

---

# ВЛИЯНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА НЕЙТРОННО- ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВТГР И ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ТОПЛИВА В ПРОЦЕССЕ ОБЛУЧЕНИЯ

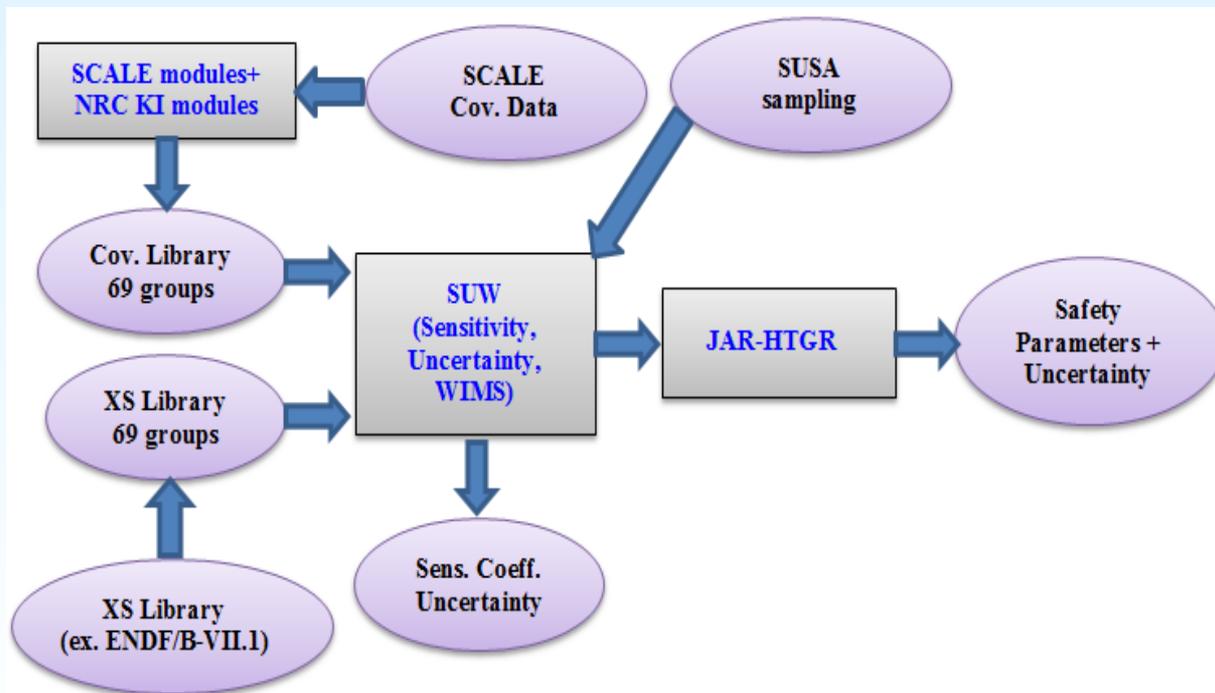
А.В. Гроль, В.Ф. Бояринов, П.А. Фомиченко

НИЦ «Курчатовский институт»

# Постановка задачи

Цель работы:

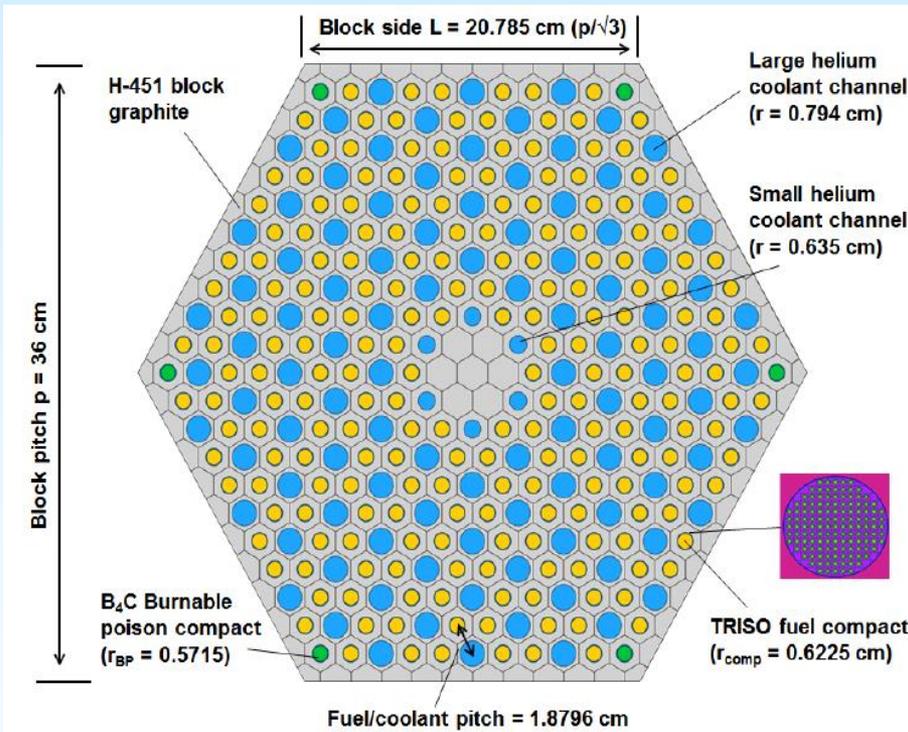
- Оценка расчетной неопределенности при моделировании нейтронной физики ВТГР
- Исследование процесса распространения расчетной неопределенности в процессе перехода от одного этапа расчета к другому



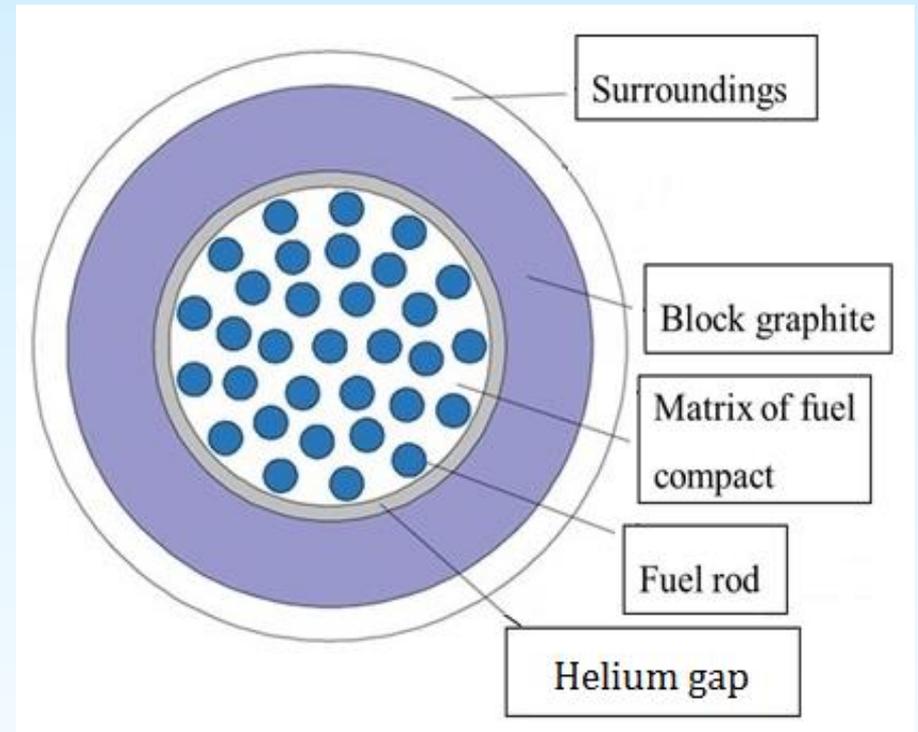
Этапы расчетных исследований:

- ✓ Расчет ячейки топливного блока, оценка влияния неопределенностей на НФХ
- ✓ Полномасштабный реакторный расчет модели активной зоны ВТГР

# Модель топливного блока реактора МНТГР-350 (1/2)



Модель топливного блока



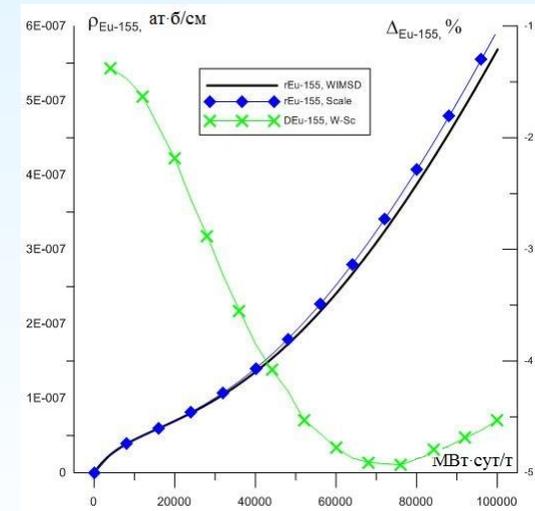
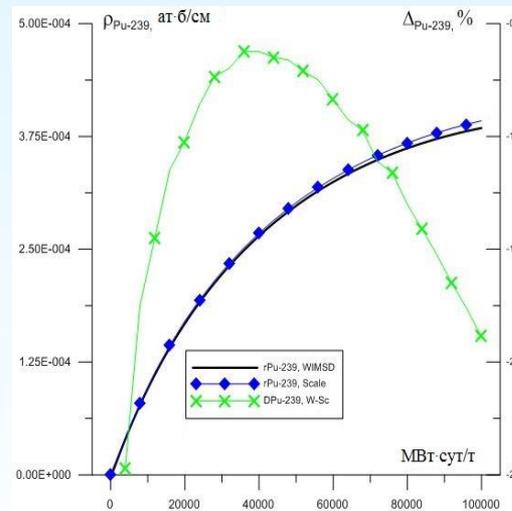
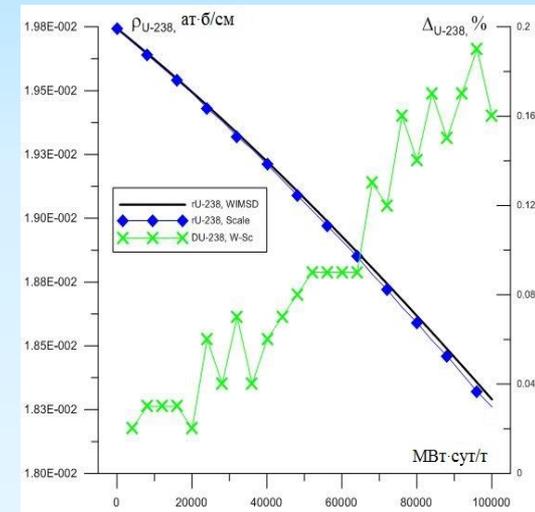
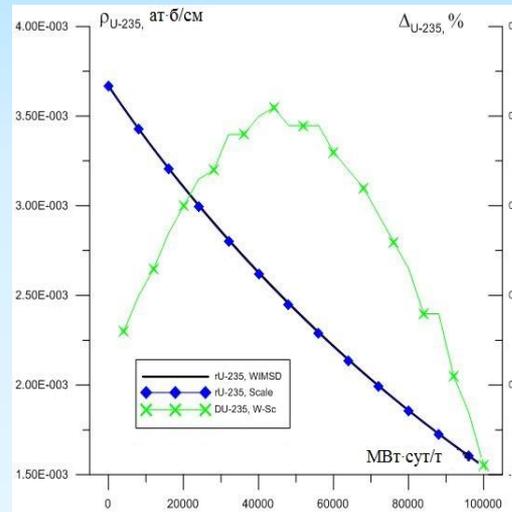
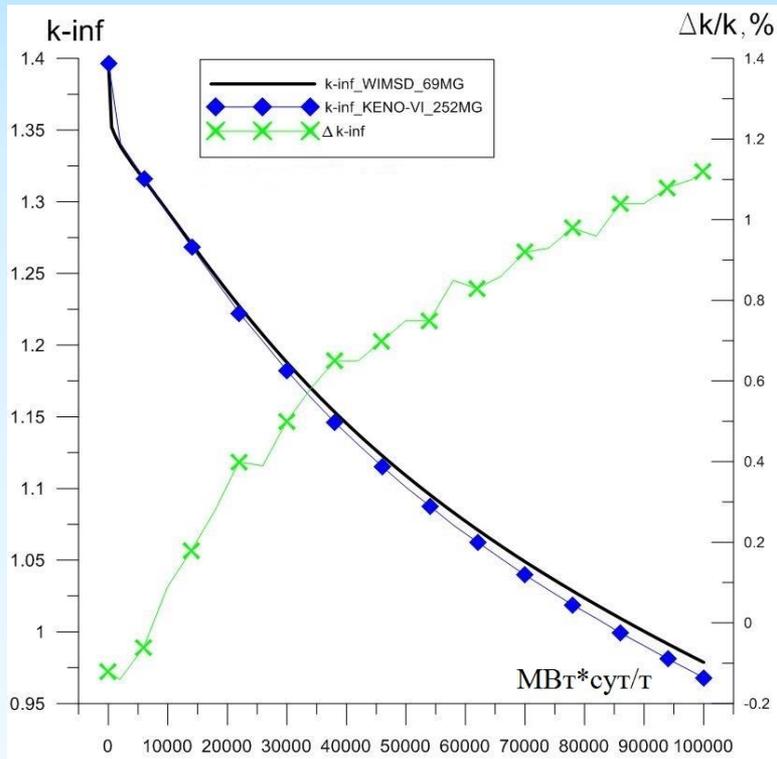
Упрощенная модель топливного блока

## Модель топливного блока реактора МНТГР-350 (2/2)

- Трехмерная ячейка топливного компакта  $\Leftrightarrow$  двумерная кластерная;
- Топливные керны  $\Leftrightarrow$  топливные стержни;
- Условие сохранения массы топлива  $\Rightarrow$  количество стержней;
- Условия выбора диаметра топливных стержней:
  - равенство средней хорды в шарообразных МТ и цилиндрических топливных стержнях;
  - поправочный коэффициент к средней хорде  $\Rightarrow$  равенство  $k_{\infty}$ , полученных с помощью программы WIMSD-5 и прецизионной программы KENO-VI;
- Окружение – гомогенная смесь гелия и графита.



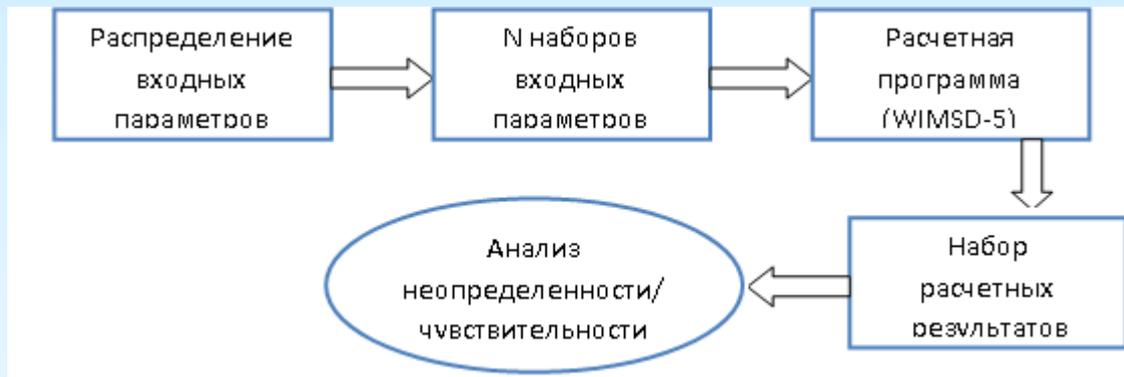
# Верификация модели топливного блока



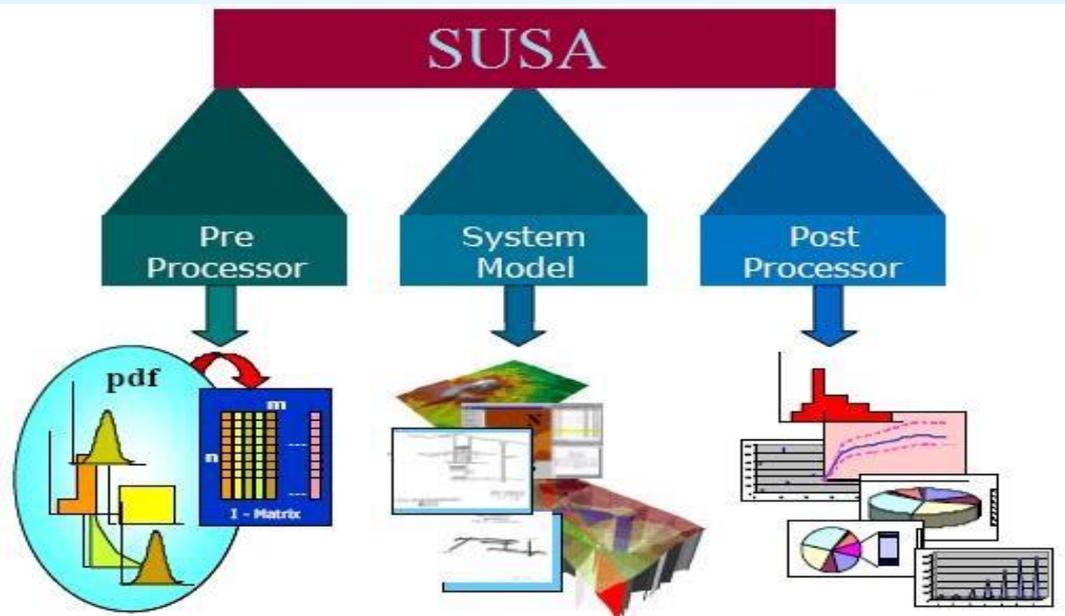
- Max  $\Delta K_{\infty} = 1.1 \%$
- Max  $\Delta \rho$  (U-235) = 0.3 %
- Max  $\Delta \rho$  (U-238) = 0.2 %
- Max  $\Delta \rho$  (Pu-239) = -2.4 %
- Max  $\Delta \rho$  (Eu-155) = -5.0 %



# Вероятностный метод анализа неопределенности и коэффициентов чувствительности



Метод GRS позволяет оценить влияние неопределенности входных параметров переменного типа, используя статистическую обработку большого количества расчетных результатов



# Этапы анализа неопределенностей и коэффициентов чувствительности с помощью кода SUSANA 4.0

- Выбор типа распределения для каждой переменной величины (входного параметра)
- Формирование наборов исходных данных, генерируемых в соответствии с распределениями, выбранными на первом этапе
- Расчет наборов выходных значений путем многократного запуска расчетной программы WIMS-D со всеми сгенерированными наборами значений исходных данных
- Анализ неопределенности результатов, которая характеризуется с помощью математического ожидания и среднеквадратического отклонения
- Далее результаты проведенных расчетов используются в качестве базы для анализа чувствительности



# Ядерные концентрации изотопов в топливном блоке МНТГР-350 и их отклонения

Параметр		Нуклид	Номинальное значение (ат/б-см)	1σ Стандартное отклонение
Топливная частица TRISO	Керн	<sup>235</sup> U	3.6676E-03	± 0.14%
		<sup>238</sup> U	1.9742E-02	± 0.14%
		<sup>16</sup> O	3.5114E-02	± 0.14%
		Графит	1.1705E-02	± 0.14%
	ВРyC	Графит	5.2646E-02	± 3.64%
	IPyC	Графит	9.5263E-02	± 0.74%
	SiC	Si-nat	4.7883E-02	± 0.10%
		Графит	4.7883E-02	± 0.10%
	OPyC	Графит	9.5263E-02	± 0.42%
Топливная матрица		Графит	7.2701E-02	± 0.63%
H-451 – графит топливного блока		Графит	9.2756E-02	± 0.06%

- J. T. Maki, *AGR-1 Irradiation Experiment Test Plan*, INL/EXT-05-00593, Rev. 3, 2009.
- NEA, *Temperature effect on reactivity in VHTRC 1 core*, VHTRC GCR EXP 001, CRIT COEF, NEA/NSC/DOC(2006)2, 2006.
- B. P. Collin and P. W. Humrickhouse, *AGR-3/4 Irradiation Experiment Test Plan*, PLN-3867, Rev. 0, October 2011.



# Геометрические параметры топливного блока MHTGR-350 и их отклонения

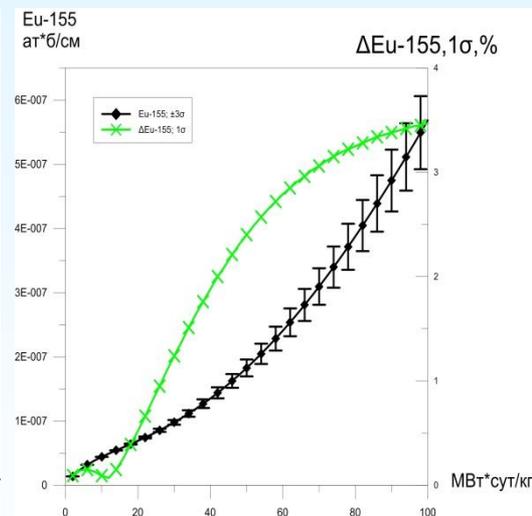
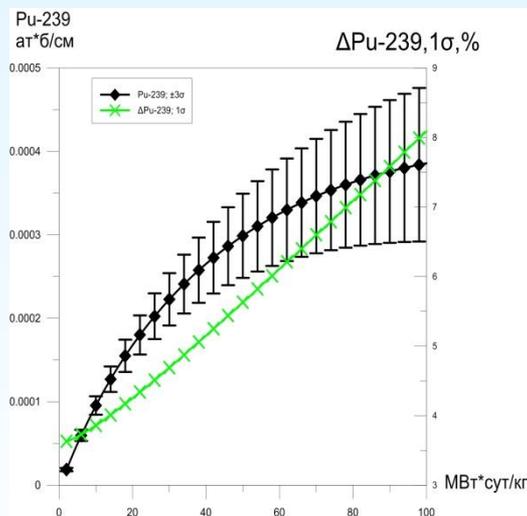
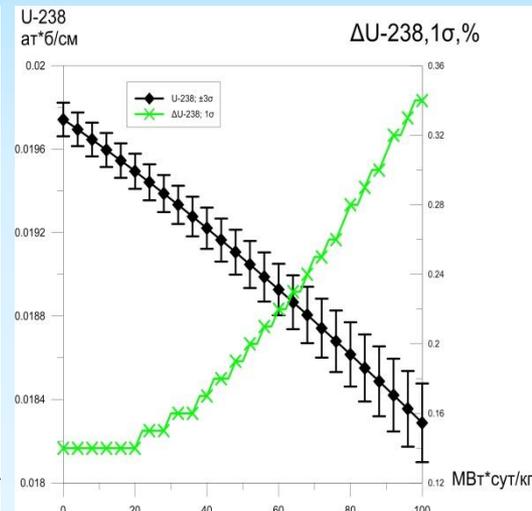
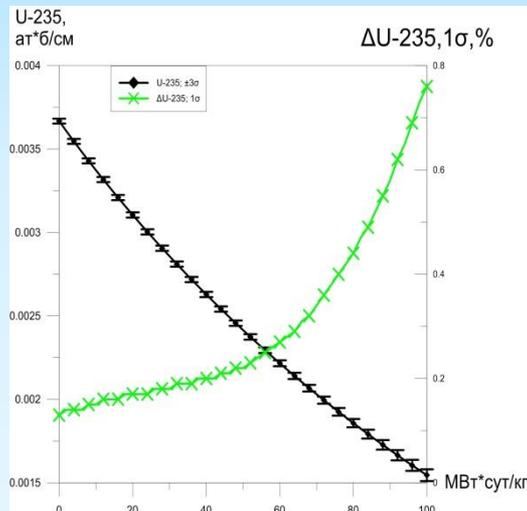
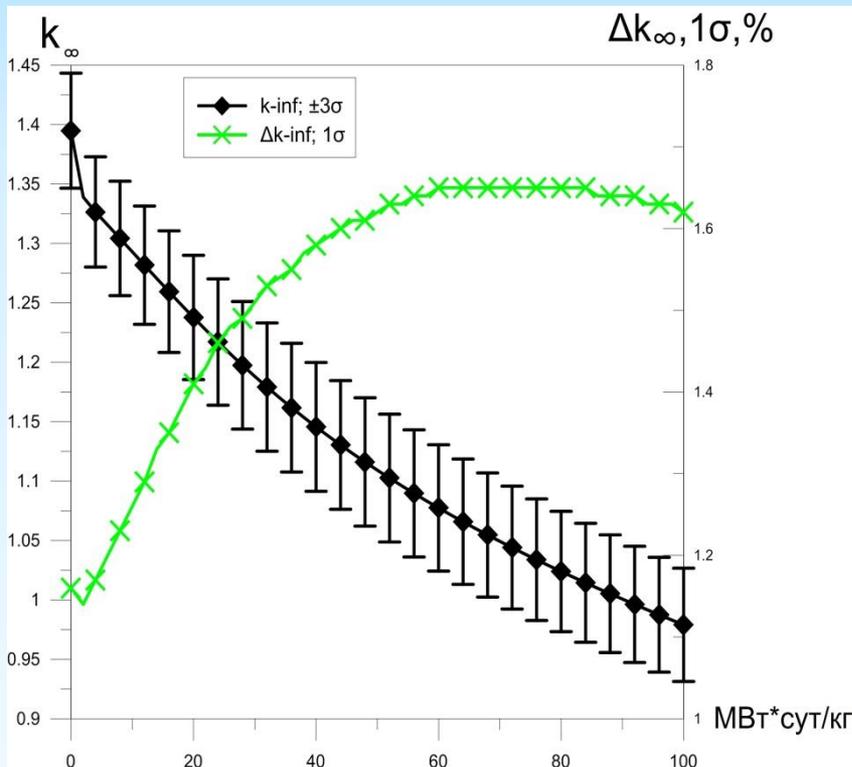
Параметр		Номинальное значение (см)	1σ Стандартное отклонение
Топливная частица TRISO	Радиус UC <sub>0.5</sub> O <sub>1.5</sub> ядра	2.125E-02	± 2.58%
	Радиус ВРyC	3.125E-02	± 7.93%
	Радиус IPyC	3.525E-02	± 5.84%
	Радиус SiC	3.875E-02	± 3.69%
	Радиус ОРyC	4.275E-02	± 5.13%
Радиус топливного компакта		6.225E-01	± 0.09%

$[(1-3\sigma)\alpha_{nom}; (1+3\sigma)\alpha_{nom}]$  – диапазон распределения

- J. T. Maki, *AGR-1 Irradiation Experiment Test Plan*, INL/EXT-05-00593, Rev. 3, 2009.



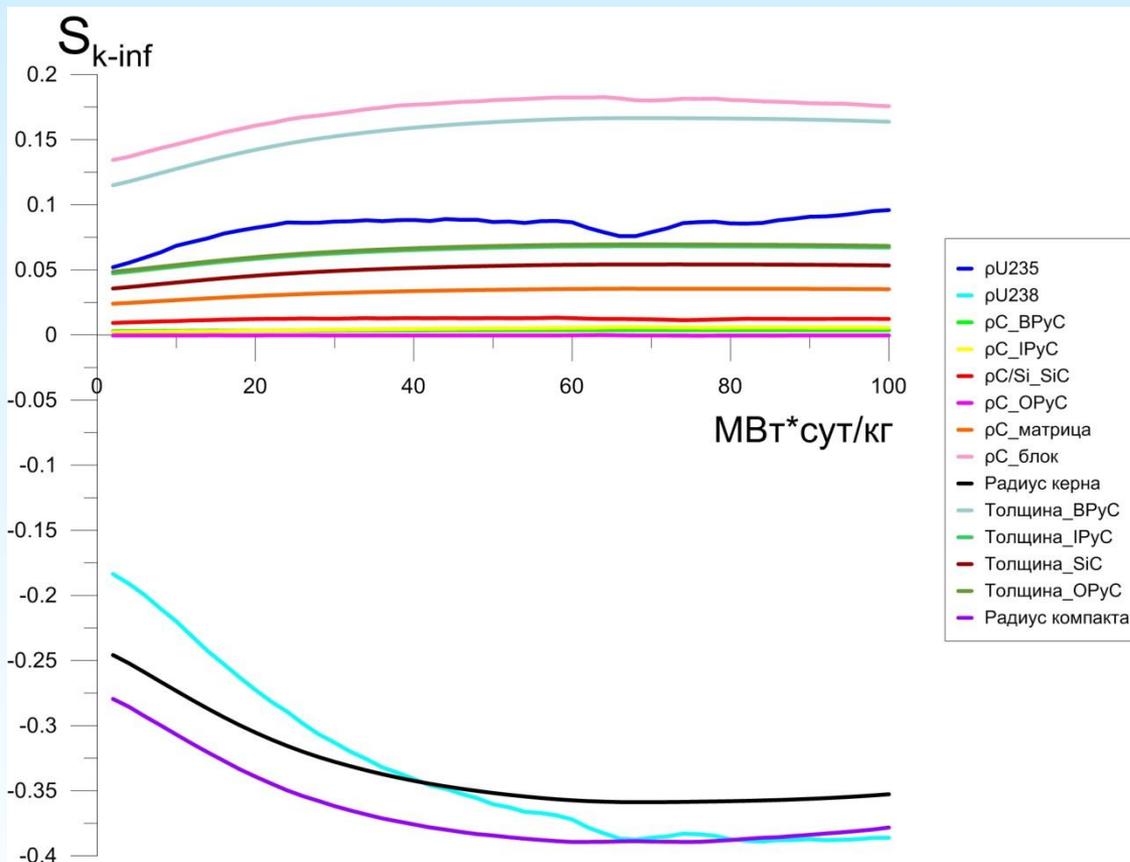
# Неопределенность $k_{\infty}$ и изотопного состава в течение кампании



- Max  $1\sigma$  ( $K_{\infty}$ ) = 1.65 %
- Max  $1\sigma$  ( $\rho U\text{-235}$ ) = 0.76 %
- Max  $1\sigma$  ( $\rho U\text{-238}$ ) = 0.34 %
- Max  $1\sigma$  ( $\rho Pu\text{-239}$ ) = 8.09 %
- Max  $1\sigma$  ( $\rho Eu\text{-155}$ ) = 3.47 %



# Коэффициенты чувствительности $k_{\infty}$ в течение кампании

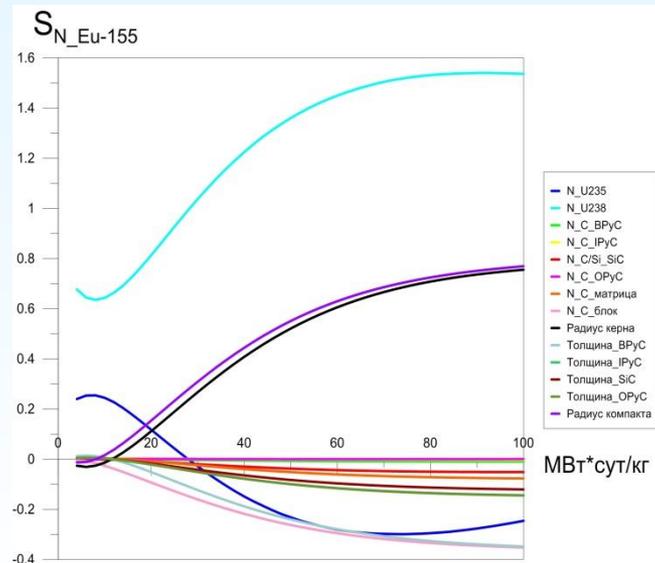
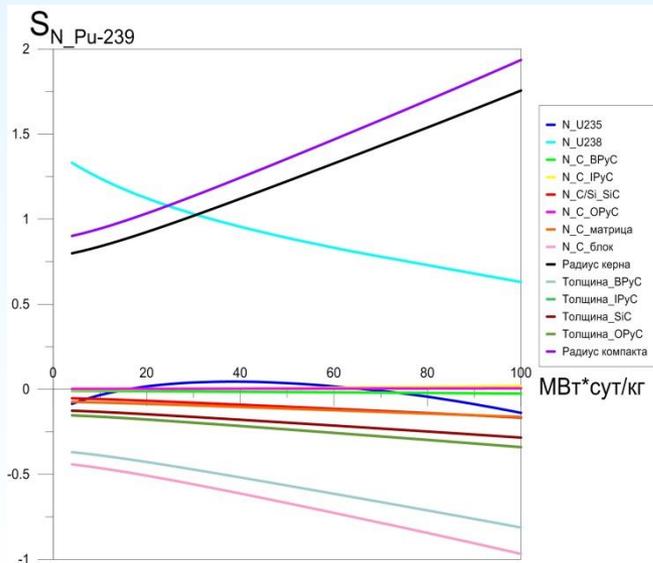
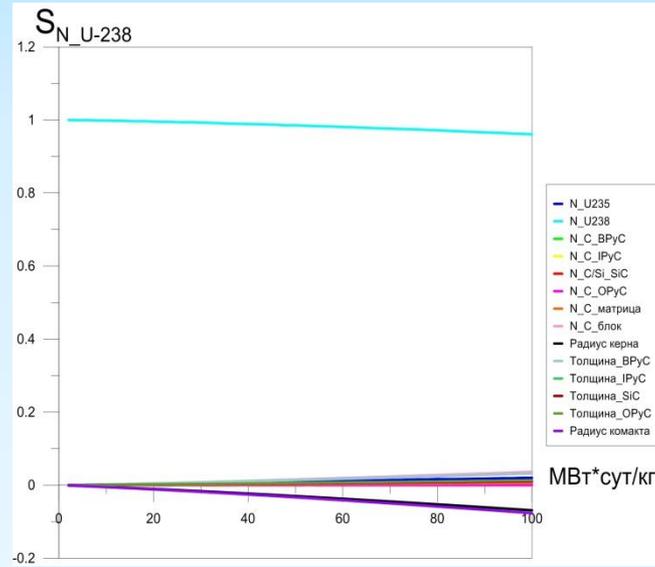
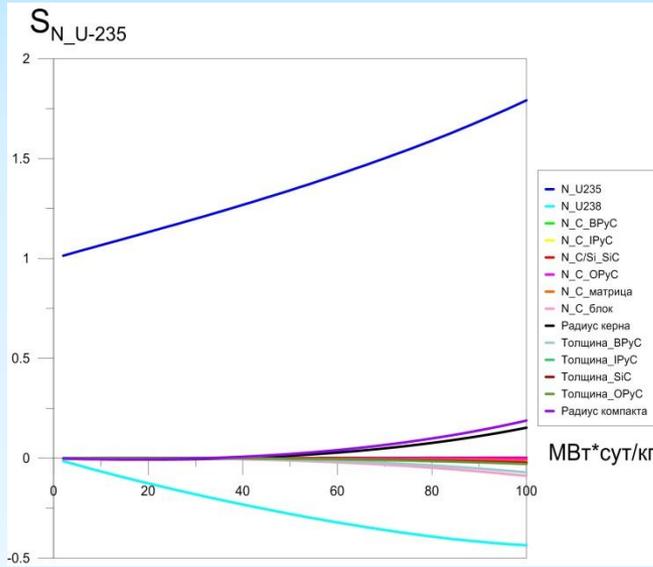


$$S_{R_j, \alpha_i} = \left( \alpha_i^{ср.знач.} / R_j^{ср.знач.} \right) \left( \partial R_j / \partial \alpha_i \right)$$

## Основные вкладчики:

- R компакта
- $\rho^{238U}$
- R керна
- $\rho$  графита блока
- R VPuC
- $\rho^{235U}$

# Коэффициенты чувствительности концентраций изотопов в топливе в течение кампании



Основные вкладчики:

- R компакта
- $\rho^{238U}$
- R ядра
- $\rho$  графита блока
- R ВРyC
- $\rho^{235U}$



## Заключение (1/2)

- Проведена оценка неопределенности изотопного состава топлива и  $k_{\infty}$ , связанных с технологическими неопределенностями, а именно с неопределенностями ядерных концентраций изотопов и геометрических размеров в модели топливного блока реактора МНТГР-350 типа ВТГР
- Максимальные неопределенности коэффициента размножения и концентраций основных изотопов топливной композиции:
  - $k_{\infty}$  – 1,65%;
  - U-235 – 0,76%;
  - U-238 – 0,34%;
  - Pu-239 – 8,09%;
  - Eu-155 – 3,47%.



## Заключение (2/2)

- Получены значения коэффициентов чувствительности для изотопного состава и  $k_{\infty}$  модели топливного блока МНТГР-350
- В большинстве случаев входными параметрами, влияющими на результаты расчета в наибольшей степени, являются:
  - концентрация  $^{235}\text{U}$ ;
  - концентрация  $^{238}\text{U}$ ;
  - радиус топливного керна;
  - радиус топливного компакта;
  - толщина оболочки буферного слоя ВРyС;
  - концентрация углерода в материале топливного блока.
- При проведении расчетов использовались данные о технологических неопределенностях, основанных на имеющемся в мире опыте изготовления топлива ВТГР рассмотренной конструкции



Спасибо за внимание

