



НИКИЭТ
РОСАТОМ

Расчет радиационных характеристик с использованием программного комплекса MCSU-BR применительно к реактору БРЕСТ-ОД-300

«Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики», г. Обнинск

Докладчик

Шульга Андрей Михайлович

Техник

Авторы: А.М. Шульга, В.А. Юферова

Цели и задачи

Основной целью настоящей работы стало исследование возможности применения различных методов неаналогового моделирования программного кода (ПК) MCU-BR для расчёта радиационных характеристик.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Выбраны бенчмарк эксперименты и составлены расчётные тесты для моделирования с помощью ПК MCU-BR процессов ослабления нейтронов, а также образования и ослабления вторичных фотонов материалами, входящими в состав защитной композиции РУ БРЕСТ-ОД-300.
2. Рассмотрены методы понижения дисперсии реализованные в программе MCU-BR, а также выбран способ оценки эффективности данных методов.
3. Произведена оценка различных методов неаналогового моделирования, и выбраны наиболее оптимальные для каждой расчётной задачи.



Матрица верификации

Тип проверки результатов расчетов	Название эксперимента/расчетного теста		Методы понижения дисперсии
Сравнение с экспериментальными данными	Установка на реакторе ИР-50 (НИКИЭТ)	Эксперимент на ИР-50 с малоуглеродистой сталью	Расщепление/рулетка, весовое окно
		Эксперимент на ИР-50с нержавеющей сталью	
	Установка с источником ^{252}Cf (ФЭИ)	Эксперимент ФЭИ со свинцовой сферой	Усечение по энергии
	Установка ASPIS (Винфриш, Англия)	Эксперимент с нержавеющей сталью(JANUS Phase 1)	Расщепление/рулетка, весовое окно
Сравнение с результатами расчетов по программам КАТРИН, КАСКАД и MCNP4B	Расчетный тест (3D модель БРЕСТ с ВРХ)		Расщепление/рулетка, весовое окно

Оценка эффективности выбранных методов расчётов

Рассматриваются методы понижения дисперсии, реализованные в программе MCSU-BR, а именно: расщепления/русской рулетки, весового окна, усечения по энергии. Для сравнения использованных методов используется FOM (Figure of Merit) - величина, выступающая в роли функции от числа смоделированных историй:

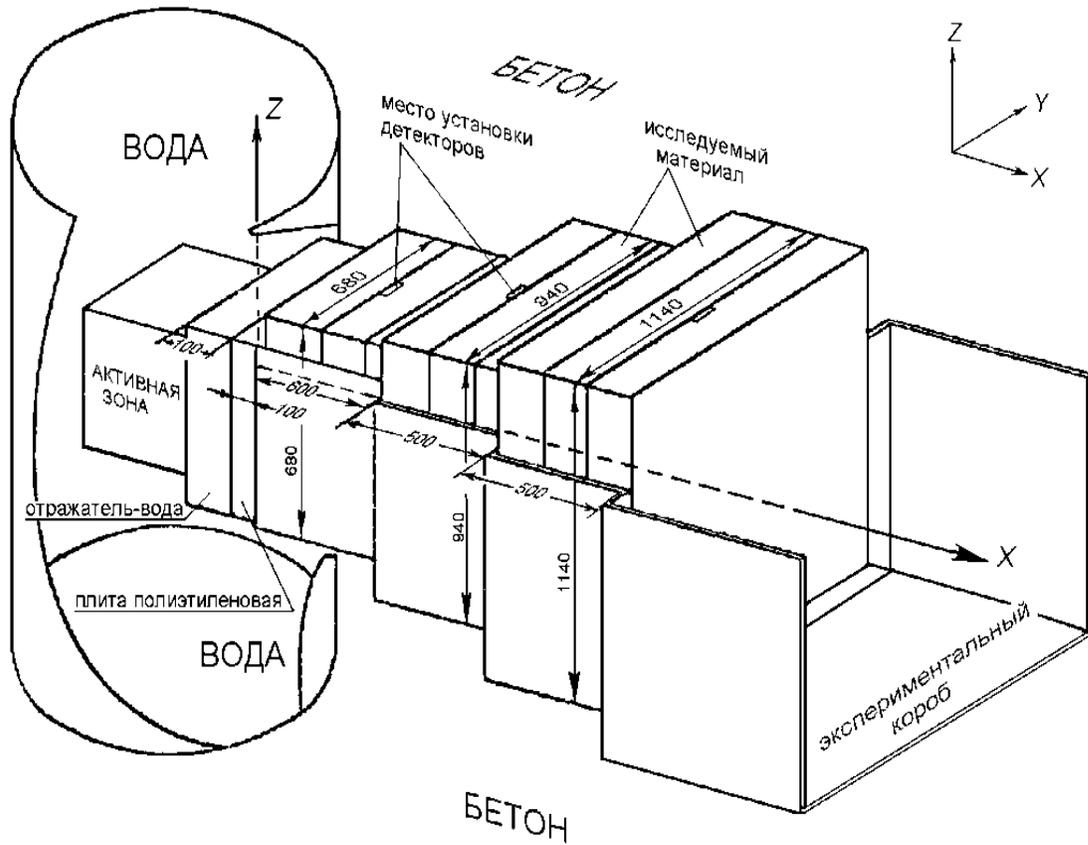
$$FOM = \frac{1}{R^2 T}, (1)$$

где R – статистическая погрешность расчёта, T – время расчета в минутах, необходимое для моделирования заданного количества моделируемых историй.

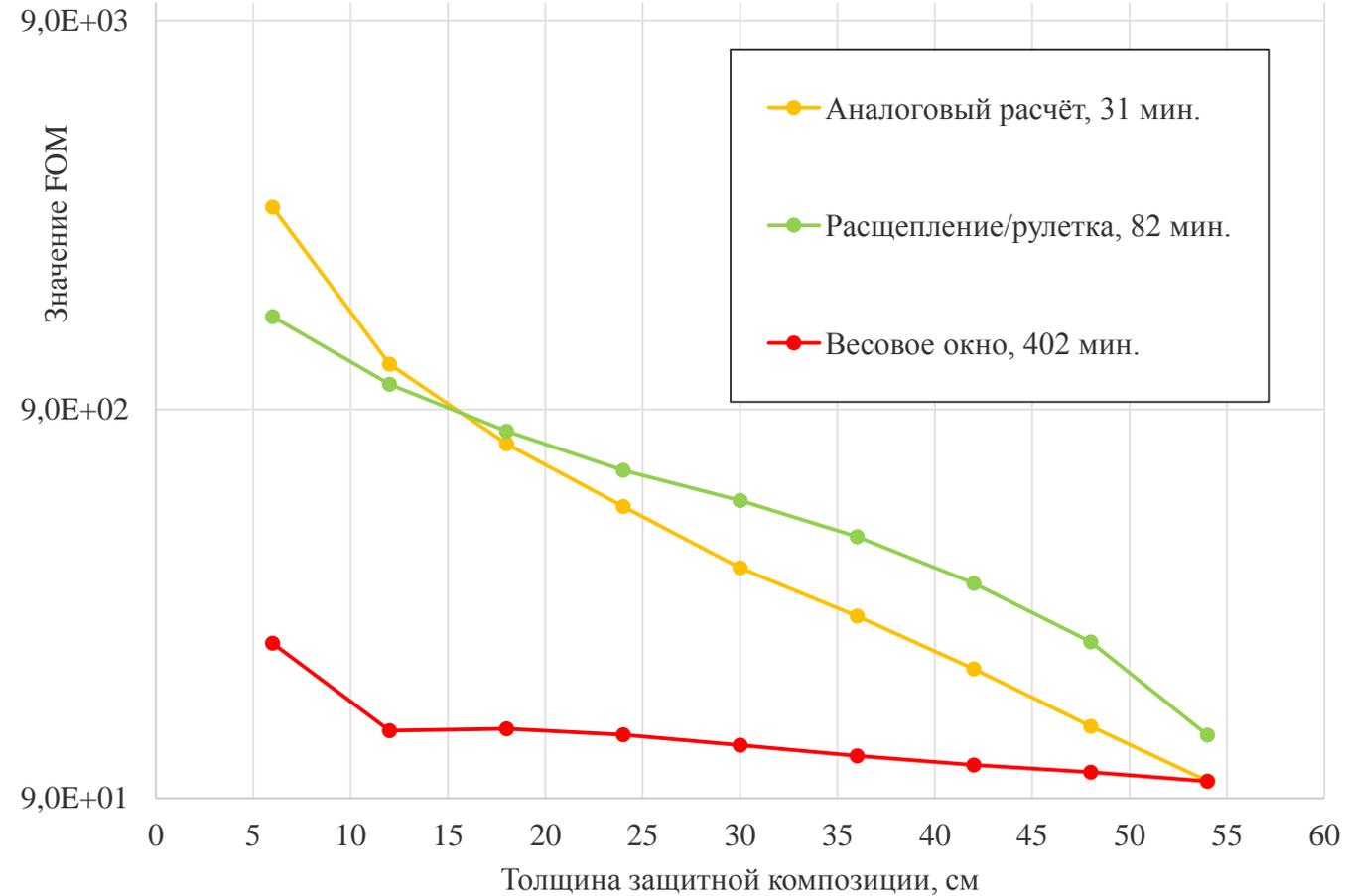
Эксперимент на ИР-50 с малоуглеродистой сталью



НИКИЭТ
РОСАТОМ



а



б

Рисунок 1. Результаты предварительных расчётов интегрального потока нейтронов:

а – схематическое представление установки; б - FOM различных методов.

Эксперимент с нержавеющей сталью (JANUS Phase 1)

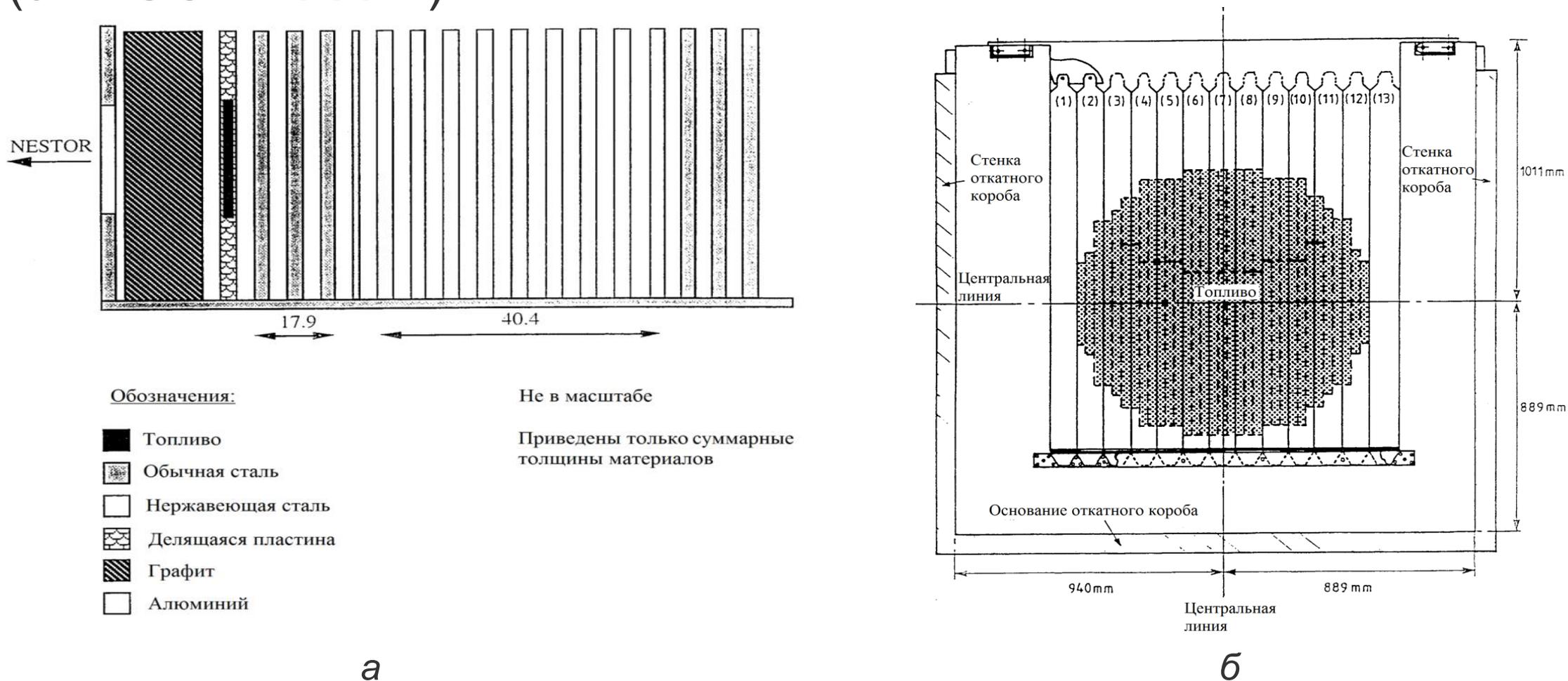


Рисунок 2. Схематическое представление установки JANUS на реакторе ASPIS:
а - схема размещения пластин в коробе; б - делящиеся пластины.

Сравнение результатов расчётов скорости реакции активации $^{197}\text{Au}(n,\gamma)$ различными методами



НИКИЭТ
РОСАТОМ

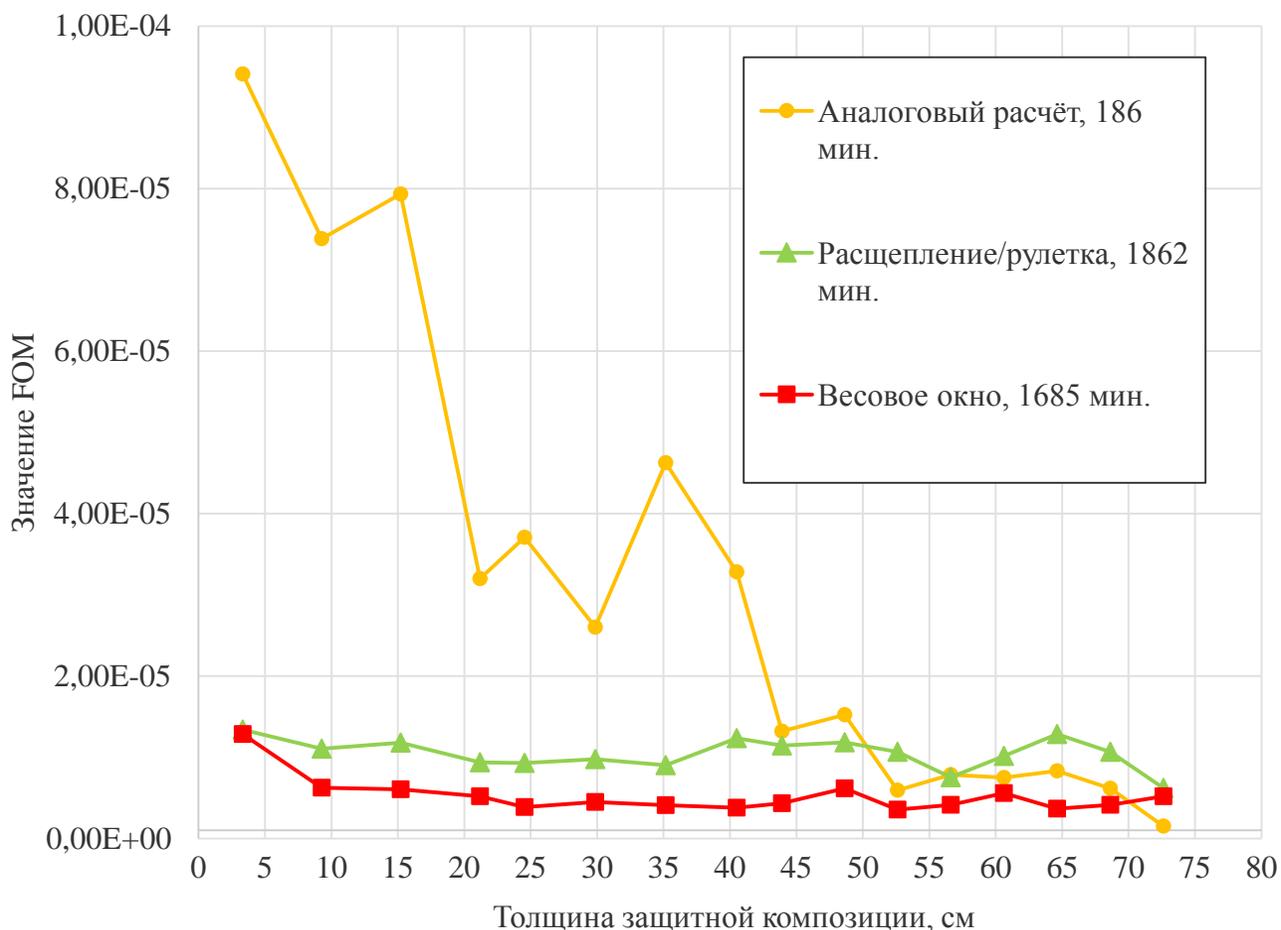


Рисунок 3. Результаты предварительных расчётов скорости реакции активации $^{197}\text{Au}(n,\gamma)$, FOM различных методов.

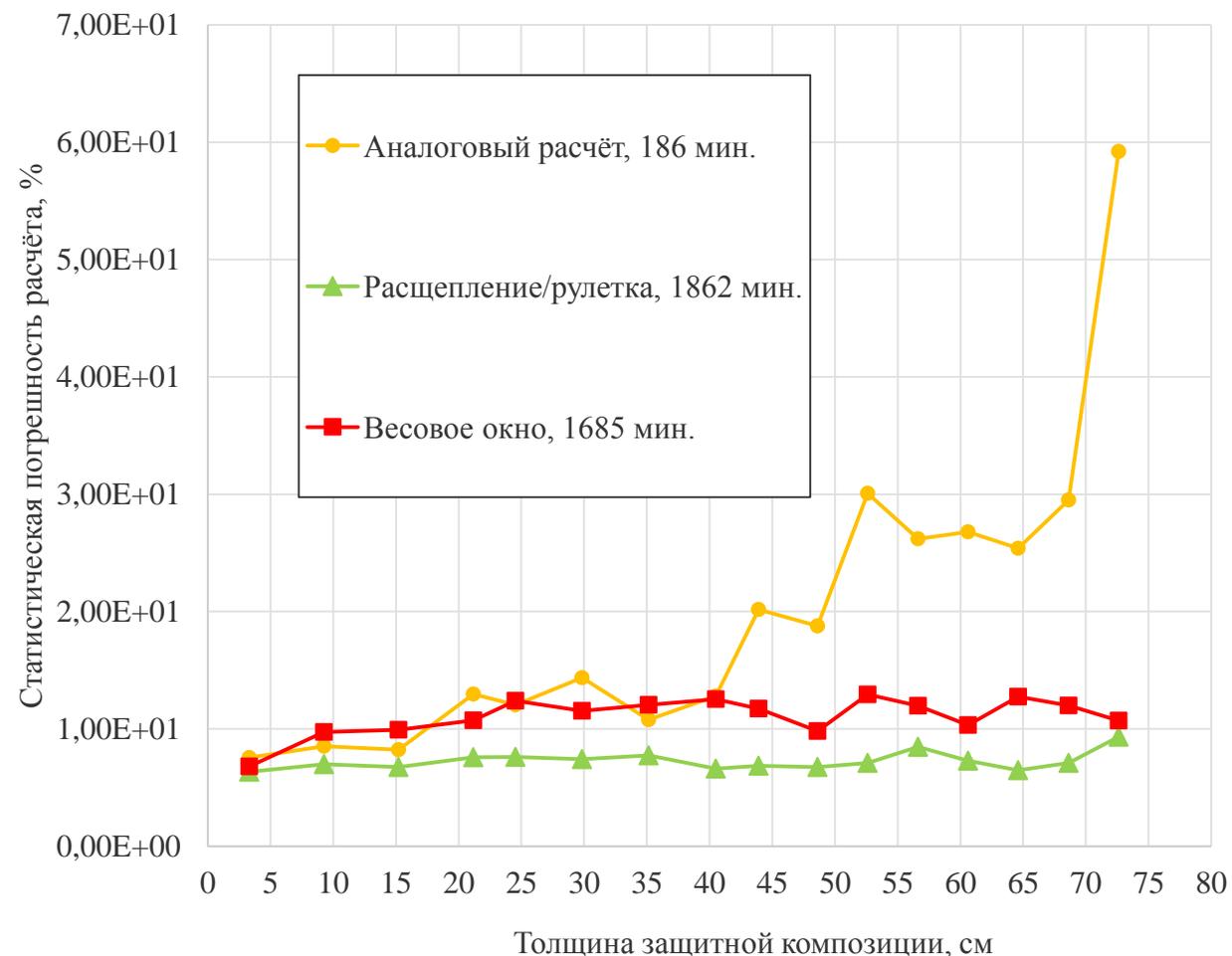


Рисунок 4. Результаты предварительных расчётов скорости реакции активации $^{197}\text{Au}(n,\gamma)$, статистические погрешности.

Эксперимент по измерениям спектров от источника ^{252}Cf в центре защитной сферы



НИКИЭТ
РОСАТОМ

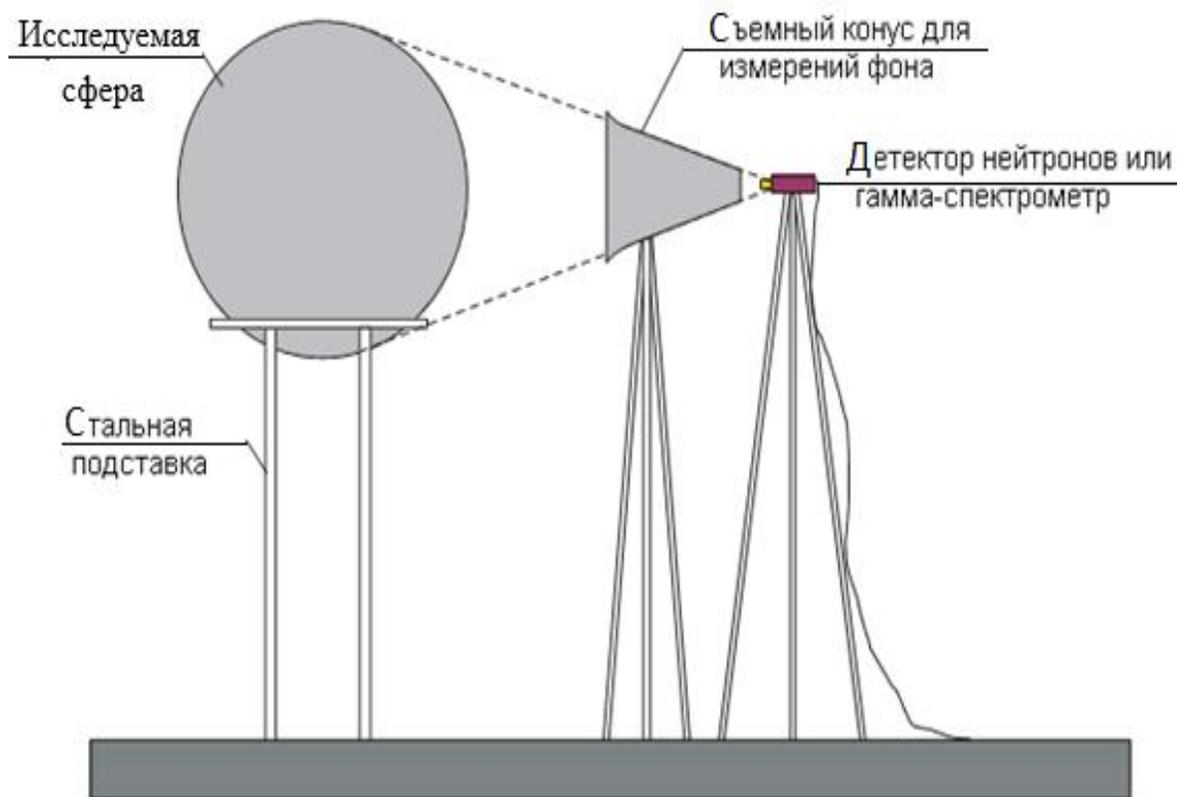


Рисунок 5 - Схема экспериментальной установки

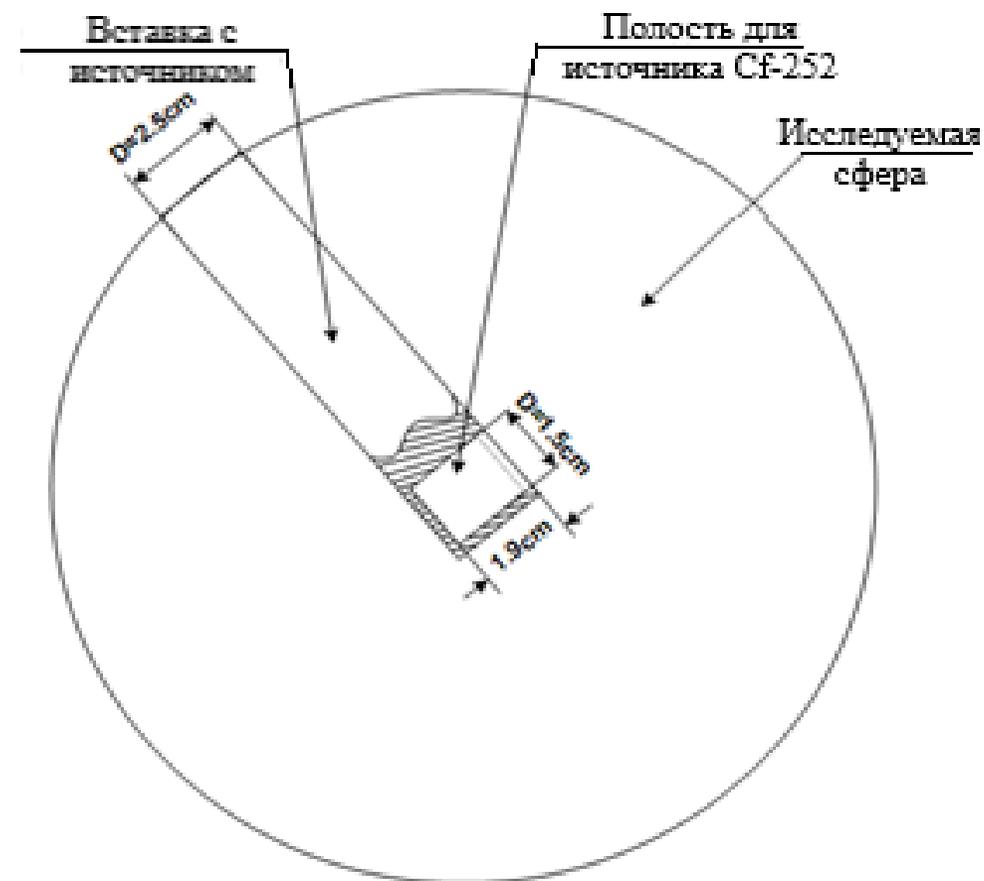


Рисунок 6 – Экспериментальная сфера со вставкой и полостью для размещения калифорниевого источника

Результаты расчётов плотности потока нейтронов по энергиям в защитной сфере

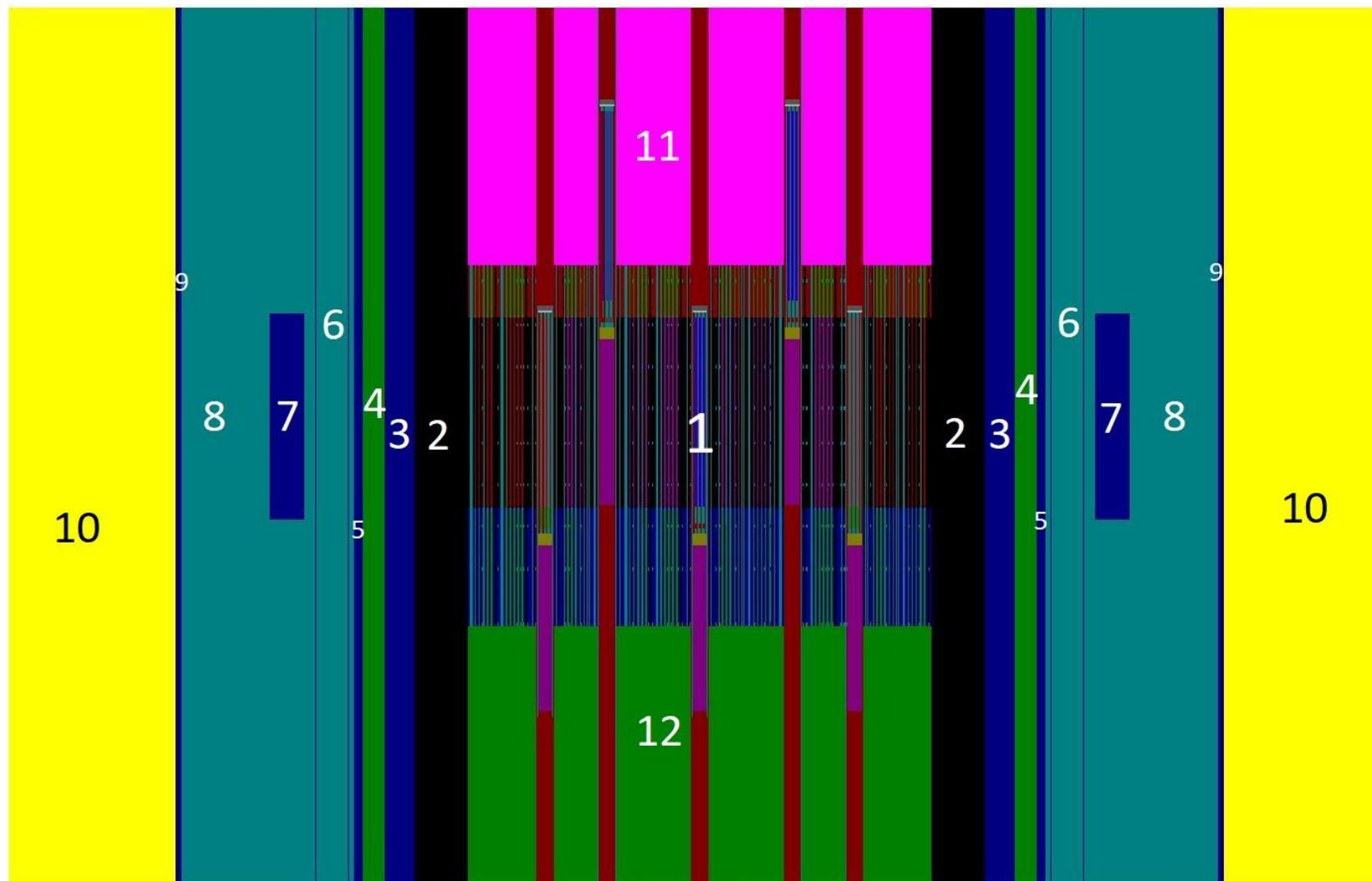


Энергия, МэВ	Без усечения по энергии			С усечением по энергии		
	Время расчёта, мин.	Погрешность, %	FOM	Время расчёта, мин.	Погрешность, %	FOM
10	33060	2,11	0,068	6102	0,50	6,56
12		3,23	0,029		0,70	3,34
14		6,27	0,0077		1,22	1,10
16		16,44	0,0011		2,24	0,33
17		14,02	0,0015		2,22	0,33

Расчётный тест на основе бенчмарк модели реакторной установки БРЕСТ-ОД-300



НИКИЭТ
РОСАТОМ



1 – активная зона; 2 – боковой отражатель № 1; 3 – боковой отражатель № 2; 4 – боковой отражатель № 3; 5 – выгорodka; 6 – внутриреакторное хранилище (ВРХ); 7 – обечайка; 8 – свинец; 9 – кожух реактора; 10 – бетон; 11 – верхний отражатель; 12 – нижний отражатель.

Рисунок 7. Схема бенчмарка БРЕСТ-ОД-300

Результаты предварительных расчётов бенчмарка БРЕСТ-ОД-300



НИКИЭТ
РОСАТОМ

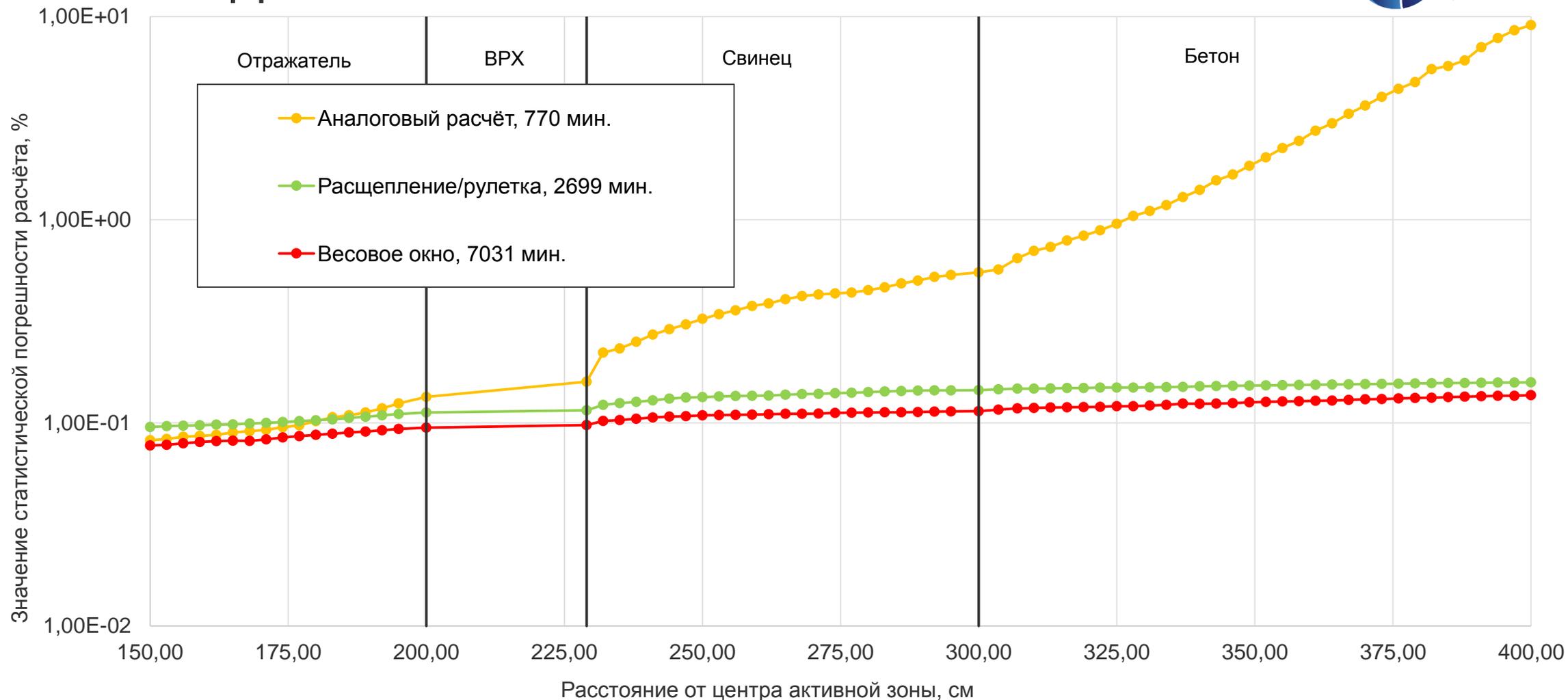


Рисунок 8. Результаты предварительных расчётов интегральной плотности потока нейтронов, статистические погрешности расчётов.

Результаты предварительных расчётов бенчмарка БРЕСТ-ОД-300



НИКИЭТ
РОСАТОМ

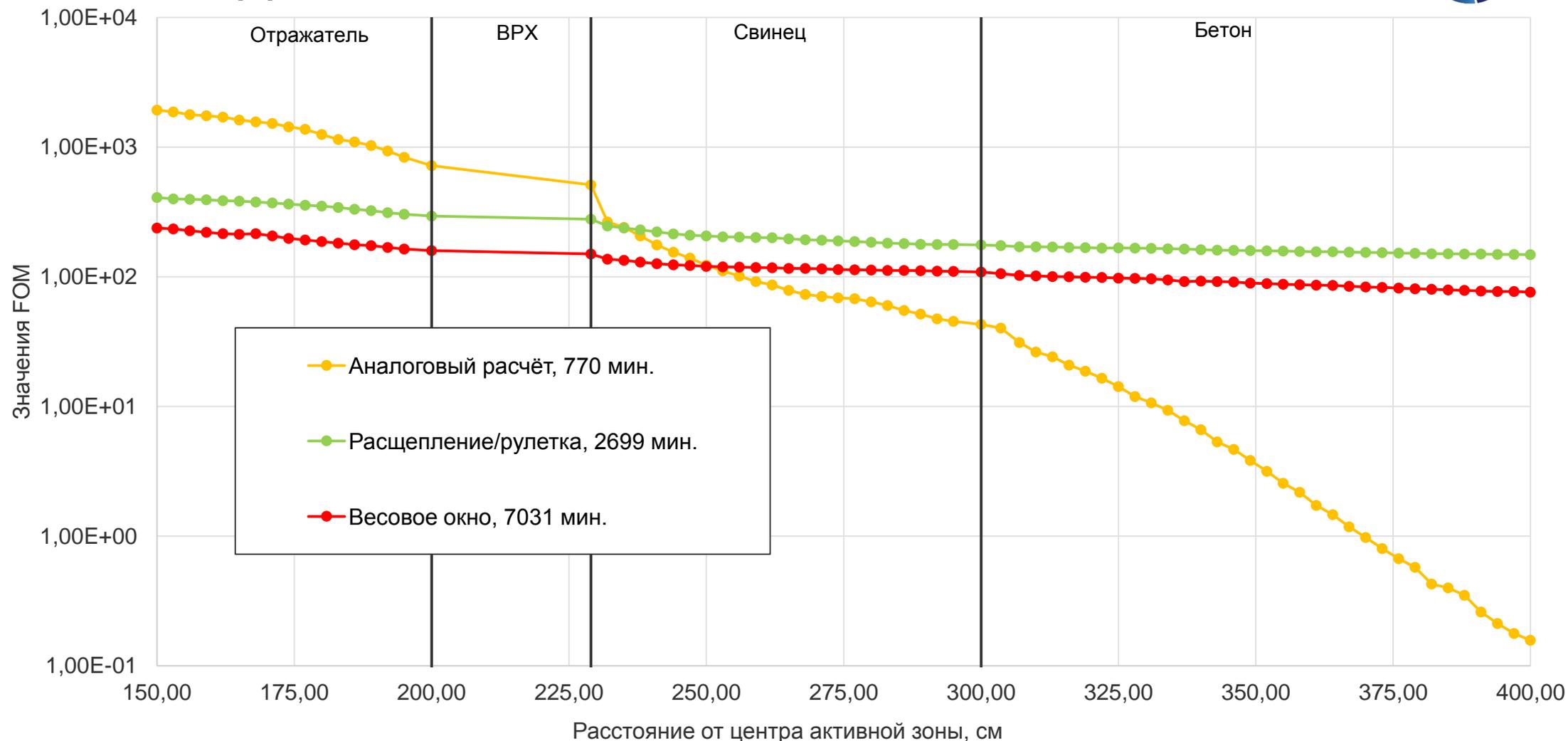


Рисунок 9. Результаты предварительных расчётов интегральной плотности потока нейтронов, FOM различных методов.

Выводы

В работе выполнены расчёты радиационных характеристик, измеренных в экспериментах на реакторе ИР-50, в экспериментах ФЭИ со свинцовыми сферами и в эксперименте JANUS Phase 1, составлен расчётный тест бенчмарка БРЕСТ-ОД-300.

Для каждого эксперимента и расчётного теста проводилось моделирование с использованием различных методов понижения дисперсии. Проведено их сравнение, представлен способ выбора с использованием FOM наиболее оптимального метода для проведения расчётов.

Для экспериментов на ИР-50 и Janus Phase 1, а также для бенчмарка БРЕСТ-ОД-300 наибольшую эффективность продемонстрировал метод расчёта с использованием расщепления/рулетки. Для эксперимента со свинцовыми сферами - метод с использованием усечения по энергиям, является более эффективным, чем обычный аналоговый расчёт.

Полученные данные использованы для верификации и валидации программного комплекса MCU-BR с библиотекой констант MDBBR50.



**Спасибо
за внимание!**