

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КРИТИЧЕСКОГО СТЕНДА ФКБН-3 DEVELOPMENT OF A MODEL OF CRITICAL TEST BENCH FKBN-3

Э. А. Гуменных, А. А. Кайгородов, С. В. Финогеев

*E. A. Gumennykh, A. A. Kajgorodov, S. V. Finogeev*

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

Russian Federal Nuclear Center –All-Russia Scientific Research Institute of Experimental Physics

В ходе работы создана расчетная модель критического стенда ФКБН-3 в экспериментальном зале. При помощи этой модели расчетным путем на примере критической системы из  $^{235}\text{U}$  (36 %) без отражателя впервые было оценено влияние на  $K_{\text{эфф}}$  отдельных частей комплекса ФКБН-3 и опор для размещения блоков размножающей системы на стенде ФКБН-3.

In the course of activities there was created a calculated model of critical test bench FKBN-3 in the experimental hall. With the aid of this model there was for the first time estimated by calculation - on the base of a critical system of  $^{235}\text{U}$  (36 %) with no reflector- the effect on  $K_{\text{eff}}$  of separate parts of FKBN-3 and supports designed to arrange the multiplying systems blocks on FKBN-3.

Во ВНИИЭФ имеется комплекс ФКБН-3 для проведения критмассовых исследований с различными размножающими системами (РС) [1]. По окончании экспериментов формируется расчетная модель исследованной РС в критическом состоянии ( $K_{\text{эфф}} = 1$ ) [2]. Для адекватного учета влияния на размножающие параметры РС частей экспериментального оборудования 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 для экспериментально исследованной РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$  (36 %) без отражателя [3] при симметричном и несимметричном разбиении на нижний и верхний блок (НБ и ВБ) (рис.1 и рис.2) следующим образом:

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

где  $\Delta K_{\text{эфф}i}$  – влияние какой-то части комплекса ФКБН-3 или опор на значение  $K_{\text{эфф}}$  для сферизованной модели РС;  $K_{\text{эфф}i}$  – значение  $K_{\text{эфф}}$  для модели РС при добавлении какой-то части комплекса ФКБН-3 или опор;

$K_{\text{эффбаз}}$  – значение  $K_{\text{эфф}}$  для сферизованной модели РС.

Расчеты проводились методом Монте-Карло [4] с использованием библиотеки нейтронно-физических данных ENDF/B-6 [5]. 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  $K_{\text{эффбаз}} = 0,99343 \pm 0,00005$ . При проведении данных расчетов в моделях отсутствовали стены, пол, потолок, части комплекса ФКБН-3 и опоры для размещения блоков РС.

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  $K_{\text{эфф}} = 0,99388 \pm 0,00005$  ( $\Delta K_{\text{эффстен}} = 0,00045$ ).

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

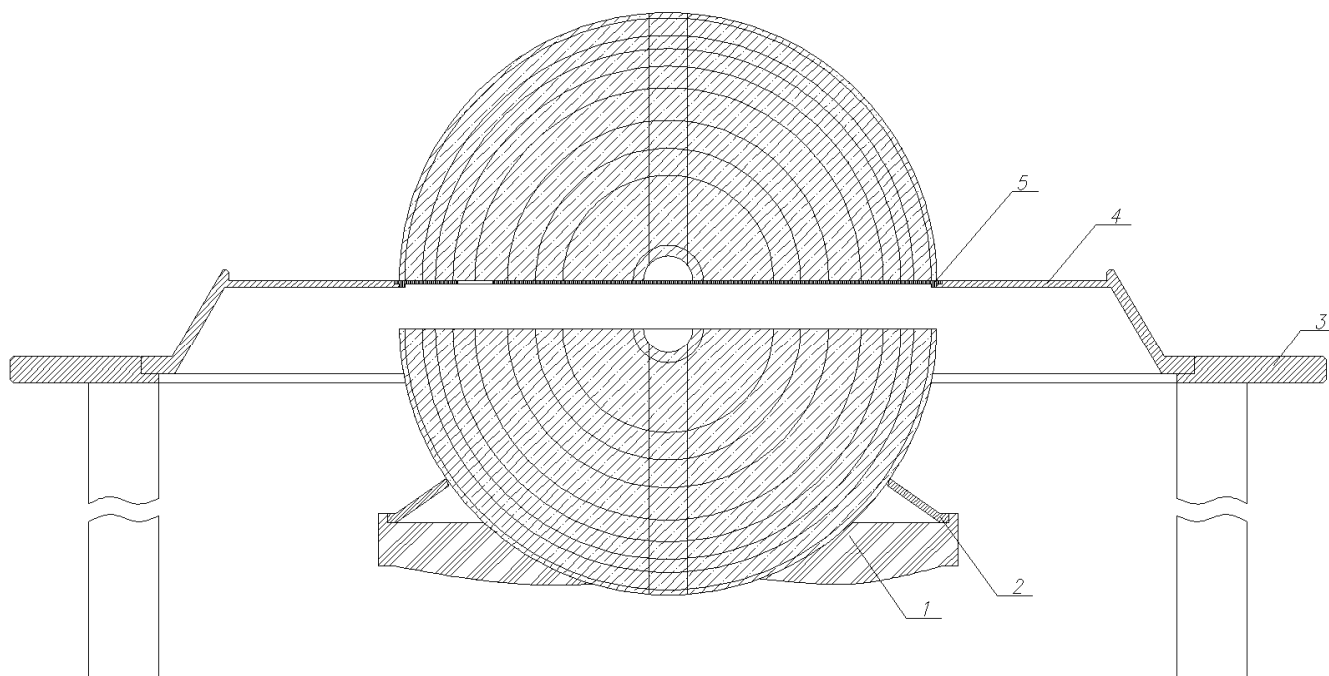


Рис. 1. Эскиз РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36%), размещенной на стенде ФКБН-3 при симметричном разбиении на НБ и ВБ: 1 – подставка НБ; 2 – конфорка НБ; 3 – подставка ВБ; 4 – конфорка ВБ; 5 – диафрагма

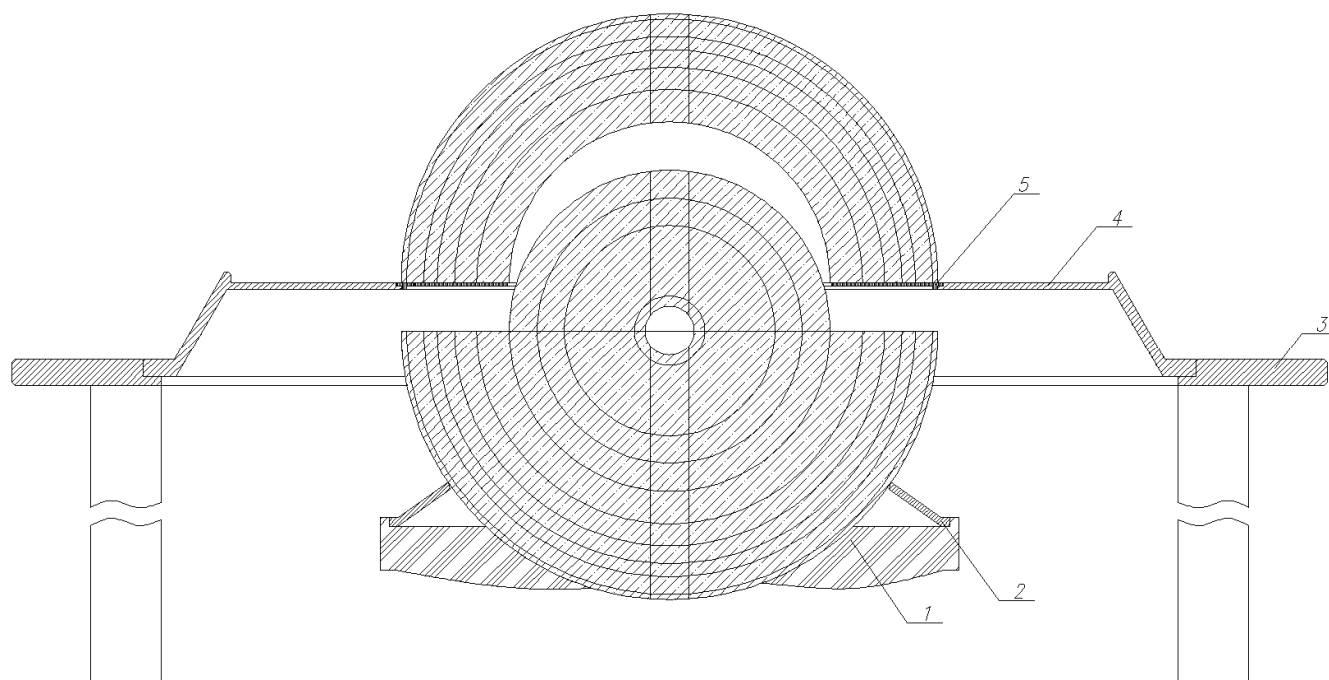


Рис. 2. Эскиз РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36%), размещенной на стенде ФКБН-3 при несимметричном разбиении на НБ и ВБ: 1 – подставка НБ; 2 – конфорка НБ; 3 – подставка ВБ; 4 – конфорка ВБ; 5 – диафрагма

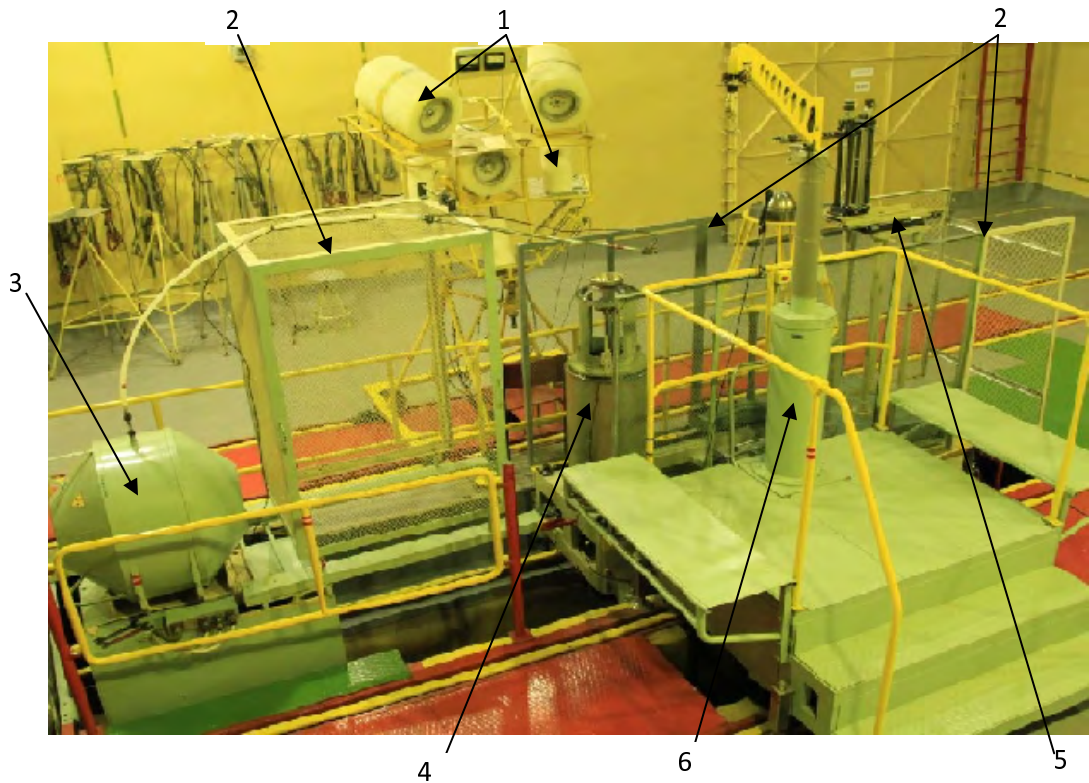


Рис. 3. Критический стенд ФКБН-3 в экспериментальном зале: 1 – детекторная стойка; 2 – ограждения; 3 – СПИН; 4 – электромеханический стенд; 5 – механизм дистанционной загрузки; 6 – УДСР

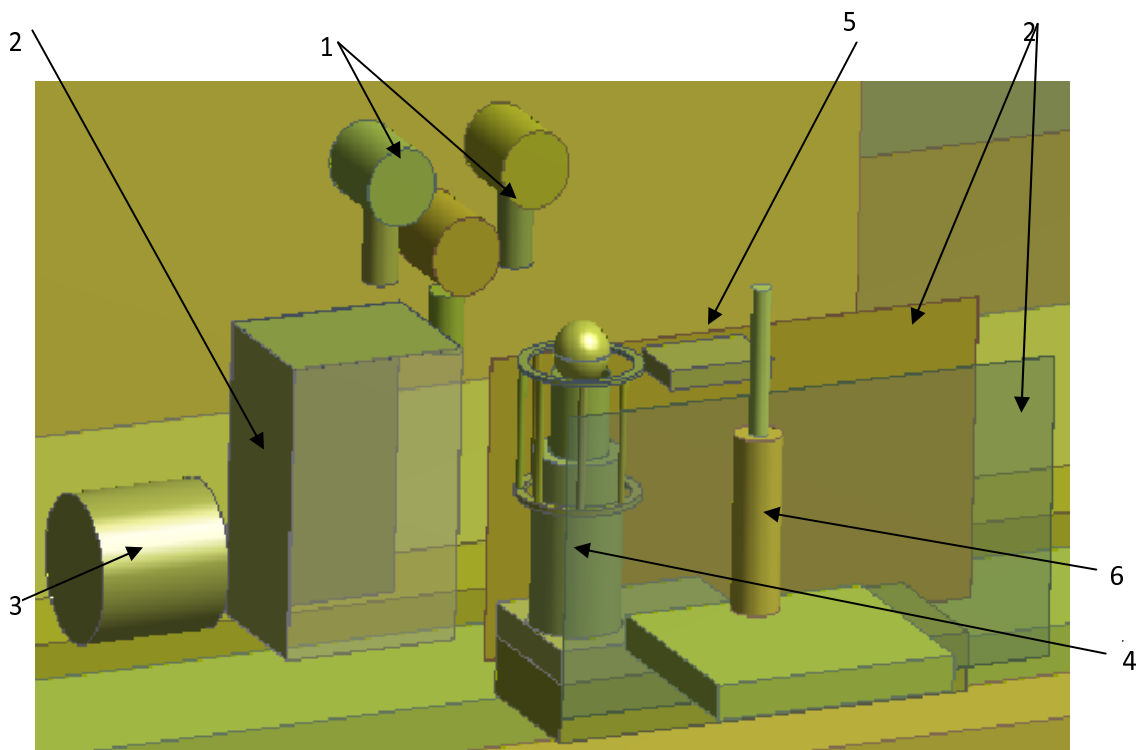


Рис. 4. Расчетная модель критического стенда ФКБН-3 в экспериментальном зале: 1 – детекторная стойка; 2 – ограждения; 3 – СПИН; 4 – электромеханический стенд; 5 – механизм дистанционной загрузки; 6 – УДСР

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 экспериментальном зале задавались по паспортам, конструкторской документации (КД) и

эксплуатационной документации. Кроме того, опоры для размещения блоков РС были взвешены и определена их плотность, для того, чтобы не было отличий в расчетных и действительных значениях масс. Геометрия расчетной модели РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36 %) без отражателя при симметричном и несимметричном разбиении на НБ и ВБ, размещенной на опорах, представлены на рис. 5 и рис. 6.

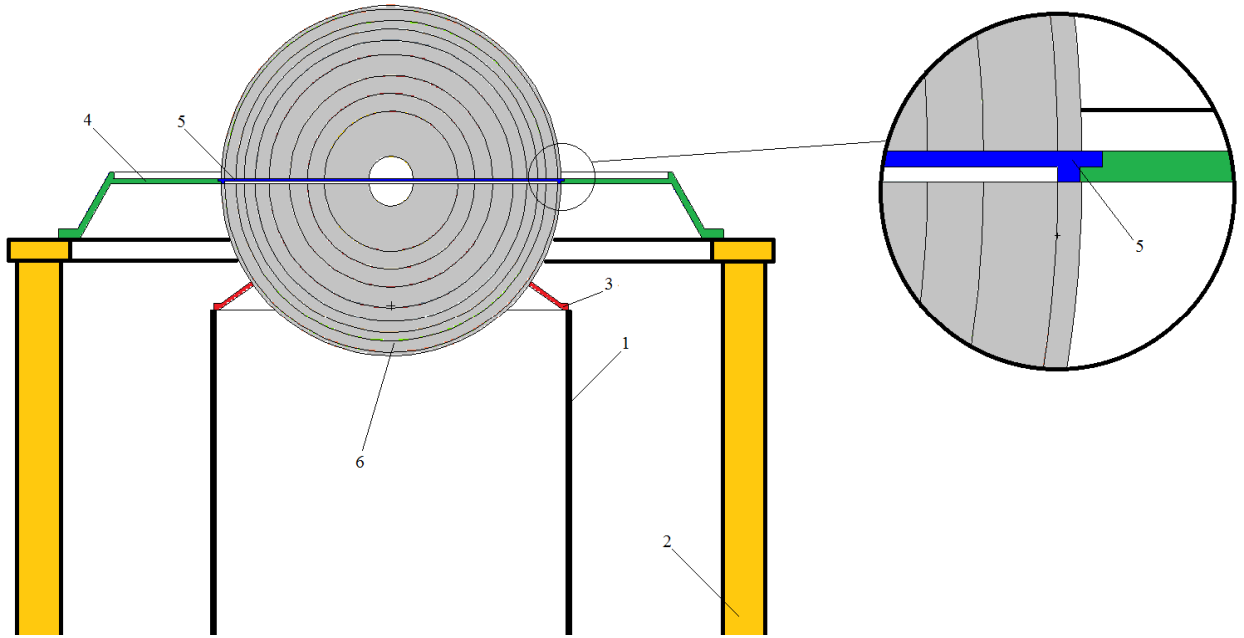


Рис. 5. Геометрия расчётной модели РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36 %) без отражателя при симметричном разбиении на НБ и ВБ, размещенной на опорах: 1 – подставка под конфорку НБ; 2 – подставка под конфорку ВБ; 3 – конфорка НБ; 4 – конфорка ВБ; 5 – диафрагма; 6 – АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36 %) без отражателя

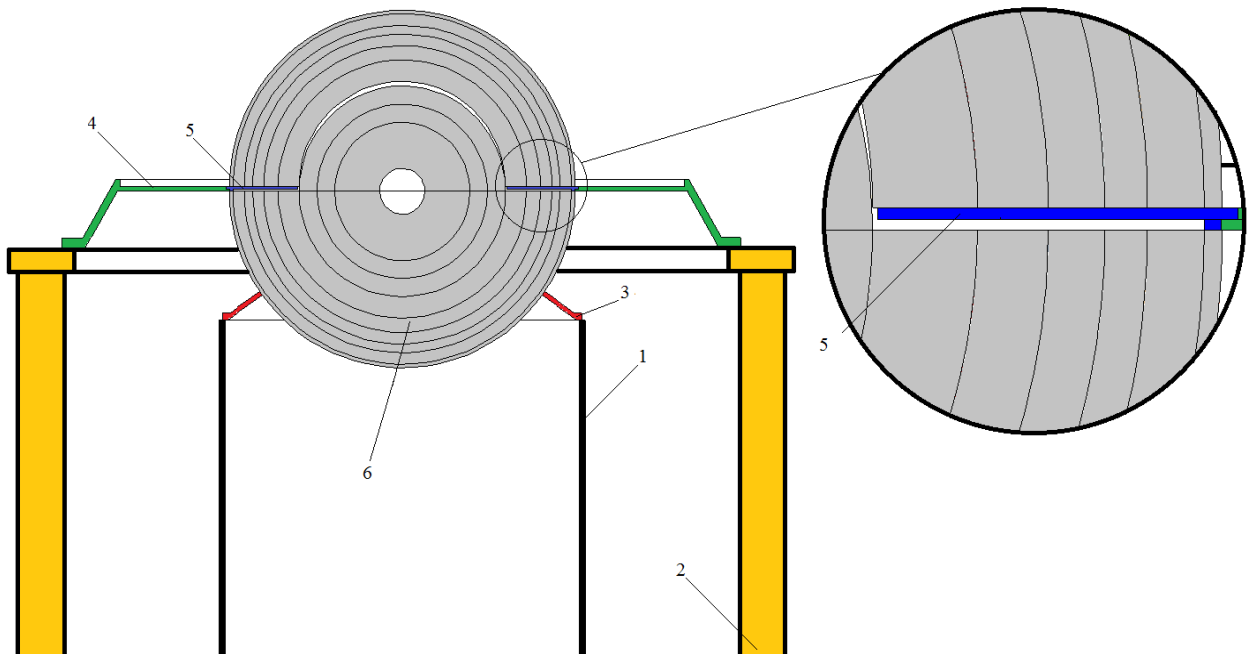


Рис. 6. Геометрия расчётной модели РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36 %) без отражателя при несимметричном разбиении на НБ и ВБ, размещенной на опорах: 1 – подставка под конфорку НБ; 2 – подставка под конфорку ВБ; 3 – конфорка НБ; 4 – конфорка ВБ; 5 – диафрагма; 6 – АЗ из  $^{235}\text{U}$ (36 %) без отражателя

При различных разбиениях на НБ и ВБ значения  $\Delta K_{эфф i}$  будут отличаться только в случае добавления в расчетную модель зазора между блоками РС и диафрагмы (рис. 1 и рис. 2; рис. 5 и рис. 6). Под добавлением зазора между НБ и ВБ подразумевается разведение блоков РС на величину, равную толщине соответствующей диафрагмы.

Результаты расчетов  $K_{эфф i}$  и  $\Delta K_{эфф i}$  для РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$  (36 %) без отражателя при добавлении к РС частей комплекса ФКБН-3 и опор для размещения блоков РС показаны в табл. 1.

При помощи данных расчетов впервые было оценено влияние на  $K_{эфф}$  частей комплекса ФКБН-3 и опор для размещения блоков РС на стенде ФКБН-3 для РС с АЗ из  $^{235}\text{U}$  (36%) без отражателя.

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, подставка под конфорку ВБ, конфорка НБ, конфорка ВБ, диафрагма). Значения  $\Delta K_{эфф i}$ , по-

Таблица 1

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

Добавление части комплекса ФКБН-3 или опор для размещения блоков РС	$K_{эфф i}$	$\Delta K_{эфф i}$
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
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 симметричном разбиении	0,98417	0,00212

Таблица 2

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, $\beta_{эфф}$			
	Симметричные РС		Несимметричные РС	
	Расчет	Эксп.	Расчет	Эксп.
Совместное добавление стен, пола и потолка экспериментального зала, СПИН, УДСР, детекторной стойки, электромеханического стенда, мостового крана и ограждений	0,14±0,01	-	0,14±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 стальной подставки под конфорку ВБ	0,12±0,01	-	0,12±0,01	-
Добавление стальных конфорок	0,30±0,01	0,18±0,03	0,30±0,01	0,18±0,03
Возмущения реактивности от величины зазора между НБ и ВБ	-0,43±0,01	-0,50±0,01	-0,34±0,01	-0,40±0,01
Добавление стальной диафрагмы	0,29±0,01	0,22±0,02	0,25±0,01	0,21±0,02

лученные со стенами, полом, потолком и частями комплекса ФКБН-3 (СПИН, УДСР, детекторная стойка, электромеханический стенд, мостовой кран, МДЗ и ограждения) в разы меньше значений  $\Delta K_{эфф i}$  с составляющими опор. Поэтому части комплекса ФКБН-3 можно моделировать приближенно, как это реализовано в представляемой расчетной модели (рис. 4), а значения  $\Delta K_{эфф i}$  со стенами, полом, потолком и частями комплекса ФКБН-3 целесообразно рассчитывать совместно, группой, чтобы не завышать 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 достаточно значимо.

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 табл. 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.

Исходя из представленных в табл. 2 данных, при проведении эксперимента нельзя пренебрегать измерением возмущения реактивности подставкой для конфорки ВБ, как это делалось ранее, так как она вносит значимый вклад в возмущение реактивности. Наибольшее расхождение результатов расчета и экспериментов наблюдается для конфорок. Для того чтобы достичь лучшего согласия между расчетами и экспериментами, в дальнейшем расчетная модель будет верифицироваться на экспериментальных данных, полученных с другими РС.

### Заключение

В результате работы создана расчетная модель критического стенда ФКБН-3 в эксперименталь-

ном зале. При помощи этой модели расчетным путем на примере критической системы из  $^{235}\text{U}(36\%)$  без отражателя впервые было оценено влияние на  $K_{эфф}$  отдельных частей комплекса ФКБН-3, опор для размещения блоков РС на стенде ФКБН-3, а также стен, пола и потолка экспериментального зала. В целом наблюдается согласованность экспериментальных и расчетных значений возмущения реактивности РС составляющими опор. В дальнейшем расчетная модель комплекса ФКБН-3 будет усовершенствована с учетом новых экспериментальных данных для других РС.

### Список литературы

1. Панин А. В., Воронцов С. В., Деяткин 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. Т. 1. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2016. С. 196–210.
2. Горелов В. П., Ильин В. И., Крутько Н. А. Архив ВеАг характеристик сферических и цилиндрических критических сборок. // ВАНТ. Серия: 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). Volume III. IEU-MET-FAST-003. Evaluators (VNIIEF) M. V. Gorbatenko, V. P. Gorelov, V. P. Yegorov, V. G. Zagrafov, A.N. Zakharov, V. I. Ilyin, M. I. Kuvshinov, V. I. Yuferev, A. A. Malinkin.
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. 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. // Молодежь в науке: сборник докладов 13-й научно-технической конференции. – г. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2014. С. 171–176.