

**Тестовая модель MET-1000\_T  
реактора среднего размера с металлическим  
топливом для моделирования движения  
органов регулирования.  
Расчёты в среде ShIPR**

**Зизин М.Н.**

НИЦ «Курчатовский институт»

# Введение (1)

- За основу нестационарной модели взята тестовая модель быстрого реактора среднего размера с металлическим топливом MET-1000 с тепловой мощностью 1000 МВт(т). Средняя эффективность всех 19 ОР  $\Delta\rho_{CR}, \% = (19.7 \pm 2.1)$  и среднее значение  $K_{ef} = 1.0355 \pm 0.0078$ .
- В среде интеллектуальной системы ShIPR исследовалась эффективность ОР с расчётом всех кинетических параметров. Главная цель нестационарного теста - расчёт мощности реактора и реактивности, рассчитанной с помощью ОРУК при моделировании мгновенного сброса: (1) всех 19 ОР, (2) одиночного центрального ОР. Мощность и реактивность предлагается сравнивать в заданные моменты времени. Результаты получены при использовании диффузионных расчётов 60-градусной модели в гексагональной и треугольной геометрии с одной точкой на гексагон и треугольник в плане, соответственно. Нодальные методики не использовались. Несомненными достоинствами этого теста является его простота и малые времена счёта в симметрии 60 градусов.

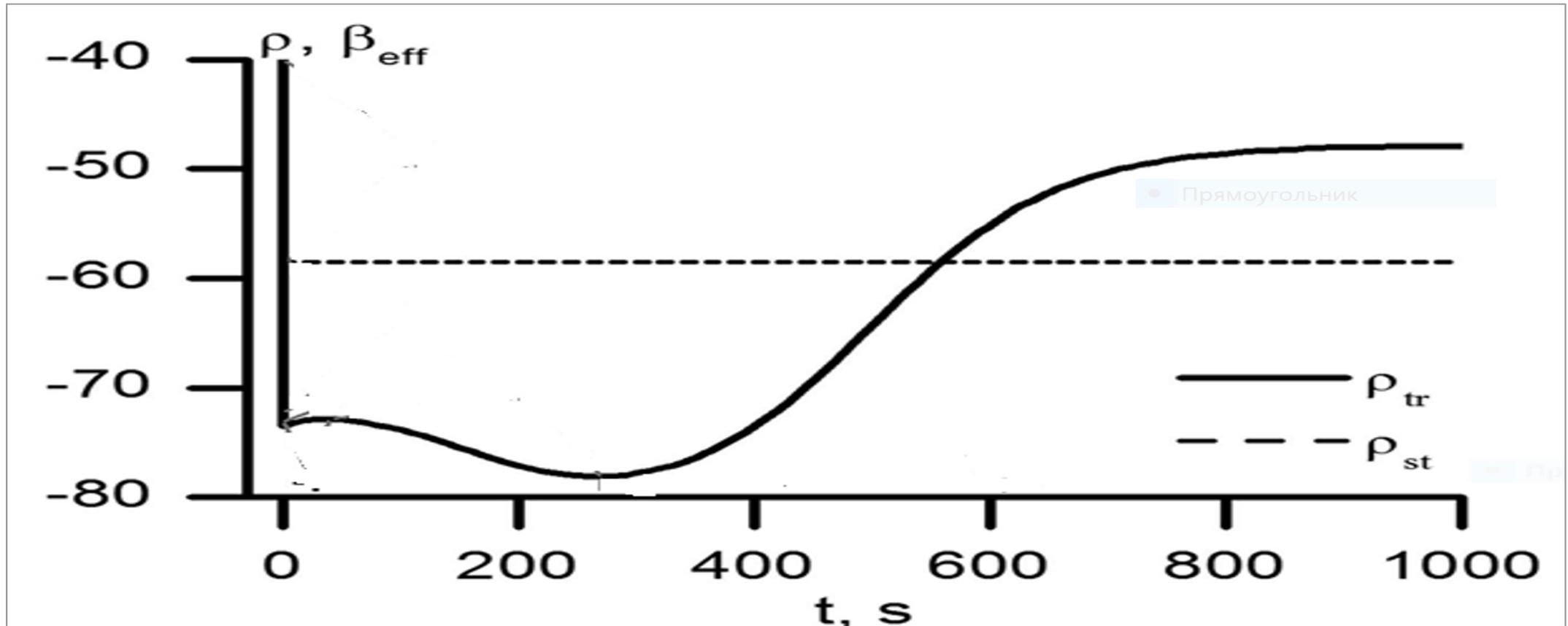
# Введение (2)

Использовать этот тест для кроссверификации предложил Е.Ф. Селезнёв. Он подготовил НЕХ-модель MET-1000\_GEFEST с 50 точками по Z. Концентрации осколков деления FP39 он задал в явном виде, а в исходной модели их заменяли Mo. Расчёты Е.Ф. проводил с БНАБ-93, но с 8 группами ЗН. Эффективность ОР при диффузионных расчётах в НЕХ-геометрии ~ в 13, а не 19 %, Е.Ф. предложил увеличить коэффициенты диффузии зон ОР с поглотителем в пять раз. Расчёты в системе ShIPR первоначально проводились с моделью M-1000\_GEFEST. При моделировании мгновенного опускания всех ОР наблюдались существенные (~ 25 %) расхождения GEFEST и ShIPR в значениях реактивности и мощности, начиная с первого шага по времени.

M-1000\_GEFEST. Сравнение ShIPR и GEFEST. Ценности при ОР UP)

Параметр	$t, c$	ShIPR, 8 групп ЗН	ShIPR, 6 групп ЗН	GEFEST, 8 групп ЗН
Стационар. Невозмущённое состояние некритическое				
$K_{ef} (OP UP) = K_{UP}$	0	1,02241933	1,02239788	1,02239885
$(1/K_{UP} - 1/K_{DOWN}) * K_{UP}, \%$		-19,844	-19,845	-19,82
Нестационар, ОР DOWN. В ShIPR $\beta_{ef}, pcm = 337,4$ . Шаг по времени 0,01 c				
Относительная мощность $PW$	0,01	<b>0,01620</b>	0,01619	<b>0,01358</b>
	0,1	0,01527	0,01527	
$\$p, OPYK \text{ by } PW$	0,1	<b>-61,2</b>	-61.3	<b>~ -73</b>

Рис. 1. GEFEST. MET-1000\_GEFEST. Реактивность при сбросе всех 19 ОР



Большие (~ 25 %) расхождения стимулировали привлечение к процессу кроссверификации П.А. Фомиченко, К.Ф. Раскача и В.Г. Зимина (программы **JAR-IQS**, **RADAR** и **SKETCH**). Выпадает только GEFEST. Кривая реактивности, опубликованная Е.Ф. в **Nucl. Sci. & Eng.**, выглядит весьма странно. Вот первые и возможно последние признания Е.Ф: «Получаемые пока результаты рассматриваю как рабочие, а не окончательные, потому что всё возможно и многие получаемые результаты ставят больше вопросов, чем дают ответов». Наиболее вероятно, что у Е.Ф. где-то ошибка при подготовке источника запаздывающих нейтронов.

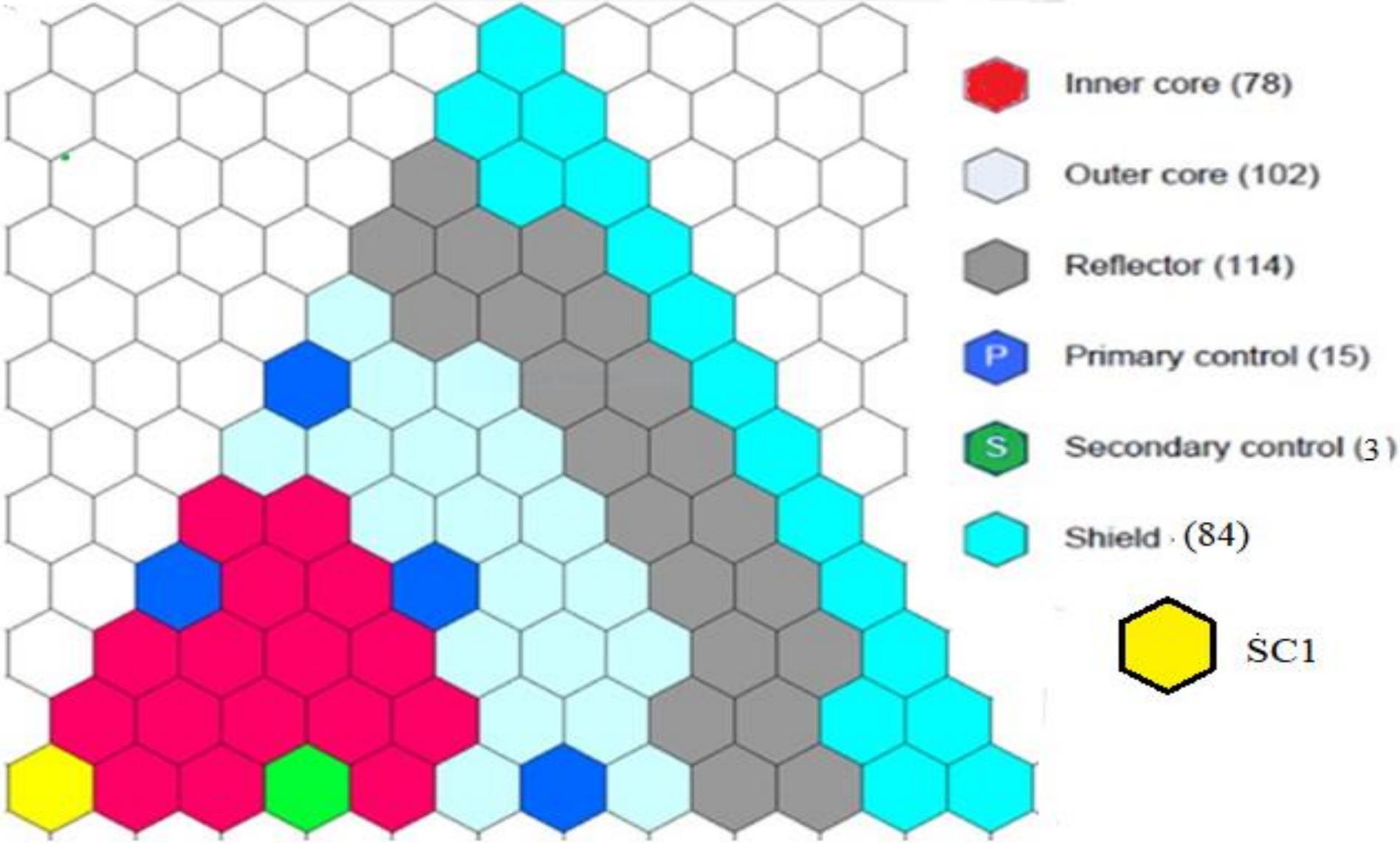
А где наш начальник транспортного цеха?  
Интересно, как у него?

*М. Жванецкий*

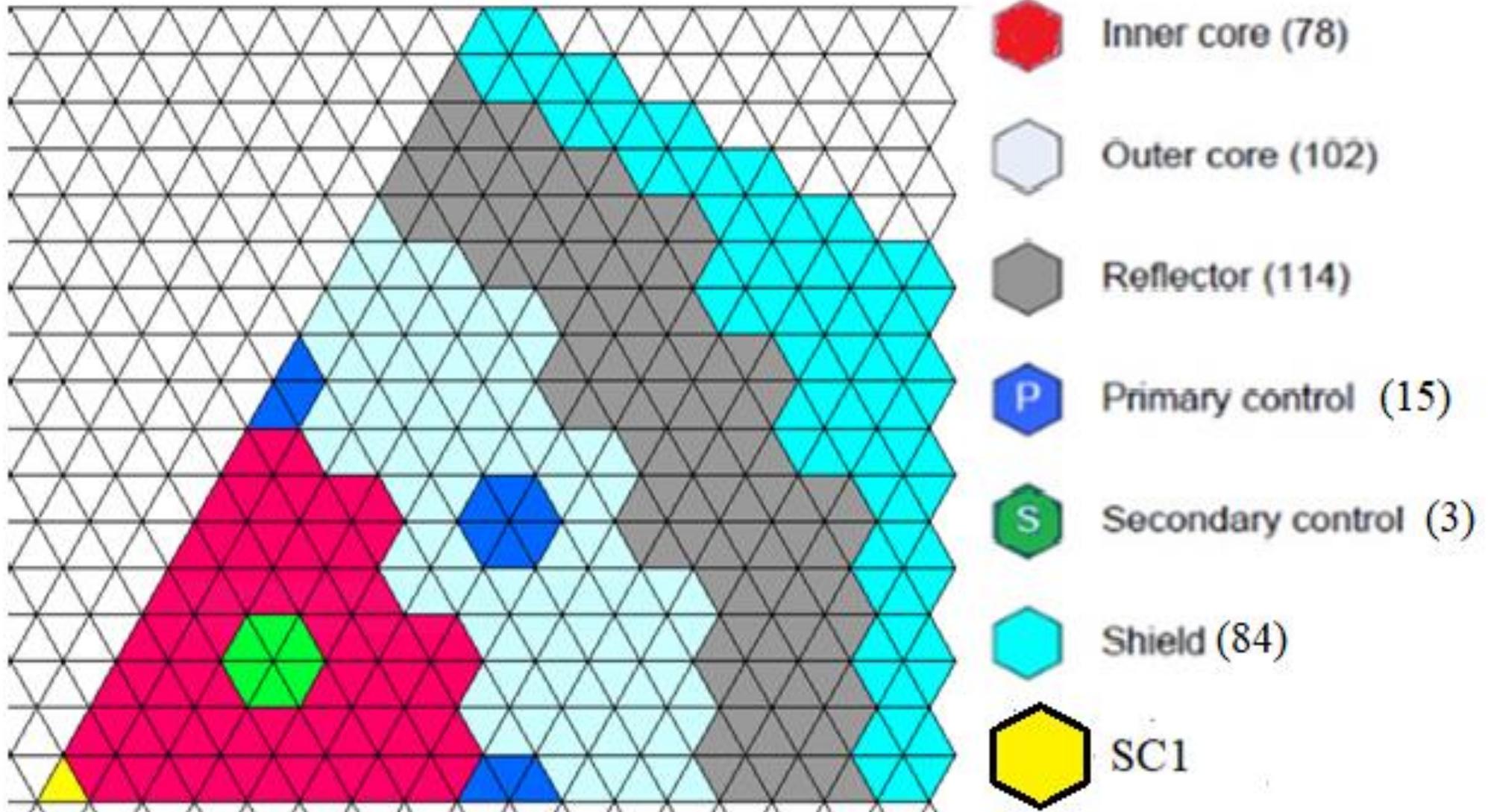
# Модели MET-1000\_T и MET-1000\_KF (1)

- В MET-1000\_T изменены высоты некоторых зон для обеспечения возможности расчётов с равномерным шагом 4.291 см (112 точек по Z). Это даёт возможность проводить расчёты без его изменения как в HEX- и TR-геометрии. Высота поглощающей части ОР сделана равной высоте ак.з. Модель была дополнена несколькими угловыми кассетами.
- К.Ф. Раскач использовал модель MET-1000\_KF с более мелкой сеткой по Z. В активной зоне и в области "Replace bond sodium" шаг по Z был ~2.5 см, над и под ~5 см (всего 117 точек по Z). В плоскости модели MET-1000\_T и MET-1000\_KF совпадают. Обе модели включены в ShIPR и использовались для сравнительных расчётов. Результаты расчёта реактивности и мощности, которые провел К.Ф. Раскач, хорошо совпадают с расчётами по ShIPR.
- От предложенной Е.Ф. весьма произвольной коррекции коэффициентов диффузии отказались.
- Простой переход к TR-геометрии с шагом по Z меньше 5 см приводит к разумным результатам по эффективности ОР. Это даёт возможность подтвердить результаты расчётов в HEX-геометрии, которые в несколько раз эффективнее по времени.

# Модели МЕТ-1000\_Т и МЕТ-1000\_КФ (2)



# TR-модель MET-1000\_T



# Расчёты (1)

Расчёты проводились с сечениями БНАБ-93, CONSYST Ver. 0601 с 6 и 8 группами ЗН. Осколки деления моделировались Мо. Считалось, что CONSYST выдаёт

спектр мгновенных нейтронов деления  $\chi_{g,R}^P$ , поэтому к ним добавлялись спектры

ЗН  $\chi_{g,R}^D$  с весом групповой доли ЗН  $\beta_R$ . Производился пересчёт концентраций

предшественников ЗН во время внешних итераций. Использовалась формула ОРУК с КП, усреднёнными по объёму всего реактора.

Формула ОРУК является тождеством и при правильной реализации численные расчёты это подтверждают. В формуле ОРУК есть интеграл, вычисление которого связано с погрешностями, и тождество получается только при очень мелком шаге по времени и только при подстановке в ОРУК квадратичного функционала

$\langle \Phi^+ Q^D \rangle = \langle \Phi_g^+(r) Q_g^D(r, t) \rangle$  с «возмущённой» ценностью, рассчитанной на

момент окончания движения ОР. Очень часто вместо квадратичного функционала в формулу ОРУК подставляют мощность реактора  $PW$ . Мощность, подставляемую в ОРУК, лучше всего вычислять, используя  $\Sigma_q = \nu \Sigma_f$ .

# Выводы (1)

- Реактивность из прямых расчётов для сравнения с реактивностью из ОРУК надо рассчитывать как  $\Delta K/K_{\text{DOWN}} = (1/K_{\text{UP}} - 1/K_{\text{DOWN}}) * K_{\text{UP}}$ .
- Число групп ЗН практически не влияет на реактивности как из прямых расчётов, так и из ОРУК. Однако  $\beta_{\text{ref}}$ , отличаются заметно, что повлияет на расхождение реактивностей в \$
- Уменьшение шага по времени сближает результаты по ОРУК и  $\Delta K/K_{\text{DOWN}}$
- Подстановка в ОРУК мощности ухудшает результаты в приемлемой степени и может быть рекомендовано в инженерных расчётах.
- Использование для расчёта относительной мощности  $\Sigma q = v \Sigma f$  по сравнению с  $\Sigma q = \Sigma f + 0.035 \Sigma c$  заметно улучшает результаты расчёта для больших реактивностей при подстановке в ОРУК мощности.
- Эффективность всех ОР, рассчитанная в TR-геометрии, хорошо совпадает со средней величиной из серии стационарных расчётов  $\Delta \rho_{\text{CR}}, \% = (19.7 \pm 2.1)$ .

## Выводы (2)

- $\beta_{ef}$  в расчётах с треугольной сеткой на  $\sim 3\%$  ниже, чем в расчётах с гексагональной сеткой
- Отличие разбиения по  $Z$  в моделях MET-1000\_KF и MET-1000\_T на расчётные значения эффективности ОР
- влияет минимально.
- Замена концентраций осколков деления на молибден уменьшает эффективность всех ОР на  $\sim 2.5\%$ , а эффективность центрального ОР на  $\sim 5\%$ .
- Модель MET-1000\_T может быть рекомендована для кроссверификационных расчётов. К её достоинствам следует отнести простоту, неизменный шаг по высоте в HEX- и TR-геометрии и малые времена счёта в симметрии 60 градусов.

# Благодарности

Автор очень благодарен Е.Ф. Селезневу за замечательный тест, за год интересных занятий, проведённых за поиском ошибок в собственных мозгах и программах и за достигнутые цели, которые ставились перед началом этой работы. Недаром говорят, что противоречия – не только в данных, но и людские – двигатель прогресса.

Эта работа была бы невозможна без сравнений и обсуждений результатов с П.А. Фомиченко, К.Ф. Раскачем и В.Г. Зиминим, которые не устояли перед назойливостью автора и нашли время посчитать этот тест кто как смог.

Спасибо за внимание