

КРОСС-ВЕРИФИКАЦИЯ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ КОДОВ CORNER И MCU-FR НА МОДЕЛЯХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

В.П. Березнев, Д.А. Колташев, Р.Е. Шурыгин

ИБРАЭ РАН

115191, г. Москва, Большая Тульская ул., д. 52



Представлены результаты кросс-верификации детерминистического кода CORNER на базе метода дискретных ординат и прецизионного кода MCU-FR на базе методов Монте-Карло на моделях быстрых реакторов со свинцовым и натриевым теплоносителями. Актуальность работы заключается в том, что при подготовке обосновывающих материалов для проектируемых реакторов необходимо проводить кросс-верификацию с аттестованным расчетным кодом. Для этого подготовлены тестовые модели активных зон (а.з.) быстрого реактора со свинцовым теплоносителем и быстрого реактора с натриевым теплоносителем. Проведены расчёты интегральных характеристик: эффективности различных групп стержней системы управления и защиты (СУЗ), пустотного и Доплера эффектов реактивности, максимального запаса реактивности и эффективной доли запаздывающих нейтронов. Проведено сравнение распределения энерговыделения, полученного по двум программам. По результатам расчётов максимальное отклонение эффективности стержней СУЗ не превышает 8% для натриевого реактора и 4% для свинцового реактора. Отклонение постоянной Доплера для свинцового реактора не превышает 3,6%, а для натриевого реактора – 6,8%. Максимальное отклонение по энерговыделению составляет 3,1% для свинцового реактора и 5,9% для натриевого реактора. При расчёте максимального запаса реактивности отклонение не превышает 1,9% для системы со свинцовым теплоносителем и 2,7% для системы с натриевым теплоносителем. Максимальное отклонение по эффективной доле запаздывающих нейтронов составляет 1,3% для системы со свинцовым теплоносителем и 0,54% для системы с натриевым теплоносителем. Подготовлены обосновывающие материалы по коду CORNER для подачи кода на аттестацию.

Ключевые слова: CORNER, MCU-FR, кросс-верификация, быстрый реактор с натриевым теплоносителем, быстрый реактор со свинцовым теплоносителем, нейтронно-физические характеристики.

Березнев В.П., Колташев Д.А., Шурыгин Р.Е. Кросс-верификация нейтронно-физических кодов CORNER и MCU-FR на моделях перспективных реакторов на быстрых нейтронах. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2023. – № 1. – С. 132-143. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.1.11> .

© **В.П. Березнев, Д.А. Колташев, Р.Е. Шурыгин, 2023**

132

ВВЕДЕНИЕ

В связи с разработкой проектов новых РУ с жидкометаллическим теплоносителем возникает необходимость проведения расчетного обоснования их безопасности с применением современных расчетных средств. Для решения таких задач в ИБРАЭ РАН разработан нейтронно-физический код CORNER [1 – 3], основанный на методе дискретных ординат (S_N -приближение). Преимуществом данного метода по сравнению с диффузионным приближением является учет анизотропии рассеяния и угловой зависимости плотности потока нейтронов. Код CORNER аттестован Ростехнадзором в 2020 г. [4] применительно к РУ с натриевым и свинцовым теплоносителями. С целью расширения аттестационного паспорта в рамках данной работы проведена кросс-верификация кода CORNER с аттестованным кодом MCU-FR [5, 6] на моделях активных зон быстрого реактора со свинцовым теплоносителем и СНУП-топливом и быстрого реактора с натриевым теплоносителем и МОКС-топливом. Полученные результаты позволят расширить область применения кода CORNER для его использования в рамках обоснования безопасности проектов РУ БР. В статье приведено краткое описание кодов CORNER и MCU-FR, представлены расчетные модели и результаты расчетов нейтронно-физических характеристик.

ОПИСАНИЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКОГО КОДА CORNER

Нейтронно-физический расчетный код на базе метода дискретных ординат (S_N -приближение) на структурированных сетках CORNER разработан ИБРАЭ РАН в рамках проекта «Коды нового поколения» [7] проектного направления «Прорыв» [8]. Код предназначен для расчётов основных нейтронно-физических характеристик быстрых реакторов и их моделей на критических сборках БФС. Код CORNER решает стационарные (однородные прямые и сопряжённые) и нестационарные [9] (в адиабатическом приближении) задачи.

Для учета угловой зависимости используется метод дискретных ординат. Анизотропное рассеяние представляется разложением в ряд Фурье по полиномам Лежандра. Для пространственной аппроксимации применяется алмазная схема с коррекцией отрицательных значений плотности потока, полученная на основе метода конечных объемов. Энергетическая зависимость представлена многогрупповым приближением с использованием системы подготовки констант CONSYST-RF [10] с библиотекой ядерных данных БНАБ-РФ [11] (в данной работе все расчёты по коду CORNER проводились в 28-групповом приближении).

ОПИСАНИЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКОГО КОДА MCU-FR

Код MCU-FR предназначен для моделирования процессов переноса нейтронов, фотонов и электронов аналоговыми и весовыми методами Монте-Карло на основе оценённых ядерных данных в системах с трёхмерной геометрией. Библиотека ядерных данных MDBFR60, используемая кодом MCU-FR, основана на данных РОСФОНД [12].

В отличие от кода CORNER в коде MCU-FR используется поточечное представление сечений взаимодействия излучения со средой. Кроме того, код MCU-FR позволяет детально (без упрощений) описать геометрию моделируемого объекта.

РАСЧЁТНАЯ МОДЕЛЬ БЫСТРОГО РЕАКТОРА СО СВИНЦОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Подготовлена расчётная модель активной зоны быстрого реактора со свинцовым теплоносителем, которая содержит 379 ячеек различного типа: ТВС центральной и периферийной частей активной зоны, ТВС с рабочими органами (РО) системы управления и защиты (СУЗ), ТВС с постоянными компенсаторами реактивности (ПКР), а также бло-

ков отражателя, в том числе блоков отражателя с устройством пассивной обратной связи (УПОС).

В состав РО СУЗ входят шесть РО АЗ (аварийная защита) – первая система остановки, четыре РО АР (автоматическое регулирование) и 12 РО КР (компенсация реактивности) – вторая система остановки (ВСО).

Тепловая мощность реактора составляет 700 МВт.

Картограмма данной модели приведена на рис. 1.

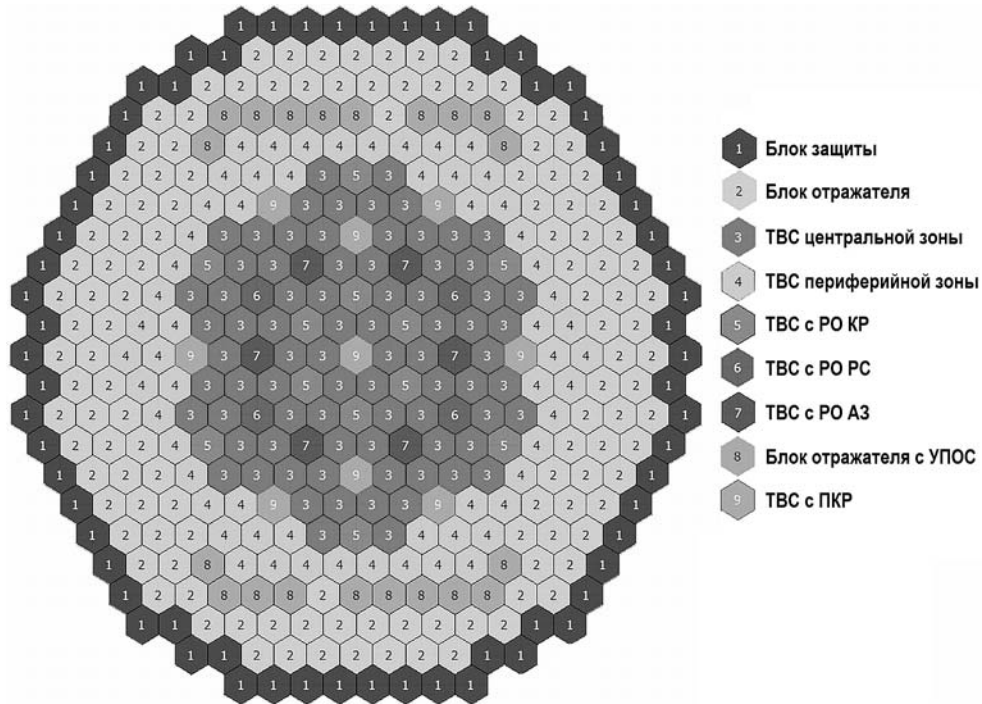


Рис.1. Картограмма модели быстрого реактора со свинцовым теплоносителем

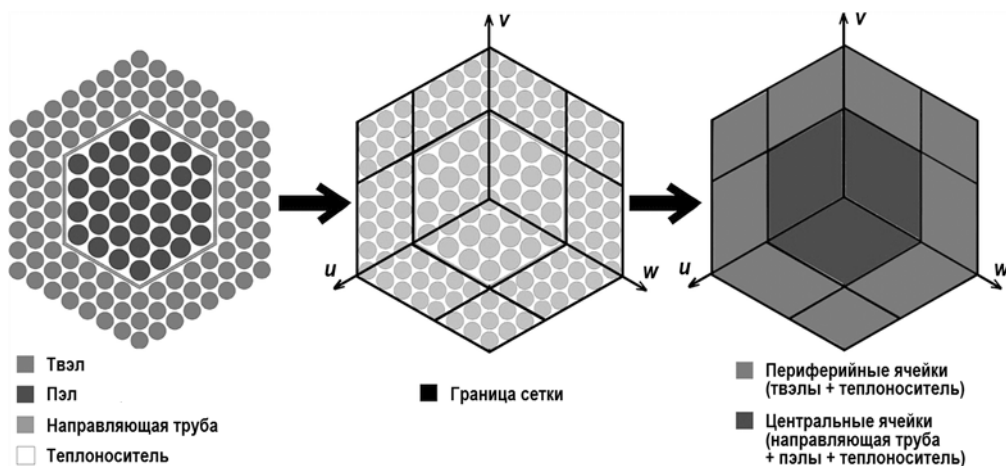


Рис. 2. Процесс построения вложенной сетки для ТВС с РО СУЗ

Для кода CORNER используется расчётная модель с вложенной (в радиальном направлении) сеткой, которая вводится для ТВС всех типов и состоит из 12-ти ячеек. Вложенная сетка уменьшает погрешность пространственной аппроксимации за счет сгущения

исходной сетки, а для ТВС с РО СУЗ, в которых поглотитель занимает конструктивно только центральную часть сборки, позволяет учесть пространственную гетерогенность. Пример разбиения для ТВС с РО СУЗ (АЗ, АР, КР, ПКР) приведён на рис. 2. При данном разбиении поглотитель занимает только центральные вложенные ячейки, а топливо расположено только в периферийных вложенных ячейках.

С помощью конвертера входного файла кода CORNER во входной файл MCU-FR сформирована гомогенизированная модель для кода MCU-FR, в которой используются те же материальные составы и компоновка модели, что и в модели для кода CORNER. Такой автоматизированный подход позволяет исключить неопределённости, вызванные различием моделей при их ручном задании.

РАСЧЁТНАЯ МОДЕЛЬ БЫСТРОГО РЕАКТОРА С НАТРИЕВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ И МОКС-ТОПЛИВОМ

Для расчётов быстрого реактора с натриевым теплоносителем подготовлена расчётная модель, которая содержит 1519 сборок различного типа: ТВС активной зоны, боковой зоны воспроизводства (БЗВ), внутриреакторного хранилища (ВРХ), сборок стальной защиты (ССЗ), сборок борной защиты (СБЗ) и дополнительных сборок с натрием.

В состав РО СУЗ входят регулирующие и компенсирующие стержни, а также стержни АЗ, пассивной аварийной защиты гидравлические (ПАЗ-Г) и пассивной аварийной защиты тепловые (ПАЗ-Т).

Тепловая мощность реактора составляет 2800 МВт.

Картограмма данной модели приведена на рис. 3.

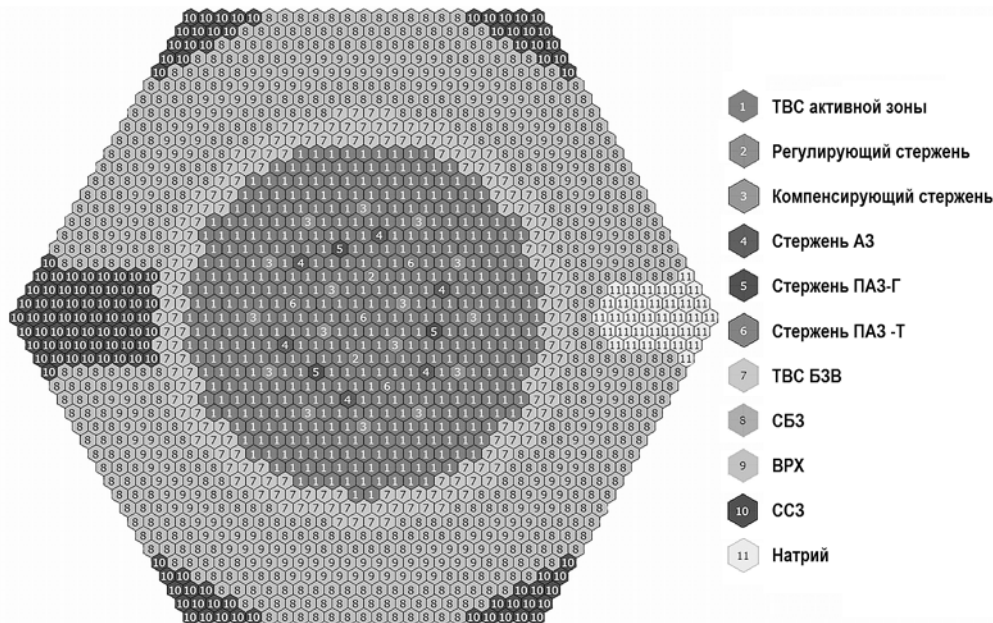


Рис.3. Картограмма быстрого реактора с натриевым теплоносителем

Для проведения расчётов быстрого реактора с натриевым теплоносителем по коду CORNER используется расчётная модель с вложенной сеткой. Для этого каждая сборка разбивается на 12 ячеек с целью утяжеления расчётной сетки и повышения точности расчётов.

Для кода MCU-FR сформированы две расчётные модели – потвзельная и гомогенизированная. С помощью потвзельной модели можно задавать температуру нуклидов оболочки твэлов, отличную от температуры этих же нуклидов в чехле сборки. Такую операцию невозможно проделать в гомогенизированной модели. В связи с данным пре-

имуществом потвзельная модель используется при расчётах доплер-эффекта.

Аналогично модели быстрого реактора со свинцовым теплоносителем, гомогенизированная модель быстрого реактора с натриевым теплоносителем была сформирована при использовании входного файла кода CORNER. Потвзельная модель была сформирована из гомогенизированной с детализацией топливной части активной зоны.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТОВ МОДЕЛИ БЫСТРОГО РЕАКТОРА СО СВИНЦОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Для подготовленных моделей проведены расчёты эффективности различных групп стержней СУЗ, пустотного и Доплера эффектов реактивности, максимального запаса реактивности и эффективной доли запаздывающих нейтронов. Также проведено сравнение энерговыделения, полученного по двум программам.

Расчёты эффективности различных групп стержней СУЗ для быстрого свинцового реактора по программе CORNER согласуются с расчётами по коду MCU-FR в пределах погрешностей, указанных в аттестационном паспорте кода CORNER. Наибольшее отклонение (3,6%) наблюдается при расчёте варианта с введёнными шестью РО АЗ. Результаты расчётов приведены на рис. 4.

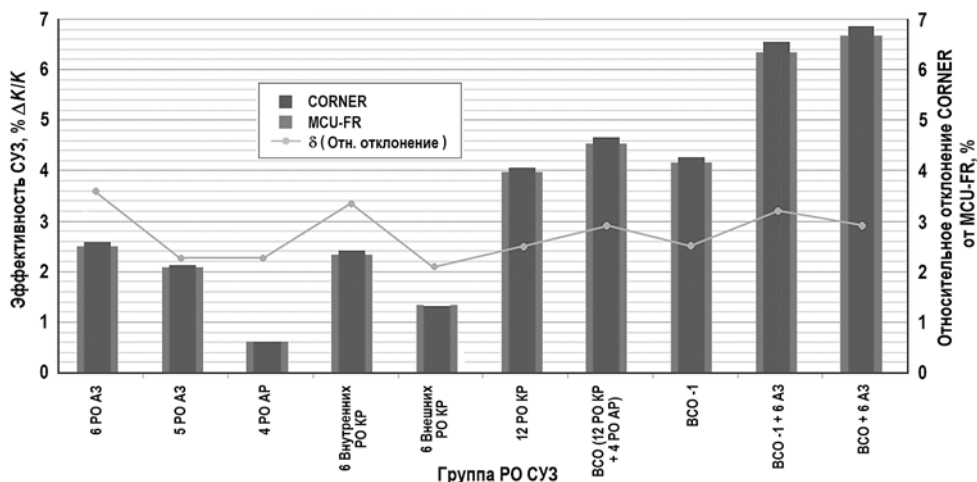


Рис. 4. Эффективность различных групп стержней СУЗ быстрого свинцового реактора

Результаты расчётов постоянной Доплера (K_D) для различных диапазонов температур приведены в табл. 1. Максимальное отличие между значениями по кодам CORNER и MCU-FR составляет 3,7%. По коду MCU-FR было промоделировано 1500 серий по 30000 частиц в серии. Статистическая погрешность расчёта составляет $1 \cdot 10^{-6}$.

Таблица 1

Значение постоянной Доплера по кодам MCU-FR и CORNER

Температура, К	$K_{эф}$		K_D , pcm		
	MCU-FR	CORNER	MCU-FR	CORNER	Относительное отклонение, %
663	1,00708	1,00391	–	–	–
900	1,00398	1,00156	–756	–765	1,2
1200	1,00195	0,99946	–727	–748	2,9
1500	1,00036	0,99791	–725	–734	1,2
1800	0,99937	0,99670	–695	–721	3,7
2100	0,99824	0,99570	–702	–712	1,4

Таблица 2

Пустотный эффект реактивности

Опущаемые зоны	K _{эф}		Эффект реактивности, % ΔK/K		
	MCU-FR	CORNER	CORNER	MCU-FR	Абсолютное отклонение CORNER от MCU-FR
78 ТВС ЦЗ	1,00464	1,00306	0,361	0,303	0,06
60 ТВС ПЗ	0,99646	0,99459	-0,486	-0,514	0,03
А.з. с торцевыми отражателями	0,97888	0,97923	-2,024	-2,269	0,24
А.з. в целом	0,99888	0,99813	-0,133	-0,271	0,14
1-й ряд бокового отражателя	0,98929	0,98766	-1,181	-1,229	0,05
2-й ряд бокового отражателя	0,99526	0,99385	-0,561	-0,633	0,07
3-й ряд бокового отражателя	0,99912	0,99667	-0,221	-0,247	-0,03
3 ряда бокового отражателя	0,97785	0,97616	-2,331	-2,371	0,04
Верхний торцевой отражатель	1,00091	0,99891	-0,055	-0,069	0,01
Нижний торцевой отражатель	0,99992	0,99812	-0,134	-0,168	0,03
Все зоны	0,930440	0,93169	-6,781	-7,105	0,32
Критика	1,00160	0,99946			

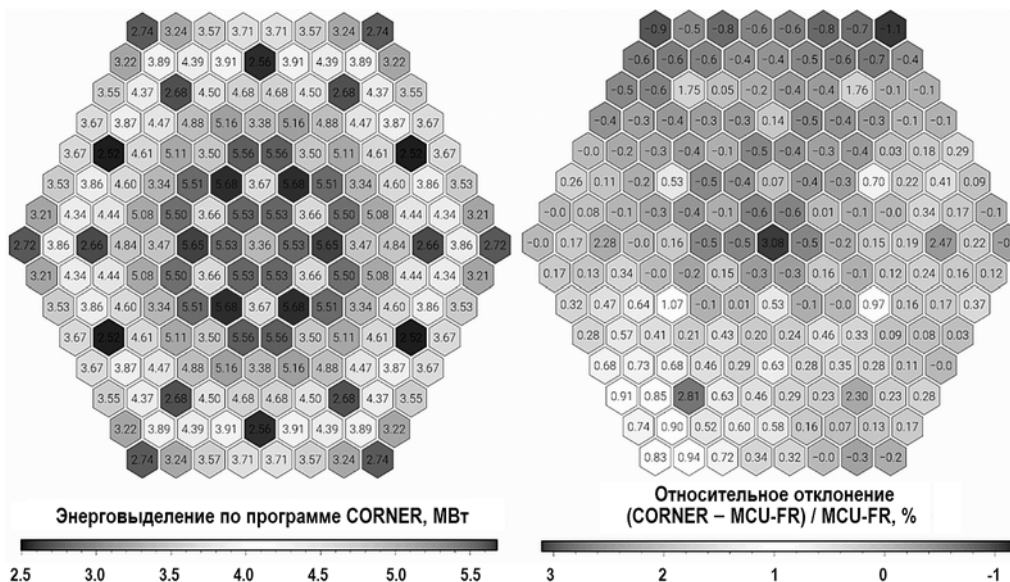


Рис. 5. Энерговыведение ТВС при работе на номинальном уровне мощности

При расчёте пустотного эффекта реактивности быстрого свинцового реактора для отдельных подзон отклонение в результатах CORNER и MCU-FR не превышает 0,14% ΔK/K. Отклонение при одновременном осушении всех зон составляет

ет 0,32% $\Delta K/K$ (в относительном выражении – 4,8%). Результаты расчётов приведены в табл. 2.

Проведено сравнение распределения энерговыделения по программам CORNER и MCU-FR. По обоим кодам энерговыделение рассчитывалось с использованием KERMA-факторов (KERMA – Kinetic Energy Release in Materials). Отклонение энерговыделения для топливных ТВС составляет не более 1,1%, а для ТВС с РО СУЗ не более 3,1%. Результаты сравнения энерговыделения по активной зоне для состояния при работе на номинальном уровне мощности показаны на рис. 5.

Максимальный запас реактивности определялся на основании расчета двух состояний: с полностью введенными и извлеченными из а.з. стержнями СУЗ. Максимальный запас реактивности по коду CORNER составляет 6,98% $\Delta K/K$, а по коду MCU-FR 6,85% $\Delta K/K$. Таким образом, отклонение составляет 1,9%.

Эффективная доля запаздывающих нейтронов ($\beta_{эф}$) рассчитывается по коду CORNER по формуле теории возмущений первого порядка путем решения прямой и сопряженной задач:

$$\beta_{эф} = \frac{1}{\text{ЦНД}} \sum_{j=1}^8 \int_V \sum_{g=1}^{28} \Psi^{+,g}(\mathbf{r}) \chi_{d,j}^g F_{d,j}(\mathbf{r}) dV,$$

где ЦНД – ценность нейтронов деления; j – номер группы предшественников запаздывающих нейтронов; g – номер энергетической группы; $\Psi^{+,g}(\mathbf{r})$ – сопряженная функция (функция ценности); $\chi_{d,j}^g$ – спектр запаздывающих нейтронов; $F_{d,j}(\mathbf{r})$ – источник запаздывающих нейтронов; V – расчетный объем.

По коду MCU-FR $\beta_{эф}$ рассчитывается по формуле

$$\beta_{эф} = \frac{1}{K_{эф}} \frac{(\mathbf{e}, \Delta \mathbf{H} \mathbf{Q})}{(\mathbf{e}, \mathbf{Q})},$$

где \mathbf{e} – единичный вектор; $\Delta \mathbf{H}$ – оператор деления только на запаздывающих нейтронах; \mathbf{Q} – главная собственная функция уравнения критичности.

По коду CORNER получено значение 0,373, по коду MCU-FR – 0,368. Относительное отклонение составляет 1,3%.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТОВ МОДЕЛИ БЫСТРОГО РЕАКТОРА С НАТРИЕВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ И МОКС-ТОПЛИВОМ

Для подготовленных моделей проведены расчёты эффективности различных групп стержней СУЗ, пустотного и Доплера эффектов реактивности, максимального запаса реактивности и эффективной доли запаздывающих нейтронов. Также проведено сравнение энерговыделения, полученного по двум программам.

Расчёты эффективности различных групп стержней СУЗ для быстрого натриевого реактора по программе CORNER согласуются с расчётами по коду MCU-FR в пределах погрешностей, указанных в аттестационном паспорте кода CORNER. Наибольшее отклонение (7,8%) наблюдается при расчёте варианта с введенными пятнадцатью КС, двумя РС, шестью АЗ, четырьмя ПАЗ-Т и тремя ПАЗ-Г. Результаты расчётов приведены на рис. 6.

Наибольшее различие в значениях постоянной Доплера, полученных по кодам CORNER и MCU-FR, составляет 6,8%. Результаты расчётов представлены в табл. 3.

Для расчёта пустотного эффекта реактивности натрия был удалён из топливной и вышележащих областей ТВС активной зоны до верхнего поглощающего экрана. По результатам расчётов по коду CORNER величина натриевого пустотного эффекта реактивности составляет 0,442% $\Delta K/K$, а по коду MCU-FR – 0,299% $\Delta K/K$. Абсолютное отклонение составляет 0,143% $\Delta K/K$. Отклонение значений энерговыделения по кодам CORNER и MCU-FR составляет не более 5,9% для топливных ТВС. Сравнение результатов расчета

распределения энерговыделения по активной зоне приведено на рис. 7.

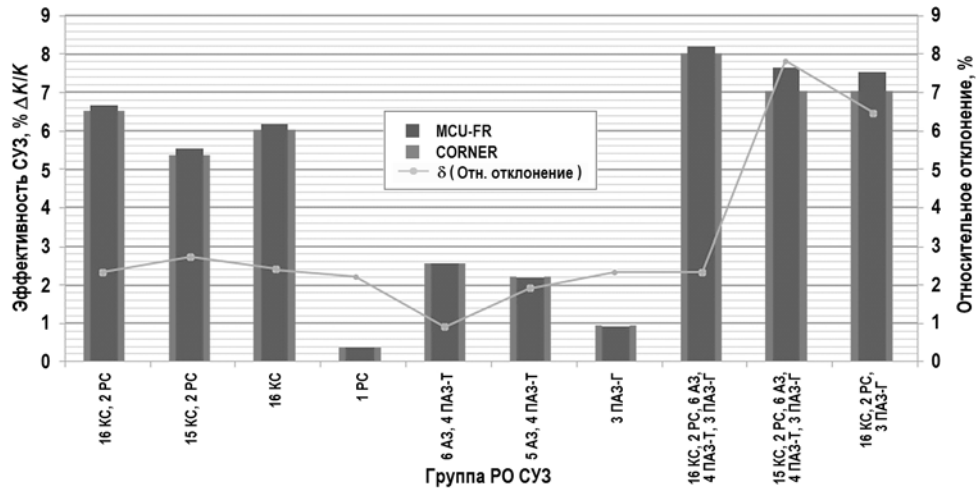


Рис. 6. Эффективность различных групп РО СУЗ быстрого реактора с натриевым теплоносителем

Таблица 3

Постоянная Дюпелера, рассчитанная по кодам MCU-FR и CORNER

Состояние	Kэф		Kд, рсм		
	MCU-FR	CORNER	MCU-FR	CORNER	Относительное отклонение, %
Все зоны 600 К	1,03415	1,03691	–	–	–
Топливо а.з. 900 К	1,030031	1,03299	–890	–902	1,5
Топливо а.з. 1200 К	1,02716	1,03036	–950	–884	6,8
Топливо НТЗВ 900 К	1,03385	1,03662	–680	–661	2,8
Топливо НТЗВ 1200 К	1,03372	1,03645	–574	–611	6,4

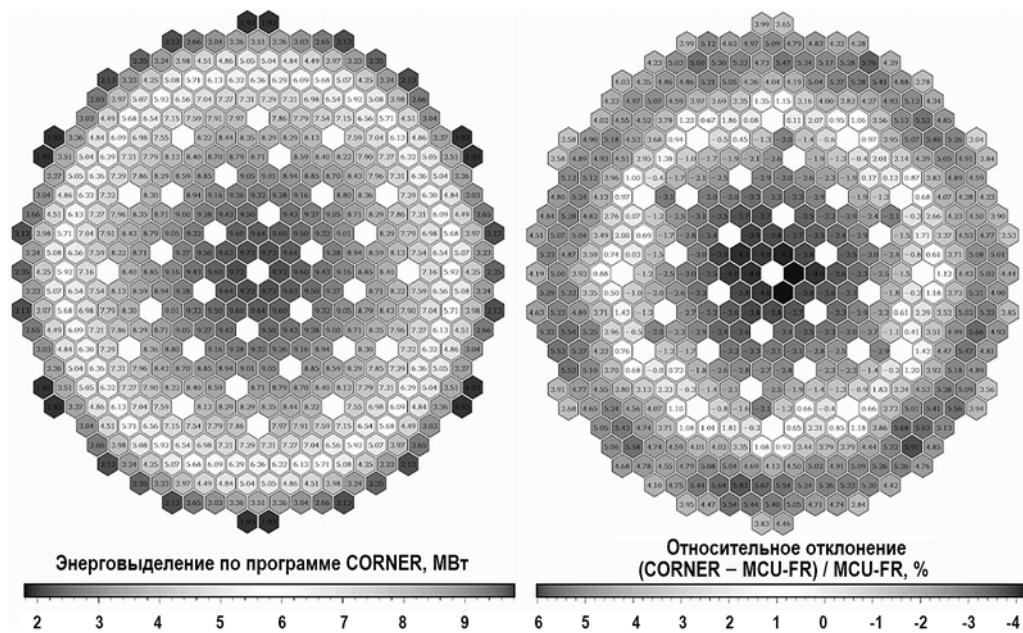


Рис. 7. Энерговыделение ТВС активной зоны

Был проведён расчёт максимального запаса реактивности. Максимальный запас реактивности по коду CORNER составляет 5,58% $\Delta K/K$, а по коду MCU-FR – 5,73% $\Delta K/K$. Таким образом, относительное отклонение составляет 2,68%.

Также был проведён расчёт эффективной доли запаздывающих нейтронов. По коду CORNER получено значение 0,373, по коду MCU-FR – 0,371. Относительное отклонение составляет 0,54%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены расчёты нейтронно-физических характеристик моделей активных зон быстрого реактора с натриевым теплоносителем и МОКС-топливом и быстрого реактора со свинцовым теплоносителем. Отклонения в расчётах по программам CORNER и MCU-FR не превышают погрешность, указанную в аттестационном паспорте кода CORNER. Полученные результаты используются при аттестации новой версии кода CORNER.

Благодарность

Работа выполнена в рамках пункта 3.5 Государственного контракта № Н.4о.241.19.21.1068 от 14.04.2021.

Литература

1. Березнев В.П., Селезнев Е.Ф., Асатрян Д.С. Нейтронно-физический расчётный код CORNER // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2015. – № 1. – С.136-143. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2015.1.15>.
2. Березнев В.П. Разработка нейтронно-физического кода CORNER для анализа стационарных и нестационарных процессов в реакторах на быстрых нейтронах. – Дис. канд. техн. наук. – М.: ИБРАЭ РАН, 2017. – 96 с.
3. Шурьгин Р.Е., Березнев В.П., Колташев Д.А. Результаты кросс-верификации нейтронно-физических кодов CORNER и MCU-FR на базе модели активной зоны быстрого реактора со свинцовым теплоносителем. // Сб. трудов XXI научной школы молодых ученых ИБРАЭ РАН. – М.: ИБРАЭ РАН, 2022. – С. 119-122.
4. Аттестационный паспорт программы для ЭВМ «CORNER». Рег. № 499 от 14 декабря 2020 г. – М.: НТЦ ЯРБ, 2020. Электронный ресурс: https://docs.secnrs.ru/catalog/databases/Baza_attestatsionnykh_pasportov_programm_dlya_EVM/ (дата доступа 20.10.2022).
5. Алексеев Н.И., Калугин М.А., Кулаков А.С., Олейник Д.С., Шкаровский Д.А. Тестирование программы MCU-FR применительно к расчётам критичности быстрых реакторов. // ВАНТ. Серия: Физика ядерных реакторов. – 2016. – Вып. 5. – С. 22-26.
6. Аттестационный паспорт программы для ЭВМ «Программа, предназначенная для моделирования процессов переноса нейтронов, фотонов и электронов аналоговыми и весовыми методами Монте-Карло на основе оцененных ядерных данных в системах с трехмерной геометрией. Версия 1.0» (MCU-FR с банком данных MDBFR60). Рег. № 501 от 14 декабря 2020 г. – М.: НТЦ ЯРБ, 2020. Электронный ресурс: https://docs.secnrs.ru/catalog/databases/Baza_attestatsionnykh_pasportov_programm_dlya_EVM/ (дата доступа 10.09.2022).
7. Большов Л.А., Мосунова Н.А., Стрижов В.Ф., Шмидт О.В. Расчетные коды нового поколения для новой технологической платформы ядерной энергетика. // Атомная энергия. – 2016. – Вып. 120. – С. 303-312.
8. Адамов Е.О., Алексахин Р.М., Большов Л.А. и др. Проект «Прорыв» – технологический фундамент для крупномасштабной ядерной энергетика. // Известия РАН. Энергетика. – 2015. – № 1. – С. 5-13.
9. Березнев В.П., Чернова И.С. Нестационарная версия нейтронно-физического кода CORNER. // ВАНТ. Серия: Физика ядерных реакторов. – 2018. – Вып. 3. – С. 40-45.
10. Кощеев В.Н., Мантуров Г.Н., Николаев М.Н., Цибуля А.М. Библиотека групповых

констант для расчетов реакторов и защиты. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2014. – №3. – С. 93-101. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2014.3.10>.

11. Кощеев В.Н., Ломаков Г.Б., Мантуров Г.Н., Николаев М.Н., Семенов М.Ю., Цибуля А.М. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016612865 Российская Федерация. CONSYST-RF: № 2016610022: заявл. 11.01.2016; опублик. 11.03.2016; заявитель АО «ГНЦ РФ – ФЭИ им. А.И. Лейпунского». – EDNGSYMUB.

12. Забродская С.В., Игнатюк А.В., Кощеев В.Н., Манохин В.Н., Николаев М.Н., Проняев В.Г. РОСФОНД – российская национальная библиотека нейтронных данных. // ВАНТ. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2007. – Вып. 1-2. – С. 3-21.

Поступила в редакцию 25.10.2022 г.

Авторы

Шурыгин Роман Евгеньевич, инженер

E-mail: shurygin@ibrae.ac.ru

Березнев Валерий Павлович, научный сотрудник, канд. техн. наук

E-mail: bvpr@ibrae.ac.ru

Колташев Дмитрий Александрович, научный сотрудник, канд. техн. наук

E-mail: kda@ibrae.ac.ru

UDC 621.039.526

CROSS-VERIFICATION OF THE NEUTRON-PHYSICAL CODES CORNER AND MCU-FR ON MODELS OF ADVANCED FAST NEUTRON REACTORS

Bereznev V.P., Koltashev D.A., Shurygin R.E.

Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

52 Bolshaya Tulkaya Str., 115191 Moscow, Russia

ABSTRACT

The article considers the cross-verification results for deterministic code CORNER based on the method of discrete ordinates and precision code MCU-FR based on Monte Carlo methods based on lead and sodium-cooled reactor core models. The work relevance is due to the need to conduct cross-verification due to the lack of experiments for designed reactors when certifying a new version of the code. For this, test models of cores (cores) of a lead-cooled fast reactor and a sodium-cooled fast reactor were prepared. Calculations of integral characteristics: control rods efficiency, void reactivity and Doppler effect, reactivity margin and the effective delayed neutron fraction are performed for lead- and sodium-cooled fast neutron reactors core models. Also power distributions calculated by both codes are compared. According to the calculation results the maximum deviation of the control rods efficiency does not exceed 8% for the sodium-cooled reactor core model and 4% for the lead-cooled one. The deviation of the Doppler coefficients does not exceed 3.6% for the lead-cooled model and 6.8% for the sodium-cooled one. The maximum power deviation is 3.1% for the lead-cooled model and 5.9% for the sodium-cooled one. The reactivity margin deviation does not exceed 1.9% for the lead-cooled model and 2.7% for the sodium-cooled one. The maximum deviation of the effective delayed neutron fraction is 1.3% for the lead-cooled model and

0.54% for the sodium-cooled one. Materials for CORNER code certification are prepared based on this work.

Key words: CORNER, MCU-FR, cross-verification, sodium cooled fast reactor, lead-cooled fast reactor, neutron-physical characteristics.

Bereznev V.P., Koltashev D.A., Shurygin R.E. Cross-Verification of the Neutron-Physical Codes CORNER and MCU-FR on Models of Advanced Fast Neutron Reactors. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2023, no. 1, pp. 132-1143; DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.1.11> (in Russian).

REFERENCES

1. Bereznev V. P., Seleznev E. F., Asatryan D. S. The «CORNER» neutronics calculation code. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2015, no. 1, pp. 136-143; DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2015.1.15> (in Russian).
2. Bereznev V. P. *Development of the CORNER Neutron-Physical Code for the Analysis of Stationary and Non-Stationary Processes in Fast Neutron Reactors*. Cand. Sci. (Engineering) Diss. Moscow. Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences Publ., 2017, 96 p. (in Russian).
3. Shurygin R.E., Bereznev V.P., Koltashev D.A. The Results of Cross-Verification of the Neutron-Physical Codes CORNER and MCU-FR Based on the Model of the Core of a Fast Reactor with Lead Coolant. *Proc. of the XXI-st Scientific School of Young Scientists of the Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences*. Moscow. IBRAE RAN Publ., 2022, pp. 119-122 (in Russian).
4. Attestation Certificate of the Computer Program «CORNER». Reg. No 499 from Dec. 14.12.2020. Moscow. Scientific and Engineering Center for Nuclear and Radiation Safety. Available at: https://docs.secnrs.ru/catalog/databases/Baza_attestatsionnykh_pasportov_programm_dlya_EVM/ (accessed Oct. 20, 2022) (in Russian).
5. Alekseev N.I., Kalugin M.A., Kulakov A.S., Oleinik D.S., Shkarovsky D.A. MCU-FR Verification for Fast Nuclear Reactors Criticality Calculations. *VANT. Ser. Fizika Yadernykh Reaktorov*. 2016, iss. 5, pp. 22-26 (in Russian).
6. Attestation Certificate of the Computer Program «A Program Designed to Simulate the Processes of Neutron, Photon and Electron Transport by Analog and Weight Monte Carlo Methods Based on Estimated Nuclear Data in Systems with Three-Dimensional Geometry. Version 1.0» (MCU-FR with Data Bank MDBFR60). Reg. No 501 from 14.12.2020. Moscow. Scientific and Engineering Center for Nuclear and Radiation Safety. Available at: https://docs.secnrs.ru/catalog/databases/Baza_attestatsionnykh_pasportov_programm_dlya_EVM/ (accessed Oct. 20, 2022) (in Russian).
7. Bol'shov L.A., Mosunova N.A., Strizhov V.F., Shmidt O.V. Next Generation Design Codes for a New Technological Platform for Nuclear Power. *Atomic Energy*. 2016, v. 120, pp. 369-379; DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-016-0145-4>.
8. Adamov E. O., Aleksakhin R.M., Bol'shov L.A., Dedul A.V., Orlov V.V., Pershukov V.A., Rachkov V.I., Tolstoukhov D.A., Troyanov V.M. Project «Proryv» – a Technological Foundation for Large-Scale Nuclear Energy. *Izvestiya RAN. Energetika*. 2015, no. 1. pp. 5-13 (in Russian).
9. Bereznev V.P., Chernova I.S. A Non-Stationary Version of the Neutron-Physical CORNER Code. *VANT. Ser. Fizika Yadernykh Reaktorov*. 2018, no. 3, pp. 40-45 (in Russian).
10. Koshcheev V.N., Manturov G.N., Nikolaev M.N., Tsibulya A.M. ABBN-RF Group Constants Library for Nuclear Reactor and Shielding Calculations. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2014, no. 3, pp. 93-101; DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2014.3.10> (in Russian).
11. Koshcheev V.N., Lomakov G.B., Manturov G.N., Nikolaev M.N., Semenov M.Yu., Tsibulya

A.M. Certificate of State Registration of the Computer Program No 2016612865 Russian Federation. CONSYST-RF: No 2016610022: Appl. Jan. 01, 2016: Publ. Mar. 03, 2016. Applicant «State Scientific Centre of the Russian Federation – Leypunsky Institute for Physics and Power Engineering, Joint-Stock Company» – EDNGSYMUB.

12. Zabrodskaya S.V., Ignatyuk A.V., Koshcheev V.N., Manokhin V.N., Nikolaev M.N., Pronyaev V.G. ROSFOND – Russian National Library of Neutron Data. *VANT. Ser. Yaderno-Reaktornye Konstanty*. 2007, iss. 1-2, pp. 3-21 (in Russian).

Authors

Shurygin Roman Evgenyevich, Engineer

E-mail: shurygin@ibrae.ac.ru

Bereznev Valery Pavlovich, Researcher, Cand. Sci. (Engineering)

E-mail: bvp@ibrae.ac.ru

Koltashev Dmitriy Aleksandrovich, Researcher, Cand. Sci. (Engineering)

E-mail: kda@ibrae.ac.ru