



Моделирование характеристик топливных загрузок энергоблока № 1 Белорусской АЭС с помощью ПК РАДУГА-ЭУ

Сперанский Ф.А., Ю.С. Скульбедов,
В.О. Кавун, С.А. Кутень, Н.К. Ульянов



Применение РАДУГА-ЭУ

- Данная работа подготовлена в рамках цикла докладов о результатах исследований, целью которых является проверка и подтверждение применимости модели (далее – верификация) реакторной установки Белорусской АЭС, разработанной в программном комплексе Радуга-ЭУ.



Применение РАДУГА-ЭУ

- Выполняемые расчёты также призваны обосновать актуальность для Белорусской АЭС результатов выполнения задания «Провести анализ критериев безопасности активной зоны для сценариев суточного регулирования мощности АЭС с реактором ВВЭР-1200 с использованием программного комплекса «РАДУГА-ЭУ» мероприятия 13 «Выполнение работ по оказанию научно-технической поддержки Министерству по чрезвычайным ситуациям в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности (мероприятие по научному обеспечению)» подпрограммы 3 «Научное обеспечение эффективной и безопасной работы Белорусской атомной электростанции и перспективных направлений развития атомной энергетики» Государственной программы «Наукоемкие технологии и техника» на 2021-2025 годы



Экспертиза безопасности

- Международным подходом (4-ый основополагающий принцип безопасности стандарта МАГАТЭ SF-1) является обоснование безопасности АЭС, как свойства объекта, которое представляется в регулирующий орган организацией, эксплуатирующей АЭС. Оценка безопасности АЭС, в свою очередь, является предметом экспертизы безопасности, проводимой экспертной организацией.



Экспертиза безопасности

- При проведении экспертизы безопасности детерминистического анализа безопасности необходимо в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ придерживаться практики применения ПС, отличных от использованных при обосновании безопасности.



Применение РАДУГА-ЭУ

- Также согласно п. 5.4 SSG-2 (Rev. 1) следует получить подтверждение того, что результаты расчета в ПС сравнивались:
 - а) с экспериментальными данными для моделируемых важных явлений;
 - б) с имеющимися данными станции, включая данные, полученные при испытаниях в процессе ввода в эксплуатацию или пуска, и данными, связанными с эксплуатационными событиями или авариями;
 - в) с выходными данными других кодов, разработанных независимо и использующих другие методы;
 - г) с решениями стандартных задач и/или численными контрольными показателями (бенчмарками), если таковые являются доступными и надежными.



Применение РАДУГА-ЭУ

- Для ПК РАДУГА-ЭУ пункты а), в) и г) выполнены разработчиками ПК [1-8]. В данной работе запланировано выполнение пункта б) (сравнение результатов расчётов с имеющимися данными станции, включая данные, полученные при испытаниях в процессе ввода в эксплуатацию или пуска), а также пункта г) применительно к Белорусской АЭС.



Применение РАДУГА-ЭУ

- Согласно требованиям 18 публикации GSR Part 4 (Rev. 1) МАГАТЭ, «любые методы расчета и компьютерные коды, используемые при проведении анализа безопасности, должны проходить верификацию и валидацию».
- В качестве исходных данных для расчёта топливных загрузок использованы номинальные параметры и реалистичные характеристики реакторной установки энергоблока № 1 Белорусской АЭС, что отличается от консервативного подхода в задании исходных данных, применяемого при обосновании инженерных решений, реализованных для предотвращения перехода проектных аварий на АЭС в запроектные.



Моделирование эксплуатации топливных загрузок

- Разработаны файлы исходных данных для РАДУГА-ЭУ:
 - ✓ Нейтронно-физические:
 - Rainbow.lib (библиотека);
 - zona.dat (параметры активной зоны);
 - reload.dat (перегрузка).
 - ✓ Тепло-гидравлические:
 - d0.dat (типы и характер исходных данных);
 - d1.dat (основное оборудование РУ);
 - d2.dat (нодализация модели);
 - d3.dat (оборудование по пассивному отводу тепла);
 - d4.dat (адресация между ПС Десна, ТРР, МВТУ).
- Библиотеки нейтронно-физических сечений, используемые для вычислений, подготовлены с помощью программного средства САПФИР_95.



Моделирование эксплуатации топливных загрузок

- Проводилось сопоставление результатов расчётов с измерениями, выбраны расчётные точки, соответствующие времени проведения измерений, при этом на графике представлены отклонения в зависимости от порядкового номера измерений. Среднее отклонение от результатов измерений составило 12.55%, среднеквадратичное отклонение результатов сравнения составляет 3.05. Поиск причин отличий результатов расчётов и измерений являлся предметом последующих исследований.

Моделирование эксплуатации топливных загрузок

Использование уточнённого набора исходных данных и нового метода задания начальных условий.

- Для топливной загрузки № 1 (с учётом неопределённостей исходных данных):
 - ✓ отличие результатов расчётов от данных для сравнения по среднему по ТВС выгоранию: среднее отклонение с учетом знака составило 2.5 %, среднее отклонение без учета знака составило 3.7 %, среднеквадратичное отклонение составило 4.2 %;
 - ✓ отличие расчётной и фактической продолжительности эксплуатации первой топливной загрузки не превышает +0.1 эф. сут.
- Для топливной загрузки № 2 (с учётом неопределённостей исходных данных):
 - ✓ отличие результатов расчётов от данных для сравнения по среднему по ТВС выгоранию: среднее отклонение с учетом знака составило 3.8 %, среднее отклонение без учета знака составило 3.8 %, среднеквадратичное отклонение составило 2.0 %.
 - ✓ отличие расчётной и фактической продолжительности эксплуатации первой топливной загрузки не превышает +0.2 эф. сут.

Рисунок. Распределение относительного отклонения результатов расчётов среднего по ТВС выгорания, %



Сравнение модели с расчётами ОOOБ

- В процессе работы разработана нейтронно-физическая и теплогидравлическая модель реакторной установки ВВЭР-1200 в программном комплексе РАДУГА-ЭУ.
- Проведена проверка разработанной модели на примере отдельных сценариев работы РУ:
 - ✓ подключение неработающей петли ГЦТ к трём работающим без предварительного снижения мощности;
 - ✓ выгорание первой топливной загрузки.



РАДУГА-ЭУ

- Разработаны файлы исходных данных для РАДУГА-ЭУ:

✓ **Нейтронно-физические:**

- Rainbow.lib (библиотека);
- zona.dat (параметры активной зоны);
- reload.dat (перегрузка).

✓ **Тепло-гидравлические:**

- d0.dat (типы и характер исходных данных);
- d1.dat (основное оборудование РУ);
- d2.dat (нодализация модели);
- d3.dat (оборудование по пассивному отводу тепла);
- d4.dat (адресация между ПС Десна, ТРР, МВТУ).

Подключение неработающей петли

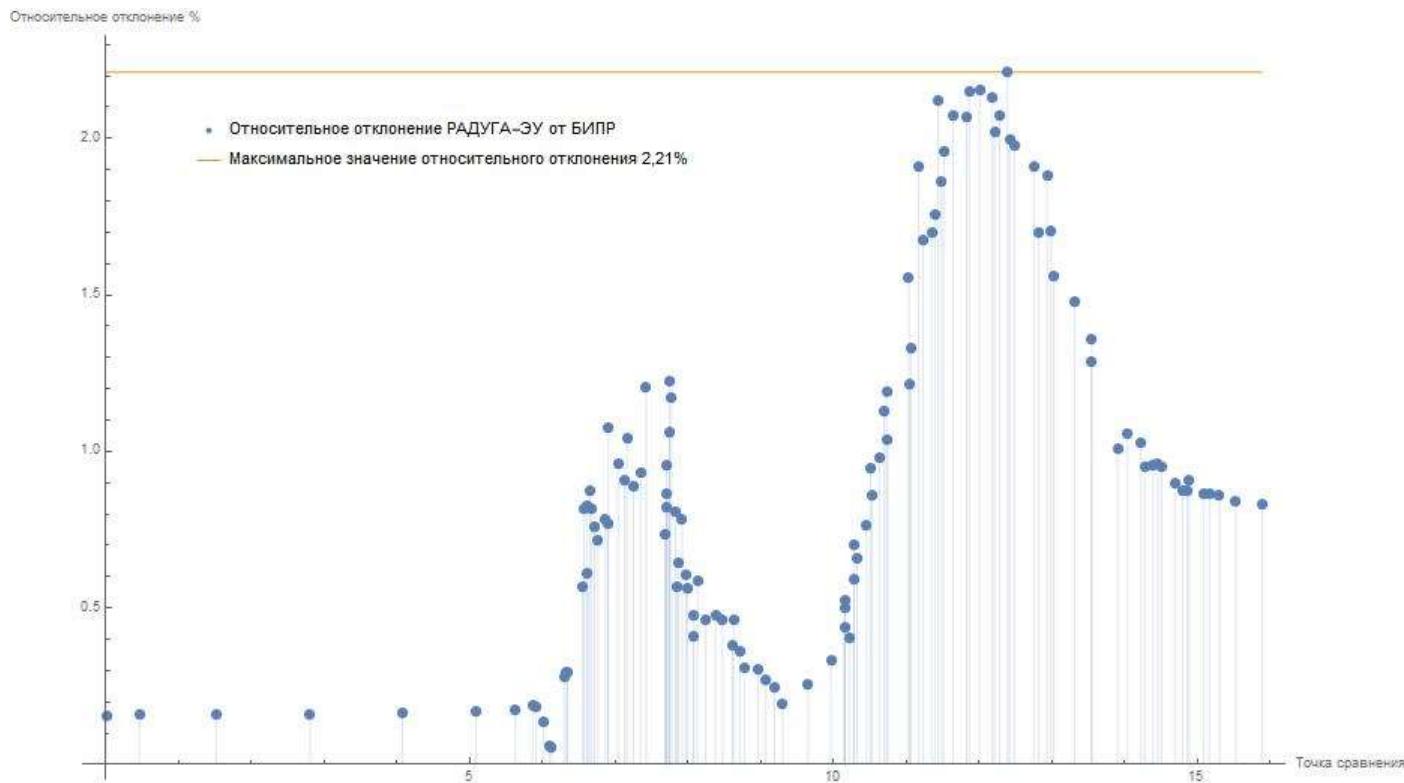
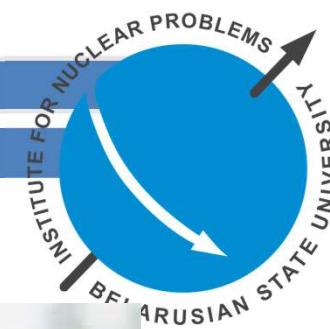


Рисунок. Относительное отклонение результатов расчётов в РАДУГА-ЭУ от результатов расчёта в ATHLET/BIPR-BVPR при сравнении температур в петле в которой происходит подключение неработающего ГЦНА



Заключение

- Результаты проведенных вычислений демонстрируют хорошее согласие с экспериментом и подтверждают актуальность разработанных в ПК РАДУГА-ЭУ моделей для Белорусской АЭС, а также возможность их применения в целях экспертизы безопасности обоснований безопасности топливных загрузок.
- Результатом решения научно-технической задачи в рамках НИР стало формирование подходов, которые позволяют решать задачи, связанные с экспертизой безопасности перегрузок как инженерно-технические.



Спасибо за внимание!

