

УДК 621.039.50

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДГОТОВКИ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ КОДОВ. ЧАСТЬ 2.

В.В Гальченко

(Национальный Технический Университет Украины «КПИ», г. Киев)

Данная работа является продолжением цикла работ, посвященных анализу подготовки мало групповых констант. В работе, с использованием компьютерных кодов WIMS и SRAC, проанализировано влияние библиотек нейтронно-физических констант, созданных на основе JENDL3.2, ENDF/B IV и JEFF2.2., и разных методов расчета – ВПС, дискретных ординат и метода PICO.

Сравнения коэффициента размножения для бесконечной среды с применением таких хорошо известных кодов как NESSEL и CASMO, стало возможно, благодаря данным, любезно предоставленным отделом “нейтронно-физических процессов ЯЭУ” ГНТЦ ЯРБ.

ВВЕДЕНИЕ

При проведении мало групповых расчетов различных состояний реакторной установки очень важную роль играют вопросы подготовки мало групповых констант. От того, как это было сделано, зависит качество и точность дальнейших расчетов. Существует большое число различных кодов, которые решают вопросы подготовки мало групповых констант, использующие различные методы расчета (ВПС, Монте-Карло, Дискретных ординат и т.д.), различное константное обеспечение, математические модели и т.д. Очень важно, при этом, понять, для решения каких задач более эффективно использовать те или иные подходы.

В данной работе приводится краткое описание моделей ТВС реакторов ВВЭР-1000 для кодов WIMSD-5B и SRAC. Проведены расчеты для ТВС различного обогащения и на различный момент выгорания. Также в работе проведен сравнительный анализ расчета фактора размножения для бесконечной топливной решетки стержней с помощью таких кодов, как WIMS, SRAC, CASMO, NESSEL. Выполнен анализ полученных данных. Данная работа является продолжением цикла работ, посвященных анализу подготовки мало групповых констант.

1. Описание моделей ТВС для кодов WIMS и SRAC

WIMS [1,2] [Winfrith Improved Multigroup Scheme] – общая программа ячейки решетки реактора, которая позволяет на основе теории переноса нейтронов рассчитать поток нейтронов в зависимости от энергии и положения в ячейке.

Транспортный код WIMSD-5B использует метод вероятности первых столкновений для решения дискретных по энергии и пространству уравнений переноса нейтронов, а также S_N – метод дискретных ординат. Ядерная библиотека констант кода WIMSD-5B содержит 69-групповые константы для 129 нуклидов, включая топливо, замедлитель, конструкционные материалы, продукты деления и материалы детекторов [2].

В программе предусмотрен расчет следующих геометрий: гомогенная среда; слоистая решетка (включая пучки пластин); правильная решетка стержней; кластеры в цилиндрической геометрии; и цилиндры в (r,z) геометрии.

Программа также может использоваться для расчетов выгорания, решения многоячеечных задач, расчетов возмущений в реакторе и т.п.

На рис. 1 представлена геометрическая модель тепловыделяющей сборки реактора ВВЭР-1000 для кода WIMSD-5B. Необходимо отметить, что большинство наиболее важных процедур кода WIMSD-5B непосредственно не может быть использовано для шестигранных тепловыделяющих сборок реакторов ВВЭР. В геометрических моделях кода WIMSD-5B шестигранные тепловыделяющие сборки преобразовывались в эквивалентные им круглые.

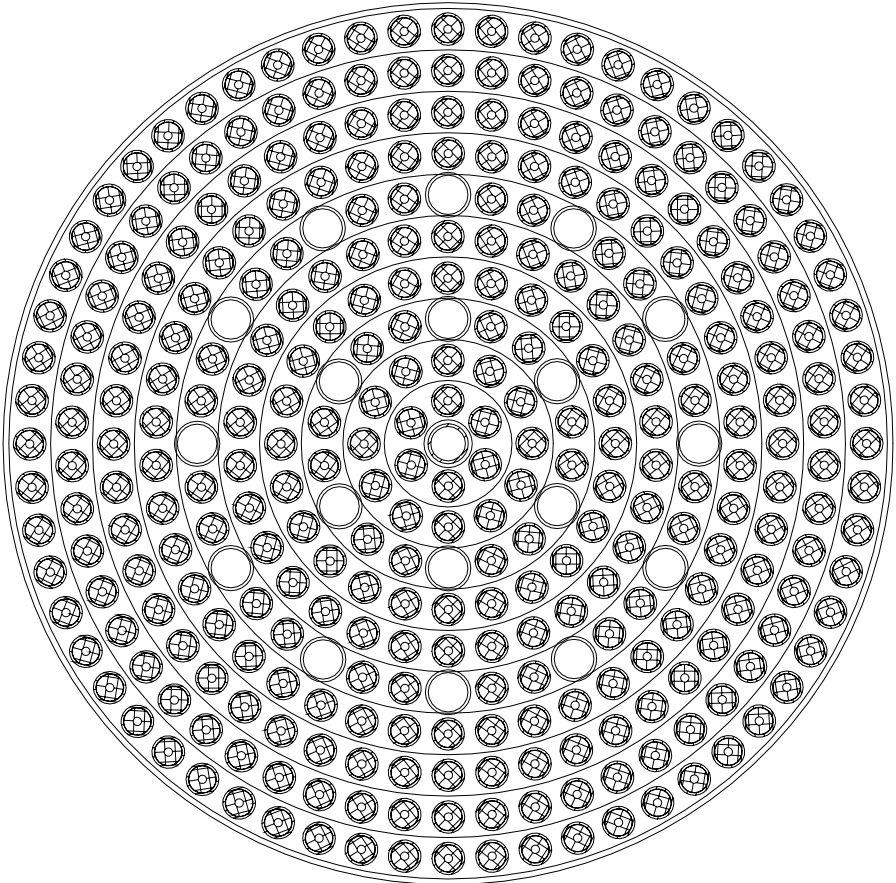


Рис. 1. Геометрическая модель ТВС ВВЭР-1000 для кода WIMSD-5B

SRAC [3] – это система кодов, разработанная специалистами JAERI для анализа нейтронно-физических процессов различного типа реакторов. Данная система содержит несколько библиотек нейтронно-физических данных (созданных на основе JENDL-3.2, ENDF/B-VI, JEF-2.2, и других) и включает в себя пять элементарных кодов по расчету переноса и диффузии нейтронов. Это коды, основанные на методе вероятности первых столкновений для 16-ти типов геометрий и S_N – транспортные коды ANISN (1D), TWOTRAN (2D), диффузионные коды TUD (1D) и CITATION (multi-D). Система также включает два кода по расчету выгорания: ASMBURN для расчета выгорания в тепловыделяющей сборке и COREBN – для многомерного расчета выгорания всей активной зоны.

SRAC использует 107 групповую библиотеку микро-констант с различным количеством нуклидов (392 нуклида, содержащих 8 псевдо продуктов деления в SRACLIB-JDL32, созданной на основе JENDL3.2), в которой содержится 74 быстрых, 42 тепловых и 12 перекрывающихся групп; в интервале энергий от 10 Мэв до 1Е-05 эв. Для подготовки групповых сечений взаимодействия в резонансной области предусмотрена возможность использования NR, IR и PEACO –приближений. Это дает возможность проводить исследования влияния различных приближений на получение гомогенизированных макро констант, а также учета различных эффектов (Доплер эффекта). Кроме того, предусмотрено различное количество других опций и методов для подготовки констант и решения уравнений переноса и диффузии нейтронов.

При моделировании тепловыделяющей сборки реактора типа ВВЭР-1000 использовался 15-й тип геометрии, который предполагает описание 60-ти градусного сектора симметрии для ТВС (см. рис. 2). Остальная кассета получается путем поворота сектора относительно центра симметрии (см. рис. 3).

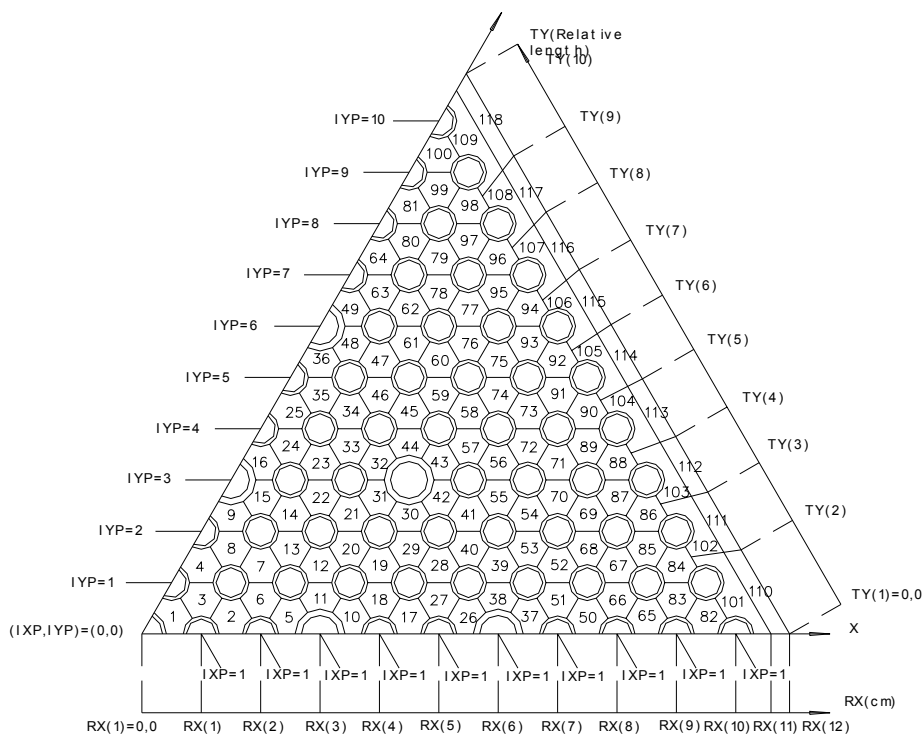


Рис. 2. 60-ти градусный сектор симметрии кода SRAC для геометрии №15

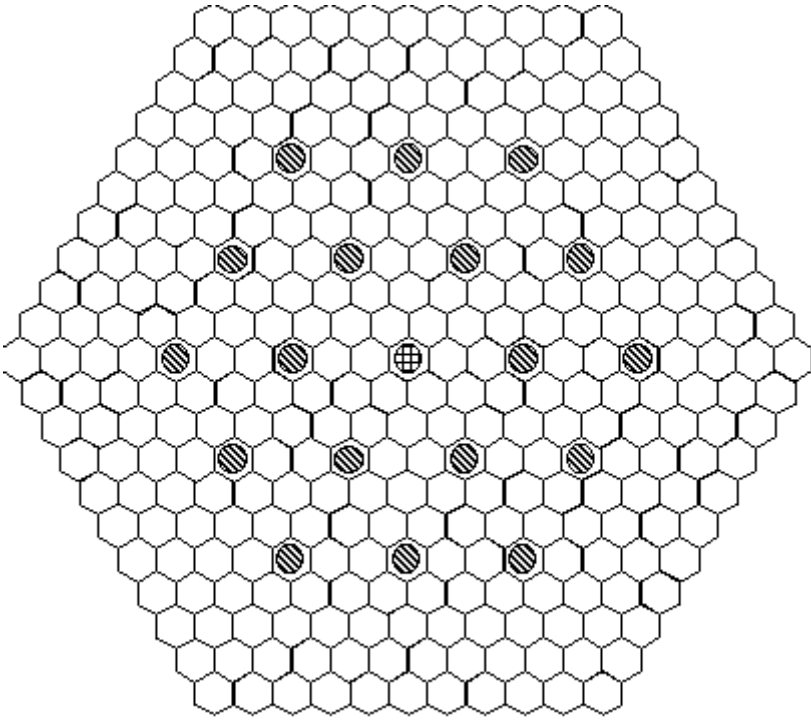


Рис. 3. Геометрическая модель ТВС ВВЭР-1000 для кода SRAC

Важно отметить, что как WIMS, так и SRAC, в отличие от используемого на Украине российского кода KASSETA, описывает не только рассеяние с потерей энергии, но и рассеяние с приобретением энергии нейтронов (upscatering).

2. Некоторые результаты расчетов

Сравнения коэффициента размножения для бесконечной среды с применением таких хорошо известных кодов как NESSEL и CASMO, стало возможным, благодаря данным, любезно предоставленным отделом «нейтронно-физических процессов ЯЭУ» ГНТЦ ЯРБ.

Сравнительный анализ проводился для ТВС обогащением 1.6%, 3.0%, 4.23%, 4.4% без погруженных ОР СУЗ, для следующих начальных условий:

- Равновесное состояние по Xe, Sm;
- Масса топлива 457.08 кг(UO₂)/на одну кассету, плотность теплового потока 45.84 Вт/г(U);
- Концентрация бора 600 ppm или 3.4286 г/кг борной кислоты;
- Температура топлива 677 °С (Доплеровская температура);
- Температура теплоносителя/замедлителя 302 °С;
- Плотность теплоносителя/замедлителя 0.72289 г/см³.

Предоставленные данные для кодов CASMO-4 и NESSEL-4, сравнивались с рассчитанными автором кодами WIMSD5B и SRAC для различных глубин выгораний.

Расчеты по SRAC выполнялись с использованием различных приближений в резонансной области (приближение узкого резонанса, широкого резонанса и метода PEACO [3]) и с использованием различных библиотек нейтронно-физических констант, созданных на основе JENDL3.2, ENDF/B IV и JEFF2.2.

Далее, на рисунках 4-9 представлены некоторые результаты расчетов. Результаты расчетов для SRAC здесь приведены для всех видов приближений в резонансной области и лишь для библиотеки нейтронно-физических констант, созданной на основе JEFF2.2 [4].

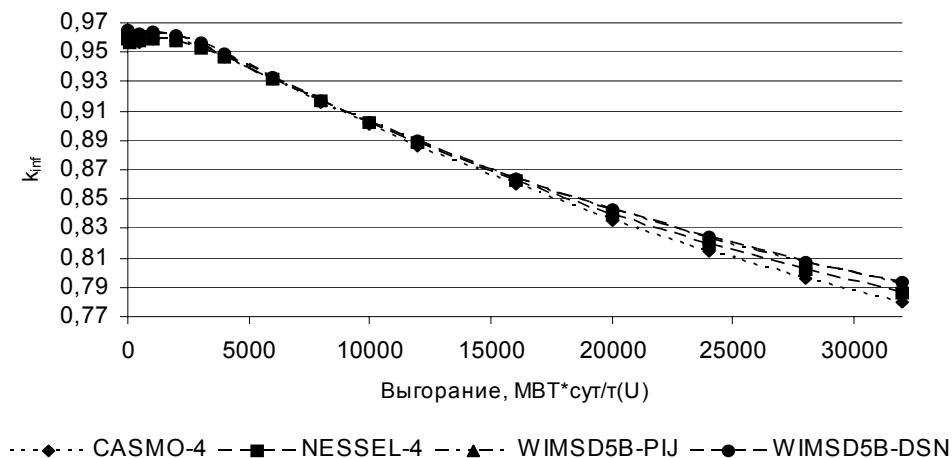


Рис. 4. Зависимость k_{∞} от выгорания для ТВС обогащением 1.6%

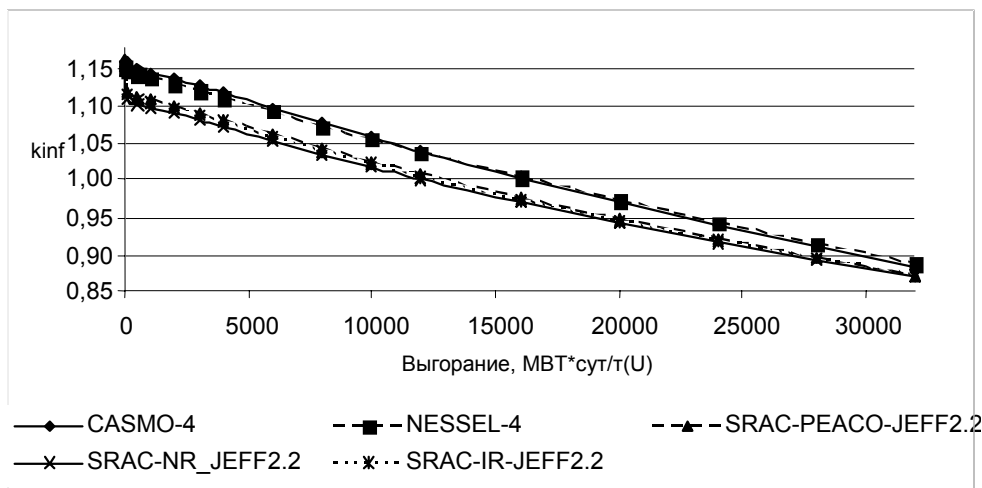


Рис. 5. Зависимость k_{∞} от выгорания для ТВС обогащением 3.0%

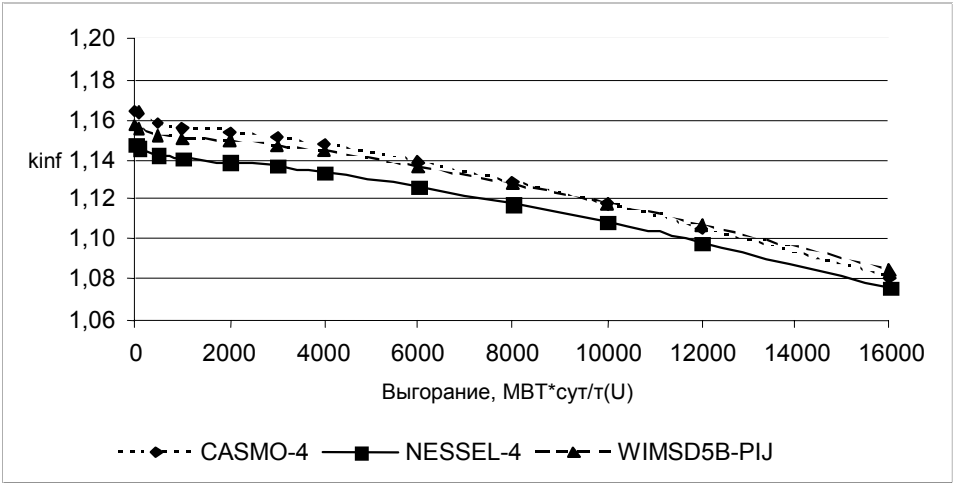


Рис. 6. Зависимость k_{∞} от выгорания для ТВС обогащением 4.23%

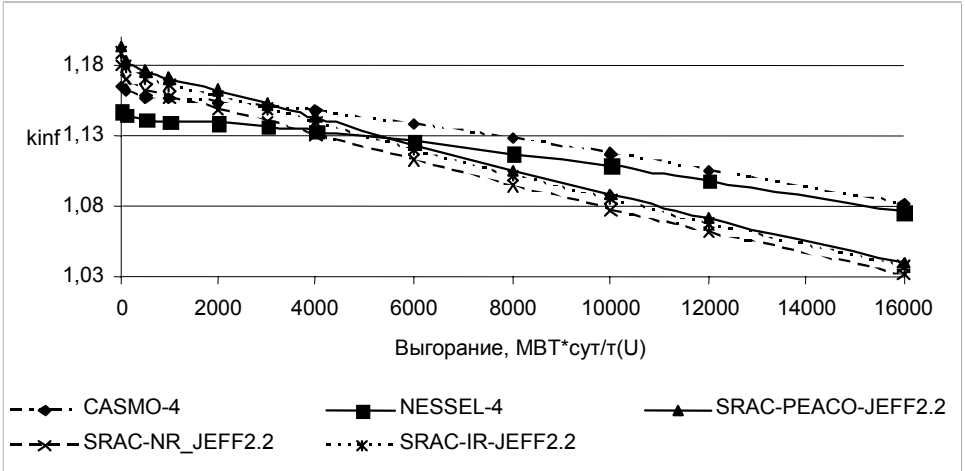


Рис. 7. Зависимость k_{∞} от выгорания для ТВС обогащением 4.23%

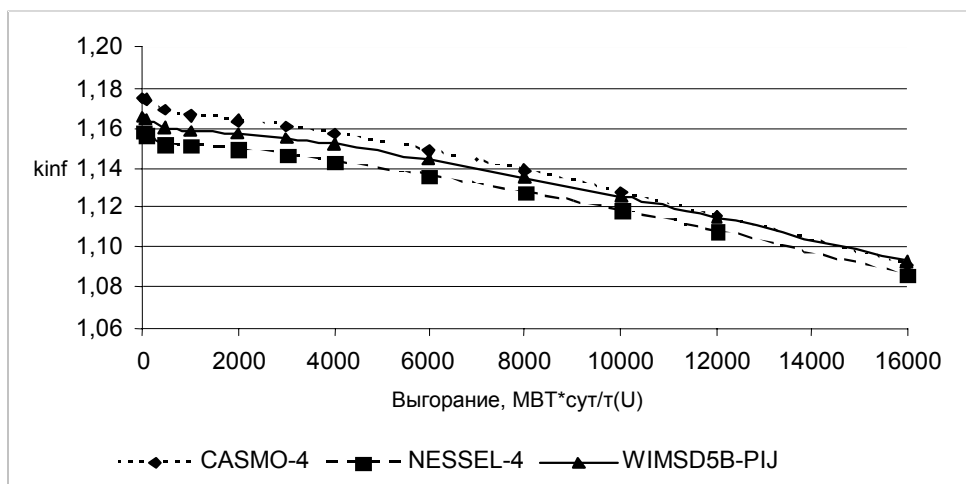


Рис. 8. Зависимость k_{∞} от выгорания для ТВС обогащением 4.4%

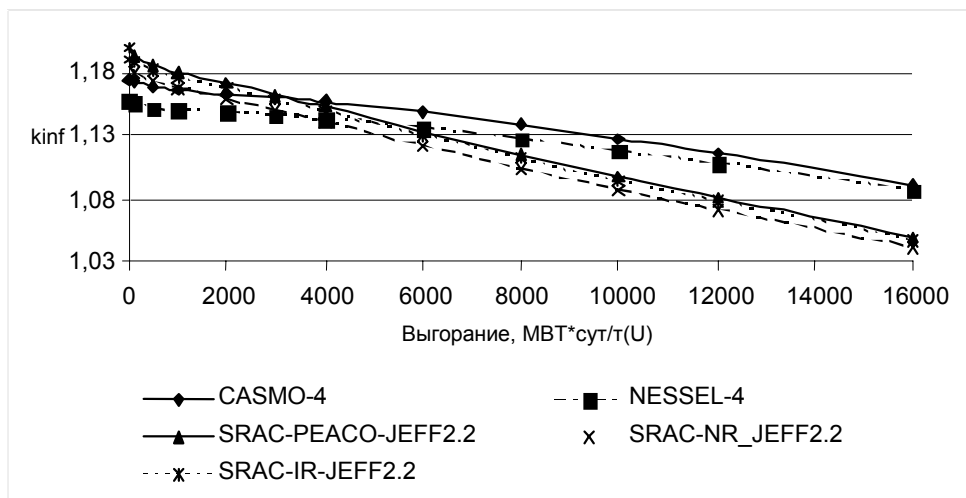


Рис. 9. Зависимость k_{∞} от выгорания для ТВС обогащением 4.4%

3. Анализ представленных результатов

Анализ данных показывает довольно хорошее совпадение результатов для ТВС 1.6% и 3.0% обогащения. Различия в k_{∞} для этих данных не превышает 2-3 % (см. рис. 4,5,6). Такая согласованность является приемлемой для различных кодов. Здесь обращает на себя внимание то обстоятельство, что расхождение данных растет, с увеличением глубины выгорания топлива для расчетов, выполненных по WIMS, SRAC и NESSEL, для всех типов ТВС.

Коды WIMSD5B и NESSEL-4 не имеют в своем арсенале шестигранную геометрию, в отличие от SRAC и CASMO-4. Но, как видно из представленных данных, корректный учет геометрии не дает существенного выигрыша при определении гомогенизированных макроскопических сечений. Но, использование

шестигранной геометрии, увеличит точность расчетов, в основном, при определении длительности кампании.

Обращают на себя внимание существенные различия в k_{∞} , при наличии стержней СВП в расчетах по CASMO, NESSEL, WIMS с расчетами по SRAC (рис. 7-9), здесь различается даже наклон кривой. Дело в том, что стержни СВП являются более слабыми поглотителями, по сравнению со стержнями СУЗ. То есть, при введенных стержнях СУЗ это различие будет еще больше заметно. Данное обстоятельство было отмечено и в работе [5].

Этот вопрос требует детального рассмотрения. Для этого был выполнен ряд дополнительных расчетов, которые позволили сделать соответствующие выводы. Исходя из того, что расчеты по WIMS очень хорошо согласуются с расчетами по NESSEL-4 и CASMO-4, анализ проводился в сравнении только WIMS-SRAC.

Первое, для выявления того, что вносит вклад в различия, были выполнены расчет для ТВС 4.4% без СВП и 4.4% с СВП, но без бора в теплоносителе. Результаты представлены на рисунках 10-11.

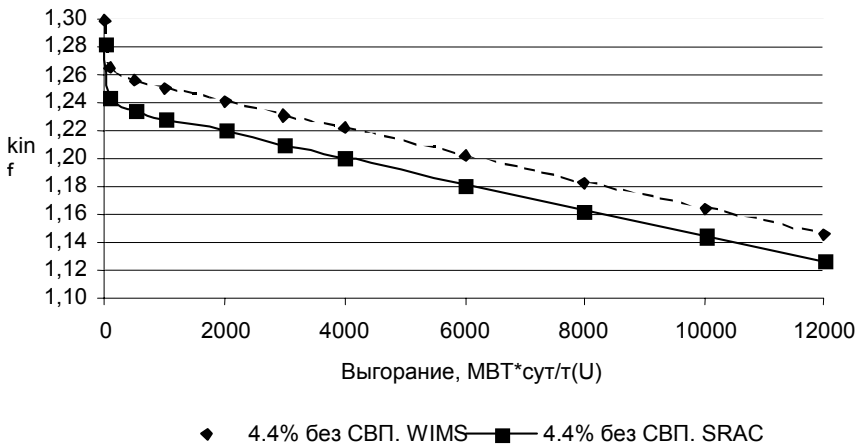


Рис. 10. Зависимость k_{∞} от выгорания для ТВС обогащением 4.4% без СВП

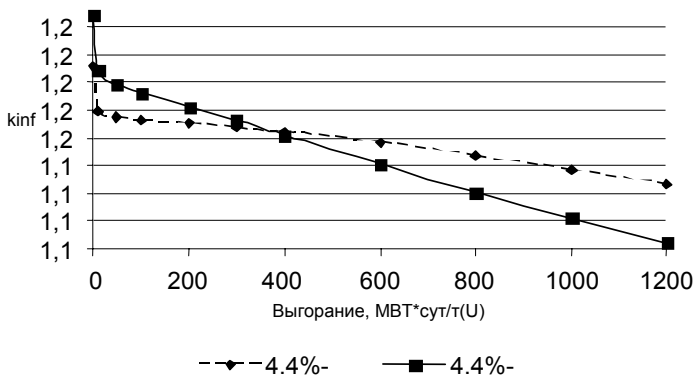


Рис. 11. Зависимость k_{∞} от выгорания для ТВС обогащением 4.4% с СВП без бора в теплоносителе

Анализуя полученные данные, можно сделать однозначный вывод – наличие СВП приводит к тому, что результаты расчета по данным кодам имеют качественные различия.

Проведем более подробный анализ данного обстоятельства. Для этого будем произвольно изменять месторасположения СВП, как это показано на рисунках 13-15 от исходного расположения (рисунок 12).

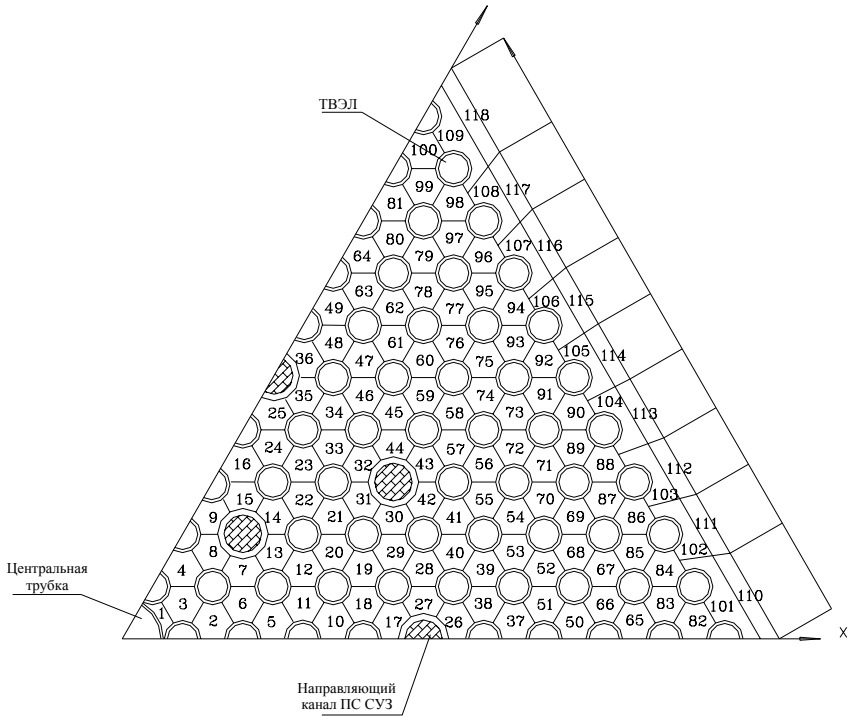


Рис. 12. Исходная модель ТВС ВВЭР-1000 для 60-градусного сектора симметрии

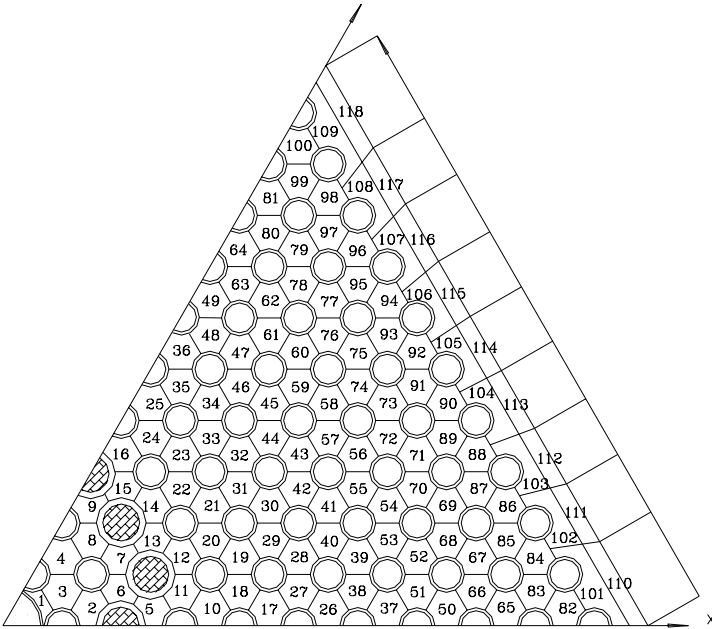


Рис. 13. Модель ТВС ВВЭР-1000 для 60-градусного сектора симметрии с измененным расположением СВП положения (обозначения аналогичны рис. 12)

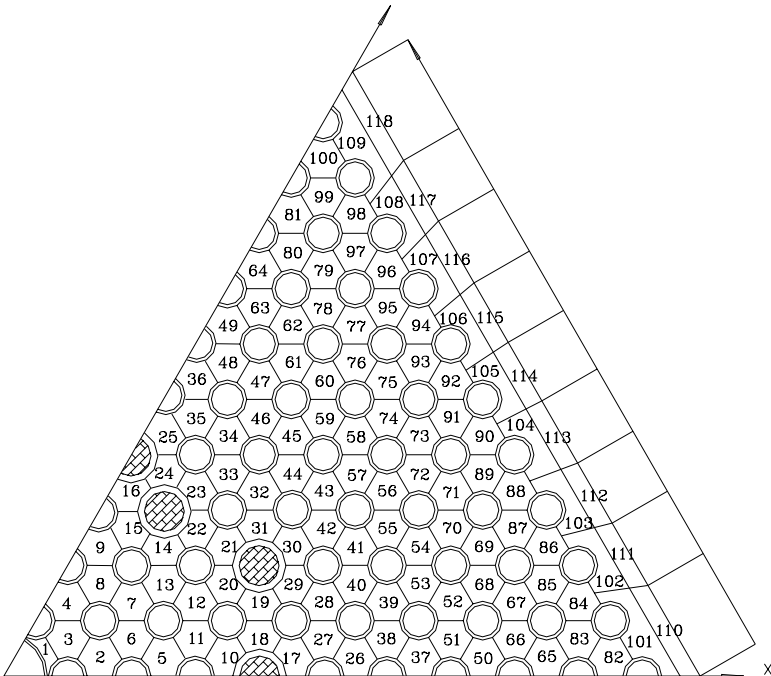


Рис. 14. Модель ТВС ВВЭР-1000 для 60-градусного сектора симметрии с измененным расположением СВП (обозначения аналогичны рис. 12)

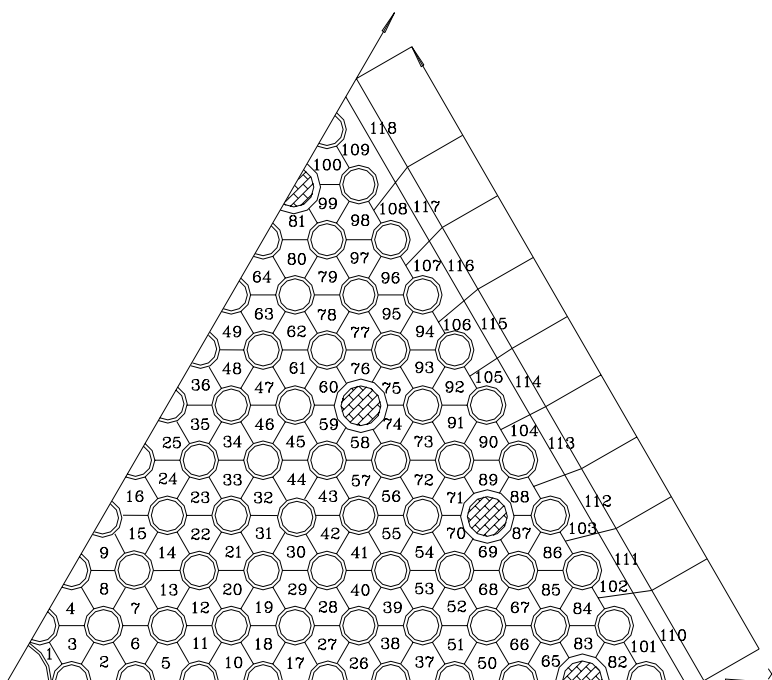


Рис. 15. Модель ТВС ВВЭР-1000 для 60-градусного сектора симметрии с измененным расположением СВП (обозначения аналогичны рис. 12)

Результаты для этих расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Изменение значения k_{∞} с выгоранием для ТВС 4.4% обогащения с различным месторасположением СВП

Выгорание МВт·сут/т U	WIMS (рис. 12) k_{∞}	SRAC (рис. 12) k_{∞}	WIMS (рис. 13) K_{∞}	WIMS (рис. 15) k_{∞}	SRAC (рис. 13) k_{∞}	SRAC (рис. 14) k_{∞}	SRAC (рис. 15) k_{∞}
0	1,194415	1,231080	1,194415	1,194415	1,233430	1,231850	1,230320
100	1,165245	1,194400	1,165245	1,165245	1,196560	1,195110	1,193670
500	1,161000	1,186120	1,161000	1,161000	1,188230	1,186810	1,185400
1000	1,159039	1,180430	1,159039	1,159039	1,182500	1,181110	1,179710
2000	1,157147	1,171760	1,157147	1,157147	1,173770	1,172430	1,171060
3000	1,154807	1,162720	1,154807	1,154807	1,164680	1,163370	1,162020
4000	1,151753	1,153290	1,151753	1,151753	1,155210	1,153930	1,152600
6000	1,143950	1,134230	1,143950	1,143950	1,136060	1,134840	1,133550
8000	1,135153	1,115660	1,135153	1,135153	1,117420	1,116250	1,115000
10000	1,125672	1,098000	1,125672	1,125672	1,099700	1,098570	1,097360
12000	1,115546	1,081270	1,115546	1,115546	1,082910	1,081820	1,080640
16000	1,093570	1,050450	1,093570	1,093570	1,051990	1,050970	1,049850

Как видно из таблицы, месторасположение СВП в WIMS не влияет на результаты расчета. Дело в том, что WIMS (как и NESSEL) разрабатывались в конце 60-х годов, когда компьютерная техника только развивалась. Соответственно, разработчикам в то время приходилось вносить различные упрощения для того, чтобы экономить машинное время и ресурсы компьютера. Одним из таких упрощений является то, что в WIMS расчет проводится поэтапно, и на первом этапе происходит «размазывание» материалов ячейки, то есть просто принципиально выделяется несколько расчетных областей – топливо, теплоноситель, оболочка, замедлитель. Далее для данной гомогенизации решается уравнение переноса нейтронов.

Необходимо отметить, что расчетные методики WIMS до сегодняшнего дня не претерпели коренных изменений.

SRAC разработан в конце 90-х, когда вопрос мощности вычислительной техники уже отошел на второй план, поэтому данный код решает уравнение переноса нейтронов для каждой области расчетной ячейки (можно детализировать ячейку практически до бесконечности).

Это существенное отличие в расчетных методиках представленных кодов и привело к тому, что при наличии поглотителя мы имеем различия в наклоне кривой зависимости фактора размножения от глубины выгорания. Дело в том, что при определении гомогенизированных макроскопических констант для ТВС с погруженными стержнями управления и защиты, SRAC будет давать более «тяжелые» веса стержней, чем, например, WIMS. А это, в свою очередь, скажется на точности при анализе переходных процессов.

Компьютерный код SRAC использует библиотеку микроскопических констант, в которой при получении микроскопических сечений в тепловой области использовался энергетический спектр нейтронов исследовательского реактора, а, как известно, спектры больших энергетических реакторов более «жесткие». Данное обстоятельство сейчас детальнее исследуется автором и, предварительный анализ показывает, что это и приводит к различию в результатах расчетов между кодами, при наличии в расчетной области поглотителя.

Исходя из результатов расчета, представленных в данной статье и в работе [5], можно сделать еще следующие выводы:

- корректность выбора спектра нейтронов в тепловой области, вносит существенный вклад в дальнейшую точность расчетов. Видимо, более оптимально использовать классические спектры Максвелла и Ферми, если нельзя точно определить спектр нейтронов для исследуемого энергетического реактора;
- использование приближения узкого резонанса более предпочтительно, чем приближение широкого резонанса, при выполнении расчетов для ТВС с реакторами ВВЭР. Но использование приближения широкого резонанса в качестве первого шага итерации существенно увеличивает точность последующих расчетов;
- необходимо обратить внимание на вопросы гомогенизации расчетной области разработчикам подобных кодов. Современная компьютерная техника позволяет отказываться от тех упрощений, которые необходимо было вносить в 60-е годы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Окончательные выводы будут сделаны после выполнения расчетов мелкосеточными программами для различных состояний реакторной установки, например, с использованием таких программ как NESTLE, DIFF3D, DYN3D, Relap3D и других. Только сравнение уже этих расчетов с экспериментальными данными даст возможность говорить о корректности учета тех или иных подходов при подготовке малогрупповых данных для дальнейших расчетов реакторов с ВВЭР. Автор продолжает работы в данном направлении, так как приведенный анализ является очень важным при оценке состояния активной зоны реактора, так как максимально достоверная информация о конечном состоянии активной зоны и о ее поведении в различных переходных режимах является очень существенной.

Автор выражает благодарность отделу «нейтронно-физических процессов ЯЭУ» ГНТЦ ЯРБ за предоставленные данные по кодам CASMO и NESSEL, а так же доценту кафедры Ядерной Физики КГУ имени Т.Г. Шевченко Борисенко В.И., за помощь, оказанную при обсуждении полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. J.R. Askew et al., A general description of the lattice code WIMS, Journal of the British Nuclear Energy Society 5 (1). – 1966.– P. 564–584.
2. M.J. Halsall, C.J. Taubman, The WIMS '1986' Nuclear Data Library, AEEW-R 2133, 1986.
3. Keisuke Okumura, Teruhiko Kugo, Kunio Kaneko and Keichiro Tsuchihashi*. SRAC; The comprehensive neutronics calculation code system. Department of Nuclear Energy System, Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI).
4. Анализ данных нейтронно-физических расчетов в ячеистой геометрии. Гальченко В.В., Павлович В.Н., Неделин О.В. и др. Сборник научных статей ИЯИ №1(9). – 2003. – С. 51–55.
5. Гальченко В.В., Неделин О.В. Сравнительный анализ подготовки малогрупповых констант с использованием различных компьютерных кодов. Часть 1// Ядерная и радиационная безопасность. – 2003. – Т. 6, Вып. 3. – С. 61–68.
6. KASSETA code for calculation of neutron physics characteristics in fuel assemblies of reactors with light water moderator. 621.039.51. Kurchatov Institute of Atomic Energy, Moscow, 1984.
7. M.J. Halsall, C.J. Taubman, The WIMS '1986' Nuclear Data Library, AEEW-R 2133, 1986.