

## РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ КРИТИЧЕСКОГО СТЕНДА ФКБН-3

*Гуменных Эдуард Алексеевич (otd4@expd.vniief.ru), Кайгородов Алексей Анатольевич,  
Клоков Сергей Сергеевич, Пашарина Ольга Юрьевна, Финогеев Сергей Васильевич*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Создана расчетная модель критического стенда ФКБН-3 в экспериментальном зале. При помощи этой модели расчетным путем на примере размножающей системы с активной зоной из  $^{235}\text{U}$ (36%) без отражателя оценено влияние отдельных частей комплекса ФКБН-3 и опор для размещения блоков размножающей системы на стенде ФКБН-3 на критические параметры РС.

**Ключевые слова:** расчетная модель, размножающая система, опоры для размещения блоков, комплекс ФКБН-3, эффективный коэффициент размножения нейтронов.

## DEVELOPMENT OF A CALCULATED MODEL OF CRITICAL TEST BENCH FKBN-3

*Gumennykh Eduard Alekseevich (otd4@expd.vniief.ru), Kajгородov Aleksey Aleksandrovich,  
Klokov Sergey Sergeevich, Pasharina Olga Yurievna., Finogeev Sergey Vasilievich*

FSUE «RFNC-VNIIEF», Sarov Nizhny Novgorod region

There was created a calculated model of critical test bench FKBN-3 in the experimental hall. With the aid of this model there was estimated by calculation – on the base of a multiplying system with bare core of  $^{235}\text{U}$ (36 %) – the effect on critical parameters of the multiplying systems of separate parts of FKBN-3 and supports designed to arrange the multiplying systems blocks on FKBN-3.

**Key words:** calculated model, multiplying system, supports designed to arrange blocks, FKBN-3 facility, effective multiplication factor.

Во ВНИИЭФ имеется комплекс ФКБН-3 для проведения критмассовых исследований с различными размножающими системами (РС) [1]. По результатам экспериментов формируется расчетная модель исследованной РС [2]. Для учета влияния на размножающие параметры РС частей экспериментального оборудования в расчетной модели необходимо определить оптимальную степень детализации составляющих стенда ФКБН-3 в экспериментальном зале.

Влияние частей комплекса ФКБН-3 и опор для размещения блоков РС на стенде ФКБН-3 на величину  $K_{\text{эфф}}$  оценивалось расчетно для экспериментальной исследованной РС с активной зоной (АЗ) из  $^{235}\text{U}$ (36 %) без отражателя [3] при симметричном (рис. 1) и несимметричном (рис. 2) разбиении на нижний блок (НБ) и верхний блок (ВБ):

$$\Delta K_{\text{эфф} i} = K_{\text{эфф} i} - K_{\text{эфф баз}}, \quad (1)$$

где  $\Delta K_{\text{эфф} i}$  – влияние какой-либо части комплекса ФКБН-3 или опоры на значение  $K_{\text{эфф}}$  для сферизованной модели РС (модель, в которой отсутствуют стены, пол, потолок экспериментального зала, части комплекса ФКБН-3 и опоры для размещения блоков РС, а НБ совмещен с ВБ) (рис. 3);  $K_{\text{эфф} i}$  – значение  $K_{\text{эфф}}$  для модели РС при добавлении какой-либо части комплекса ФКБН-3 или опоры;  $K_{\text{эфф баз}}$  – значение  $K_{\text{эфф}}$  для сферизованной модели РС.

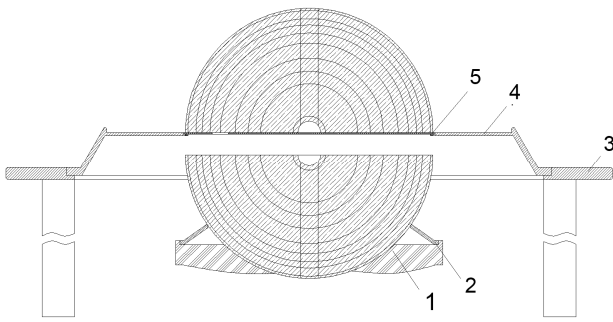


Рис. 1. Эскиз РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$  (36 %), размещенной на стенде ФКБН-3 при симметричном разбиении на НБ и ВБ: 1 – подставка под конфорку НБ; 2 – конфорка НБ; 3 – подставка под конфорку ВБ; 4 – конфорка ВБ; 5 – диафрагма

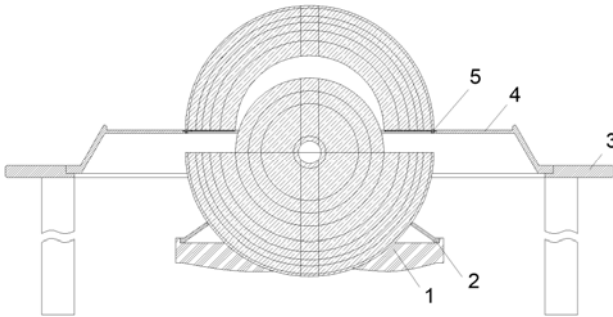


Рис. 2. Эскиз РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$  (36 %), размещенной на стенде ФКБН-3 при несимметричном разбиении на НБ и ВБ: 1 – подставка под конфорку НБ; 2 – конфорка НБ; 3 – подставка под конфорку ВБ; 4 – конфорка ВБ; 5 – диафрагма

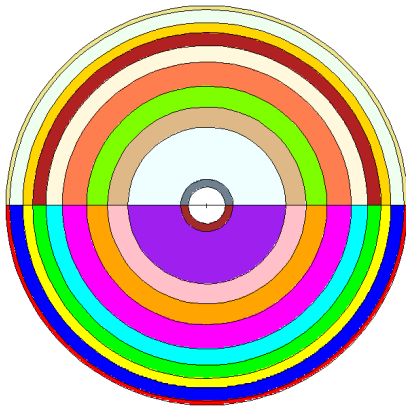


Рис. 3. Сферизованная модель РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$  (36%)

Расчеты проводились методом Монте-Карло [4] с использованием библиотек ядерно-физических констант ENDF/B-6 [5], ENDF/B-8, JENDL-4, БАС. Оптимальное количество разыгранных историй принято равным 50000 для обеспечения абсолютной погрешности расчета  $\Delta K_{\text{расч}}$  на уровне 0,00005.

Для сферизованной модели РС [3] было получено значение  $K_{\text{эфф баз}} = 0,99343 \pm 0,00005$ . Для того

чтобы определить степень влияния стен, пола и потолка экспериментального зала на величину  $K_{\text{эфф}}$  сферизованную модель РС помещали в расчетную модель экспериментального зала установки ФКБН-3 [6]. В результате расчетов было получено значение  $K_{\text{эфф}} = 0,99388 \pm 0,00005$  ( $\Delta K_{\text{эфф стен}} = 0,00045$ ).

Далее к сферизованной модели РС добавлялись модели следующих частей комплекса ФКБН-3 (рис. 4 и рис. 5): система перемещения источника нейтронов (СПИН), устройство дистанционной сборки и разборки (УДСР), электромеханический стенд, детекторная стойка, механизм дистанционной загрузки (МДЗ), ограждения, мостовой кран.

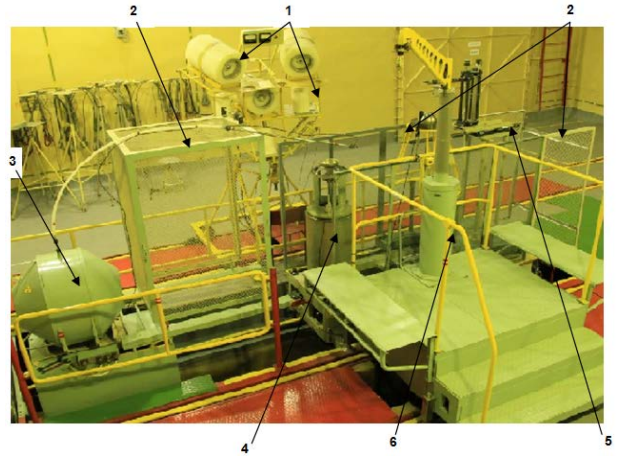


Рис. 4. Критический стенд ФКБН-3 в экспериментальном зале: 1 – детекторная стойка; 2 – ограждения; 3 – СПИН; 4 – электромеханический стенд; 5 – механизм дистанционной загрузки; 6 – УДСР

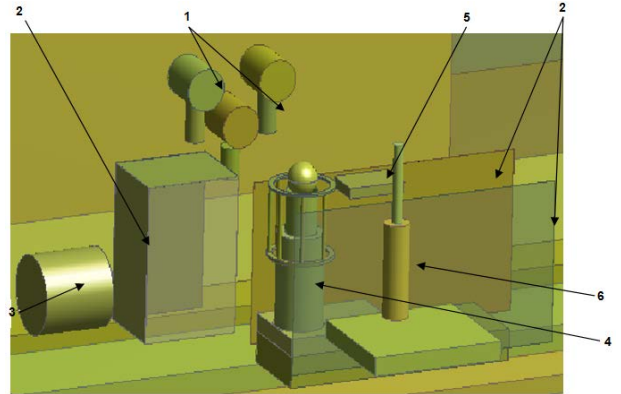


Рис. 5. Расчетная модель критического стенда ФКБН-3 в экспериментальном зале: 1 – детекторная стойка; 2 – ограждения; 3 – СПИН; 4 – электромеханический стенд; 5 – механизм дистанционной загрузки; 6 – УДСР

Также задавались модели опор для размещения блоков РС на стенде ФКБН-3, а именно: подставка под конфорку НБ, подставка под конфорку ВБ, конфорка НБ, конфорка ВБ, диафрагма. Состав, размеры и геометрическое расположение частей комплекса и опор для размещения блоков РС в эксперимен-

тальном зале задавались по паспортам, конструкторской документации и эксплуатационной документации. Опоры для размещения блоков РС взвешивались, и определялась их плотность для того, чтобы не было отличий в расчетных и действительных значениях масс. Расчетные модели РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36%) без отражателя при симметричном и несимметричном разбиении на НБ и ВБ, размещенные на опорах, представлены на рис. 6 и рис. 7.

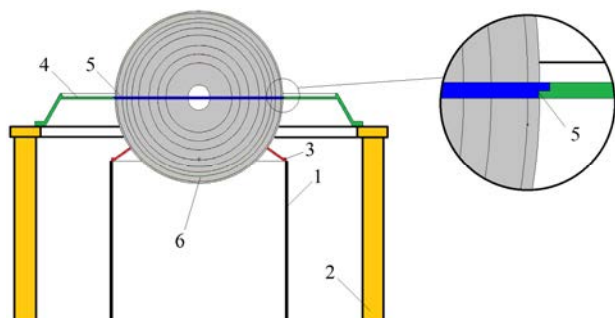


Рис. 6. Геометрия расчетной модели РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36%) без отражателя при симметричном разбиении на НБ и ВБ, размещенной на опорах: 1 – подставка под конфорку НБ; 2 – подставка под конфорку ВБ; 3 – конфорка НБ; 4 – конфорка ВБ; 5 – диафрагма; 6 – АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36%) без отражателя

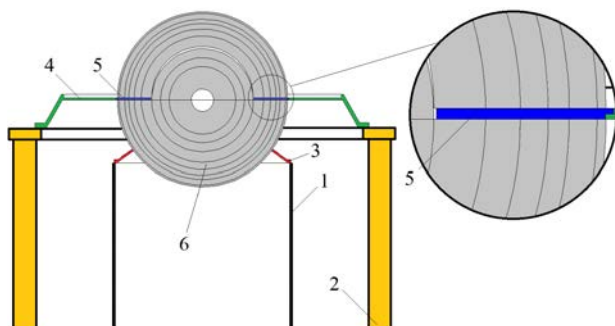


Рис. 7. Геометрия расчетной модели РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36%) без отражателя при несимметричном разбиении на НБ и ВБ, размещенной на опорах: 1 – подставка под конфорку НБ; 2 – подставка под конфорку ВБ; 3 – конфорка НБ; 4 – конфорка ВБ; 5 – диафрагма; 6 – АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36%) без отражателя

Результаты расчетов  $K_{эффi}$  и  $\Delta K_{эффi}$  для РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36%) без отражателя при добавлении к РС частей комплекса ФКБН-3, зазора между блоками РС и опор для размещения блоков РС показаны в таблице 1. При различных разбиениях на НБ и ВБ значения  $\Delta K_{эффi}$  отличаются только в случае разведения НБ и ВБ на величину равную толщине соответствующей диафрагмы и добавления в зазор между блоками РС диафрагмы (рис. 1 и рис. 2; рис. 6 и рис. 7).

Из табл. 1 видно, что наибольший вклад в  $K_{эфф}$  вносят составляющие опор для размещения блоков РС на стенде ФКБН-3 (подставка под конфорку НБ,

Таблица 1

Результаты расчётов  $K_{эффi}$  и  $\Delta K_{эффi}$  для РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36%) без отражателя при добавлении к РС частей комплекса ФКБН-3, зазора между блоками РС и опор для размещения блоков РС

Способ возмущения $K_{эфф}$ базовой РС	$K_{эффi}$	$\Delta K_{эффi}$
СПИН	0,99357	0,00014
УДСР	0,99354	0,00011
Детекторная стойка	0,99354	0,00011
Электромеханический стенд	0,99356	0,00013
Мостовой кран	0,99346	0,00003
Ограждения	0,99351	0,00008
МДЗ	0,99362	0,00019
Стальная подставка под конфорку НБ	0,99448	0,00105
Способ возмущения $K_{эфф}$ базовой РС	$K_{эффi}$	$\Delta K_{эффi}$
Стальная подставка под конфорку ВБ	0,99424	0,00081
Стальная конфорка НБ	0,99406	0,00063
Стальная конфорка ВБ	0,99496	0,00153
Зазор между НБ и ВБ при симметричном разбиении	0,9788	-0,01463
Зазор между НБ и ВБ при несимметричном разбиении	0,98205	-0,01138
Стальная диафрагма, которая использовалась при симметричном разбиении	0,98132	0,00252
Стальная диафрагма, которая использовалась при несимметричном разбиении	0,98417	0,00212

Примечание: Для сферизованной модели РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36%) без отражателя  $K_{эффбаз} = 0,99343 \pm 0,00005$

Результаты расчетных и экспериментальных данных возмущений реактивности базовых РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$  (36%) без отражателя

Способ возмущения реактивности базовой РС		Возмущение реактивности, $\beta_{\text{эфф}}$										
		Симметричные РС					Несимметричные РС					
		Расчет		Эксперимент			Расчет		Эксперимент			
ENDF/B-6	ENDF/B-8	JENDL-4	БАС	ENDF/B-6	ENDF/B-8	JENDL-4	БАС	ENDF/B-6	ENDF/B-8	JENDL-4	БАС	
Совместное добавление стен, пола и потолка экспериментального зала, СПИН, УДСР, детекторной стойки, электромеханического стенда, мостового крана и отражений	0,14±0,01	-	-	-	-	-	-	0,14±0,01	-	-	-	-
Добавление стальной подставки под конфорку ВБ	0,12±0,01	0,11±0,01	0,08±0,01	0,07±0,01	-	-	-	0,12±0,01	0,10±0,01	0,09±0,01	0,07±0,01	-
Добавление стальной подставки под конфорку НБ	0,15±0,01	-	-	-	0,12±0,02	-	-	0,15±0,01	-	-	-	0,12±0,02
Добавление стальных конфорок	0,30±0,01	0,30±0,01	0,27±0,01	0,22±0,01	0,19±0,03	-	-	0,30±0,01	0,28±0,01	0,27±0,01	0,24±0,01	0,19±0,03
Возмущения реактивности от величин зазора 4 мм между НБ и ВБ	1,72±0,04	2,01±0,01	2,04±0,01	1,76±0,01	2,36±0,04	-	-	1,36±0,04	1,56±0,01	1,60±0,01	1,38±0,01	1,68±0,04
Добавление стальной диафрагмы толщиной 4 мм	-	0,55±0,01	0,54±0,01	0,46±0,01	0,53±0,03	-	-	-	0,50±0,01	0,51±0,01	0,44±0,01	0,55±0,03

подставка под конфорку ВБ, конфорка НБ, конфорка ВБ, диафрагма) и добавление зазора между блоками РС. Значения  $\Delta K_{эфф i}$ , полученные со стенами, полом, потолком и частями комплекса ФКБН-3 (СПИН, УДСР, детекторная стойка, электромеханический стенд, мостовой кран, МДЗ и ограждения), в разы меньше значений  $\Delta K_{эфф i}$ , составляющих опор. Поэтому части комплекса ФКБН-3 можно моделировать приближенно, как это реализовано в представляемой расчетной модели (рис. 5) и целесообразно рассчитывать совместно, чтобы не превышать суммарную абсолютную погрешность расчета. Подставки под конфорки НБ и ВБ, конфорки НБ и ВБ, диафрагму необходимо моделировать максимально детально с последующей верификацией расчетных данных, поскольку влияние составляющих опор на  $K_{эфф}$  РС оказалось существенным.

Верификация расчетных моделей составляющих опор РС проводилась путем сравнения расчетных и экспериментальных значений возмущения реактивности  $\Delta\rho_i$  РС составляющими опор. Пересчет расчетных значений  $\Delta K_{эфф i}$  из таблицы 1 в  $\Delta\rho_i$  произведен по формуле:

$$\Delta\rho_i = \Delta K_{эфф i} / \beta_{эфф}, \quad (2)$$

где  $\beta_{эфф}$  – эффективная доля запаздывающих нейтронов модели РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36 %), полученная расчетным путем [4],  $\beta_{эфф} = 0,0083$ .

Результаты расчетных и экспериментальных данных возмущений реактивности базовых РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36 %) без отражателя представлены в табл. 2.

При верификации расчетных моделей РС наблюдаются расхождения в расчетных и экспериментальных значениях возмущений реактивности базовых РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36 %) без отражателя (табл. 2). В результате анализа полученных данных установлена причина подобных расхождений. Возмущения реактивности базовых РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36 %) стальными конфорками и подставкой под конфорку НБ проводились путем добавления на ВБ похожих по конструкции, но не аналогичных тем, которые использовались в качестве опорных при сборке базовых РС, поскольку идентичные конструкции отсутствуют.

Возмущение реактивности базовых РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36 %) подставкой под конфорку ВБ в эксперименте не производилось, поскольку на данный момент на комплексе ФКБН-3 отсутствует аналогичная подставка.

### Заключение

При помощи модели критического стенда ФКБН-3 в экспериментальном зале расчетным путем на примере РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36 %) без отражателя

оценено влияние на  $K_{эфф}$  отдельных частей комплекса ФКБН-3, зазора между блоками РС, опор для размещения блоков РС на стенде ФКБН-3, а также стен, пола и потолка экспериментального зала.

При экспериментальном определении возмущения реактивности РС опорными конструкциями необходимо использовать идентичные по конфигурации составляющие опор.

Части комплекса ФКБН-3 можно моделировать приближенно, как это реализовано в представляемой расчетной модели и целесообразно рассчитывать совместно, чтобы не превышать суммарную абсолютную погрешность расчета. Подставки под конфорки НБ и ВБ, конфорки НБ и ВБ, диафрагму необходимо моделировать максимально детально с последующей верификацией расчетных данных, поскольку влияние составляющих опор на  $K_{эфф}$  РС оказалось существенным.

### Список литературы

1. Панин А. В., Воронцов С. В., Девяткин А. А., Завьялов Н. В., Кувшинов М. И. История развития критических экспериментов в РФЯЦ-ВНИИЭФ // Импульсные реакторы: история создания и перспективы использования. Труды межотраслевой научной конференции. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2016. Т. 1. С. 196–210.
2. Горелов В. П., Ильин В. И., Крутько Н. А. Архив ВеАг характеристик сферических и цилиндрических критических сборок. // ВАНТ. Сер.: Физика ядерных реакторов. 2000. Вып. 2/3. С. 168–175.
3. International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments. Nuclear Energy Agency, Organization for Economic Cooperation and Development, NEA/NSC/DOC(95) IEU-MET-FAST-003. Evaluators (VNIIEF) Gorbatenko M. V., Gorelov V. P., Yegorov V. P., Zagrafov V. G, Zakharov A. N., Ilyin V. I., Kuvshinov M. I., Yuferev V. I., Malinkin A. A. Vol. 3.
4. Житник А. К., Донской Е. Н., Огнев С. П. и др. Методика С-007 решения методом Монте-Карло связанных линейных уравнений переноса нейтронов, гамма-квантов, электронов и позитронов // ВАНТ. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2011. Вып.1. С. 17–24.
5. Режим доступа: <http://BNL/National Nuclear Data Center: ENDF/B-VI, 1990>.
6. Гуменных Э. А., Финогеев С. В., Дроздов И. Ю. Создание модели экспериментального зала установки ФКБН-3 для расчетного учета фона рассеянных нейтронов / 13-я научно-техническая конференция «Молодежь в науке» // Сборник докладов. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2014. С. 171–176.