

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ РЕАКТОРА СМ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЕ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЫГОРАНИЯ ТОПЛИВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ

В.А. Старков*, Ю.Б. Чертков**

**ОАО «ГНЦ НИИАР», г. Димитровград*

***Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск*



Приводится описание расчетной модели активной зоны реактора СМ, созданной на основе программы MCU-RR2. Заложенный в программе подход к заданию исходных данных позволяет детально описать геометрические характеристики и учесть гетерогенность структуры активной зоны реактора, проводя потвальный расчет энерговыделения. Программная надстройка к коду MCU-RR2 позволяет моделировать перемещение органов регулирования в процессе кампании, определять распределение энерговыделения по твэлам активной зоны без применения методов усреднения (гомогенизации), коэффициенты неравномерности распределения энерговыделения по ячейкам реактора, по сечению и высоте ТВС, плотность теплового потока с поверхности твэлов и запас до кризиса теплообмена.

Ключевые слова: энерговыделение, плотность теплового потока, тепловыделяющая сборка (ТВС), коэффициент неравномерности распределения энерговыделения, орган регулирования, плотность потока нейтронов.

Key words: power density, thermal flux density, fuel assembly (FA), coefficient of power density distribution non-uniformity, control units, neutron flux density.

ВВЕДЕНИЕ

Тенденция на продление ресурса действующих энергоблоков и улучшение их топливного цикла стала преобладающей для атомной энергетики страны. Вместе с тем сохраняется интерес к новым разработкам, среди которых важное место отводится усовершенствованным водо-водяным реакторам с увеличенным ресурсом [1]. В связи с этим большое значение приобретает решение задачи по обоснованию работоспособности материалов, облученных до больших флюенсов быстрых нейтронов в воде высоких параметров. Основной целью модернизации активной зоны высокотемпературного реактора СМ является обеспечение ускоренных высокодозных облучений в контролируемых условиях конструкционных материалов ядерной техники. Эта цель достигается перекомпоновкой активной зоны ре-

© В.А. Старков, Ю.Б. Чертков, 2011

актора, когда в объеме активной зоны с жестким спектром нейтронов вместо части топлива размещаются дополнительные петлевые и ампульные каналы облучения [2].

Активная зона реактора СМ имеет сложную гетерогенную структуру и высокую плотность потока тепла с поверхности твэлов, до 15 МВт/м^2 (среднее значение по периметру твэла). Большие значения коэффициентов неравномерности распределения энерговыделения ($K_f \sim 5.6$) приводят к тому, что максимальные значения плотности потока тепла реализуются при наличии поверхностного кипения на твэлах. Именно это определяет эксплуатационные запасы и теплотехническую надежность активной зоны при работе реактора на номинальной мощности. Для высоконапряженной активной зоны реактора СМ с глубоким недогревом теплоносителя одним из основных факторов, ограничивающих мощность твэла, является кризис теплоотдачи. Создание большого запаса до кризиса ухудшает физические характеристики реактора, а незначительный запас при возможных колебаниях мощности и расхода теплоносителя может вызвать перегрев твэлов и создание аварийной ситуации. Для твэлов с необлученным топливом наиболее опасен кризис теплоотдачи первого рода с образованием пленки пара вокруг теплоотдающих поверхностей. Опасность этой ситуации заключается в том, что ввиду малой постоянной времени твэла и малой теплоемкости, а также из-за наличия высоких тепловых нагрузок происходит практически мгновенный разогрев твэла. В течение нескольких долей секунды возможно расплавление не только топливной матрицы ($T_{пл} \sim 1000^\circ\text{C}$), но и оболочки твэла ($T_{пл} \sim 1400^\circ\text{C}$). При этом в теплоноситель может выйти большое количество радионуклидов. Для твэлов с выгоревшим топливом при нормальных условиях работы вероятность кризиса теплоотдачи снижается, так как в топливной композиции уменьшается содержание делящегося нуклида и тепловые нагрузки на них заметны ниже. С другой стороны, в процессе выгорания топлива из-за ухудшения свойств материалов происходит постепенное снижение допустимой температуры сердечника твэлов. В случае ее превышения также возможна разгерметизация твэла. Радиационные последствия в данном случае гораздо серьезнее, так как в теплоноситель попадают уже долгоживущие радионуклиды, накопленные в топливе в процессе эксплуатации.

Все это обуславливает актуальность и важность задачи детального (потвэльного) учета гетерогенной структуры активной зоны при определении энерговыделения и его распределения по твэлам для обоснования компоновочных решений, изменения структуры активной зоны при проведении ее модернизации. Ситуацию осложняет наличие профилирования расхода теплоносителя по ячейкам активной зоны. Решение этой задачи приводит к необходимости определять значение энерговыделения практически в каждом из более чем шести тысяч твэлов реактора.

Трудности принципиального характера при экспериментальном определении максимального энерговыделения связаны с невозможностью моделирования на физмодели реактора всего многообразия распределения топлива (выгорания) в активной зоне реактора при использовании режима частичных перегрузок топлива, в то время как значение выгорания в ТВС ближайшего окружения сборки с необлученным топливом во многом определяет максимальное значение плотности теплового потока в ней.

Таким образом, задача может быть решена созданием прецизионной программы расчета энерговыделения, детально учитывающей гетерогенную структуру активной зоны реактора, и ее соответствующим тестированием на экспериментальных данных.

Для таких потвальных расчетов нейтронных потоков и энерговыделения был выбран код MCU-RR2 [3]. Программы серии MCU предназначены для решения уравнения переноса нейтронов методом МонтеКарло на основе оцененных ядерных данных для систем с произвольной трехмерной геометрией. Они позволяют корректно учесть все геометрические и материальные особенности активной зоны, размещение в ней твэлов и рассчитать энерговыделение в каждом из них.

Для расчета реактивностных характеристик ядерных реакторов при использовании кодов этой серии часто применяют метод частичной гомогенизации, что позволяет сократить необходимые ресурсы памяти компьютера, время счета без существенных потерь точности при их определении [4]. Однако применение гомогенизации снижает достоверность определения плотности теплового потока с поверхности твэлов. Особенностью данной полномасштабной модели является то, что она наряду с детальным описанием геометрии активной зоны, центрального замедляющего блока, отражателя и элементов, входящих в их состав, позволяет провести потвальный расчет поля энерговыделения в активной зоне в процессе выгорания топлива без применения методов гомогенизации.

Задачами расчета реактора с помощью модели являются определение значений плотности потока тепла с поверхности твэлов, поиск твэлов с максимальными значениями этой величины и, с учетом распределения расхода теплоносителя по сборкам, нахождение значений коэффициентов запаса до кризиса теплообмена для обоснования компоновочных решений активной зоны реактора СМ при проведении ее модернизации. Следует отметить, что область применения подходов, использованных при разработке программы, и самой программы гораздо шире и не ограничивается решением задач только по одному реактору СМ.

ОПИСАНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ РЕАКТОРА СМ

Упрощенная блок-схема расчетной модели реактора СМ показана на рис. 1.

В программе используются два блока кода MCU-RR2:

- MCU_{стац} для расчета стационарного состояния реактора (определяется эффективный коэффициент размножения нейтронов и различные функционалы нейтронного потока в регистрационных зонах, в том числе плотности потока нейтронов и скорости реакций деления);
- BURNUP для расчета нуклидного состава материальных зон, изменяющегося при выгорании топлива в процессе кампании.

Для обработки результатов расчета программы MCU_{стац} создана вспомогательная программа, основанная на некотором стандартном представлении регистрационных зон, описывающих все твэлы реактора (программа ОБРАБОТКА). Программа ОБРАБОТКА определяет значения мощности каждого из твэ-

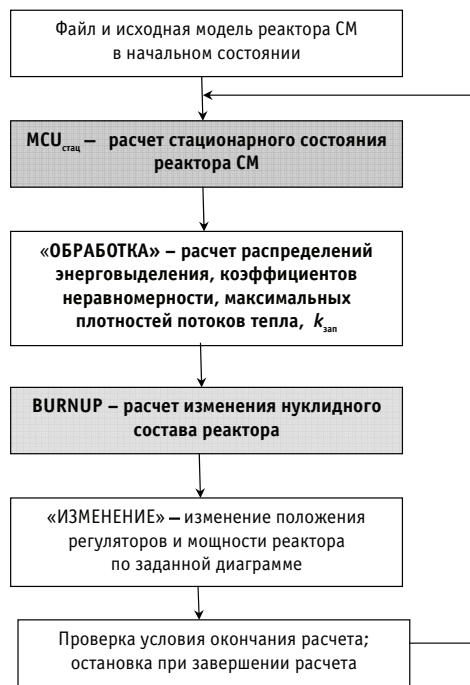


Рис. 1. Блок-схема работы расчетной модели реактора СМ (серым цветом выделены стандартные блоки программы MCU-RR2)

лов реактора СМ, коэффициенты неравномерности распределения энерговыделения по ячейкам реактора, по сечению каждой из ТВС, максимальные по каждой из сборок плотности потока тепла с поверхности наиболее напряженных твэлов, значения коэффициентов запаса до кризиса теплообмена для каждой из ТВС (в соответствии с заданным гидропрофилированием расхода теплоносителя).

Для расчета критического значения плотности потока тепла с поверхности твэлов были использованы различные корреляции, применяемые для режимов работы твэла СМ [5, 6].

Для учета неравномерности распределения энерговыделения по высоте активной зоны были использованы результаты материаловедческих исследований двух облученных в реакторе СМборок с различным содержанием U-235 в твэлах: 5 и 6 г U-235 в твэле (условно обозначим ТВС № 1 и № 2 соответственно) [7–9]. В результате обработки большого, статистически значимого объема полученных экспериментальных данных было показано, что относительное распределение продуктов деления и энерговыделения по высоте твэлов определяется средним выгоранием топлива в твэле, а от местоположения твэла в сборке и начальной загрузки U-235 зависит незначительно [10]. Последнее позволяет связать значения коэффициентов неравномерности распределений продуктов деления и энер-

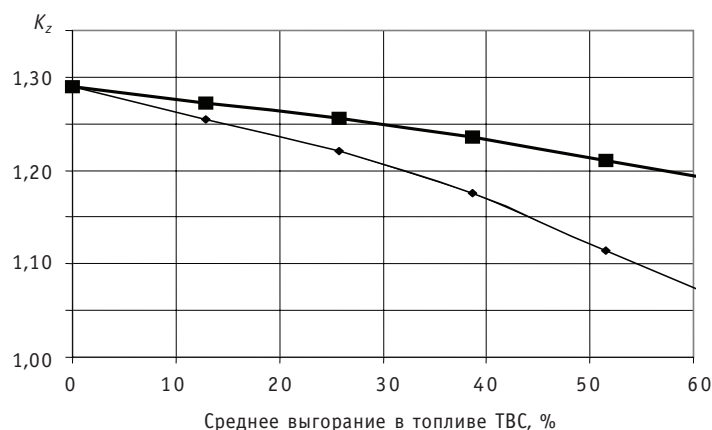


Рис. 2. Зависимости коэффициентов K_z (нижняя кривая) и коэффициента неравномерности распределения продуктов деления K_{zb} (верхняя кривая) от глубины выгорания в топливе ТВС: ■ – K_z (энерговыделение); ♦ – K_{zb} (продукты деления)

говыделения по высоте твэлов со средним значением выгорания в ТВС. Соответствующие зависимости представлены на рис. 2.

Таким образом, при расчете теплотехнических параметров (программа ОБРАБОТКА) неравномерность энерговыделения по высоте твэлов учитывается введением коэффициента K_z , определенного по аппроксимационной зависимости от выгорания топлива в ТВС (см. рис.2). Данное упрощение является консервативным и может приводить лишь к некоторому завышению максимальных значений энерговыделения в напряженных твэлах с наибольшим значением выгорания топлива.

Вместе с тем это позволило в созданной расчетной модели не вводить дополнительно множество материальных зон для описания изменяющегося изотопного состава по высоте твэлов. Каждый твэл описывался одной материальной зоной. Регистрационные зоны по высоте твэлов вводились только для расчета аксиальных распределений плотности потока нейтронов и энерговыделения.

В активной зоне реактора СМ находится ~ 6000 твэлов. Используемое в расчет-

ной модели число регистрационных зон составляет до 7000 зон (с учетом дополнительного количества зон для определения (при необходимости) высотных распределений энерговыделения и описания экспериментальных каналов отражателя и центрального замедляющего блока). Для описания материального состава активной зоны используется от 50 до 200 материальных зон, состав которых может меняться при выгорании топлива.

Для расчета кампании реактора была сделана дополнительная надстройка к программному комплексу – вспомогательная программа, которая в определенные моменты кампании изменяет положение органов регулирования в расчетной модели и значение мощности реактора (программа ИЗМЕНЕНИЕ) (см. рис.1).

Особенностью расчета реактора по программе MSU является статистический характер получаемого результата, при котором погрешность расчета определяется числом разыгрываемых историй нейтронов и, в конечном счете, временем расчета одного состояния реактора. При расчете на компьютере с тактовой частотой 2 ГГц и числом разыгрываемых историй 5–10 миллионов время расчета одного состояния составляет от двух до четырех часов. При этом статистическая погрешность расчета энерговыделения находится в диапазоне от 2 до 3%.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ МОДЕЛИ

В качестве экспериментальных данных для сравнения были использованы результаты измерений выгорания топлива по сечению двух топливных сборок [7–9], облучавшихся в активной зоне СМ и отличающихся как режимом облучения, так и загрузкой урана в твэлах (ТВС №1 с загрузкой 5 г урана-235 в твэле и ТВС №2 – 6 г урана-235).

При расчетном моделировании истории облучения ТВС на каждом шаге по времени разыгрывалось до 50 миллионов историй нейтронов. При этом статистическая погрешность определения энерговыделения в твэле составила менее 2%. Для экспериментального определения абсолютных значений выгорания топлива был

Таблица 1

Основные параметры ТВС № 1 (числитель) и ТВС №2 (знаменатель) в процессе облучения

№ кампании	Мощность, МВт	Максимальное выгорание, %	Среднее выгорание, %	K_k , отн. ед.	K_{kb} , отн. ед.
1	4.01/4.00	8.07/11.22	3.62/6.15	2.39/1.89	2.23/1.83
2	3.60/3.07	9.06/21.70	4.05/12.22	2.1.8434	2.24/1.78
3	3.72/2.77	19.58/32.00	8.82/18.38	2.30/1.76	2.22/1.74
4	3.71/2.93	29.48/39.30	13.56/23.03	2.20/1.65	2.17/1.71
5	3.44/2.66	30.31/42.88	13.98/25.15	2.08/1.58	2.17/1.67
6	3.53/2.10	39.68/47.88	18.69/29.66	2.06/1.44	2.12/1.59
7	3.60/2.29	48.26/51.08	23.28/33.13	1.95/1.30	2.07/1.55
8	3.21/2.35	56.70/53.37	28.13/35.92	1.81/1.25	2.01/1.48
9	3.26/2.02	62.56/55.14	31.86/38.33	1.64/1.22	1.96/1.44
10	3.07/2.14	68.68/55.40	36.08/38.62	1.54/1.18	1.90/1.44
11	2.95/	73.99/	40.11/	1.45/	1.84/

разработан и аттестован эталонный образец выгорания, представляющий собой фрагмент твэла, вырезанный из зоны максимума распределения ПД. Его характеристики: нуклидный состав тяжелых атомов и продуктов деления были получены с помощью масс-спектрометрического анализа двух образцов-свидетелей, взятых по обеим сторонам от эталонного образца с последующим усреднением полученных данных. Погрешность экспериментального определения среднего выгорания в твэле – 6%.

В таблице 1 представлены общие результаты моделирования облучения ТВС №1 и №2 (K_k , K_{kb} – коэффициенты неравномерности распределения по сечению ТВС для усредненных по высоте энерговыделения и продуктов деления; выгорание определено как убыль U-235 за счет деления и захвата по отношению к его содержанию в необлученном топливе).

На рисунке 3 показано расчетное распределение выгорания топлива по сечению сборки № 1 на момент окончания облучения (жирным шрифтом отмечены твэлы, выгорание в которых определено также и экспериментально (рис.4).

74,0	70,8	69,1	68	67,1	66,1	65,0	63,8	62,5	61,0	59,4	58,2	57,8
58,5	55,6	54,0	53,0	52,1	51,4	50,6	49,9	49,2	48,6	48,4	49,0	
53,4	49,1	46,8	45,5	44,7	44,0	43,5	43,1	42,8	42,6	42,8	43,7	46,2
46,8	43,5	41,8	40,9	40,3	39,9	39,6	39,4	39,4	39,6	40,5	42,6	
46,9	42,5	40,2	39,0	38,4	38,0	37,7	37,6	37,6	37,7	38,4	39,9	43,4
42,7	39,6	38,0	37,3	36,9	36,7	36,6	36,5	36,5	36,9	37,9	40,3	
44,1	39,8	37,6	36,6	36,2	36,0	35,8	35,8	35,7	35,8	36,4	37,9	41,5
40,6	37,7	36,3	35,7	35,4	35,3	35,2	35,1	35,1	35,3	36,2	38,5	
42,5	38,2	36,2	35,3	35,0	34,8	34,7	34,6	34,6	34,6	35,1	36,5	39,9
39,5	36,6	35,3	34,7	34,4	34,3	34,2	34,1	34,1	34,4	35,2	37,4	
41,6	37,5	35,5	34,5	34,1	33,9	33,8	33,8	33,8	33,9	34,4	35,8	39,3
38,8	36,0	34,6	33,9	33,6	33,5	33,4	33,4	33,5	33,8	34,8	37,1	
40,6	36,8	34,9	33,9	33,4	33,2	33,1	33,1	33,1	33,4	34,0	35,5	38,9
38,0	35,5	34,2	33,5	33,2	33,0	32,9	33,0	33,1	33,5	34,4	36,6	
39,7	36,8	35,3	34,6	34,1	33,9	33,7	33,6	33,6	33,7	34,2	35,4	38,2

Рис. 3. Расчетное распределение выгорания в твэлах ТВС № 1 (среднее по высоте), %

73,2	70,2	66,5			63,5			59,4	59,3	60,9	
45,9					34,8						44,3
43,7											43,7
43,4			32,4		31,1			31,7			42,7
41,4					30,8						40,2
42,4	38,2	36,0			33,0			34,5	36,2	39,9	

Рис. 4. Экспериментальное распределение выгорания в ТВС № 1, %

На рисунке 4 показаны аналогичные данные, полученные экспериментально [7– 9].

На рисунке 5 показано полученное в результате расчетного моделирования распределение выгорания по сечению сборки №2 на конец облучения (жирным шрифтом отмечены твэлы, выгорание в которых определено также и экспериментально (рис. 6).

55,4	53,4	51,6	50,4	49,4	48,4	47,6	46,8	46,1	45,5	45,0	45,2	47,3
45,9	43,1	41,5	40,4	39,6	38,9	38,4	38,1	37,8	37,7	38,1	39,8	
44,6	40,2	37,9	36,6	35,8	35,2	34,8	34,6	34,4	34,4	34,8	36,2	39,8
40,5	37,2	35,5	34,6	34,0	33,6	33,3	33,3	33,3	33,6	34,5	37,1	
42,9	38,1	35,8	34,5	33,9	33,5	33,2	33,1	33,1	33,2	33,8	35,5	39,7
40,2	36,8	35,1	34,3	33,8	33,6	33,4	33,3	33,4	33,6	34,7	37,4	
43,4	38,4	36,1	35,0	34,4	34,1	33,9	33,7	33,7	33,8	34,4	36,2	40,5
40,9	37,5	35,8	35,1	34,7	34,4	34,3	34,2	34,2	34,6	35,6	38,4	
44,5	39,4	37,1	36,0	35,4	35,1	34,9	34,8	34,8	35,0	35,6	37,4	41,8
42,2	38,7	37,1	36,3	35,9	35,7	35,5	35,5	35,6	36,0	37,1	40,0	
45,8	40,9	38,6	37,4	36,8	36,5	36,2	36,2	36,2	36,5	37,3	39,2	43,5
43,7	40,4	38,7	37,9	37,4	37,1	36,9	36,9	37,1	37,6	38,9	41,7	
47,1	42,6	40,3	39,2	38,5	38,1	37,8	37,8	37,8	38,2	39,0	40,9	44,9
45,3	42,4	40,9	40,1	39,6	39,2	39,0	39,0	39,3	39,8	40,9	43,4	
48,8	45,2	43,6	42,7	42,1	41,7	41,4	41,3	41,4	41,6	42,2	43,6	46,6

Рис. 5. Расчетное распределение выгорания в твэлах ТВС № 2(среднее по высоте), %

57,9	54,4	52,0	51,0	50,1	48,5	48,4	46,5	46,2	47,2	47,3	48,2	51,4
					39,9	39,5						
46,5												43,1
42,8												41,1
				32,4		32,1	31,5					
43,0		32,9	32,4	32,1	31,4	31,5	31,9					41,9
44,2		34,4	33,1	32,4	32,2	32,4	32,7					42,4
			34,2	33,5	33,5							
45,4												42,9
47,1												44,9
					38,2	38,2						
49,2	45,1	42,9	41,9	41,1	41,0	41,1	40,9	40,7	41,4	42,0	43,2	46,9

Рис. 6. Экспериментальное распределение выгорания в ТВС № 2, %

На рисунке 6 приведены аналогичные данные, полученные в результате измерений в работах [7–9].

Результаты статистического анализа расчетных и экспериментальных данных показали их удовлетворительное согласие между собой (табл. 2):

- величина $r = B_{\text{эксп}} - B_{\text{расч}}$ (разность между экспериментальными и расчетными данными) распределена по нормальному закону (уровень значимости $\alpha = 0.05$);
- среднее значение $\langle r \rangle = m$ незначительно отличается от нуля;
- расхождение между расчетными и экспериментальными данными носит случайный характер, наличие систематической (например, методической в расчете) ошибки на соответствующем уровне значимости не выявлено;
- последовательные формулировки нуль-гипотез о виде регрессионной зависимости $B_{\text{эксп}} (B_{\text{расч}})$ с последующей проверкой по критериям Фишера и Пирсона

Таблица 2

Результаты сравнения расчетных и экспериментальных данных

Параметр	Значение для ТВС		Размерность
	№ 1	№ 2	
Параметры распределения			
$r = B_{\text{эксп}} - B_{\text{расч}}$			
– объем выборки	27	60	%
– среднее значение (m)	–0.13	–0.29	%
– оценка дисперсии (s^2)	3.8	2.4	%
– СКО	1.9	1.6	%
– критерий χ^2 на проверку нормальности распределения	6.9 (7.8) ⁽¹⁾	3.3 (7.8) ⁽¹⁾	отн.ед.
– t -критерий на значимость отличия m от нуля	–0.36 (2.06) ⁽¹⁾	–1.45 (2.00) ⁽¹⁾	отн.ед.
Параметры уравнения регрессии			
– β	0.995	0.991	отн.ед.
– СКО (β)	$9.0 \cdot 10^{-3}$	$5.0 \cdot 10^{-3}$	отн.ед.
– остаточная дисперсия	0.099	0.064	%
– множественный коэффициент корреляции R	0.98	0.97	отн.ед.

⁽¹⁾ – критическое значение

(рассматривались различные сочетания параметров кубической параболы) показали, что уравнение регрессии с наименьшим числом параметров, адекватно описывающее связь экспериментальных и расчетных данных, имеет вид $B_{\text{эксп}} = \beta B_{\text{расч}}$;

- сильная корреляционная связь между $B_{\text{эксп}}$ и $B_{\text{расч}}$ ($\beta \approx 1$, см. табл.2) является следствием зависимости случайных величин $B_{\text{эксп}}$ и $B_{\text{расч}}$ между собой и достаточно высокой точностью определения выгорания топлива обоими способами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Разработана полномасштабная модель высокопоточного реактора с использованием программы MCU-RR для детального расчета энерговыделения и плотности теплового потока с поверхности твэлов. Изложен методический подход к разработке модели, основанный на использовании экспериментальных данных по измерению аксиальных коэффициентов неравномерности распределения энерговыделения и продуктов деления в твэлах. Это позволило оптимизировать использование памяти ПЭВМ с целью детализации описания структуры активной зоны.

- Проведено тестирование модели на статистически значимом объеме экспериментальных данных по выгоранию топлива. Получено удовлетворительное согласие результатов расчета и эксперимента.

- Примененные методические подходы к разработке модели могут быть использованы при решении аналогичных задач для расчета высоконапряженных ядерных источников энергии с ограниченными запасами теплотехнической надежности элементов.

Литература

1. Солонин М.И. Требования к материалам и технологиям нового поколения. Перспективы их создания/Сб. докладов IV Научно-практической конференции минатома РФ «Использование достижений фундаментальных исследований в ядерных технологиях». – М., 2003.
2. Цыканов В.А., Святкин М.Н., Клинов А.В., Старков В.А. Модернизация активной зоны реактора СМ для решения задач материаловедения//Атомная энергия. – 2003. – Т. 93. – № 3. – С.167.

3. Гомин Е.А., Гуревич М.И., Майоров Л.В., Марин С.В. Описание применения и инструкция для пользователя программой MCSU-RFFI расчета методом МонтеКарло нейтроннофизических характеристик ядерных реакторов/Препринт ИАЭ-5837/5. – М.: ИАЭ, 1994.
4. Ванеев Ю.Е., Марихин Н.Ю., Старков В.А. Использование имитатора IMCOR_SM в исследованиях по обоснованию модернизации активной зоны реактора СМ//Сб. трудов ОАО «ГНЦ НИИАР». Вып. 4. – Димитровград, 2009. – С. 3-20.
5. Бобров С.Н., Грачев А.Ф., Махин В.М., Спиридонов Ю.Г. Изучение поведения твэлов реактора СМ в режиме кризиса теплоотдачи//Сб. докладов Международной конференции «Теплофизические аспекты безопасности ВВЭР». «Теплофизика-98». Т. 1. Обнинск: ФЭИ, 1998. – С. 441-417.
6. Грошева Н.А., Кирсанов Г.А., Коноплев К.Л., Шишкина Ж.А. Расчет активной зоны с твэлами крестообразного сечения//Атомная энергия. 2003. – Т. 95. – Вып. 1.
7. Цыканов В.А., Дворецкий В.Г., Косвинцев Ю.Ю. и др. Материаловедческие исследования отработавшего топлива ИЯРСМ в обоснование концепции модернизации активной зоны/Сб. докладов VII Российской конференции по реакторному материаловедению. Т. 2, ч. 2 – Димитровград, 2003. – С. 40-55.
8. Цыканов В.А., Четчикова З.И., Новоселов А.Е., Старков В.А. и др. Оценка работоспособности твэлов СМ с увеличенным содержанием урана/Сб. докладов международной конференции «Исследовательские реакторы в XXI в.» (21-24 июня 2006, Москва, НИКИЭТ).
9. Цыканов В.А., Четчикова З.И., Старков В.А., Чертков Ю.Б. и др. Основные результаты исследований твэлов реактора СМ с повышенным содержанием урана/Сб. трудов ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР». Вып. 3. – Димитровград, 2005. – С. 3-20.
10. Старков В.А., Чертков Ю.Б., Бестужева И.В., Чекалкин С.И. Влияние выгорания топлива на распределение энерговыделения и продуктов деления в ТВС реактора СМ//Сб. трудов ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР». Вып. 4. – Димитровград, 2004. – С. 35-45.

Поступила в редакцию 1.10.2010

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 539.17

Modified CASCADEX 1.2 Software for Spallation Reaction Calculation \A.A. Andrianov, A.Yu. Konobeev, Yu.A. Korovin, I.S. Kuptsov, A.Yu. Stankovskiy; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 12 pages, 7 tables, 2 illustrations. – References, 15 titles.

The paper describes an improved version software system CASCADEX 1.2 designed to calculating high-energy spallation reactions. Improvements included latest version TALYS 1.2 code integration, double-differential cross-sections light nuclei (p, n, d, t, ^3He , ^4He) emission calculation module implementation, based on moving source model, cluster formation process accounting. The article also describes Interactive Media IViS CASCADEX, providing an opportunity for multiple-criteria serial calculations, meaningful choice of model parameters on the results of quantitative comparison with experiment, and includes a wide range of processing and presentation calculation results. The results, based on developed software, for constant improvement goal is shown.

УДК 621.039.51

The Determination of Reactor Control and Safety System Regulating Units Efficiency and Active Zone Skewness of Kalinin NPP Third Unit \V.A. Lititsky, B.V. Kutin, V.A. Tereshonok, V.A. Pitilimov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 7 pages, 2 tables, 3 illustrations. – References, 1 title.

This article describes measurement techniques of reactor control and safety system regulating units efficiency and active zone skewness during first criticality of Kalinin nuclear power plant third unit.

УДК 621.039.62

Electricity Generation System Small Nuclear Power Plant Using High Effective Low Temperature Thermionic Process \P.A. Maslov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 10 pages, 4 tables, 7 illustrations. – References, 10 titles.

Considered of a small nuclear power plant AIST-MP and the proposed bases design solutions for the construction of electricity power generating elements and channels. Proposed a method for equalizing the temperature of collectors EGC height EGE. Calculations of the characteristics EGC with a dynamic feed of cesium vapor, is confirmed the high efficiency of energy conversion, which is comparable with the efficiency of nuclear power plants on the basis of turbomachine conversion cycle.

УДК 621.039.517

The SM Reactor Calculation Model and Its Testing Results when Evaluating Fuel Burnup and Fission Products Distribution \V.A. Starkov, Y.B. Chertkov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 9 pages, 2 tables, 6 illustrations. – References, 10 titles.

This paper presents the description of SM reactor core calculation model developed on the MCU-RR2 base. The approach to the initial data assignment allows the geometric characteristics to be described in details and the reactor core structure heterogeneity to be taken into account, power density calculation being done for each fuel element. The MCU-RR2 add-ons code allows modeling the movement of the control rods during a reactor run as well as determining the distribution of power density throughout fuel elements without application of averaging (homogenizing) methods. Coefficients of power density distribution non-uniformity throughout reactor cells, FA profile and height, thermal flux density on fuel elements surface and critical power ratio can be determined as well.