиванию (низкопоточному охрупчиванию).

Использование упомянутой выше базы экспериментальных данных для оценки степени охрупчивания материалов и срока службы корпусов, а тем более при продлении срока не может считаться корректным, так как приводит и привело, к сожалению, к недооценке скорости охрупчивания корпусов ВВЭР-440, о чем наглядно свидетельствует проведение мероприятий по установке в реакторах АЭС кассет-экранов (КЭ) и отжигу корпусов.

Из-за недостаточного объема экспериментальных данных по определению прироста критической температуры хрупкости ΔT_F по темплетам назрела необходимость ускоренного дооблучения темплетов до значительных величин флюенсов F и их испытаний.

Таким образом, недостающие для уверенного прогноза срока службы корпусов экспериментальные данные дополняются данными, полученными на дооблученных темплетях. При этом они должны быть скорректированы, т.е. приведены к условиям облучения внутренней поверхности корпуса реактора.

С целью получения возможности корректировки результатов исследований образцов, облученных в условиях, отличных от условий облучения внутренней поверхности корпуса, автором статьи проанализированы данные из работ [2, 3].

Установлена единая для корпусов ВВЭР-440 первой серии зависимость прироста ΔT_F от плотности потока нейтронов ϕ по облученным темплетам материала шва № 4 Нововоронежской АЭС (НВАЭС) в позиции внутренней поверхности корпуса и образцам Ровенской АЭС (РоАЭС), Армянской АЭС (АрмАЭС), а также дооблученным темплетам на Кольской АЭС (КоАЭС).

Зависимости I, II ΔT_F от ϕ получены для состояний корпусов реакторов до и после отжигов соответственно и представлены в полулогарифмическом масштабе, что позволяет графически каждую зависимость отобразить линейной функцией, удобной для сравнения и корректировки данных (см. рисунок).

Приведенные данные дают возможность оценивать эффективность установки КЭ и замены свежего топлива выгоревшим на периферии активных зон ВВЭР-440 с целью уменьшения скорости охрупчивания корпуса реактора с учетом уменьшения не только F , но и ϕ , а также корректировки данных после дооблучений.

Установка КЭ, в частности, приводит к уменьшению ϕ и соответствующему увеличению ΔT_F (см. рисунок).

Аналогичное действие ϕ на скорость охрупчивания проявляется и в случае замены свежего топлива выгоревшим на периферии активных зон.

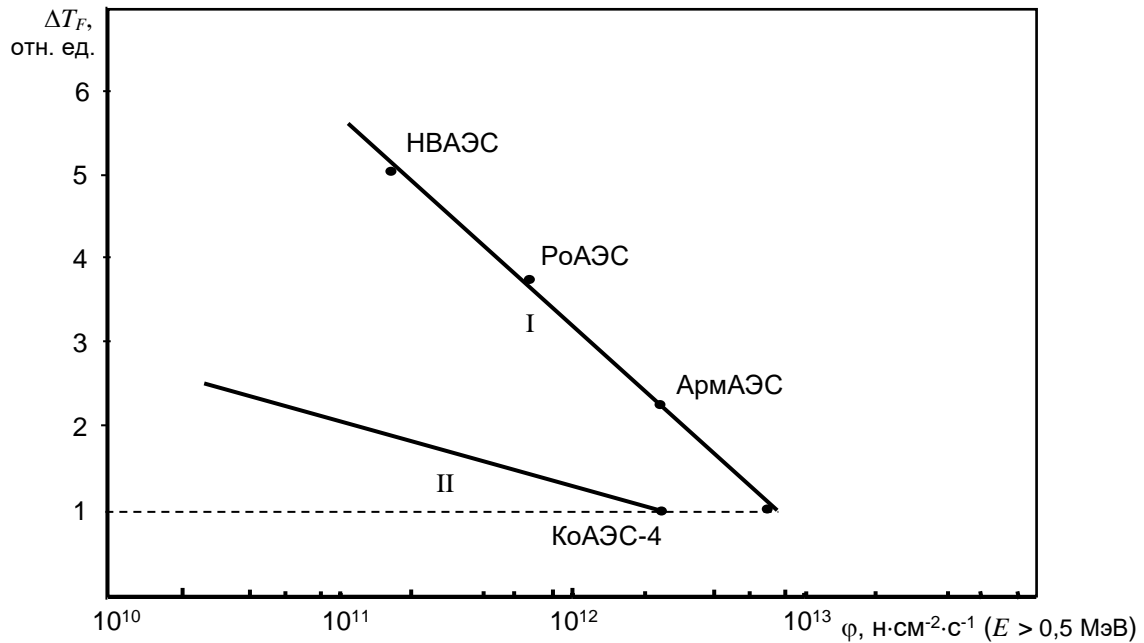
Для точной оценки эффективности мероприятий по установке КЭ и выгоревшего топлива по нормативной зависимости [1] и с учетом изменения ϕ необходимо также учитывать изменения плотности потока γ -излучения и температуры облучения.

Корректировка данных для дооблученных темплетов корпусов реактора НВАЭС приводит к увеличению измеренного сдвига ΔT_F , как это видно из рисунка, приблизительно в 2 раза при указанном F .

Следует отметить, что весьма близкие по скорости охрупчивания корпуса реакторов (швы № 4) ВВЭР-440 230-й серии позволяют увеличить объем (статистику) экспериментальных данных за счет совместного их рассмотрения.

Таким образом, уже в настоящее время, несмотря на малую базу экспериментальных данных об охрупчивании корпуса каждого действующего блока в отдельности, получены зависимости, дающие возможность использовать в экспертных оценках скорректированные на величину ϕ данные о параметре охрупчивания ΔT_F .

Подобные корректировки ΔT_F дооблученных темплетов увеличивают точность прогноза безопасного срока эксплуатации корпуса реактора и позволяют выявить излишний консерватизм существующих моделей прогноза, что весьма важно в экспертных оценках охрупчивания корпусов ВВЭР-440 первой серии.



Зависимость прироста критической температуры хрупкости ΔT_F от плотности потока нейтронов ϕ для фиксированных значений флюенса нейтронов (шов № 4):

- I - состояние до отжига, $F = 5 \cdot 10^{19}$ н·см⁻², по данным [2];
- II - состояние после отжига, $F = 5 \cdot 10^{19}$ н·см⁻², по данным [3]

Литература

1. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. ПНАЭ Г-7-002-86.
2. Reactor Pressure Vessel Embrittlement, IAEA-TECDOC-659, Vienna, 1992.
3. Zaritsky S.M., Platonov P.A., Brodtkin E.B. et.al. Radiation Embrittlement of WWER-440 and WWER-1000 Pressure Vessels and Urgent Tasks of Reactor Dosimetry. Труды 10-го Симпозиума АЕР. М.: 2000.