



РОСАТОМ



ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

ПЕРЕВОД РЕАКТОРОВ РБМК-1000 НА РЕГЕНЕРИРОВАННОЕ ТОПЛИВО С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЧЕТНЫХ ИЗОТОПОВ УРАНА

Авторы:

Алимов Ю.В., Галеева Н.М., Давыдов В.К.,
Жирнов А.П., Кузнецов П.Б.,
Рождественский И.М., Рождественский М.И.
(АО «НИКИЭТ», Москва)

НЕЙТРОНИКА-2019



В реакторах РБМК-1000 в настоящее время используется уран-эрбиевое топливо с номинальным обогащением 2,8 % и весовым содержанием эрбия 0,6 %.

В этом штатном топливе применяется регенерированный уран, содержащий наряду с основными изотопами (^{235}U , ^{238}U) так называемые четные изотопы (^{232}U , ^{234}U , ^{236}U).

Среднее содержание ^{232}U составляет $1,5 \cdot 10^{-7}$ %, ^{234}U – 0,03 %, ^{236}U – 0,3 %. Фактическое обогащение топлива по ^{235}U с учетом компенсации составляет 2,86 %.

В тепловыделяющих сборках с повышенным содержанием четных изотопов (ТВС-ПЧИ) используется также уран-эрбиевое топливо с регенерированным ураном, в котором содержание ^{232}U – не более $5 \cdot 10^{-7}$ %, ^{234}U – не более 0,1 %, ^{236}U – не более 1 %.



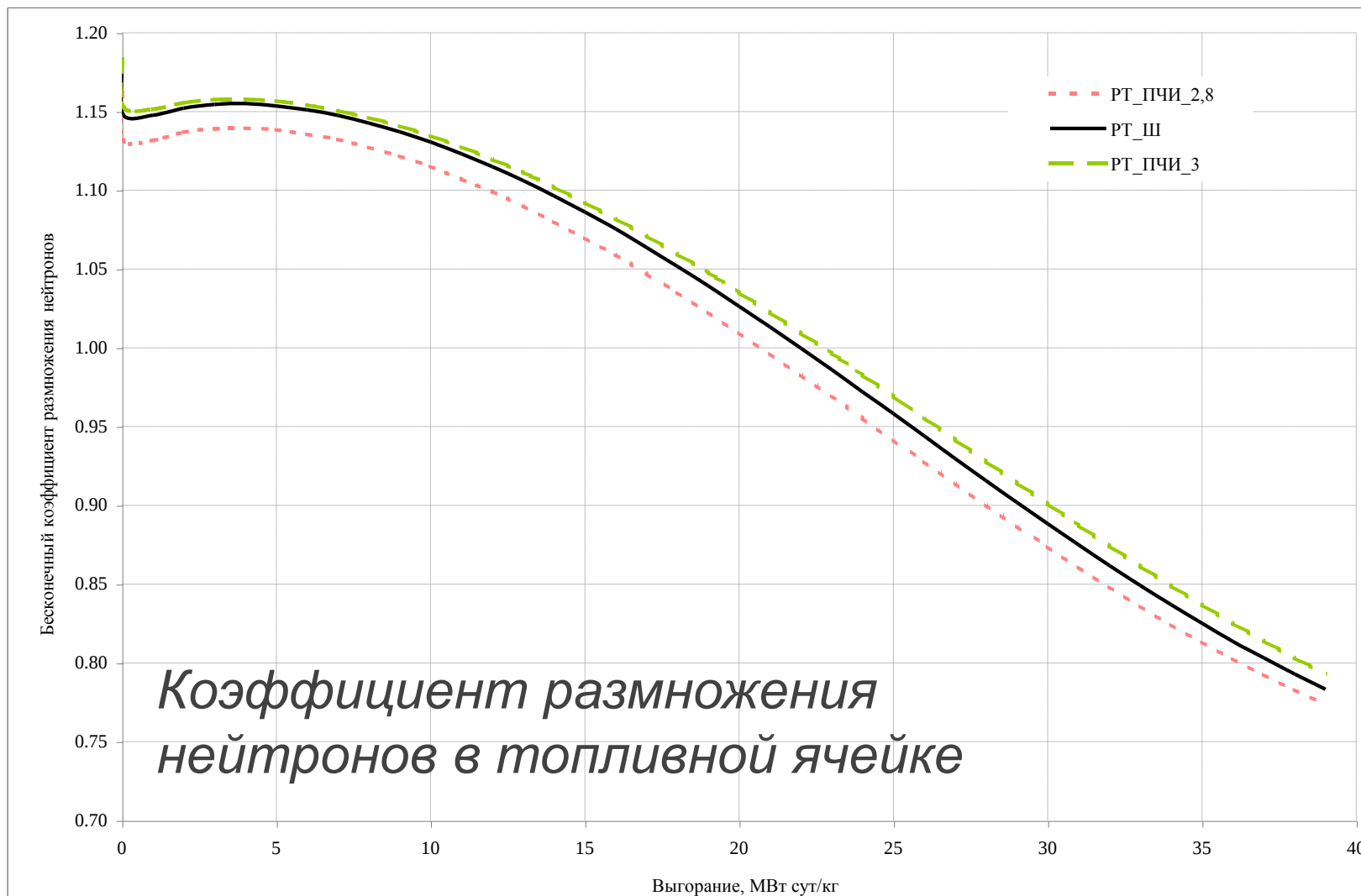
Начиная с 2019 г. в реакторах РБМК-1000 планируется использовать ТВС с регенерированным уран-эрбиевым топливом с повышенным содержанием четных изотопов урана.

Опытная партия из 150 ТВС с регенерированным уран-эрбиевым топливом с повышенным содержанием четных изотопов была загружена в реактор энергоблока № 1 Ленинградской АЭС в 2006 – 2007 гг., прошла полный цикл эксплуатации, достигла требуемой глубины выгорания и выгружена из активной зоны.

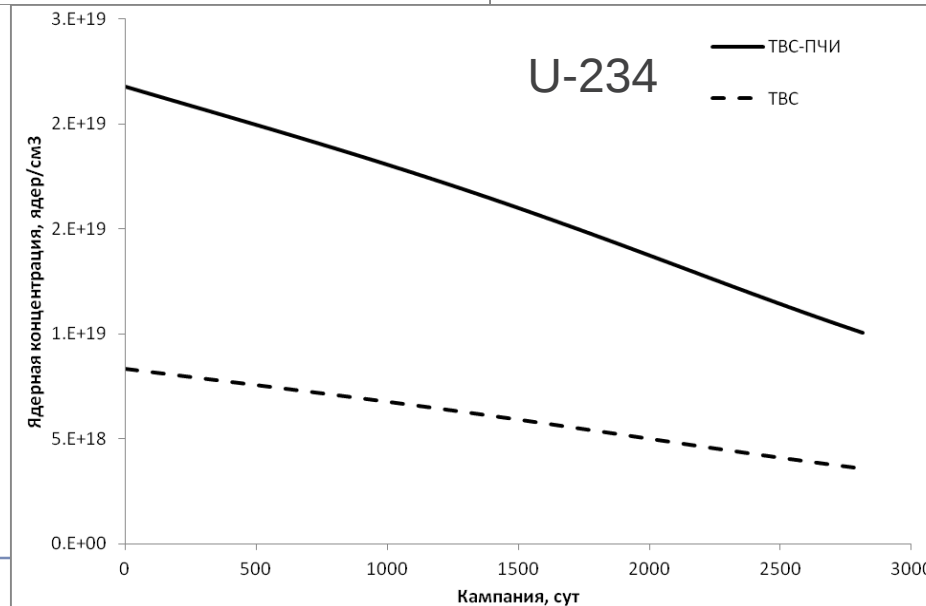
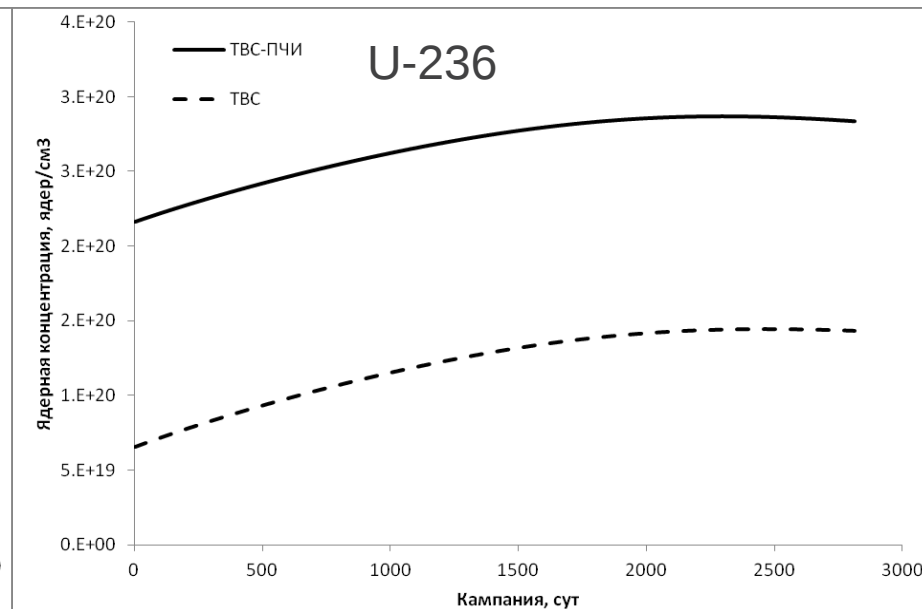
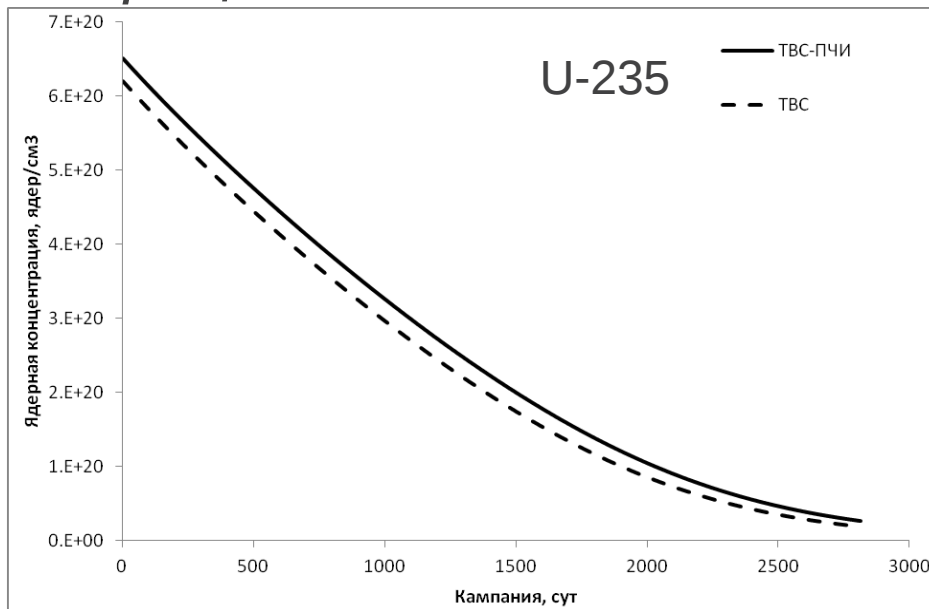
Выполнены расчетные исследования нейтронно-физических характеристик реакторов РБМК-1000 Курской, Ленинградской и Смоленской АЭС при переводе на регенерированное топливо с повышенным содержанием четных изотопов.

Исследования выполнены АО «НИКИЭТ» с использованием аттестованных программных средств: программного комплекса SADCO и программного комплекса прецизионных нейтронно-физических расчетов MCU-RBMK.

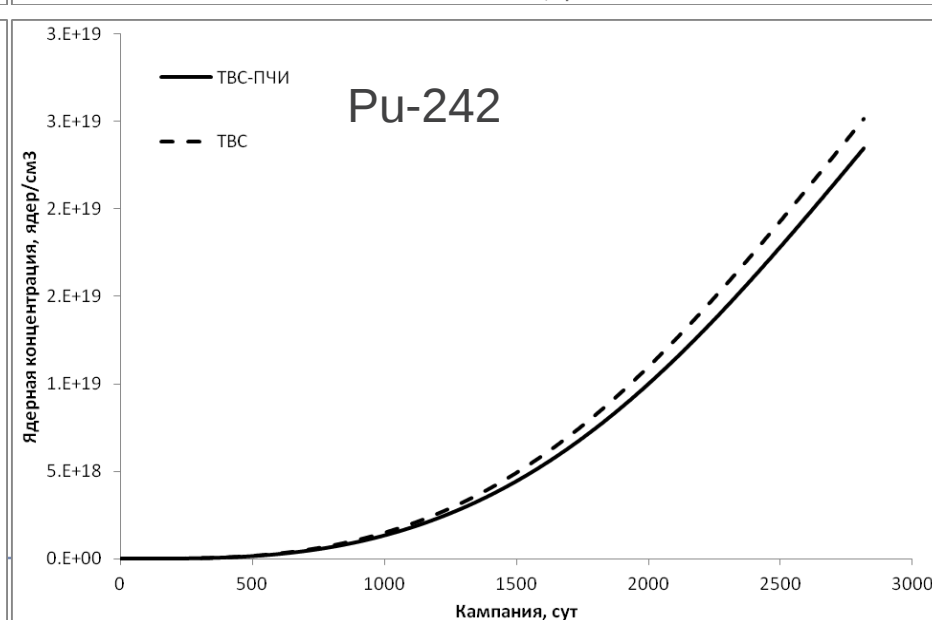
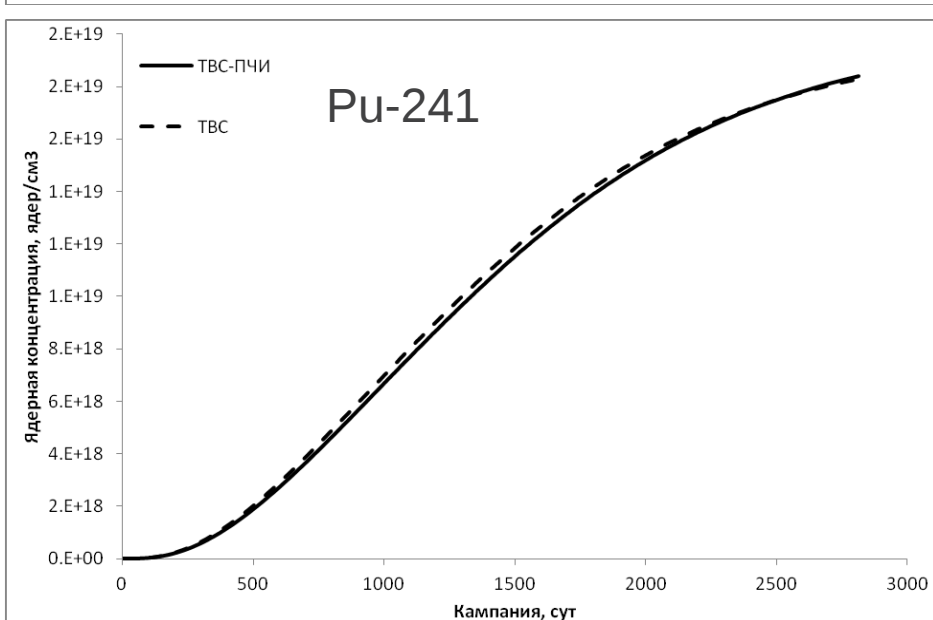
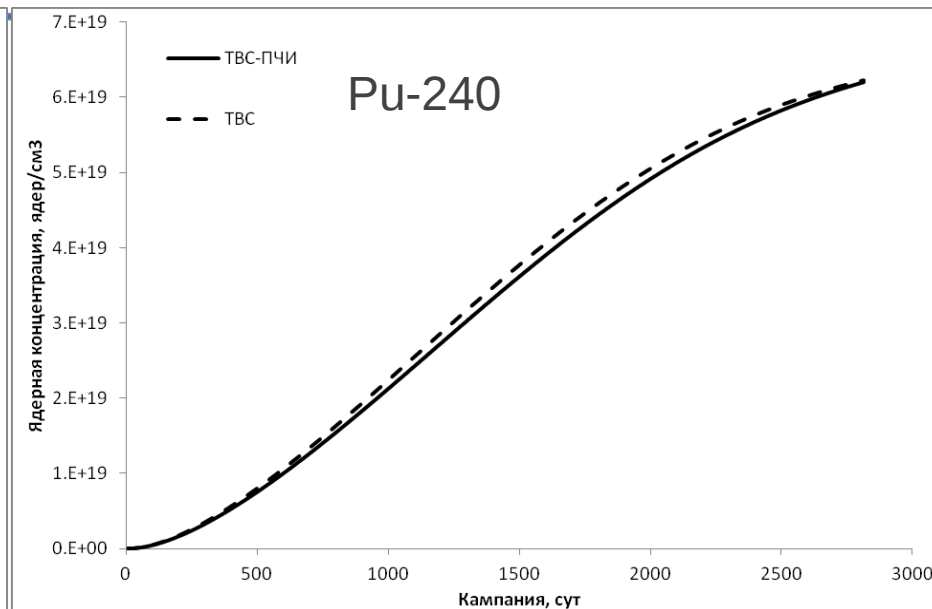
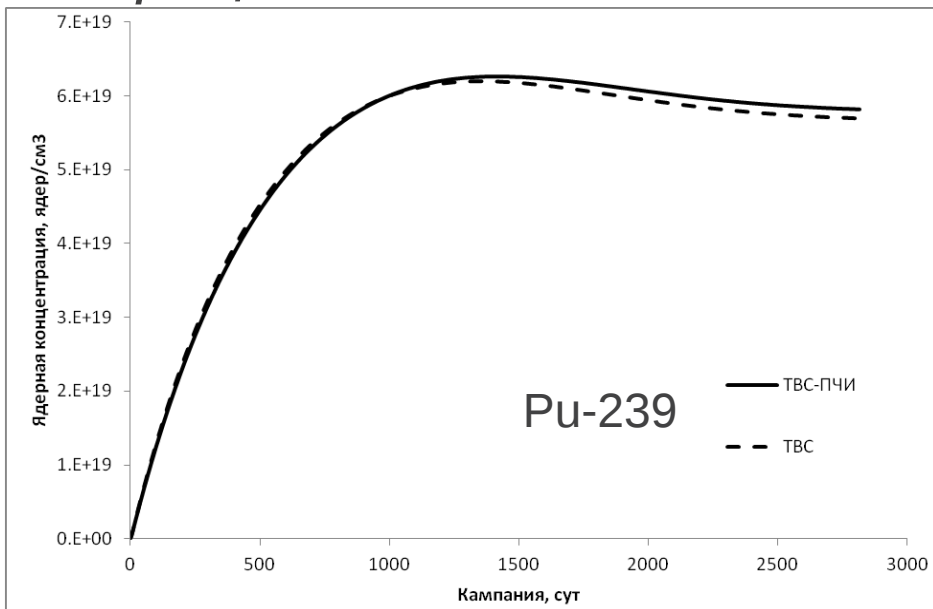
Нейтронно-физические характеристики



Изменение концентрации ядер урана в процессе кампании



Изменение концентрации ядер плутония в процессе кампании





Для оценки изменения нейтронно-физических характеристик топлива при переходе на ТВС-ПЧИ наряду с расчетами выгорания топливной ячейки используются результаты расчетов полиячейки.

Рассмотрена двумерная (бесконечная по высоте) полиячейка активной зоны размерностью 4x4, в которой 14 топливных ячеек и две ячейки СУЗ с гильзами КРО. В 13 топливных ячейках находятся ТВС со средним выгоранием топлива, в одной ячейке находится свежая ТВС, или ТВС с малым выгоранием топлива.

Расчеты полиячейки выполнены по прецизионным кодам MCU-RBMK и MCNP.

K_{∞} полиячейки и мощность ТВС-ПЧИ



Нормировка потока нейтронов получена из условия, что средняя мощность 13 ТВС со средним выгоранием топлива составляет 2,5 МВт.

Теплофизические параметры полиячейки средние – температура топлива штатных ТВС принята 910 К, температура графита – 700 К, плотность теплоносителя – 0,5 г/см³. Температура топлива ТВС-ПЧИ принималась 1010 К, температура графита 768 К, плотность теплоносителя – 0,5 г/см³.

Из результатов расчета полиячеек следует, что при переходе от штатного топлива к ТВС-ПЧИ (с компенсацией 0,2) мощность свежей ТВС увеличивается на 2 %.

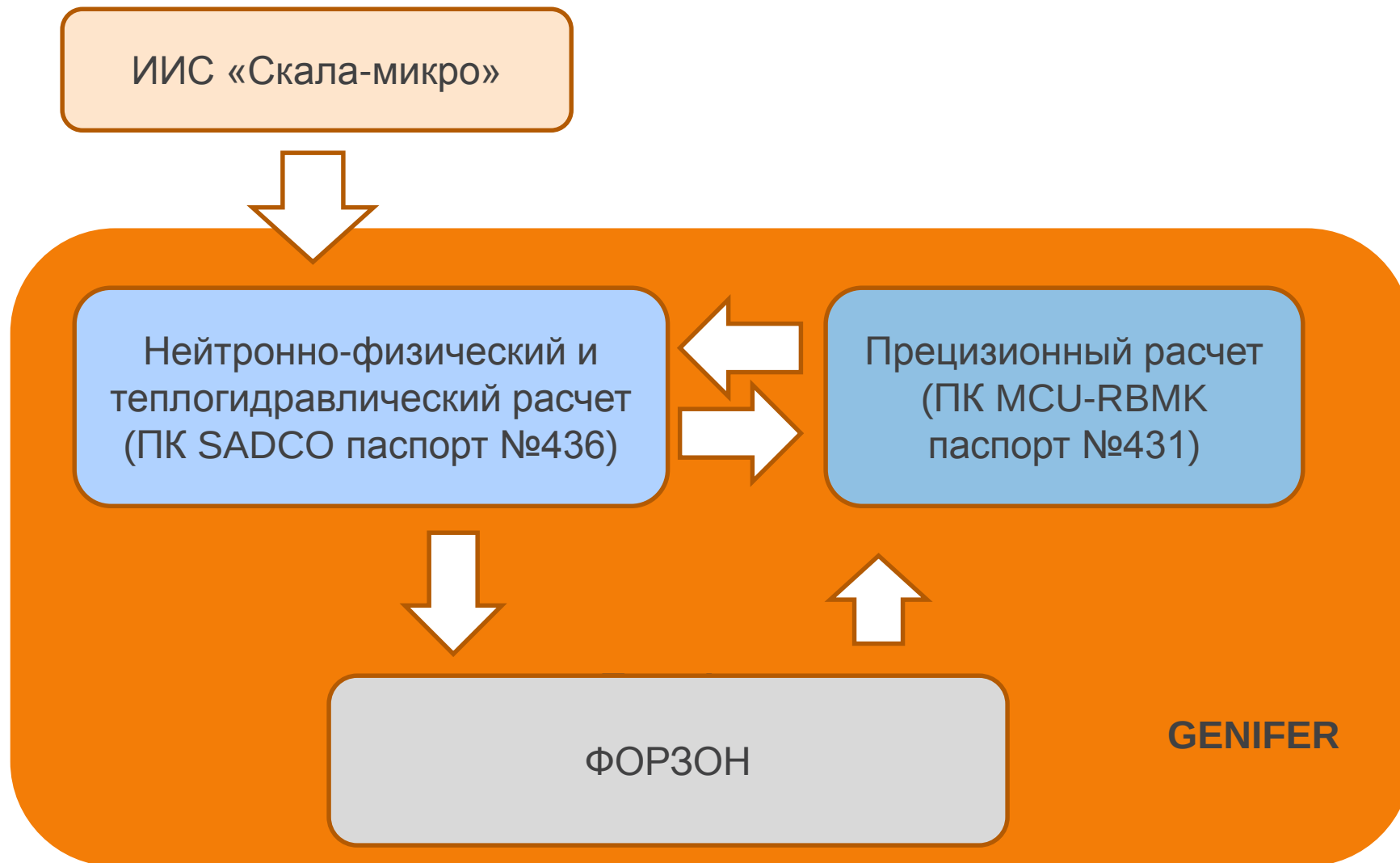
Состав топлива ТВС	K_{∞}		W, МВт	
	MCU	MCNP	MCU	MCNP
2,86 % ²³⁵ U, 0,3 % ²³⁶ U	1,0803	1,0789	2,85	2,83
3,0 % ²³⁵ U, 1,0 % ²³⁶ U	1,0807	1,0796	2,91	2,89

Мощность в ТВС-ПЧИ при выгорании



Состав топлива ТВС	MCU	
	W, МВт	K_{∞}
2,86 % ^{235}U , 0,3 % ^{236}U , B=0 МВт сут/кг	2,85	1,150
3,0 % ^{235}U , 1,0 % ^{236}U , B=0 МВт сут/кг	2,91	1,158
3,0 % ^{235}U , 1,0 % ^{236}U , B=4 МВт сут/кг	2,86	1,163
3,0 % ^{235}U , 1,0 % ^{236}U , B=6 МВт сут/кг	2,83	1,162
3,0 % ^{235}U , 1,0 % ^{236}U , B=8 МВт сут/кг	2,78	1,154

Мощность свежей ТВС-ПЧИ в процессе выгорания топлива монотонно уменьшается.



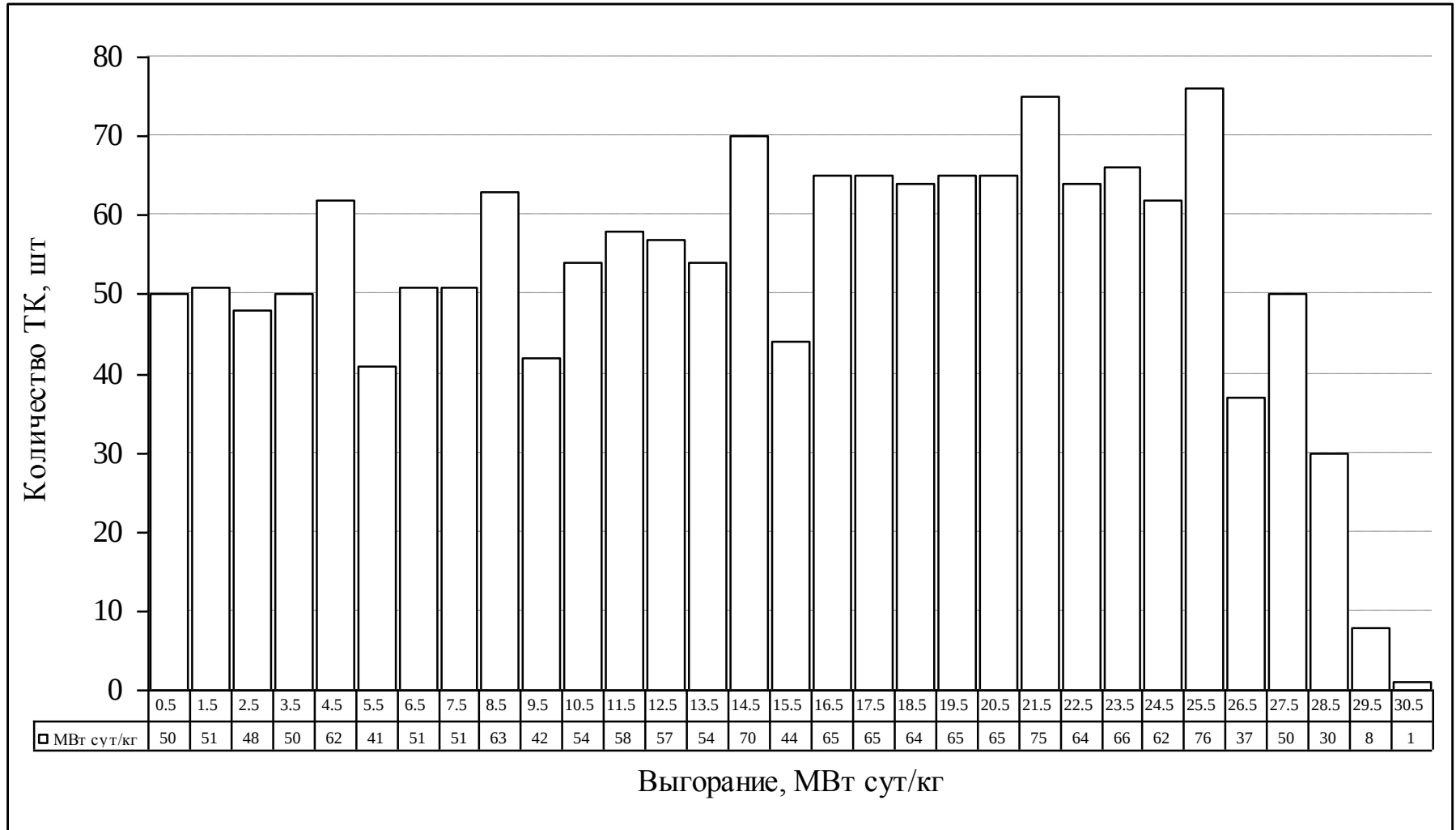


- Генерация исходных данных в автоматическом режиме с использованием данных из ПК SADCO и ФОРЗОН
- Анализ используемых исходных данных
- Контроль каждого шага генерации
- Использование редактируемых служебных файлов, шаблонов описания геометрии и библиотек материалов
- Обработка и визуализация результатов расчета
- Уточнение макроконстант для ПК SADCO

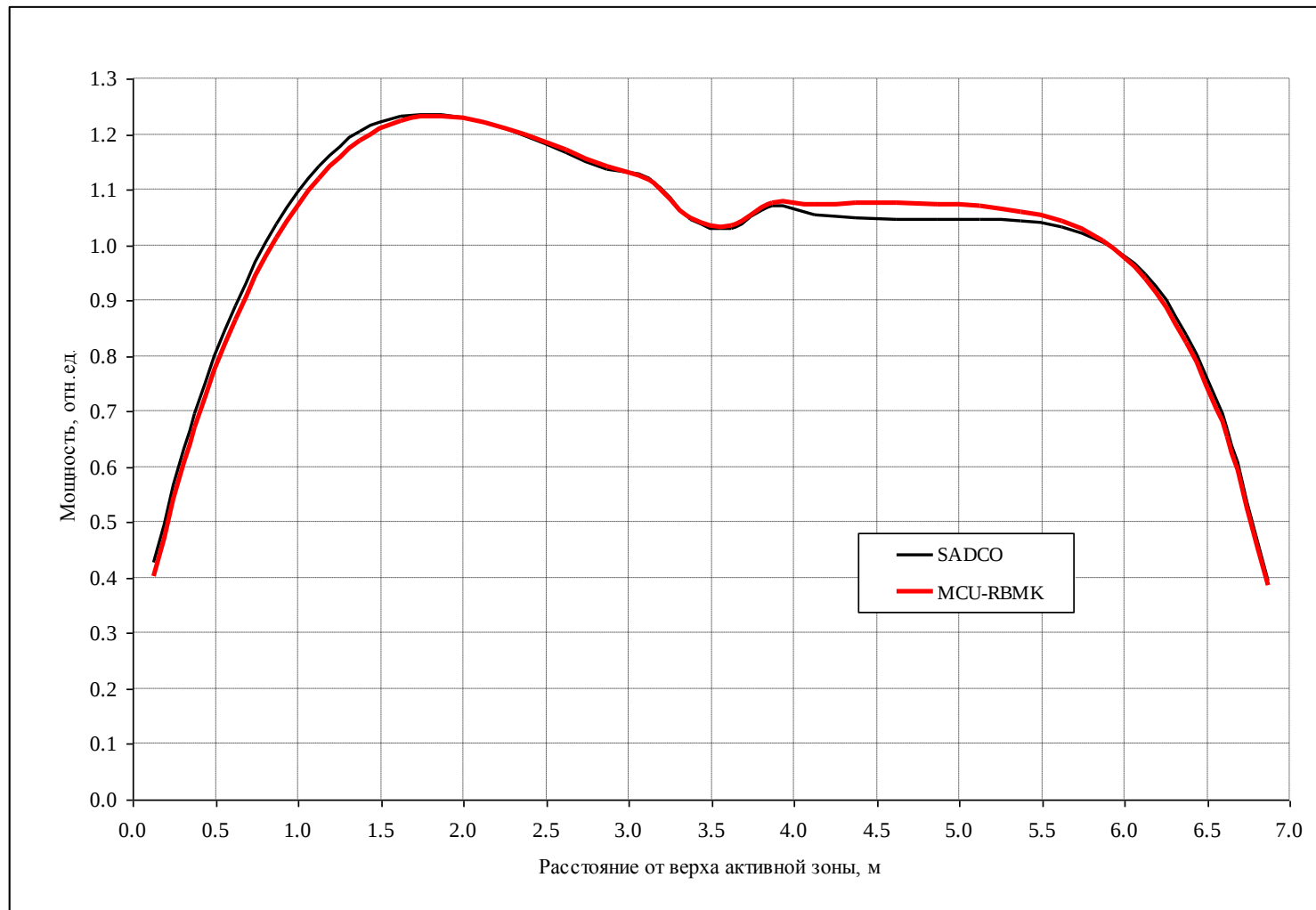
Элемент загрузки	Тип	Количество	Тип на картограмме
ТВС	2,8 % с эрбием	1639	4
СВ	-	6	16
Кластерный ДП	Сб. 2641.00.000	8	18

Элемент загрузки	Тип	Количество	Тип на карте
ТВС	2,8 % с эрбием	1639	4
СВ	-	6	16
Кластерный ДП	Сб. 2641.00.000	8	18
Кобальтовый ДП	Сб. 2365.00.000-05	8	20
Стержни АЗ	Сб. 2505.00.000	33	26
КРО	Сб. 2399.00.000	166	30
Стержни УСП	Сб. 2093.00.000	24	25

Распределение ТВС по выгоранию топлива в исходном состоянии



Среднее высотное распределение энерговыделения в ИСХОДНОМ СОСТОЯНИИ





В рассматриваемом состоянии (23.08.2018 г.) проведены измерения быстрого мощностного и парового коэффициентов реактивности.

Паровой коэффициент реактивности:

эксперимент - $(0,74 \pm 0,1) \beta_{эф}$,

расчет ПК MCU-RBMK - $(0,70 \pm 0,1) \beta_{эф}$,

расчет ПК SADCO - $(0,69 \pm 0,1) \beta_{эф}$.

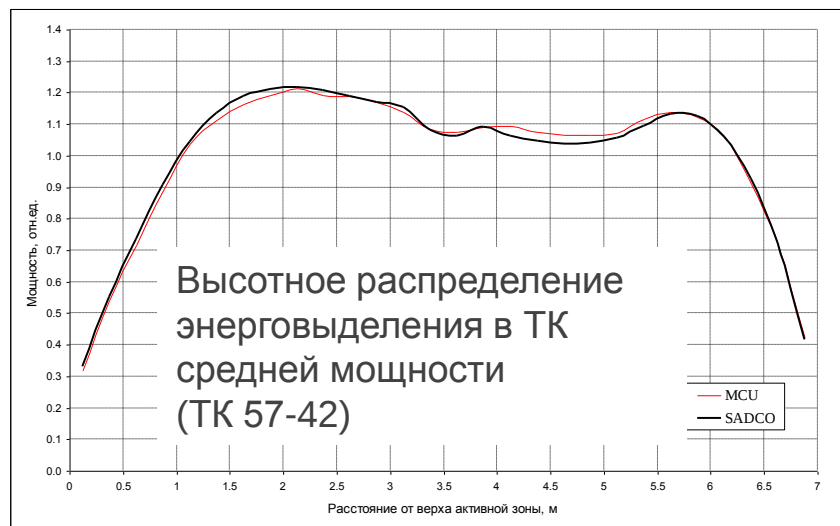
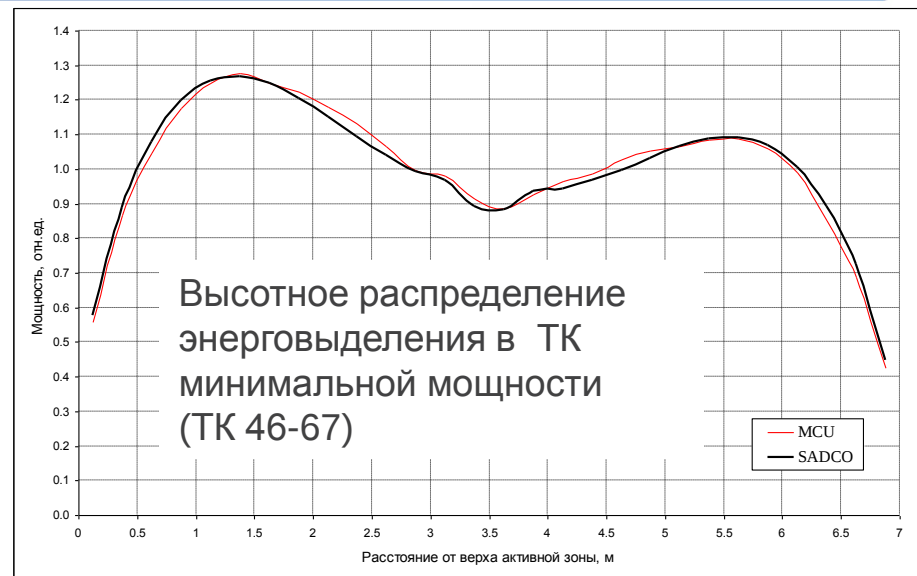
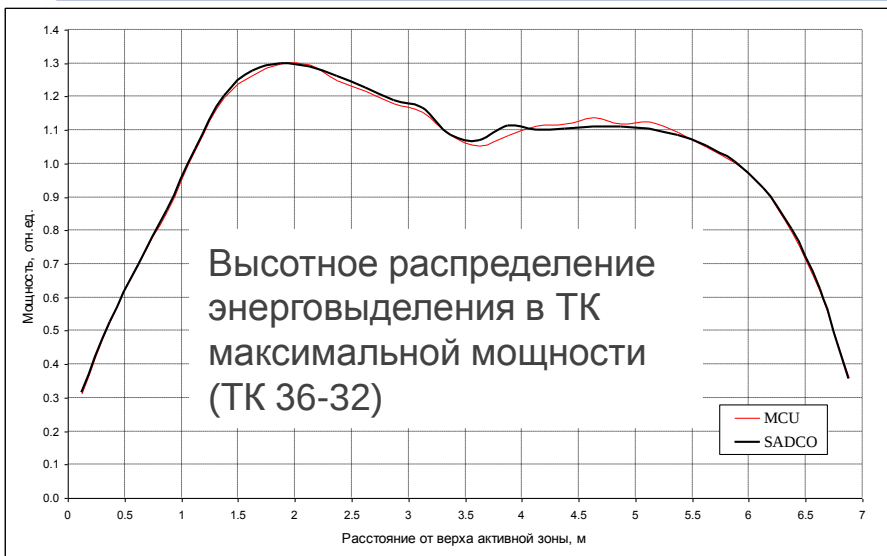
Быстрый мощностной коэффициент реактивности:

эксперимент - минус $(2,23 \pm 0,4) \cdot 10^{-4} b_{эф}/\text{МВт}$,

расчет ПК MCU-RBMK - минус $(2,67 \pm 0,3) \cdot 10^{-4} b_{эф}/\text{МВт}$,

расчет ПК SADCO - минус $(2,62 \pm 0,4) \cdot 10^{-4} b_{эф}/\text{МВт}$.

Высотное распределение энерговыделения в ТК



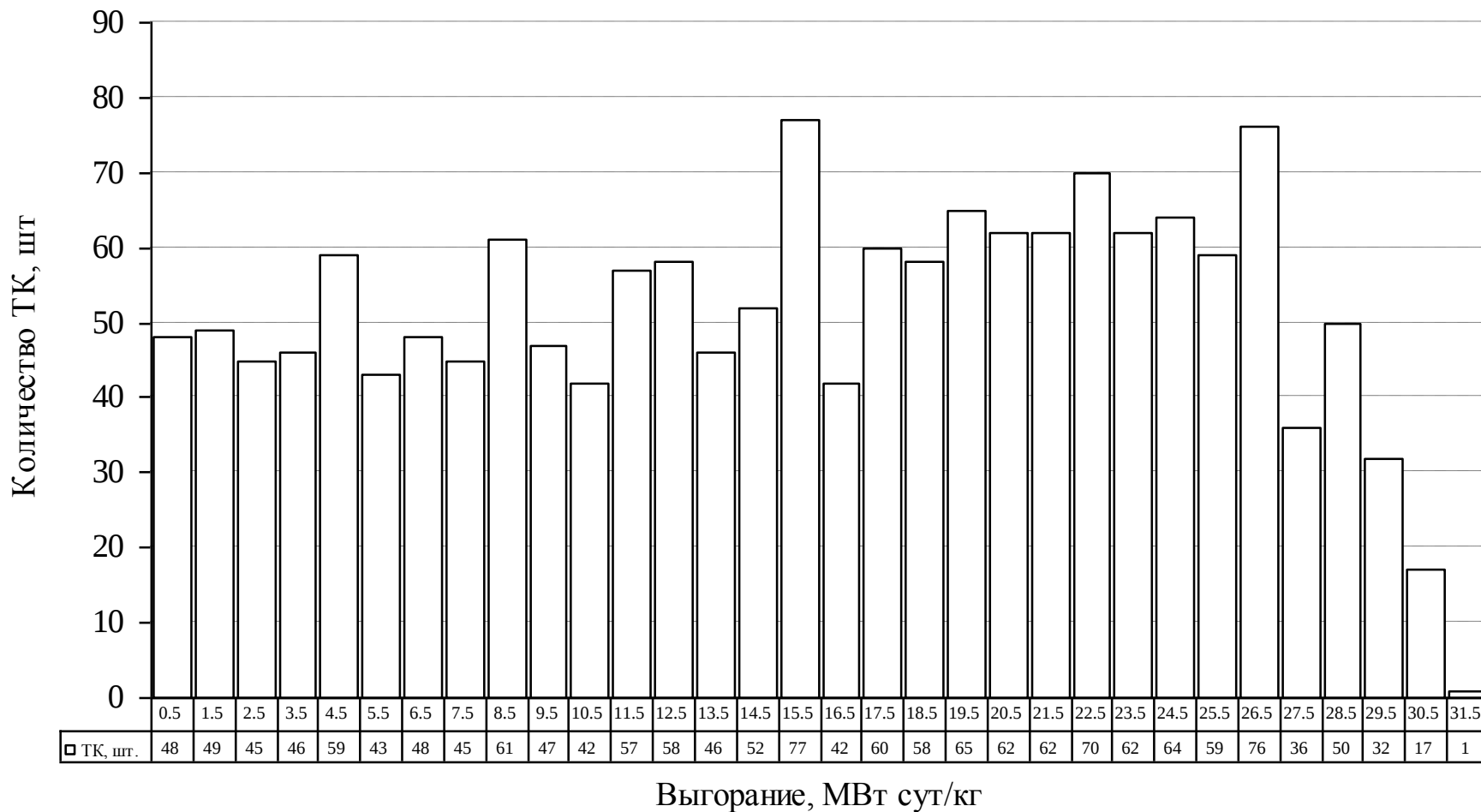
Результаты расчетов двумерного распределения энерговыделения (мощности ТК) по кодам MCU-RBMK и SADCO согласуются в пределах погрешности ПК SADCO - среднеквадратическое отклонение составляет 6 %. Среднеквадратическое отклонение максимальных мощностей ТК составляет 5 %.

НФХ реактора в исходном состоянии



Характеристики	MCU-RBMK	SADCO
Тепловая мощность реактора, МВт	3196	3196
$K_{эф}$	1,0007	0,9987
Коэффициент радиальной неравномерности энерговыделения	1,51	1,49
Коэффициент аксиальной неравномерности энерговыделения	1,23	1,23
Максимальная мощность ТК, МВт	2,94	2,90
Максимальная линейная нагрузка на твэл, Вт/см	313	298
Минимальный запас до кризиса теплообмена	-	1,16
Паровой коэффициент реактивности, $\beta_{эф}$	0,70	0,69
Быстрый мощностной коэффициент реактивности, $10^{-4} \beta_{эф}/\text{МВт}$	-2,67*	-2,62
Коэффициент реактивности по температуре топлива, $10^{-3} \beta_{эф}/^{\circ}\text{C}$	-2,62	-2,79
Коэффициент реактивности по температуре графита, $10^{-3} \beta_{эф}/^{\circ}\text{C}$	6,4*	5,81
Эффект обезвоживания КМПЦ, $\beta_{эф}$	0,42*	0,29
Эффект обезвоживания ТК с ТВС, $\beta_{эф}$	0,14*	0,01
Эффект реактивности при заполнении ТК с ТВС теплоносителем ($\gamma_{тн} = 0,78 \text{ г/см}^3$), $\beta_{эф}$	0,12	0,10
Эффект обезвоживания КОСУЗ, $\beta_{эф}$	0,73	0,72
Эффективность АЗ, $\beta_{эф}$	3,65	3,92
Эффективность АЗ без одного наиболее эффективного стержня, $\beta_{эф}$	3,29	3,28
Эффективность БСМ, $\beta_{эф}$	11,8	11,0
Оперативный запас реактивности, $\beta_{эф}$	4,04	3,99
Доля запаздывающих нейтронов ($\beta_{эф}$)	0,00565	0,00576
Подкритичность холодного разотравленного реактора, %	3,30	3,43
* С учетом систематической погрешности расчета ПК MCU-RBMK		

Распределение ТВС по выгоранию топлива в референтном состоянии



НФХ реактора в референтном состоянии



Характеристики	MCU-RBMK	SADCO
Тепловая мощность реактора, МВт	3196	3196
$K_{эф}$	1,0007	0,9970
Коэффициент радиальной неравномерности энерговыделения	1,50	1,50
Коэффициент аксиальной неравномерности энерговыделения	1,18	1,22
Максимальная мощность ТК, МВт	2,92	2,92
Максимальная линейная нагрузка на ТВЭЛ, Вт/см	295	303
Минимальный запас до кризиса теплообмена	-	1,12
Паровой коэффициент реактивности, $\beta_{эф}$	0,35	0,39
Быстрый мощностной коэффициент реактивности, $10^{-4} \beta_{эф}/\text{МВт}$	-3,20*	-2,31
Коэффициент реактивности по температуре топлива, $10^{-3} \beta_{эф}/^{\circ}\text{C}$	-2,73	-2,61
Коэффициент реактивности по температуре графита, $10^{-3} \beta_{эф}/^{\circ}\text{C}$	6,45*	7,17
Эффект обезвоживания КМПЦ, $\beta_{эф}$	0,37*	0,23
Эффект обезвоживания ТК с ТВС, $\beta_{эф}$	0,07*	-0,04
Эффект реактивности при заполнении ТК с ТВС теплоносителем ($\gamma_{тн} = 0,78 \text{ г/см}^3$), $\beta_{эф}$	0,14	0,18
Эффект обезвоживания КОСУЗ, $\beta_{эф}$	0,69	0,69
Эффективность АЗ, $\beta_{эф}$	3,61	4,04
Эффективность АЗ без одного наиболее эффективного стержня, $\beta_{эф}$	3,21	3,42
Эффективность БСМ, $\beta_{эф}$	11,5	11,3
Оперативный запас реактивности, $\beta_{эф}$	4,0	4,03
Доля запаздывающих нейтронов ($\beta_{эф}$)	0,00567	0,00571
Подкритичность холодного разотравленного реактора, %	3,1	3,21
* С учетом систематической погрешности расчета ПК MCU-RBMK		

0 – 200 – 500 – 800 – 1100 – 1635

Переход на полномасштабную загрузку ТВС-ПЧИ



Переход реактора на полномасштабную загрузку ТВС-ПЧИ осуществляется в процессе расчетного моделирования кампании реактора в режиме непрерывных перегрузок топлива на номинальном уровне мощности.

Планирование перегрузок топлива в ПК SADCO выполняет программный модуль REPLAN в соответствии с «Типовой методикой планирования перегрузок на АЭС с реакторами РБМК» РД ЭО 1.1.2.10.0732-2007.

В основе расчетного моделирования кампании – трехмерный нейтронно-теплогидравлический расчет реактора.

Расчет кампании реактора осуществляется в автоматическом режиме.

На каждом расчетном шаге кампании выбираются кандидаты на перегрузку – ТК, в которых выгорание топлива близко к максимальному значению, определяется количество перегружаемых ТК на данном шаге и величина временного шага, в течение которого реактор работает до следующей перегрузки.

Значение $K_{эф}$, величина оперативного запаса реактивности, высотное и радиальное распределение энерговыделения поддерживаются в соответствии с заданием.

В данной работе планирование перегрузок осуществляется с выравниванием радиального распределения выгорания топлива и энерговыделения в периферийных рядах активной зоны.

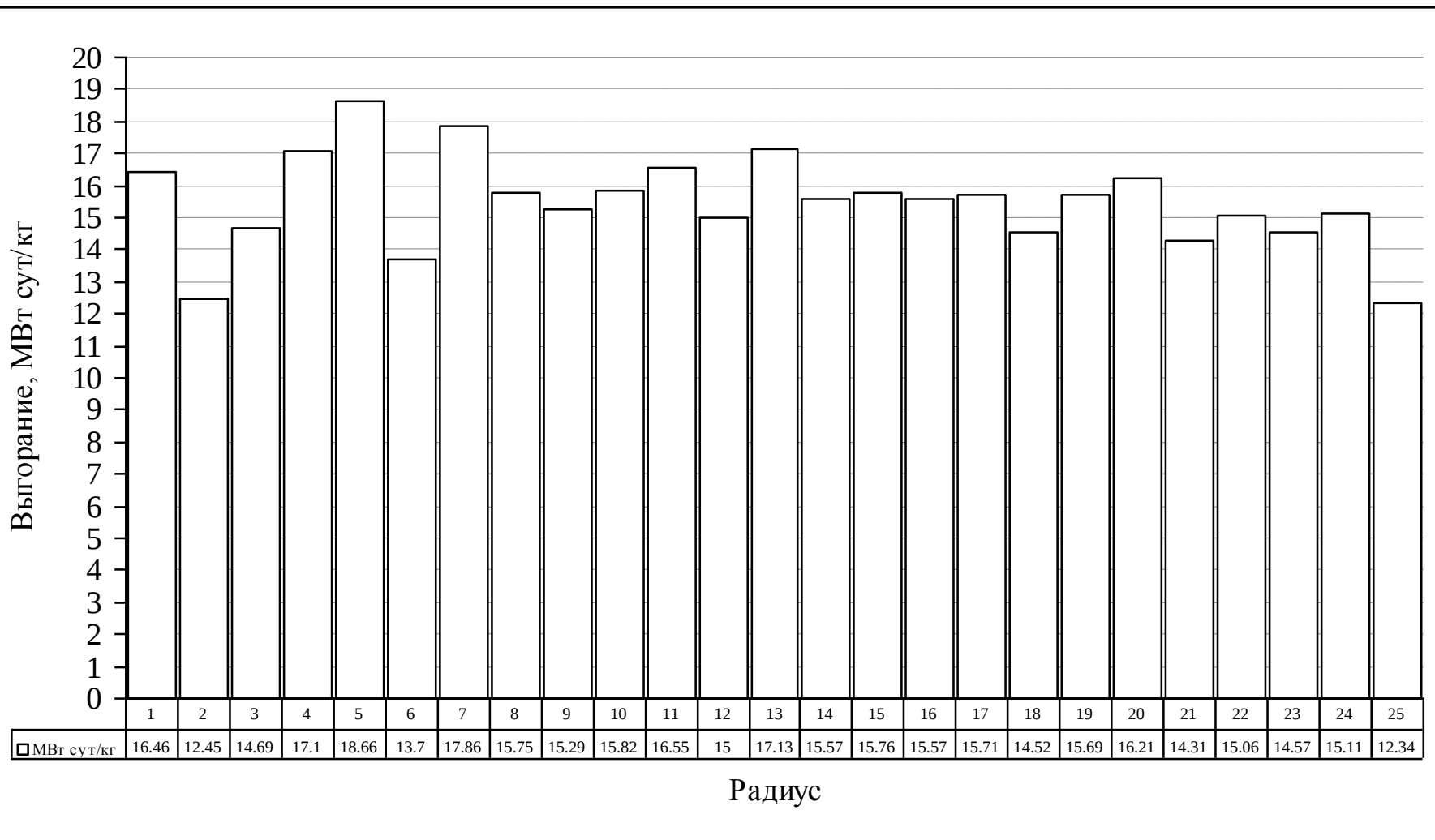
Поддержание необходимого распределения энерговыделения осуществляется в режиме автоматического регулирования стержнями РР и УСП системы БСМ.

Полномасштабная загрузка ТВС-ПЧИ



	10	11	12	13	14	15	16	17	20	21	22	23	24	25	26	27	30	31	32	33	34	35	36	37	40	41	42	43	44	45	46	47	50	51	52	53	54	55	56	57	60	61	62	63	64	65	66	67			
67																		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5																				67	
66															5	5	5	26	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	26	5	5	5	5																		66
65															5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5															65
64													5	30	5	5	5	30	5	5	5	25	5	5	5	30	5	5	5	25	5	5	30	5	5	5	30	5	5												64
63												5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	63	
62											5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5									62
61											5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	61		
60											5	30	5	5	5	30	5	5	5	26	5	5	5	30	5	5	5	26	5	5	5	30	5	5	5	26	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5				60	
57											5	5	5	5	5	5	5	5	5	18	5	5	5	5	5	5	5	5	18	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	57		
56											5	30	5	5	5	26	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	26	5	5	5	30	5	5				56	
55											5	5	5	5	5	5	5	5	20	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	55		
54											5	5	5	5	5	5	5	5	25	5	5	5	30	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	54		
53											5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	53		
52											5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	5	52
51											16	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	51		
50											5	5	30	5	5	5	26	5	5	5	30	5	5	5	26	5	5	5	5	30	5	5	5	26	5	5	5	30	5	5	5	26	5	5	5	30	5	5	5	50	
47											5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	47		
46											5	26	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	26	5	5	46
45											5	5	5	5	5	5	5	5	5	20	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45		
44											5	5	5	25	5	5	5	30	5	5	5	25	5	5	5	30	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	44		
43											5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	43		
42											5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	42			
41											5	5	5	5	5	5	5	5	5	20	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	41			
40											5	5	5	30	5	5	5	26	5	5	5	30	5	5	5	26	5	5	5	30	5	5	5	26	5	5	5	30	5	5	5	26	5	5	5	30	5	5	5	40	
37											5	5	5	5	5	5	5	5	5	16	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	37			
36											5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	36			
35											5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	35			
34											5	5	5	25	5	5	5	30	5	5	5	25	5	5	5	30	5	5	5	25	5	5	5	30	5	5	5	25	5	5	5	30	5	5	5	25	5	5	5	34	
33											5	5	5	5	5	5	18	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	33			
32											5	26	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	26	5	32		
31											5	5	5	5	5	5	16	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	31			
30											5	5	30	5	5	5	26	5	5	5	30	5	5	5	26	5	5	5	30	5	5	5	26	5	5	5	30	5	5	5	26	5	5	5	30	5	5	5	30		
27											5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	27			
26											5	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	26			
25											5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	25			
24											5	30	5	5	5	30	5	5	5	25	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	24			
23											5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	23			
22											5	5	30	5	5	5	26	5	5	5	30	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	22			
21											5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	21			
20											5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	30	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	20			
17											5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	17			
16											16	5	30	5	5	5	30	5	5	5	5	5																													

Распределение ТВС по выгоранию топлива с ПМЗ ТВС-ПЧИ



НФХ реактора ПМЗ ТВС-ПЧИ

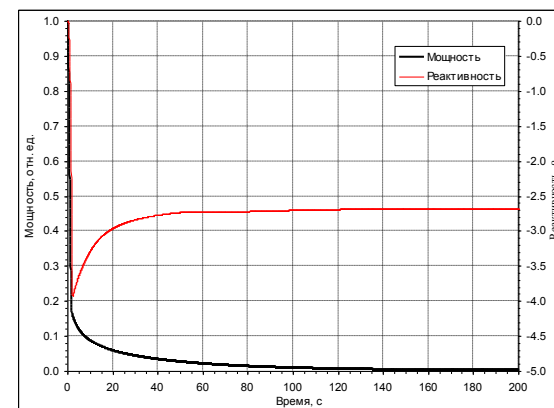


Характеристики	MCU-RBMK	SADCO
Тепловая мощность реактора, МВт	3200	3200
$K_{эф}$	1,0008	0,9970
Коэффициент радиальной неравномерности энерговыделения	1,45	1,41
Коэффициент аксиальной неравномерности энерговыделения	1,15	1,18
Максимальная мощность ТК, МВт	2,84	2,76
Максимальная линейная нагрузка на твэл, Вт/см	316	312
Минимальный запас до кризиса теплообмена	-	1,13
Паровой коэффициент реактивности, $\beta_{эф}$	0,35	0,34
Быстрый мощностной коэффициент реактивности, $10^{-4} \beta_{эф}/\text{МВт}$	-2,65*	-2,37
Коэффициент реактивности по температуре топлива, $10^{-3} \beta_{эф}/^{\circ}\text{C}$	-2,62	-2,59
Коэффициент реактивности по температуре графита, $10^{-3} \beta_{эф}/^{\circ}\text{C}$	6,50*	7,32
Эффект обезвоживания КМПЦ, $\beta_{эф}$	0,64*	0,45
Эффект обезвоживания ТК с ТВС, $\beta_{эф}$	0,21*	0,07
Эффект реактивности при заполнении ТК с ТВС теплоносителем ($\gamma_{тн} = 0,78 \text{ г/см}^3$), $\beta_{эф}$	0,02	0,13
Эффект обезвоживания КОСУЗ, $\beta_{эф}$	0,65	0,66
Эффективность АЗ, $\beta_{эф}$	3,48	3,87
Эффективность АЗ без одного наиболее эффективного стержня, $\beta_{эф}$	2,89	2,94
Эффективность БСМ, $\beta_{эф}$	11,3	11,2
Оперативный запас реактивности, $\beta_{эф}$	4,08	4,09
Доля запаздывающих нейтронов ($\beta_{эф}$)	0,00566	0,00571
Подкритичность холодного разотравленного реактора, %	3,10	3,18
* С учетом систематической погрешности расчета ПК MCU-RBMK		

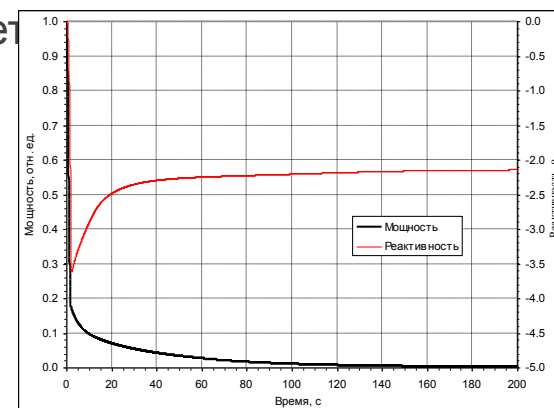
Моделирование режимов заглушения и удержания реактора при срабатывании систем АЗ и БСМ



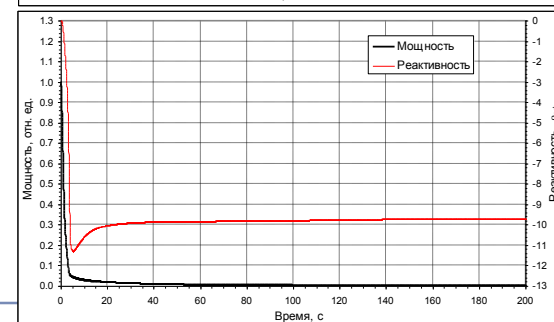
Подкритичность реактора после срабатывания РО АЗ (установившееся значение реактивности) после отработки быстрого мощностного эффекта реактивности составляет:
2,46 $\beta_{эф}$ (исходное состояние),
2,68 $\beta_{эф}$ (референтное состояние),
2,67 $\beta_{эф}$ (состояние с ПМЗ ТВС-ПЧИ).



Подкритичность реактора после срабатывания РО АЗ с учетом отказа одного наиболее эффективного органа составляет:
2,14 $\beta_{эф}$ (исходное состояние),
2,35 $\beta_{эф}$ (референтное состояние),
2,28 $\beta_{эф}$ (состояние с ПМЗ ТВС-ПЧИ).



Подкритичность реактора после срабатывания РО БСМ и отработки быстрого мощностного эффекта составляет:
9,7 $\beta_{эф}$ (исходное состояние),
10,1 $\beta_{эф}$ (референтное состояние),
10,6 $\beta_{эф}$ (состояние с ПМЗ ТВС-ПЧИ).

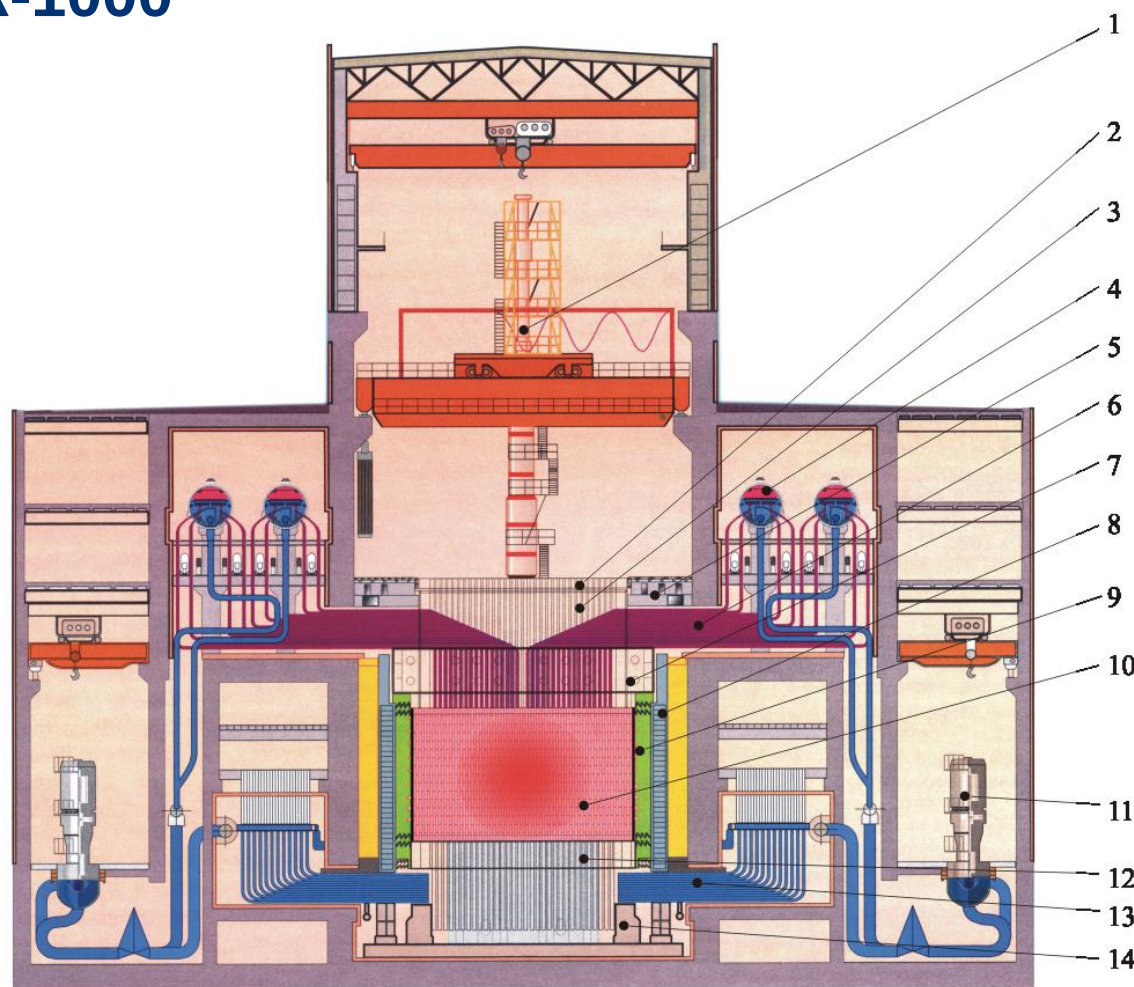


Заключение



- Проведен анализ влияния полномасштабной загрузки ТВС-ПЧИ на нейтронно-физические характеристики реактора РБМК-1000. Анализ выполнен в результате сравнения характеристик реактора в трех состояниях: в исходном, в референтном состоянии с ПМЗ ТВС-ПЧИ и в состоянии, полученном в процессе поэтапной загрузки ТВС-ПЧИ.
- Результаты анализа нейтронно-физических характеристик позволяют сделать следующие выводы.
- 1) Изменения нейтронно-физических характеристик реактора при переходе на полномасштабную загрузку ТВС-ПЧИ невелики и находятся в пределах изменений этих характеристик в процессе эксплуатации, в т.ч. запас реактивности, эффективность систем остановки АЗ и БСМ, эффекты реактивности при обезвреживании КМПЦ, коэффициенты реактивности по температуре топлива и графита, эффективная доля запаздывающих нейтронов, подкритичность реактора.
- 2) Паровой коэффициент реактивности в референтном состоянии при переходе на полномасштабную загрузку ТВС-ПЧИ уменьшается на $0,35 \beta_{эф}$ и составляет $(0,35 \pm 0,1) \beta_{эф}$. Паровой коэффициент реактивности находится вблизи нижней границы регламентного диапазона $(0,3 - 0,8) \beta_{эф}$.
- Нейтронно-физические характеристики реактора находятся в эксплуатационных диапазонах. Ядерная безопасность реактора в процессе перехода на полномасштабную загрузку с регенерированным топливом с повышенным содержанием четных изотопов урана обеспечивается.

РБМК-1000



Реактор РБМК-1000 первого поколения: 1 – разгрузочно-загрузочная машина (РЗМ); 2 – плитный настил; 3 – тракты технологических каналов; 4 – барабан-сепаратор (БС); 5 – верхнее перекрытие (Сх. Г); 6 – пароводяные коммуникации (ПВК); 7 – верхняя биологическая защита (Сх. Е); 8 – водяная защита (Сх. Л); 9 – боковая биологическая защита (Сх. КЖ); 10 – активная зона реактора; 11 – главный циркуляционный насос (ГЦН); 12 – нижняя биологическая защита (Сх. ОР); 13 – нижние водяные коммуникации (НВК); 14 – опорная металлоконструкция (Сх. С).



РОСАТОМ

Спасибо за внимание!