

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИСКРИВЛЕНИЙ ТВС НА НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ PWR С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОДОВ CASMO5-SIMULATE5

Л. В. Леванов, А. Ф. Радостин, В. Е. Кузин

АО «ОКБМ Африкантов», г. Н. Новгород

Искривление твэлов и направляющих каналов под действием механических нагрузок, термических напряжений и радиационного воздействия в процессе эксплуатации тепловыделяющих сборок (ТВС) в реакторе приводит к изменению, в том числе увеличению межкассетных зазоров.

В рамках проекта «ТВС-Квадрат» ОКБМ активно взаимодействует с оператором третьего блока шведской АЭС «Ringhals». Шведскими специалистами отмечено, что начиная с 28-ой топливной загрузки, в процессе эксплуатации наблюдаются отклонения в расчетных и измеренных значениях энерговыделения в активной зоне. Одной из причин такого рода различий может быть увеличение межкассетных зазоров в результате искривления ТВС. Это в свою очередь приводит к увеличению объема замедлителя, отнесенного к одному твэлу, а значит и к увеличению энерговыделения в этих твэлах. Такое увеличение особенно заметно для твэлов крайнего ряда и, в меньшей степени, для второго ряда твэлов.

Анализ влияния искривлений референсных ТВС на энерговыделение в активной зоне для 30–31-го топливных циклов был выполнен с использованием кодов CASMO5-SIMULATE5 [1, 2, 3, 4]. Расчетный комплекс CASMO5-SIMULATE5 разработки компании «Studsvik» Scand Power, Inc. используется в АО

«ОКБМ АФРИКАНТОВ» для нейтронно-физических расчетов активных зон реакторов PWR.

При проведении расчетов межкассетных зазоров использовались измеренные данные по искривлениям ТВС 3 блока АЭС «Ringhals». Термомеханические расчеты величины прогибов и распределения зазоров между ТВС были выполнены с использованием программного комплекса «ANSYS» [5].

На рис. 1 приведена сравнительная гистограмма распределения зазоров в активной зоне на конец 30–31-ой топливных загрузок с учетом измеренных величин и направлений прогибов ТВС различных типов на АЭС «Ringhals-3».

Картограммы расчетной модели активной зоны для 30-ой и 31-ой топливных загрузок с отображением топливныхборок, для которых были заданы увеличенные межкассетные зазоры, представлены на рис. 2 и рис. 3, соответственно. Для получения максимального эффекта влияния искривлений ТВС на энерговыделение учитывались зазоры более 3 мм, при этом уменьшение номинального зазора между сборками в расчетной модели не задавалось. На картограммах отмечена величина зазора и его местоположение относительно сторон топливной сборки. Значения зазоров для выделенных ТВС соответствуют результатам термомеханического расчета. Аксиальная форма искривления задавалась в виде косинуса.

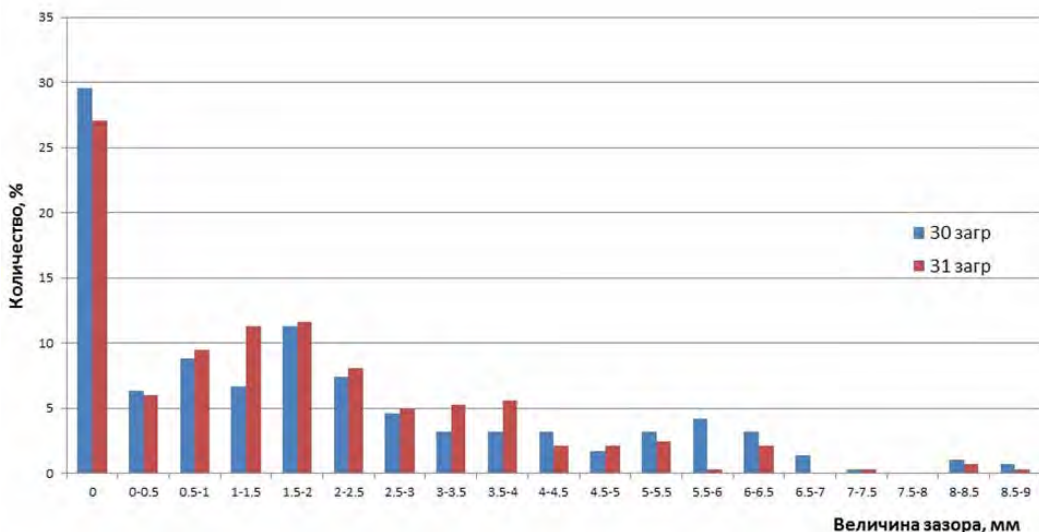


Рис. 1. Распределения зазоров в активной зоне «Ringhals-3» для 30-31-ой топливных загрузок

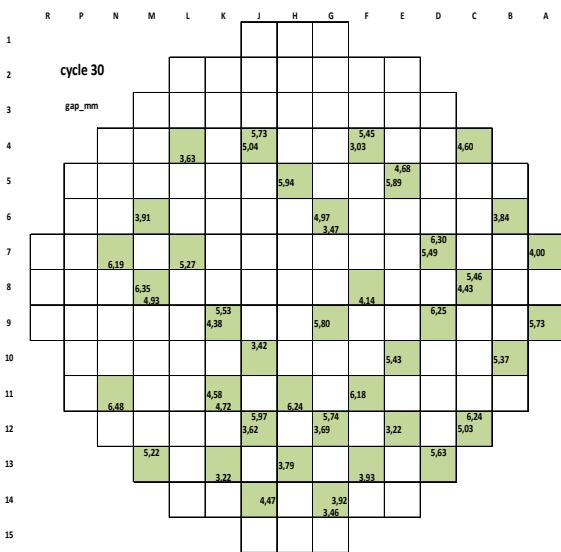


Рис. 2. Картограмма расчетной модели активной зоны для 30-ой топливной загрузки с отображением топливных сборок с увеличенными межкассетными зазорами (мм)

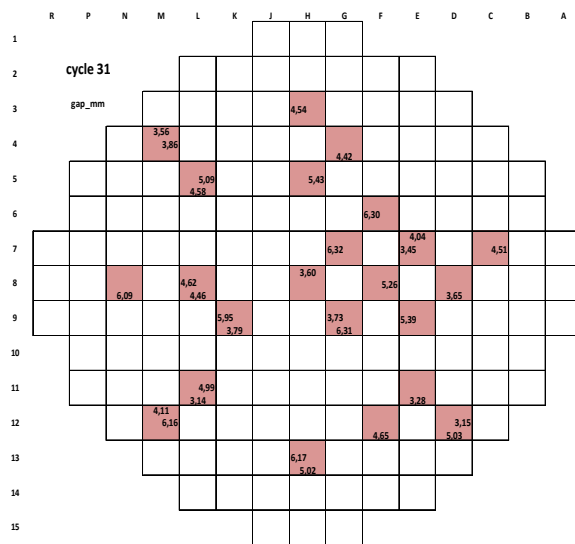


Рис. 3. Картограмма расчетной модели активной зоны для 31-ой топливной загрузки с отображением топливных сборок с увеличенными межкассетными зазорами (мм)

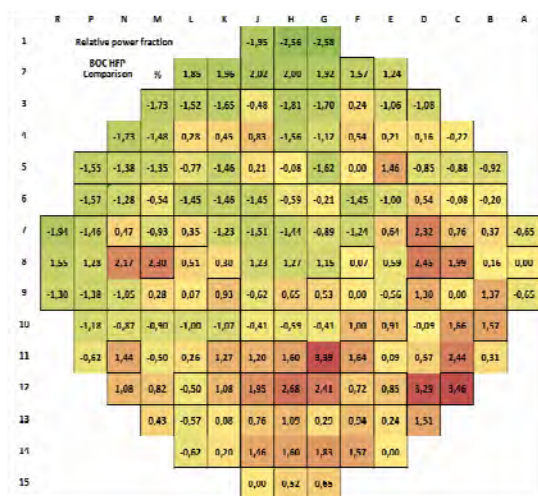


Рис. 4. Изменение относительной мощности ТВС (%) в начале 30-го топливного цикла с увеличенными зазорами

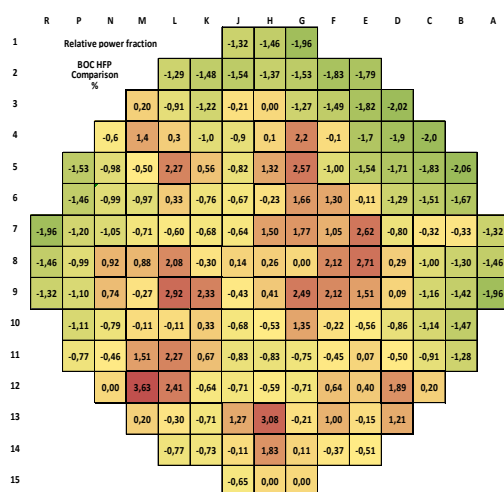


Рис. 5. Изменение относительной мощности ТВС (%) в начале 31-го топливного цикла с увеличенными зазорами

Эффект увеличения энерговыделения в активной зоне (%) на начало 30–31-го топливных циклов приведен на рис. 4 и рис. 5.

Оператором АЭС «Rinhals-3» также высказывалось мнение, что на увеличение отклонений между рассчитанным и измеренным энерговыделением в активной зоне может влиять неопределенность коэффициентов гидравлических сопротивлений (КГС). На примере 30-ой топливной загрузки была произведена оценка влияния такого рода неопределенности на относительную мощность ТВС и максимальную относительную мощность твэла.

Программный комплекс SIMULATE5 позволяет задать коэффициент гидравлического сопротивления для различных типов дистанционирующих решеток. В расчете принято, что максимальная неопределенность значения КГС дистанционирующих решеток RFA-2 составляет 20 %, что примерно соответствует 10 % для полного КГС топливной сборки.

Тип ТВС RFA-2 составляют наибольшую долю свежих ТВС (73 %), доля их относительно всех сборок – 34 %.

Для получения наибольшего эффекта для всех ТВС данного типа значения КГС дистанционирующих решеток уменьшены на 20%. Уменьшение значения КГС приводит к увеличению расхода через топливную сборку, что в свою очередь приводит к уменьшению подогрева теплоносителя. Уменьшение подогрева за счет обратной связи по температуре вызывает увеличение энерговыделения в ТВС.

На рис. 6 и рис. 7 представлены изменения расхода теплоносителя через ТВС (%) и температуры на выходе (°C). Максимальное увеличение расхода составило 3 %, максимальное изменение температуры на выходе – 1,2 °C (0,4 %). Максимальное увеличение относительной мощности ТВС для типа RFA-2 составило 0,3 %.

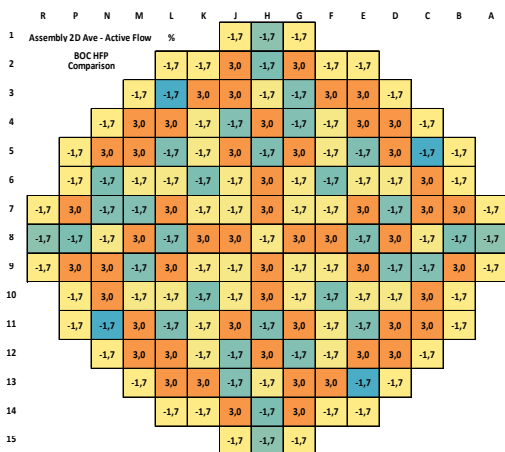


Рис. 6. Изменение расхода теплоносителя через ТВС с учетом неопределенности КГС ДР для RFA-2 (%)

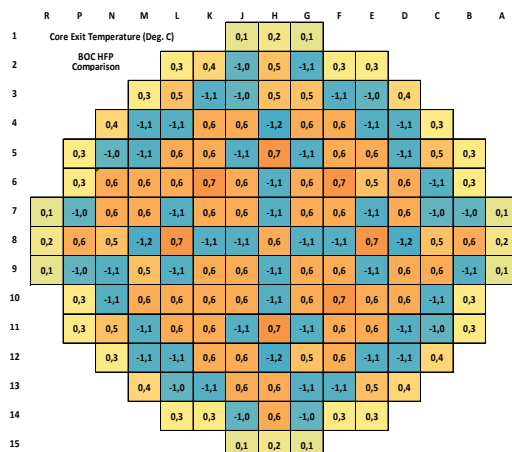


Рис. 7. Изменение температуры теплоносителя на выходе ТВС с учетом неопределенности КГС ДР для RFA-2 (°C)

Проведенный анализ влияния увеличения межкассетных зазоров на энергораспределение в активной зоне на основании термомеханических расчетов распределения зазоров между ТВС и физических расчетов относительной мощности ТВС и максимальной относительной мощности твэла позволяет сделать следующие основные выводы:

- 95 % зазоров находятся в интервале 0–6,5 мм;
- среднее значение увеличения относительной мощности ТВС с увеличенными межкассетными зазорами для 30–31 топливного цикла составляет 1–1,2 %, максимальное увеличение – 2 %;
- среднее значение увеличения максимальной относительной мощности твэла для области с увеличенными зазорами для 30–31-ой топливной загрузки составляет 3,2–3,6 %, максимальное увеличение не превышает 7 %.

Также была произведена оценка влияния неопределенности коэффициентов гидравлического сопротивления дистанционирующих решеток для определенного

типа топливных сборок на энергоснабжение в активной зоне. Максимальное увеличение относительной мощности ТВС на начало 30-го топливного цикла составляет 0,3 %, для принятой в расчете неопределенности КГС ДР для ТВС типа RFA-2 20 %.

Приведенные выше работы были выполнены в рамках договора с АО «ТВЭЛ».

Литература

1. SSP-07/431 Rev4 «CASMO5 A FUEL ASSEMBLY BURNUP PROGRAM User's Manual».
2. SSP-10/438 Rev3 «SIMULATE5 Advanced Three-Dimensional Multi-Group Reactor Analysis Code».
3. SSP-10/465 Rev2 «SIMULATE5 Methodology».
4. SSP-10/437 Rev3 «CMLINK5 User's Manual».
5. ANSYS/LS-DYNA. Регистрационный № ПС – 736 от 27.12.11 г. Аттестационный паспорт № 327 от 18.04.13 г., выдан ФБУ «НТЦ ЯРБ».