



ФЭИ
РОСАТОМ



Расчёты накопления актинидов в топливе перспективного теплового реактора типа ВВЭР с библиотекой РОСФОНД 2020.2

НЕЙТРОНИКА-24, 28-31 мая 2024 г., г. Обнинск

Авторы: **Егоров Г.О.**, Мантуров Г.Н., Левченко Ю.В., Матвеев Ю.В.

АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»

Содержание

- **Введение**
- **Используемые программы и библиотеки ядерных данных**
- **Алгоритмы расчёта выгорания в используемых программах**
- **Расчётная модель твэл реактора типа ВВЭР**
- **Результаты расчётов выгорания по MCNP с использованием модулей ORIGEN2 и CINDER90**
- **Результаты расчётов в 69 и 172 энергетических группах с библиотекой ядерных данных ENDF/B-VII.1**
- **Расчёты с библиотекой ядерных данных РОСФОНД-2020.2**
- **Заключение**



1. Введение

Актуальность: В связи с развитием библиотеки ядерных данных РОСФОНД возникла работа по актуализации и модернизации библиотек групповых констант для расчётов ячеек ВВЭР. В ходе этой работы были проанализированы результаты расчёта ряда бенчмарк-экспериментов, которые показали согласованность расчётных и экспериментальных данных. Была поставлена задача анализа неопределённостей в расчётах изотопной кинетики, вызванных как константной составляющей погрешности, так и методологической.

Цель данной работы: исследование неопределённостей при расчетах выгорания топлива и накопления минорных актиноидов (МА) с использованием различных программных комплексов (WIMS, MCNP, ORIGEN, CINDER) и различных библиотек ядерных констант применительно к расчетам выгорания ТВЭЛА – модели тепловыделяющего элемента одного из перспективных реакторов типа ВВЭР.

2. Используемые программы и библиотеки ядерных данных



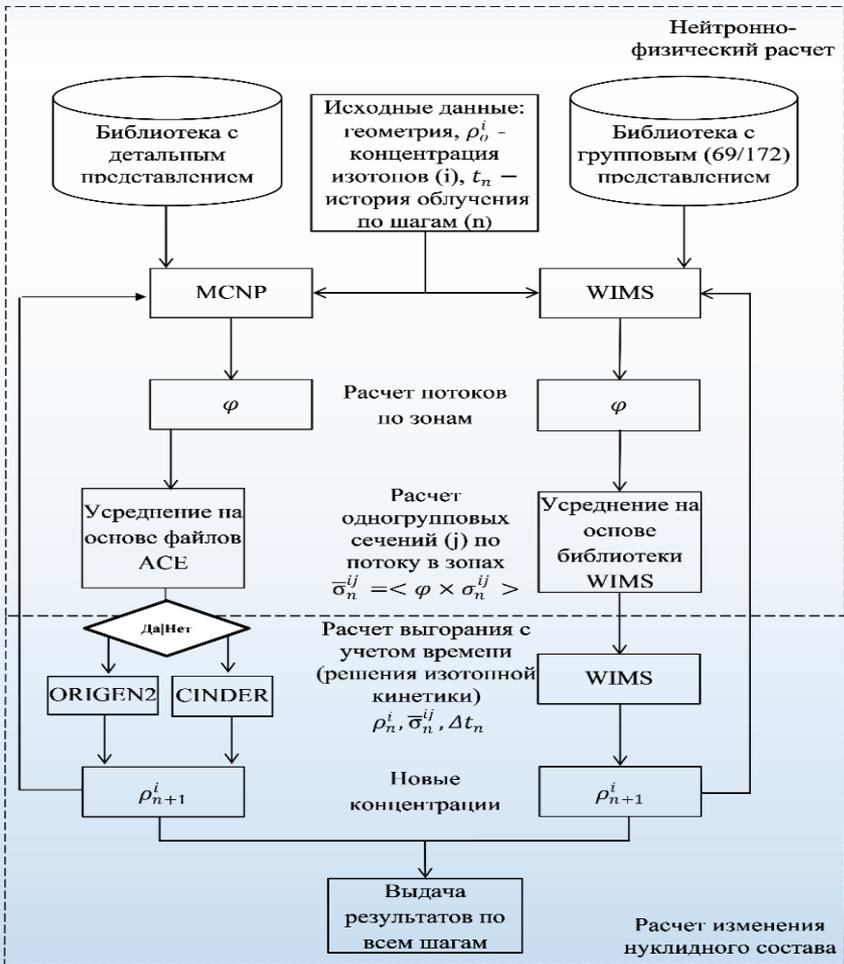
В работе использовались детерминистическая программа WIMS в которой нейтронно-физические расчёты осуществляются решением уравнения переноса нейтронов методом дискретных ординат, или методом вероятности первых столкновений и прецизионная программа MCNP, в которой нейтронно-физический расчёт основан на Методе Монте-Карло, а расчёты выгорания ведутся в специализированных модулях изотопной кинетики:

- модуль CINDER90**
- модуль ORIGEN2**

В расчётах использовались библиотеки ядерных данных ENDFB-VII.1 и современная отечественная библиотека ядерных данных РОСФОНД-2020.2

Аналогичные работы проводились : <https://elibrary.ru/contents.asp?id=54109371> – в НИЯУ МИФИ
<https://vant.ippe.ru/images/pdf/2023/issue2023-1-41-52.pdf> – в НИЦ «КИ»

3. Алгоритмы расчёта выгорания в программах WIMS и MCNP



Цепочки выгорания в WIMS



4. Описание расчётной модели твэл реактора типа ВВЭР с МОКС топливом

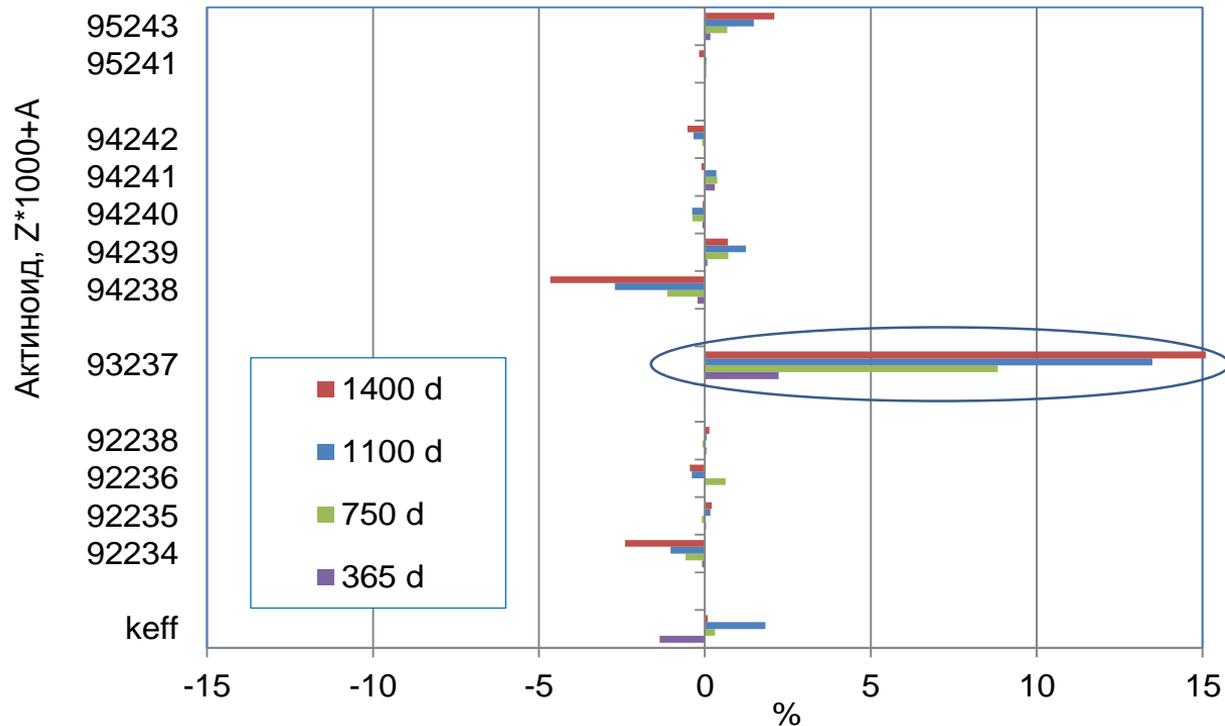


Наименование характеристики	Значение
Расположение твэл	треугольная решетка
Материал оболочки	сплав Zr + 1 % Nb
Внешний диаметр оболочки (мм)	9,1
Внутренний диаметр оболочки (мм)	7,82
Толщина оболочки (мм)	0,65
Высота топливного столба топлива (мм)	4200
Вес топлива в твэле (кг)	1,7
Наружный диаметр топливной таблетки (мм)	7,6
Диаметр центрального отверстия в таблетке (мм)	1,2
Внешний диаметр ячейки (мм)	14,19
Воднотопливное отношение	1,87
Плутониевый вектор топлива (%): ^{238}Pu : ^{239}Pu : ^{240}Pu : ^{241}Pu	2/57/23/13/5

Выгорание в течении 1400 дней включало 93 временных шага на мощности 22,49 МВт/т т.а.

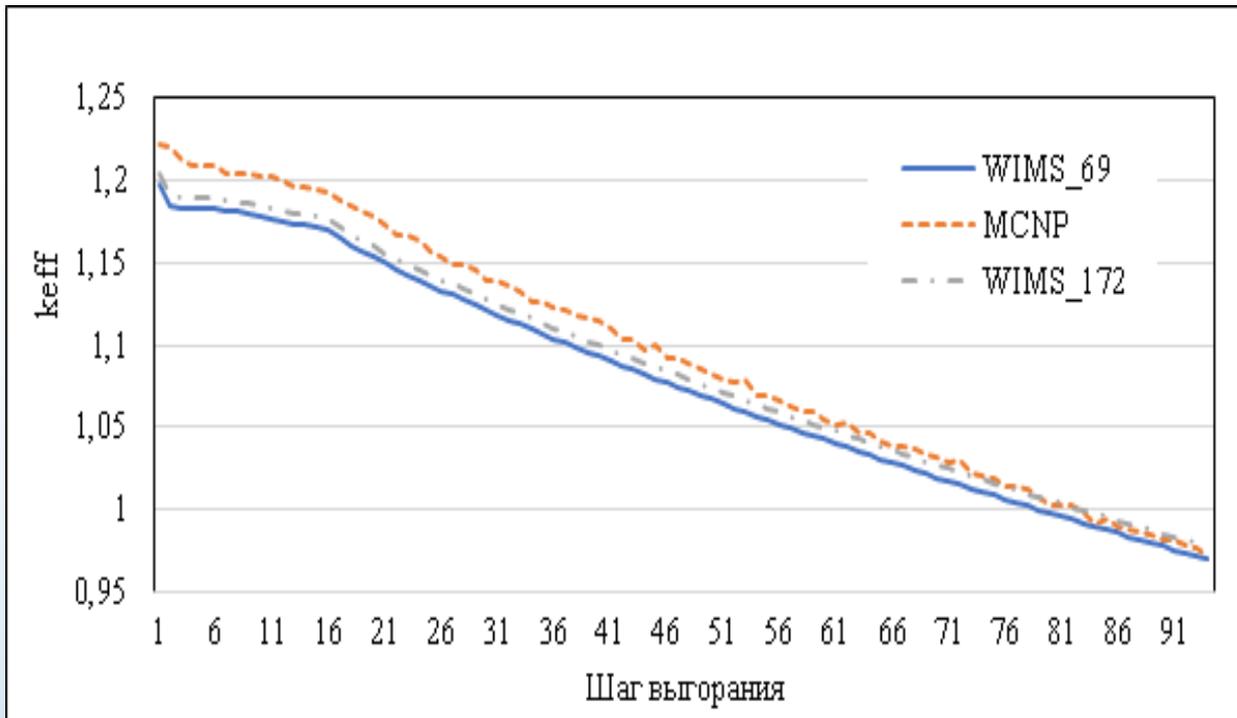
5. Сравнение расчётов выгорания с модулями ORIGEN2 и CINDER90 с библиотекой ENDF/B-VII.1

Отличие MCNP+ORIGEN2 от MCNP+CINDER90 (T=300K)



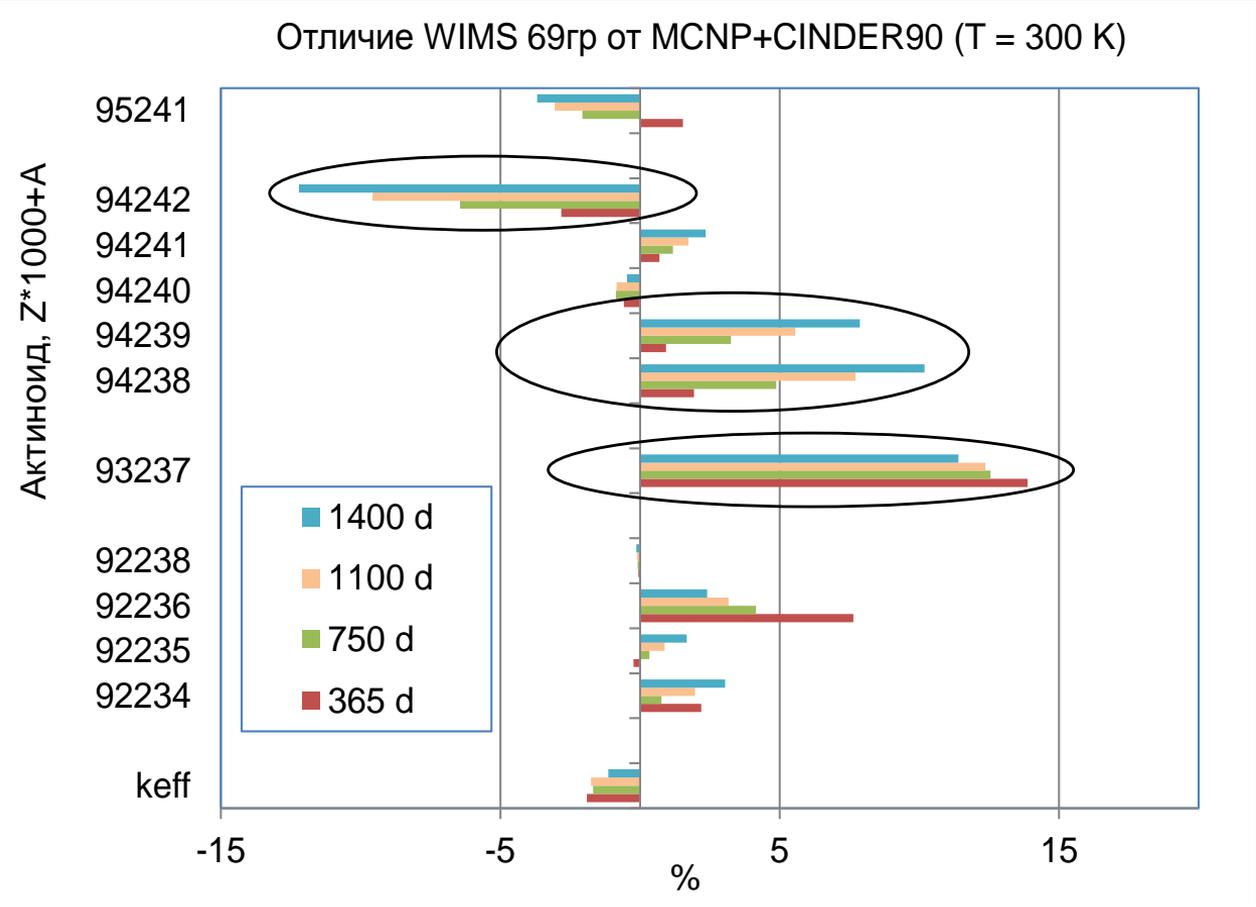
Как видно, эти две расчетные цепочки согласованы и различия в концентрациях основных топливных нуклидов по программе MCNP5 с модулями ORIGEN2 или CINDER90 не превышают 5 % (за исключением ^{237}Np).

6. Результаты расчётов в 69 и 172 энергетических группах с библиотекой ядерных данных ENDF/B-VII.1



Расхождения WIMS с MCNP составляют 2,1 % на начальном шаге (отличие обусловлено содержанием ^{135}Xe), а на последнем шаге – 0,7 % для программы WIMS с библиотекой в 69 группах и 0,15 % для 172 групповой библиотеки.

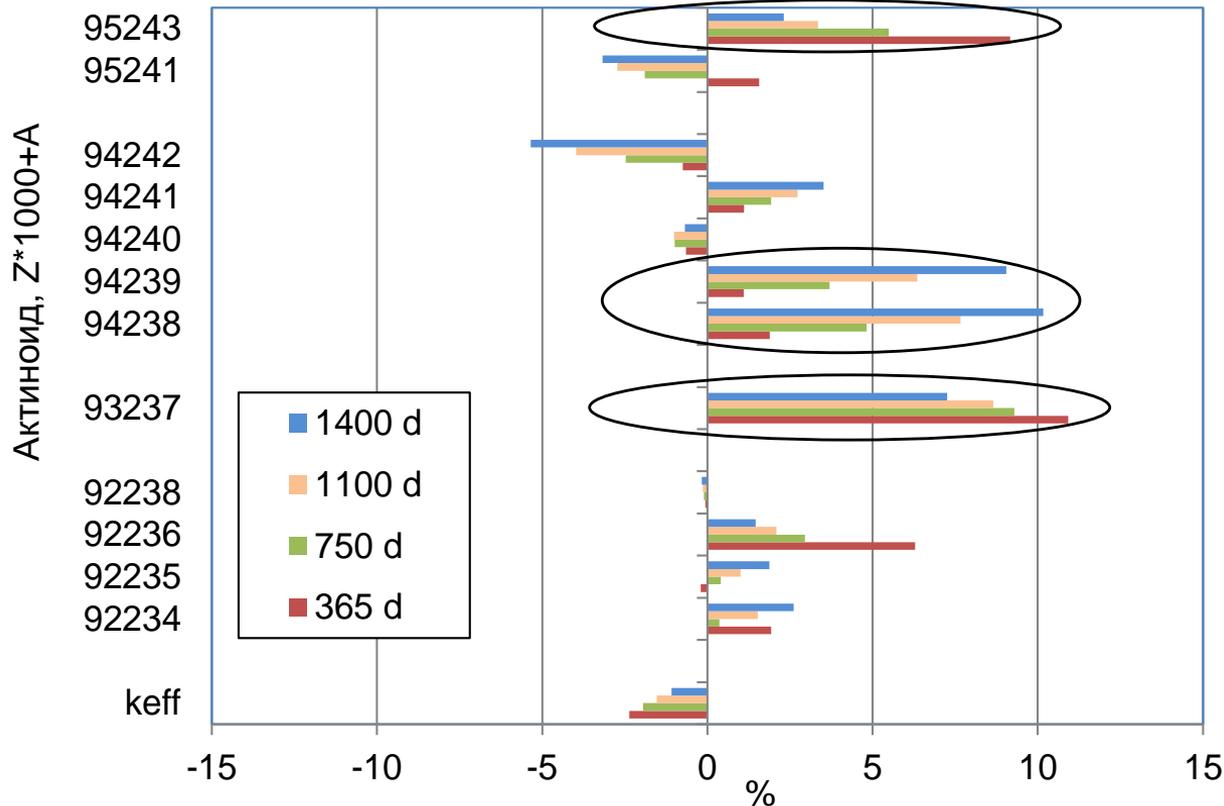
6.1 Сравнения расчётов выгорания с библиотекой ENDF/B-VII.1 в 69 группах



Видно, что наибольшие расхождения между в 69-групповой библиотекой WIMS и MCNP наблюдаются по изотопам ^{237}Np , ^{238}Pu , ^{239}Pu и ^{242}Pu – до 10% при 1400 дней облучения.

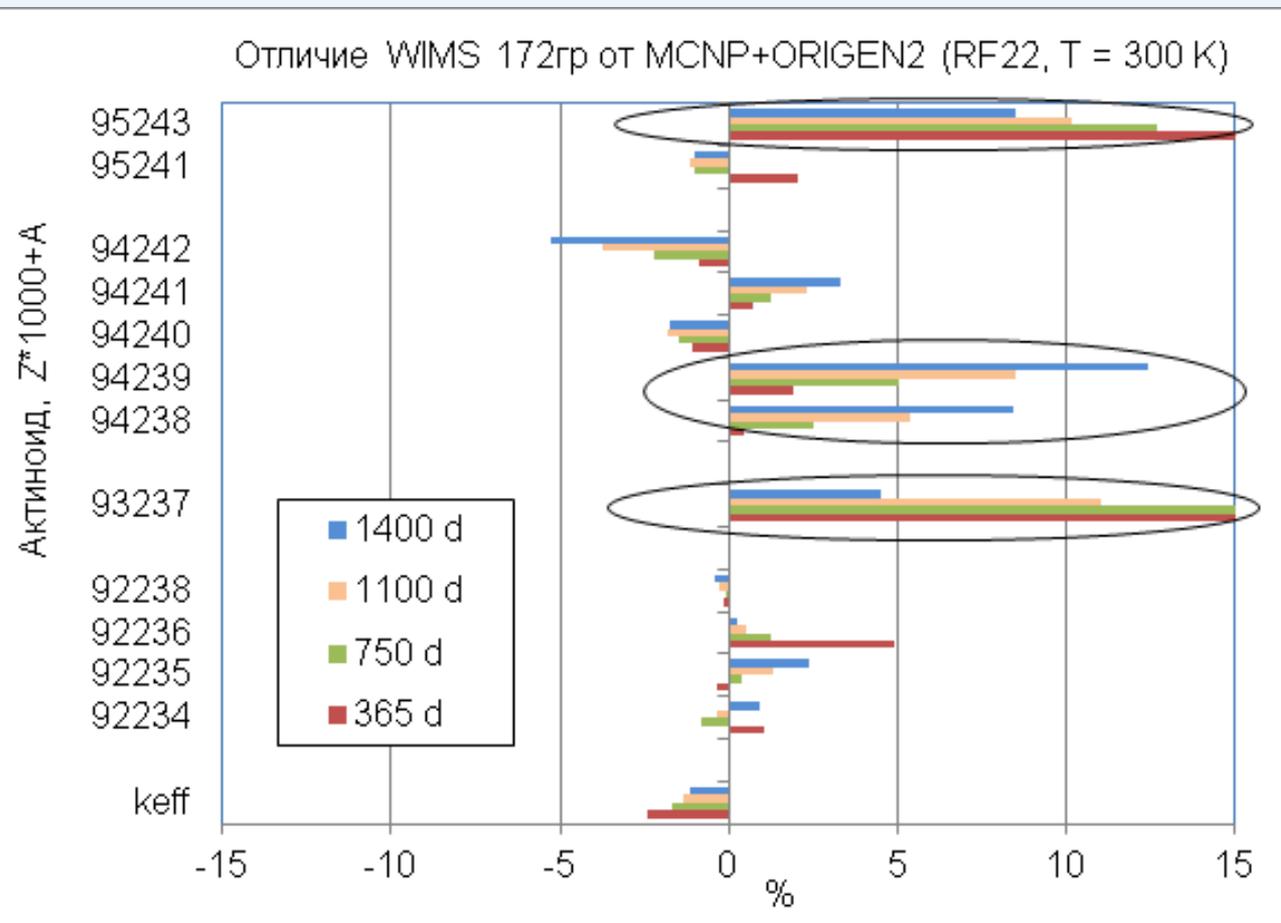
6.2 Расчёты с библиотекой ENDF/B-VII.1 в 172 группах

Отличие WIMS 172гр от MCNP+CINDER90 (T = 300 K)



В случае библиотеки WIMS в 172-х группах расхождения для ^{242}Pu составляют около 5 %, а для ^{243}Am – не более 10%, хотя для изотопов ^{237}Np , ^{238}Pu и ^{239}Pu различия остаются на том же уровне.

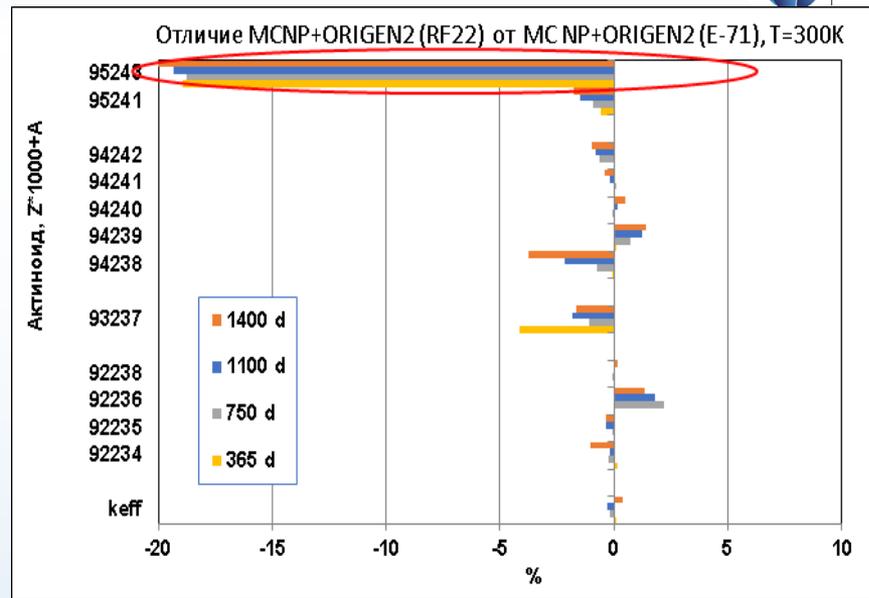
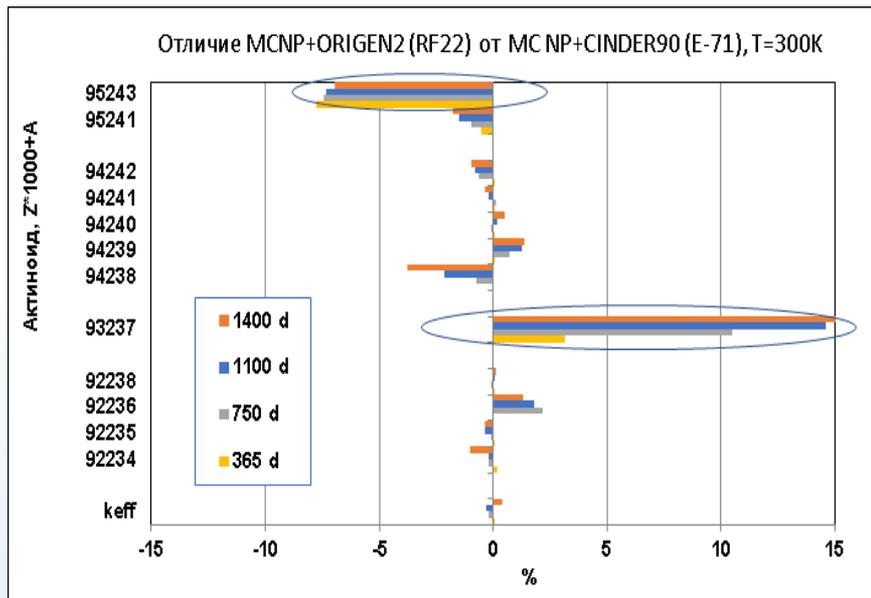
6.3 Сравнение расчётов по WIMS и MCNP с данными РОСФОНД-2020.2



Как и в случае с ENDF/B-VII.1, наибольшие расхождения наблюдаются по изотопам ^{237}Np , ^{238}Pu , ^{239}Pu и ^{243}Am .

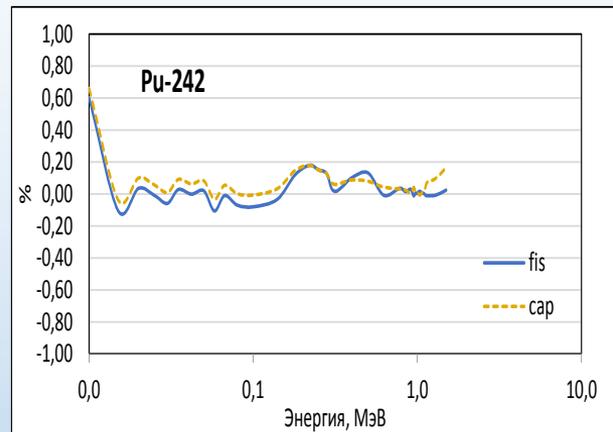
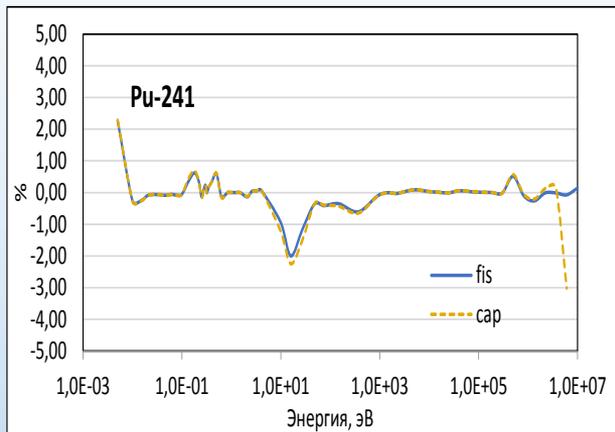
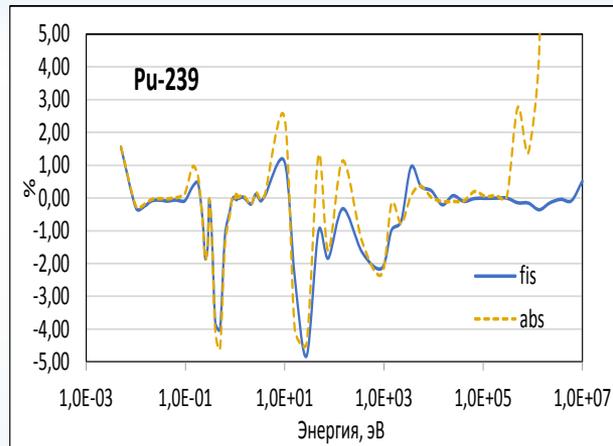
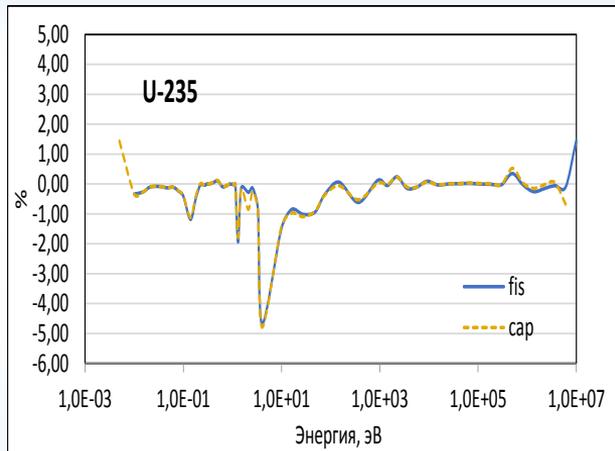
Для ^{243}Am расчет по программе WIMS с константами ENDF/B-VII.1 в 172 группа находится примерно на 5-8% выше значения, полученного по MCNP

6.4 Сравнение расчётов по MCNP с РОСФОНД-2020.2 и с ENDF/B-VII.1



Различия в концентрациях урановых и плутониевых изотопов не превышают нескольких процентов. Для ^{243}Am расчёт с библиотекой РОСФОНД-2020.2 дает примерно на 8% меньшее значение, чем полученное по MCNP с ENDF/B-VII.1. По-видимому, требуется пересмотр сечений для ^{242}Am в библиотеке РОСФОНД.

Сравнение заблокированных сечений в программах WIMS и MCNP



На графиках даны отличия групповых сечений поглощения и деления, используемых в программах WIMS и MCNP. Видно, что наибольшие отличия в значениях сечений наблюдаются в резонансной области энергий нейтронов, ниже 10^4 эВ, где расхождения в сечениях составляют до 5 %.

Сравнение одногрупповых (усредненных по спектру) сечений для ^{235}U , ^{239}Pu и ^{242}Pu в программах WIMS и MCNP



Вариант	ENDF/B-VII.1	РОСФОНД-2020.2	WIMS 69 гр.
Сечение поглощения ^{235}U			
MOX_hot	5,16	5,27 (+2,0%)	5,18 (+0,4%)
MOX_cold	5,54	5,63 (+1,7%)	5,53 (-0,1%)
Сечение деления ^{235}U			
MOX_hot	16,6	16,9 (+1,7%)	16,5 (-1,1%)
MOX_cold	18,6	18,9 (+1,4%)	18,4 (-1,0%)
Сечение поглощения ^{239}Pu			
MOX_hot	18,0	18,0 (-0,1%)	17,8 (-1,2%)
MOX_cold	16,9	16,9 (-0,1%)	16,7 (-1,3%)
Сечение деления ^{239}Pu			
MOX_hot	32,6	32,6 (+0%)	32,3 (-0,7%)
MOX_cold	32,4	32,4 (+0,1%)	32,1 (-0,7%)
Сечение поглощения ^{242}Pu			
MOX_hot	16,9	16,9 (+0%)	22,9 (+35%)
MOX_cold	15,6	15,6 (+0%)	22,5 (+44%)

Для одногрупповых сечений деления и захвата ^{235}U и ^{239}Pu отличия данных WIMS от MCNP составляют на уровне 1 % или менее. В то же время для сечения поглощения ^{242}Pu отличие WIMS от MCNP составляет при температуре 900°K более 35 %. Это требует дальнейшего изучения.

- в скобках даны отличия результатов расчётов с РОСФОНД-2020.2 от ENDF/B-VII.1.

Заключение

- ✓ Расчеты по программе MCNP с модулями изотопной кинетики ORIGEN2 и CINDER90 показали свою согласованность.
- ✓ Расчеты с использованием ядерных данных ENDF/B-VII.1 и с новой библиотекой РОСФОНД-2020.2 показали непротиворечивые результаты. Однако требуется более тщательный анализ сечений для ^{242}Am в библиотеке РОСФОНД.
- ✓ Показано, что для WIMS более надежными являются расчеты в 172 группах.
- ✓ В дальнейшем данные исследования по выгоранию и накоплению актиноидов с использованием различных программ и ядерных констант будут продолжены.



Спасибо за внимание!

АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», ОЯЭ, Лаборатория 12
Инженер-исследователь Егоров Г.О.

Тел.: +7 (484) 399 4367
Моб. тел.: +79621776644
E-mail: goegorov@ippe.ru
www.ippe.ru

Дата: 29.05.2024