Использование выгорающих поглотителей в реакторе ПИК.

Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”

Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова

Н. С. Жихарева[1], М. С. Онегин[1]

[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Гатчина

Описание модели

Твэл реактора ПИК имеет длину активной части 500 мм и крестообразное сечение (рис.1). Сердечник твэла содержит диоксид урана 90% обогащения, диспергированный в медно-бериллиевой матрице. Номинальное содержание ^{235}U в одном твэле составляет 8,57 г (в профилированном твэле 4,11 г). Холостая часть твэла длиной по 9,15 мм с каждого конца имеет такое же сечение, что и активная часть, но сердечник твэла не содержит топлива. Концевые части твэла в области с постепенно уменьшающимся поперечным сечением при переходе к цилиндрической ножке описываются гомогенно. Они имеют форму шестигранника с размером под ключ 5,23 мм и высотой 30,85 мм с обоих концов твэла.Каждый твэл в активной части содержит топливный сердечник –топливо (UO_2+(Cu+0.6%Be)), концевик сердечника твэла из бериллиевой бронзы (Cu+0.3%Be) и оболочку из нержавеющей стали. Площадь поперечного сечения твэла в модели S = 10,46 мм^2. Оболочка твэла имеет толщину 0,15 мм.

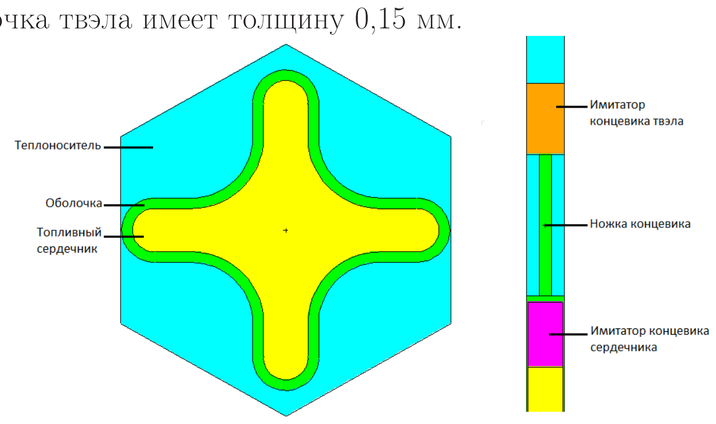

Рис.1 Поперечный разрез твэла и продольный разрез концевиков.

В активной зоне устанавливаются два вида ТВС – четырехгранная и шестигранная. Шестигранная ТВС содержит 241 твэл, а четырехгранная - 161 (рис. 2). Материал теплоносителей (замедлителей) в моделях ячейках ТВС – легкая вода. Так же моделируются имитаторы верхнего и нижнего концевиков. В ТВС также располагаются стержни вытеснители (или стержни выгорающего поглотителя), имеющие форму полуцилиндра. Кожух ТВС и вытеснители выполнены из стали. В шестигранной ТВС расположено 6 вытеснителей или 6 стержней выгорающего поглотителя (СВП), а в четырехгранной – 14 (или 12 СВП и 2 вытеснителя). В первом ряду шестигранной ТВС распложены профилированные твэлы. Стержни выгорающего поглотителя представляют собой полуцилиндры. В качестве материала выгорающего поглотителя был выбран порошок смеси оксидов $ZrO_2+20\%Y_2O_3+5,2\%Gd_2O_3$. Основным поглощающим элементом являются изотопы гадолиния ^{155}Gd (14,73%) и ^{157}Gd (15,68%), с сечениями 60900•10^{28}м^2 и 254000•10^{28}м^2, соответственно. Общее содержание гадолиния в одном СВП 0,7 грамм. Толщина кожуха ТВС 0,5 см.

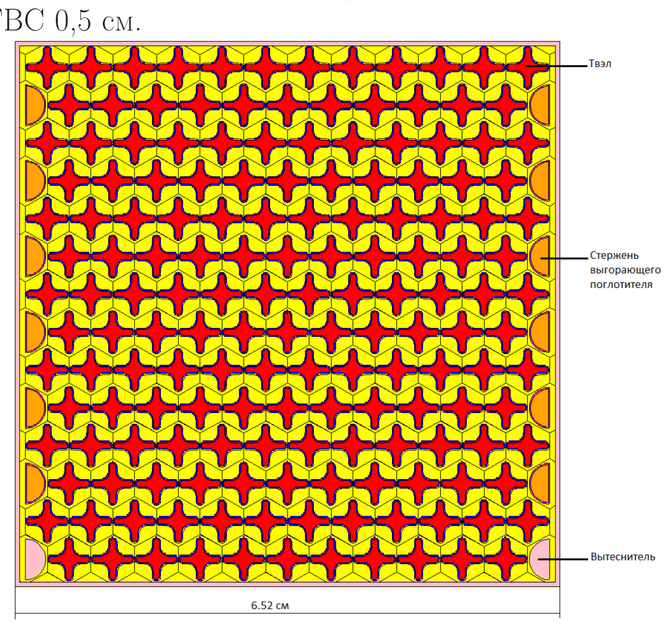

Рис.2 Модель четырехгранной ТВС реактора ПИК с 12 стержнями выгорающего поглотителя и 2 вытеснителями.

Геометрия активной зоны позволяет разместить во внутреннем периметре – шесть 6-гранных ТВС, во внешнем периметре – шесть 4-гранных и шесть 6-гранных ТВС. (рис.3) Внутри корпуса активной зоны расположена направляющая центрального регулятора, которая представляет собой правильный шестигранник, выполненный из сплава Э-125. В центре активной зоны расположен компенсатор реактивности, выполненные из металлического гафния. Направляющие верхней и нижней шторки выполнены из стали, тяга верхней шторки выполнены из сплава Э-125. Внутренняя полость активной зоны заполнена водой. Корпус представлен набором двух стальных составных труб (с зазором между ними) окружающих активную зону. Снаружи корпуса расположен тяжеловодный отражатель.

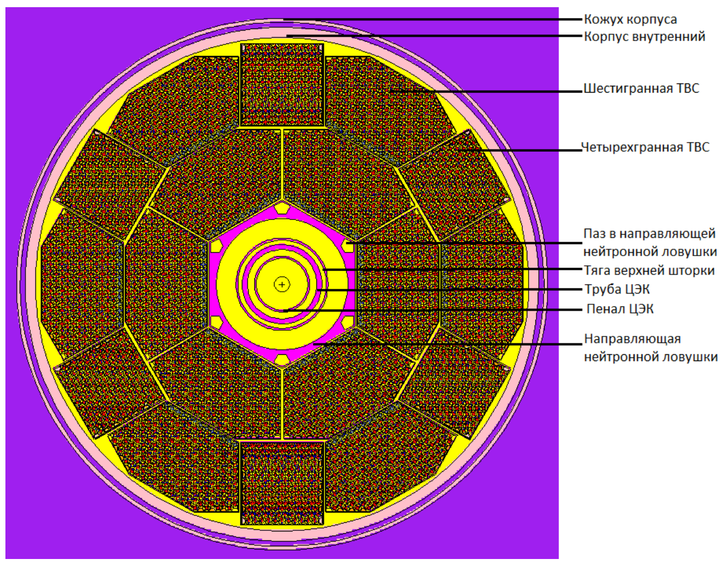

Рис.3 Модель активной зоны реактора ПИК (поперечный разрез).

Результаты

Рассчитан коэффициент размножения в зависимости от времени для двух вариантов конструкции активной зоны (рис.4). В первом случае на месте СВП были расположены только стержни вытеснители из циркониевого сплава Э-125, во втором случае использовались СВП в шестигранных ТВС и СВП и два стальных стержня вытеснителя из стали 12Х18Н10Т в четырехгранных ТВС.

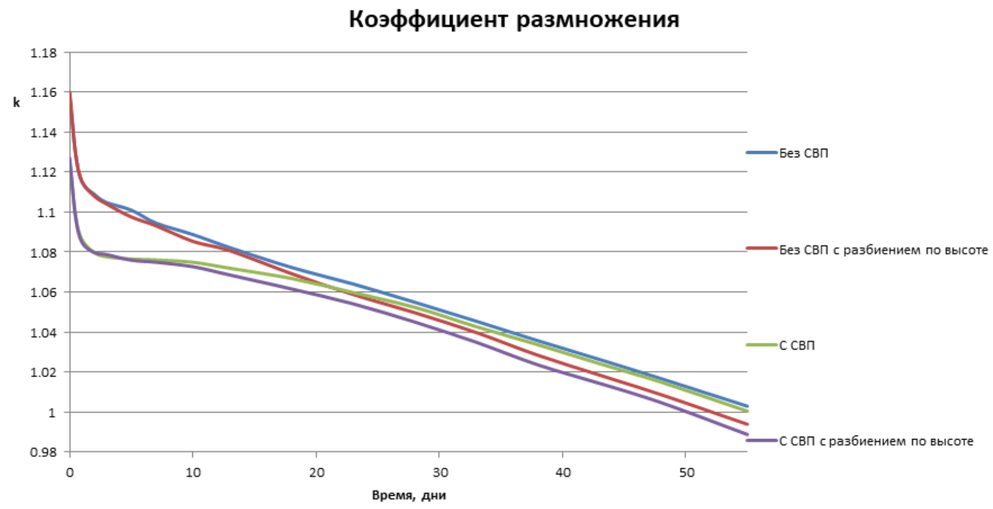

Рис. 4 Коэффициент размножения в зависимости от времени.

При расчете с разбиением по высоте твэла и выгорающего поглотителя, они разбивались по высоте на 10 участков. При разделении по высоте четырехгранной ТВС и ее элементов реактивность снижается, так как выгорание топлива центральных зонах выше, чем в крайних, поэтому снижается количество более ценных нейтронов, что и приводит к уменьшению реактивности.

Для уменьшения реактивности в начале кампании реактора можно использовать выгорающий поглотитель в виде стержня из циркониевого сплава с добавлением бора (с природным обогащением по ^{10}B), который расположен в шестигранных ТВС. Площадь поперечного сечения стержня 18,62 мм^2. Расположение стержней представлено на рисунке 5.

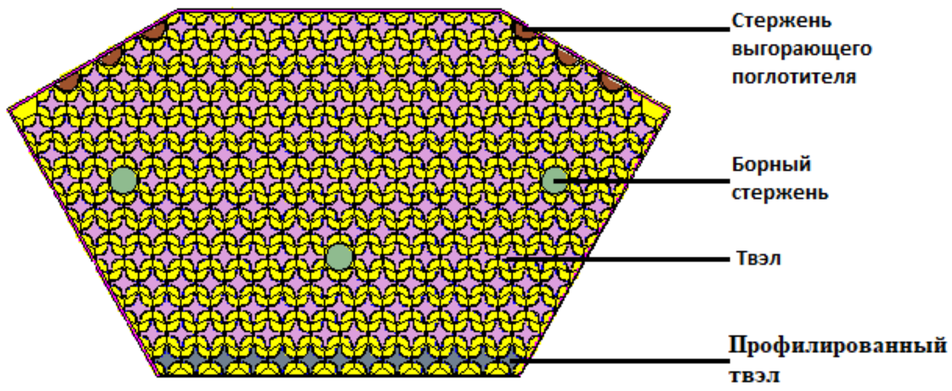

Рис. 5 Поперечный разрез шестигранной ТВС с СВП и борными стержнями.

Рассмотрены варианты с различным содержанием бора в стержне обогащения борного стержня по B. В таблице представлен коэффициент размножения в начале кампании реактора при разной концентрации бора в одном стержне.

Массовая доля бора,%	Масса бора в одном стержне, г	Коэффициент размножения
5	2,84	$1,0870 \pm 0,0009$
10	5,68	$1,0766 \pm 0,0009$
20	10,39	$1,0660 \pm 0,0004$

Рассчитан коэффициент размножения в зависимости от времени для новой конструкции активной зоны со стержнями бора в ТВС (рис.6). Выбрана концентрация бора 20

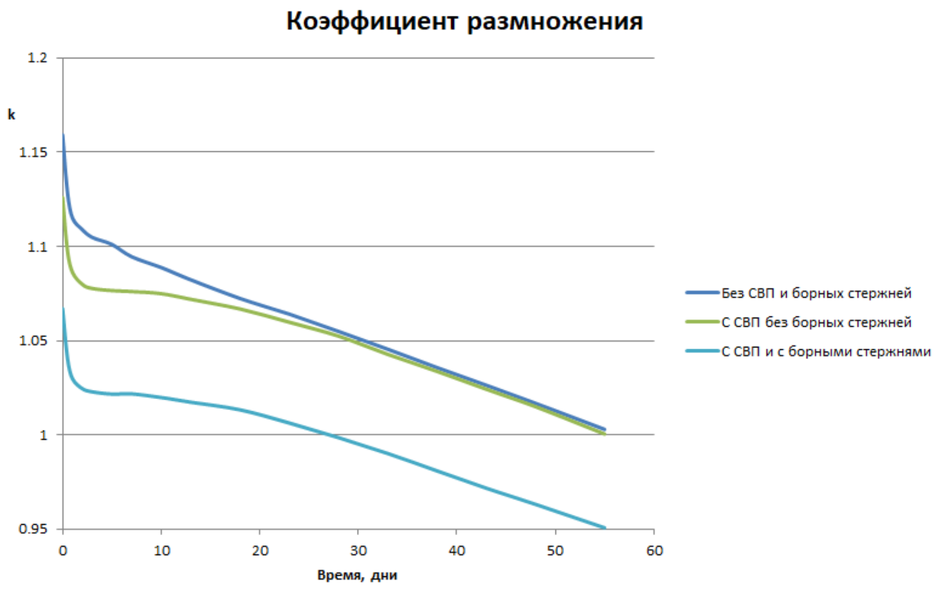

Рис. 6 Коэффициент размножения в зависимости от времени.

Вывод

Реактивность в начале кампании без использования выгорающих поглотителей составляет $13,78 \pm 0,05\%$. Вес же центральных регуляторов реактивности (гафниевых шторок) в начале кампании составляет 6-8%. Расчет коэффициента размножения показал, что использование выгорающих поглотителей вместо вытеснителей позволяет снизить реактивность в начале кампании на $2,60 \pm 0,05\%$, но этого недостаточно. Использование борных стержней позволяет снизить реактивность еще на $4,90 \pm 0,04\%$. Использование борных стержней уменьшает время кампании реактора примерно в 2 раза, так что бор не полностью выгорает в процессе кампании.Требуется использовать режим частичных перегрузок во время эксплуатации реактора для увеличения степени выгорания бора.