

УДК 621.039.556

DOI: 10.17223/00213411/64/2-2/3

Е.А. БОНДАРЕНКО, В.А. ВАРЛАЧЕВ, Е.Г. ЕМЕЦ

ОПТИМИЗИЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕЙТРОННЫХ ПОЛЕЙ РЕАКТОРА ИРТ-Т ПРИ СОЗДАНИИ КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАДИАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

На исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т создана установка для проведения радиационных испытаний изделий электронной техники на базе одного из горизонтальных экспериментальных каналов. Приведены результаты расчета модифицированного кадмиевым фильтром спектра нейтронов в экспериментальном канале реактора с помощью программного средства MCU-PTR. Показано, что нейтронно-физические характеристики модифицированного спектра нейтронов реактора ИРТ-Т соответствуют характеристикам импульсного ядерного реактора БАРС-4.

Ключевые слова: ядерный реактор, экспериментальный канал, изделия электронной техники, радиационные испытания, быстрые нейтроны, фильтр тепловых нейтронов.

Введение

К компонентной базе электронных приборов, эксплуатирующихся в условиях повышенного радиационного фона, предъявляются особенно высокие требования к надежности и продолжительности функционирования. В связи с этим существует необходимость в расширении экспериментальной базы для проведения исследований на радиационную стойкость. Кроме того, все сертифицированные установки для радиационных испытаний находятся в Европейской части России, что создает дополнительные трудности для заказчиков из удаленных регионов страны.

Исследовательский ядерный реактор ИРТ-Т обладает большим набором технических средств для решения различных научно-технических задач по созданию и развитию новых установок в сфере радиационных и ядерных технологий. Реактор оборудован горизонтальными и вертикальными экспериментальными каналами и при работе на мощности 6 МВт максимальная плотность потока тепловых нейтронов составляет $1.4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, быстрых – $2.8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ [1]. На рис. 1 представлена схема реактора ИРТ-Т.

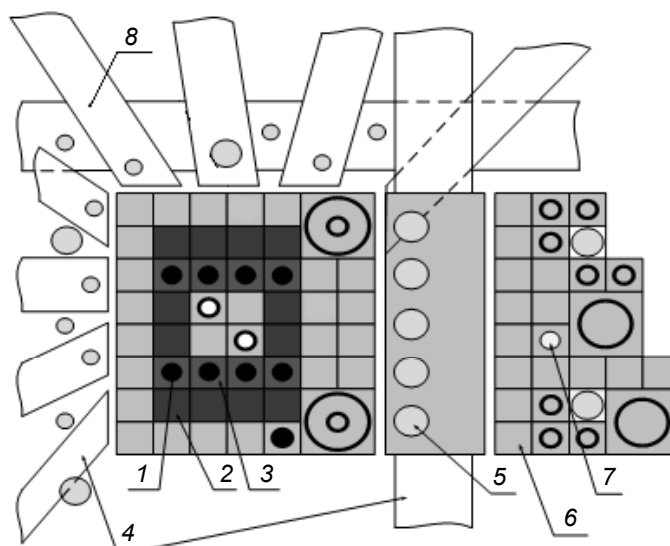


Рис. 1. Схема реактора ИРТ-Т: 1 – стержни регулирования; 2 – 8-трубные ТВС; 3 – 6-трубные ТВС; 4 – горизонтальные экспериментальные каналы; 5 – вертикальные экспериментальные каналы; 6 – бериллиевые блоки; 7 – экспериментальные каналы с водой; 8 – ГЭК-6

Таким образом, на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т имеется большой потенциал для проведения и развития исследований в области создания пучков выведенных нейтронов для

изучения радиационной стойкости различных материалов, отработки методик физических измерений и калибровки детекторов нейтронов. Кроме того, на базе реактора ИРТ-Т развиваются научно-исследовательские работы по созданию технологий радиационного воздействия нейтронного излучения для целей медицины, космической и военной промышленности.

Для проведения таких исследований на базе горизонтального экспериментального канала (ГЭК-6) реактора ИРТ-Т создана установка для испытания на радиационную стойкость изделий электронной техники. Установка представляет собой металлическую штангу, которая дистанционно закатывается электродвигателем в экспериментальный канал реактора и позволяет помещать облучаемый образец в выведенный пучок нейтронов на определенное расстояние от активной зоны реактора для набора необходимого флюенса. Диаметр канала составляет 10 см.

Нейтронно-физические расчеты проводились с помощью аттестованного программного средства MCU-PTR (Аттестационный паспорт ПС № 393 от 14.07.2016 г., выданный экспертным советом по аттестации программных средств при Ростехнадзоре). В данном пакете использовалась модель реактора ИРТ-Т, которая воспроизводит все экспериментальные каналы аппарата максимально приближенными к реальным прототипам [2]. В ходе работы был рассчитан и экспериментально измерен спектр нейтронов в ГЭК-6 реактора ИРТ-Т. Произведено сравнение модифицированного спектра ГЭК-6 реактора ИРТ-Т со спектром реактора БАРС-4, а также рассмотрено влияние фильтра тепловых нейтронов на ядерно-физические характеристики спектра.

1. Расчет плотности потока нейтронов в ГЭК-6 реактора ИРТ-Т

На первом этапе была рассчитана плотность потока нейтронов в ГЭК-6 реактора ИРТ-Т для сравнения с результатами эксперимента, проведенного специалистами ВНИИФТРИ. На рис. 2 показано сравнение спектров в ГЭК-6, полученных в MCU-PTR и в результате реального эксперимента по методике ВНИИФТРИ.

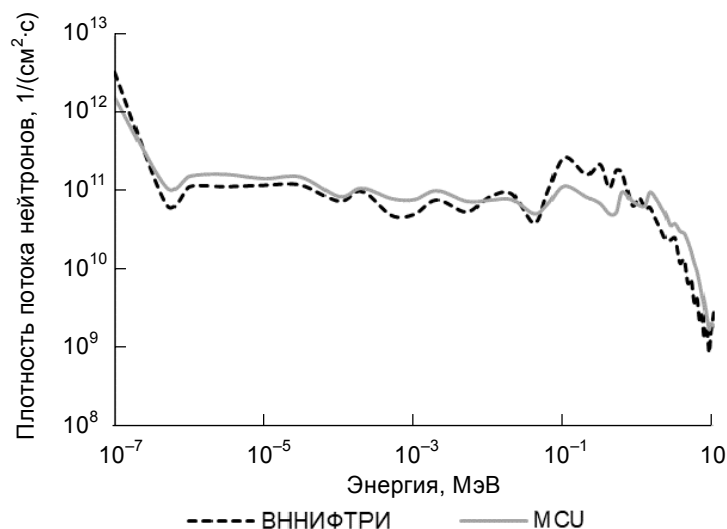


Рис. 2. Сравнение спектров в ГЭК-6 реактора ИРТ-Т

Из рис. 2 видно, что оба спектра имеют похожую форму, однако в спектре, полученном в результате реального эксперимента по методике ВНИИФТРИ, в диапазоне энергий от 0.1 до 0.6 МэВ регистрируется значительный всплеск. Значение плотности потока нейтронов в данном энергетическом интервале на 60% превышает значение, полученное в пакете MCU-PTR. Это может быть вызвано сбоем в работе регистрирующей аппаратуры или человеческим фактором.

Известно, что для радиационных испытаний особый интерес представляют нейтроны с энергией больше 0.1 МэВ. Поэтому для снижения влияния нейтронов с меньшей энергией в точке облучения смоделирован кадмиевый фильтр в форме пенала длиной 10 см и толщиной 2 мм. На дно пенала помещен карбид бора толщиной 1 см. На рис. 3 приведены результаты влияния кадмиевого фильтра на спектр.

Использование кадмиевого фильтра данной геометрии позволило оптимизировать условия облучения, значительно снизив поток нейтронов в тепловой области.

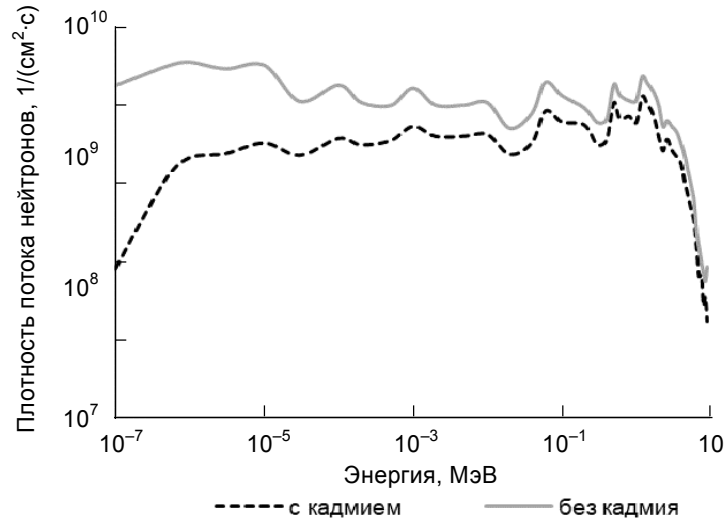


Рис. 3. Влияние кадмиевого фильтра

2. Сравнение спектра нейтронов реактора ИРТ-Т со спектром реактора БАРС-4

Импульсный реактор БАРС-4, находящийся в АО «Научно-исследовательский институт приборов», является сертифицированной установкой для проведения испытаний материалов на радиационную стойкость [3]. На рис. 4 показано сравнение нейтронных спектров реакторов ИРТ-Т и БАРС-4.

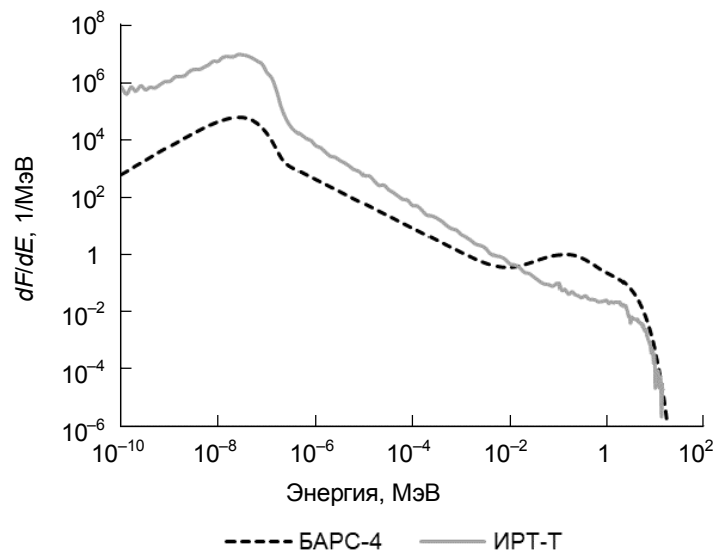


Рис. 4. Сравнение спектров реактора ИРТ-Т и БАРС-4

Использование установок подобного типа сопряжено с высокой стоимостью исследований и большими временными затратами, поскольку необходимо проводить воздействия в диапазоне нескольких порядков флюенсов. Таким образом, была поставлена задача добиться подобия характеристик спектра нейтронов ГЭК-6 реактора ИРТ-Т спектру реактора БАРС-4 в области высоких энергий. На рис. 5 представлено сравнение модифицированного кадмиевым фильтром спектра реактора ИРТ-Т и спектра реактора БАРС-4.

Исходя из графика, можно сказать, что модифицированный кадмиевым фильтром спектр ГЭК-6 реактора ИРТ-Т имеет схожую форму со спектром реактора БАРС-4. Данный вывод подтверждают и результаты расчетов средних энергий спектров. Для ГЭК-6 ИРТ-Т средняя энергия спектра равна 1.288 МэВ, для БАРС-4 – 1.215 МэВ. Следовательно, можно сделать заключение, что на реакторе ИРТ-Т создана установка для исследований на радиационную стойкость материа-

лов в широком диапазоне флюенса нейтронов. Более того, исследования на этой установке сокращают временные и финансовые затраты на исследования.

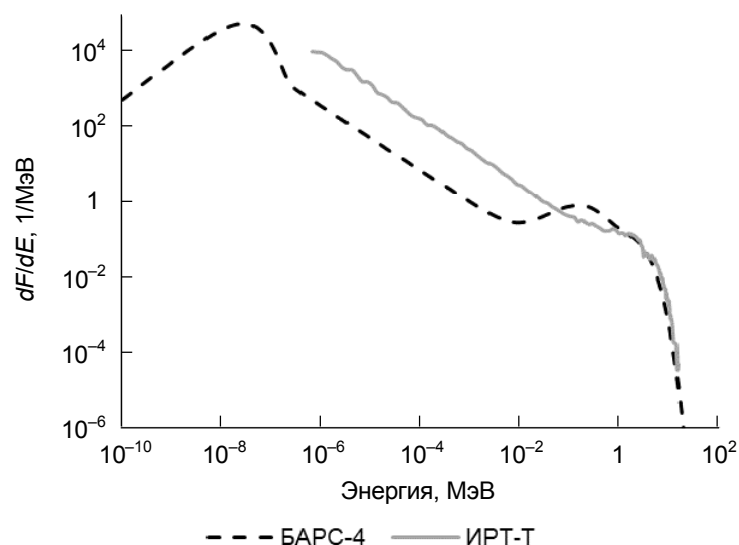


Рис. 5. Сравнение модифицированного спектра реактора ИРТ-Т и спектра реактора БАРС-4

Заключение

Первостепенной задачей данной работы было создание установки для радиационных испытаний изделий электронной техники. Для этого необходимо было модифицировать нейтронное поле в ГЭК-6 реактора ИРТ-Т таким образом, чтобы добиться подобия его параметров с нейтронным полем импульсного реактора БАРС-4 в области высоких энергий.

На первом этапе были выполнены расчет спектра нейтронов в ГЭК-6 и сравнение полученных результатов с результатами, взятыми из реального эксперимента, проведенного специалистами ВНИИФТРИ. Это позволило сделать выводы о точности расчетов с помощью программного средства MCSU-PTR. Моделирование кадмиевого фильтра тепловых нейтронов в точке облучения образцов показало, что фильтр данной геометрии значительно снижает поток тепловых нейтронов и оптимизирует условия облучения. Сравнительный анализ позволил сделать вывод, что характеристики модифицированного нейтронного спектра реактора ИРТ-Т соответствуют характеристикам импульсного реактора БАРС-4. Таким образом, существуют все предпосылки для развертывания на реакторе ИРТ-Т исследований по влиянию быстрых нейтронов на изделия электронной техники. В рамках коллаборации с НИИПП была проведена успешная серия пробных облучений.

Поиск альтернативы кадмию в связи с его высокой наведенной активностью при облучениях на больших значениях флюенсов нейтронов является приоритетным направлением дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варлачев В.А., Солодовников Е.С., Дудкин Г.Н. // Изв. вузов. Физика. – 2010. – Т. 53. – № 10/2. – С. 304–309.
2. Shchugovskaya M.V. et al. // Ann. Nucl. Energy. – 2016. – V. 96. – P. 332–343.
3. Ненадышин Н.Н., Членов А.М. // Импульсные реакторы: история создания и перспективы использования: труды межотраслевой науч. конф. – Саров, 2015. – Т. 1. – С. 91–93.

Поступила в редакцию 20.10.2020.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия

Бондаренко Евгений Анатольевич, аспирант, инженер Учебно-научного центра «Исследовательский ядерный реактор» НИ ТПУ, e-mail: eab17@tpu.ru;

Варлачев Валерий Александрович, д.т.н., профессор, зав. лабораторией Учебно-научного центра «Исследовательский ядерный реактор» НИ ТПУ, e-mail: varlachev@tpu.ru;

Емец Евгений Геннадьевич, к.т.н., ведущ. инженер Учебно-научного центра «Исследовательский ядерный реактор» НИ ТПУ, e-mail: emecevgeniy@tpu.ru.

E.A. BONDARENKO, V.A. VARLACHEV, E.G. YEMETS

OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF IRT-T REACTOR NEUTRON FIELDS WHEN CREATING A FACILITY FOR RADIATION TESTING OF ELECTRONIC PRODUCTS

The radiation testing facility was created on the IRT-T nuclear reactor based on one of the experimental channels. The calculation results of experimental channels neutron spectrum modified by cadmium filter in MCU-PTR code are given. It has been given that neutron-physical characteristics of the modified IRT-T reactors neutron spectrum correspond to the characteristics of the pulse nuclear reactor BARS-4.

Keywords: *nuclear reactor, experimental channel, electronic products, radiation testing, fast neutron, thermal neutron filter.*

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Bondarenko Evgeny Anatolievich, Graduate Student, Engineer Educational and Scientific Center «Research Nuclear Reactor» NR TPU, e-mail: eab17@tpu.ru;

Varlachev Valery Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Laboratory Educational and Scientific Center «Research Nuclear Reactor» NR TPU, e-mail: varlachev@tpu.ru;

Yemets Evgeny Gennadievich, Candidate of Technical Sciences, Lead Engineer Educational and Scientific Center «Research Nuclear Reactor» NR TPU, e-mail: emecevgeniy@tpu.ru.