



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

*Научно-практическая конференция
«Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики
(НЕЙТРОНИКА–2024)»*

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА КАДМИЕВОГО ОТНОШЕНИЯ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

**Лапин А.С., Бландинский В.Ю., Колесов В.В., Внуков Р.А., Кузенкова Д.С.,
Невиница В.А., Родионова Е.В., Фомиченко П.А., Цибульский С.В.**

*28-31 мая 2024 г.
г. Обнинск*



Кадмиевое отношение

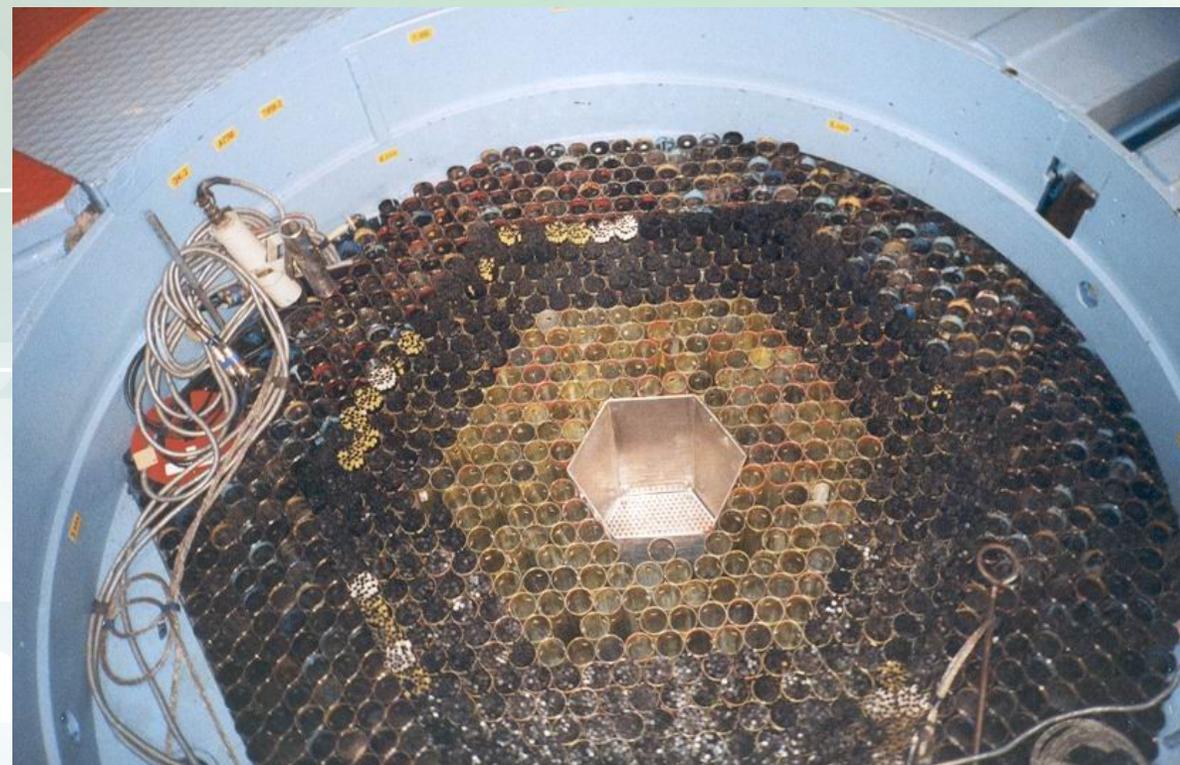
- Отношение интенсивности потока нейтронов, измеренного с помощью какого-либо монитора, например, эталона золота, к той же измеренной величине, но при условии, что монитор был экранирован слоем кадмия толщиной от 0,5 до 1,0 мм.
- Монитор без кадмиевого экрана регистрирует как резонансные, так и тепловые нейтроны. Однако, когда монитор окружен слоем кадмия, он способен измерять только резонансные нейтроны. Это происходит потому, что кадмий эффективно поглощает практически все тепловые нейтроны с энергией ниже 0,5 эВ, не пропуская их к монитору.
- Путем измерения активации монитора при облучении с кадмиевым экраном и без него можно разделить вклады резонансных и тепловых нейтронов в общую активацию.

Эксперименты на критическом стенде БФС-1



Сборка БФС-93*

- Особенность – размещение легководной твэльной вставки в центре сборки.
- Был изготовлен специальный алюминиевый бак, заполняемый водой или раствором борной кислоты, с традиционным шагом решетки ВВЭР – 12.7 мм, в котором размещались либо стандартные урановые, или урановые и МОХ твэлы диаметром 9.15 мм.
- Бак размещался в центре стенда и окружался специально подобранным драйвером из труб с блочками БФС из обогащенного и обедненного диоксида урана и полиэтилена в традиционной геометрии стенда

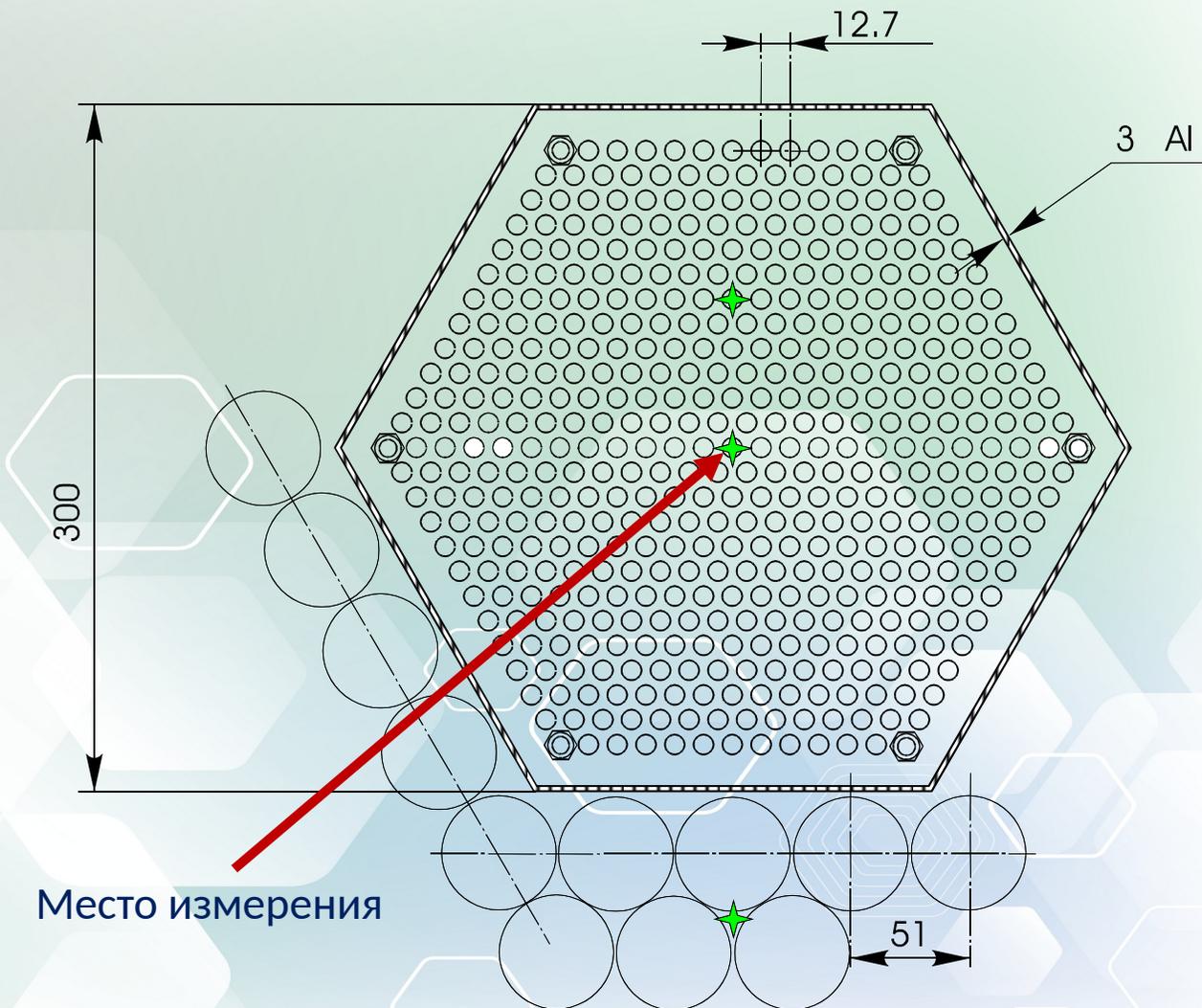


*Кочетков А.Л., Матвеев И.П., Рожихин Е.В., Цибуля А.М. Эксперименты в поддержку размещения МОКС-топлива в реакторы ВВЭР. Известия ВУЗов. Ядерная энергетика, 2007, №3, вып.1, с. 99-108.

Экспериментальные измерения кадмиевого отношения Сборка БФС-93-2



- Использовалась активационная методика.
- Для определения блокировки сечения захвата золота-197 в активной зоне использовались индикаторы разной толщины с последующей экстраполяцией значений активности золотых индикаторов на нулевую толщину.
- При измерениях с кадмием индикаторы дополнительно очехловывались кадмием толщиной 0,5 мм.





Сборка БФС-93-2

Основная сложность расчета кадмиевого отношения методом Монте-Карло – набор достаточной статистики в малом объеме для приемлемых погрешностей расчета.

Объем золотой фольги ~ .

Объем расчетной модели стенда ~ .

Рассмотренные методики расчета кадмиевого отношения методом Монте-Карло

Прямой расчет

Время расчета – 24 ч.

Набор статистики в объеме экспериментального устройства для расчета усреднённой по объему фольги скорости реакции захвата на золоте-197 при моделировании всего объема стенда.

Использование сетки ценностей

Время расчета – 70 ч.

Наложение сетки из ценностей, которая определяет более важные объемы для расчета функционала.

Метод расчета по частям *

Время расчета – 2 ч.

Двухэтапный расчет.

1 этап – расчет тока нейтронов на поверхности сферы.

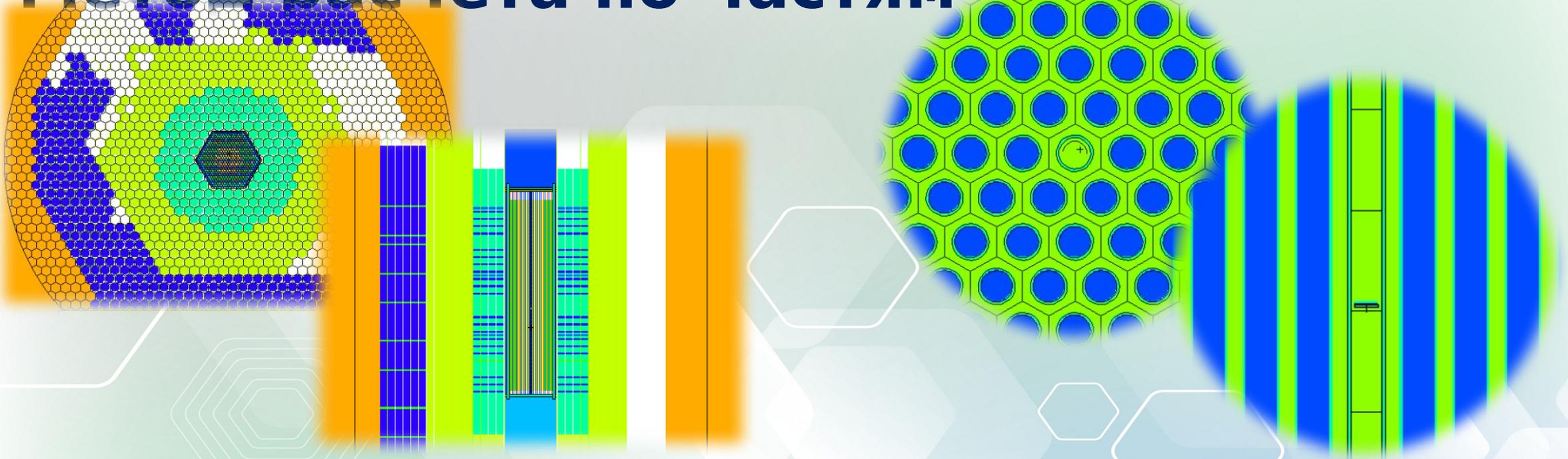
2 этап – задача с внешним источником.

* Методы сопряжения в задачах переноса излучения / В. В. Коробейников, В. И. Усанов. - Москва: Энергоатомиздат, 1994. - 240,[1] с. : ил.; 21 см. - (Физика и техника ядерных реакторов; Вып. 39).; ISBN 5-283-03578-6.

Методики расчета кадмиевого отношения



Метод расчета по частям



На **первом этапе** рассматриваемая область (золотая фольга и кадмиевые обкладки) окружалась сферой радиусом 5 см. Объем такой сферы достаточен для получения в золотой фольге установившегося спектра нейтронов. Проводилось полномасштабное моделирование всей сборки и рассчитывался ток нейтронов, направленный внутрь сферы с энергетическим распределением по группам (200 групп).

На **втором этапе** решалась задача с внешним источником. На поверхности сферы задавался рассчитанный ранее внешний источник нейтронов, направленный внутрь рассматриваемой сферы.

Результаты



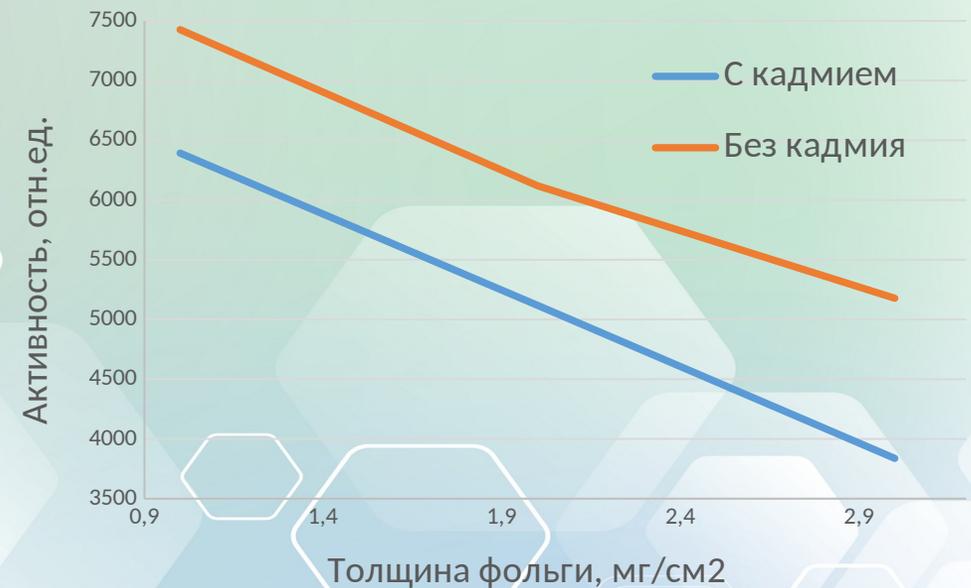
Толщина золотой фольги 0.0006382 см			
	Значение	Погрешность	Время расчета, ч
Эксперимент	1,36	0,06	-
Метод прямого расчета	1,37	0,07	27
Метод расчета по частям	1,36	0,02	2*
Толщина золотой фольги 0.00021946 см			
	Значение	Погрешность	Время расчета, ч
Эксперимент	1,20	0,02	-
Метод прямого расчета	1,29	0,07	27
Метод расчета по частям	1,24	0,02	2*
Толщина золотой фольги 0.000015 см			
	Значение	Погрешность	Время расчета, ч
Эксперимент	1,17	0,05	-
Метод прямого расчета	1,20	0,05	30
Метод расчета по частям	1,19	0,02	2*

* - Для метода расчета по частям время расчета преимущественно определяется временем расчета спектра нейтронов

Результаты



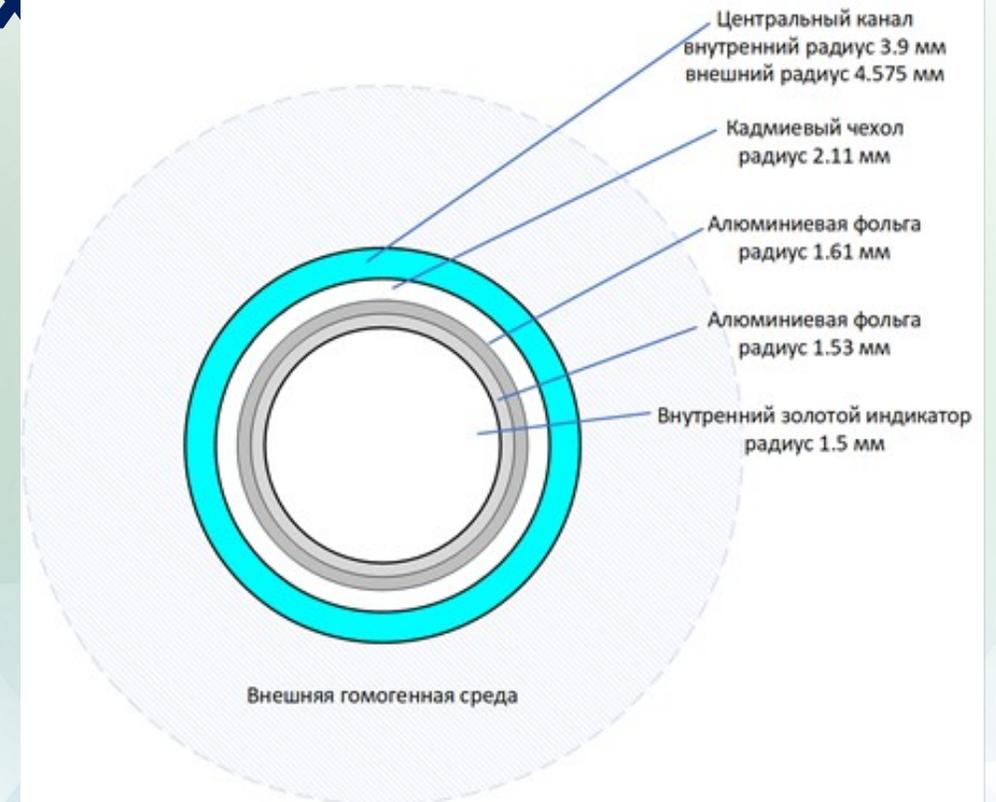
- Сравнивая результаты расчетов различными методами с экспериментом видно, что для средней толщины золотой фольги результаты эксперимента хуже согласуются с расчётами.
- Зависимость для очехлованной кадмием фольги не имеет перегибов, в то время как зависимость без кадмиевого чехла имеет изгиб. В одинаковом спектре нейтронов при очехловывании кадмием меняется только абсолютное значение активности, а не форма кривой. Можно предположить, что для второй толщины золотой фольги значение активности золотой фольги при наличии кадмиевого чехла занижено.
- Предполагая, что кривая должна быть прямой получим, что активность должна составлять 6340 отн.ед. Тогда кадмиевое отношение будет составлять 1.24, что согласуется с расчетом.



Применение метода расчета по частям для детерминистических кодов



Метод расчета по частям может быть эффективно реализован при помощи детерминистических программ. В той же серии экспериментов на сборке БФС-93, в конфигурации БФС-93-1 измерялись отношения скоростей реакций деления ^{235}U к скорости захвата ^{197}Au , при этом использовался золотой детектор как окруженный кадмием, так и без него. Основное отличие от расчета по программе MCNP состояло в том, что вместо расчета с внешним источником на втором этапе использовалось эффективное окружение, подобранное по результатам расчетов на первом этапе.



	Способ измерения	Эксперимент	Погрешность	UNK	Отклонение
$\frac{\sigma_c^{197}}{\sigma_f^{235}}$	Очехловка кадмием	0,576	$\pm 0,021$	0,545	5,4%
	Без очехловки кадмием	0,719	$\pm 0,027$	0,604	15,9%

Заключение



- Рассмотрено три различных метода для расчета функционалов в малом, относительно всей модели объеме методом Монте-Карло: метод прямого расчета, метод использования сетки ценности и метод расчета по частям. Метод использования сетки ценности на данном этапе не удалось эффективно применить для расчета кадмиевого отношения, поскольку в ходе тестовых расчетов было установлено, что время счета существенно возрастает по сравнению с прямым методом для достижения аналогичных отклонений.
- Кроме прямого расчета, использован также метод расчета по частям, который заключается в поэтапном расчете сначала тока нейтронов на поверхности сферы с учетом их энергетического распределения по группам, а затем в ограниченном сферой объеме решается задача с внешним источником и определяется необходимый функционал – кадмиевое отношение.
- Показано, что метод расчета по частям, с учетом особенностей используемых программ, может быть эффективно использован и при помощи детерминистических программ.
- Полученные результаты с использованием различных методов хорошо согласуются друг с другом, а также с экспериментальными данными, которые были получены на сборке БФС-93.



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ
ИНСТИТУТ»

Спасибо за внимание!

Лапин Антон Сергеевич

Электронная почта: Lapin_AS@nrcki.ru

Телефон: +7 (499) 196-73-77

+7 (915) 129-54-14