

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ С ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТЬЮ

И.М. Прохорец, С.И. Прохорец, Е.В. Рудычев, М.А. Хажмурадов, Д.В. Федорченко,
В.П. Лукьянова

Национальный научный центр "Харьковский физико-технический институт"

Работа выполнена в рамках проекта УНТЦ 3511.

Запорожье
2007

Конец 2006 года: 15 блоков на действующих АЭС

Эксплуатация АЭС → отработанное ядерное топливо (в виде тепловыделяющих сборок) и радиоактивные отходы.

Радиоактивные отходы — от применения радиационных технологий в промышленности и научных исследованиях.

Свежее ядерное топливо — объект ядерной опасности как в транспортном устройстве, так и в процессе хранения.

Цель исследований — определение опасности объектов с делящимися веществами.

Метод исследований — математическое (имитационное) моделирование, описывающее процессы транспорта нейтронов и фотонов при их прохождении через вещество.

Используем программные коды

- MCNP4C
- MCNPX

Ядерную опасность любого объекта можно характеризовать коэффициентом размножения нейтронов K_{eff} .

Коэффициент размножения нейтронов представляет собой отношение нейтронов в последующем поколении к нейтронам в предыдущем.

Гомогенная подкритическая сборка.

Высота H и диаметр D заполнена UO_2 в алюминиевой матрице

Источник нейтронов со спектром Ватта, находится в центре сборки

Замедлитель-отражатель – бериллий

Материал сборки: ^{235}U с обогащением 90 % (HEU) и 20 % (LEU)

Таблица 1 – Параметры подкритической сборки с HEU

Параметры	HEU						UO ₂
Плотность U , г/см ³	1,0	2,0	4,0	5,0	7,0	9,0	
K_{eff}	0,9759	0,9799	0,9756	0,9771	0,9766	0,9763	0,9741
Поток нейтронов, н/см ²	$1,47\text{e}^{-3}$	$1,13\text{e}^{-3}$	$5,76\text{e}^{-4}$	$3,46\text{e}^{-4}$	$6,41\text{e}^{-4}$	$3,97\text{e}^{-4}$	$5,06\text{e}^{-4}$
H/D	1	1	1	1	0,815	0,815	0,778

Таблица 2 – Параметры подкритической сборки с LEU

Параметры	LEU			UO ₂
Плотность U , г/см ³	2,0	3,0	7,0	
K_{eff}	0,9769	0,9753	0,9741	0,9779
Поток нейтронов, н/см ²	$8,78\text{e}^{-4}$	$1,08\text{e}^{-3}$	$3,67\text{e}^{-4}$	$1,07\text{e}^{-3}$
H/D	1,286	1,186	1,56	1

Транспортный контейнер с тепловыделяющими элементами

Рассматриваем объекты, состоящие из тепловыделяющих сборок реактора ВВЭР-1000 в транспортном контейнере, в котором они поставляются на площадку атомной электростанции. Тепловыделяющая сборка представляет собой по форме шестигранник, содержащий 331 стержня шестигранной формы. Сборка имеет длину 457 см. В каждой сборке смонтировано 312 топливных элементов, 18 контрольных стержней и один монтажный. Каждый тепловыделяющий элемент имеет форму цилиндра и оболочку из циркония. В тепловыделяющем стержне содержатся топливные элементы с внутренним и внешним диаметрами 0,15 и 0,755 см соответственно. Активная зона топливного элемента 353 см..

Тепловыделяющая сборка
загружена слабообогащенным по
урану 235 топливом. Она состоит из
тепловыделяющих элементов с
обогащением 3,7% и 4,2%, а также
ураново-гадолиниевых элементов с
обогащением 3,6% по весу.
Гадолинит в этих стержнях
находится в виде Gd_2O_3 . Это
вещество составляет 4% по весу от
топлива в стержне.

На этом рисунке

■ 3.7% U235

■ 4.2% U235

■ U-Gd

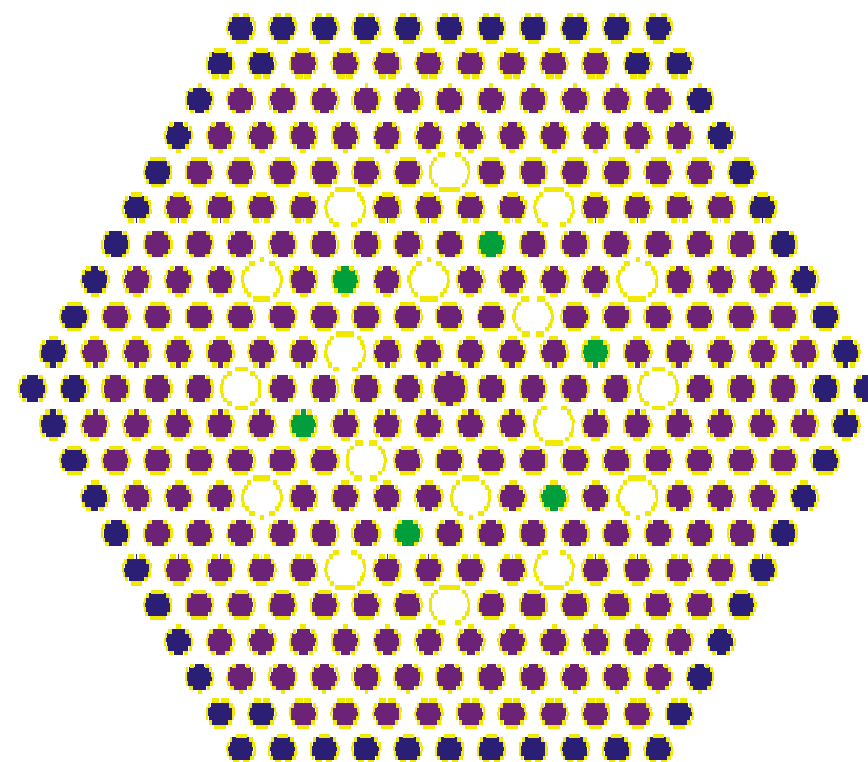


Рис. 1 Поперечное сечение сборки

02/21/07 15:26:29
SpNP1

probid = 02/21/07 15:19:53
basis: XY
{ 1.000000, 0.000000, 0.000000}
{ 0.000000, 1.000000, 0.000000}
origin:
{ 0.00, 0.00, 1.00}
extent = { 130.00, 130.00}

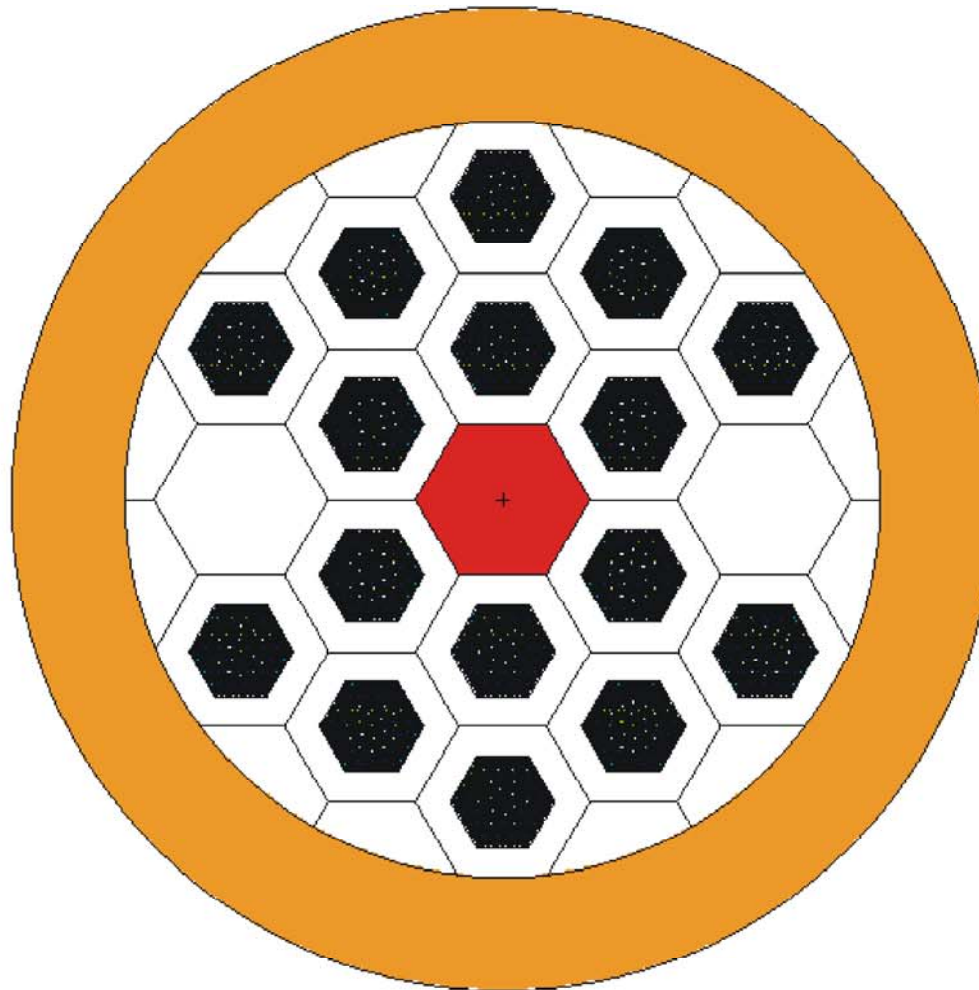


Рис. 2 Расположение сборок в транспортном устройстве

Результаты расчета K_{eff} с использованием MCNPX и сравнение с результатами, полученными в аналогичных исследованиях критичности ТВС реактора ВВЭР-1000 с использованием кода SCALE4.3, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты моделирования ТВС

Описание	K_{eff} (SCALE)	σ (SCALE)	K_{eff} (MCNPX)	σ (MCNPX)
Одна ТВС в транспортном устройстве; вода (1 г/см ³) в транспортном устройстве и ТВС	0,8488	0,0008	0,8722	0,0013
Одна ТВС в транспортном устройстве; вода с пониженной плотностью (0,2 г/см ³) в транспортном устройстве и в ТВС	0,3872	0,0006	0,40175	0,0011
16 ТВС в транспортном устройстве; без воды	0,2805	0,0002	0,2798	0,00036
Одна ТВС в транспортном устройстве; вода (1 г/см ³) в транспортном устройстве и в ТВС	0,8704	0,0007	0,90566	0,00098
16 ТВС в транспортном устройстве; вода с пониженной плотностью (0,2 г/см ³) в транспортном устройстве и в ТВС	0,9342	0,0007	0,9734	0,00109
16 ТВС в транспортном устройстве; вода с пониженной плотностью (0,1 г/см ³) в транспортном устройстве и в ТВС	0,8903	0,0007	0,8873	0,00127

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- Расчеты с использованием кодов SCALE и MCNPX коэффициента размножения нейтронов в тепловыделяющих сборках реактора типа ВВЭР-1000, дают почти одинаковые результаты для рассмотренных случаев;
- коэффициент размножения нейтронов для рассмотренных случаев от 1 до 16 тепловыделяющих сборок реактора ВВЭР-1000 не превышает единицы, что говорит о ядерной безопасности сборок в транспортном устройстве;
- отличие в абсолютной величине K_{eff} полученное с использованием программ на основе кодов SCALE и MCNPX, в некоторой степени может быть обусловлено неполными сведениями об объекте моделирования.