

АНАЛИЗ СОГЛАСОВАННОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЭФФЕКТИВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА РАЗМНОЖЕНИЯ НЕЙТРОНОВ $K_{эф}$ ДЛЯ КРИТИЧЕСКИХ СБОРОК С ОТРАЖАТЕЛЕМ ИЗ БЕРИЛЛИЯ И ПОЛИЭТИЛЕНА

А. А. Кайгородов, Э. А. Гуменных, О. Ю. Пашарина, С. В. Финогеев, В. Х. Хоружий

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

Статья поступила в редакцию 29.07.2021, после доработки – 10.08.2021, принята к публикации – 18.11.2021

Проведен анализ согласованности экспериментальных и расчетных критических параметров для критических сборок, изученных ранее, с активными зонами из урана и плутония и отражателями из бериллия и полиэтилена. Расчеты проводились по программе C-007 с библиотеками ядерно-физических констант БАС, ENDF/B и Jendl.

Ключевые слова: критическая сборка, уран, плутоний, активная зона, эффективный коэффициент размножения нейтронов, библиотека ядерно-физических констант.

COORDINATION ANALYSIS FOR EXPERIMENTAL AND CALCULATED VALUES OF THE EFFECTIVE NEUTRON MULTIPLICATION FACTOR K_{ef} FOR CRITICAL ASSEMBLIES WITH A REFLECTOR OF BERYLLIUM AND POLYETHYLENE // A. A. Kajgorodov, Eh. A. Gumennykh, O. Yu. Pasharina, S. V. Finogeev, V. Kh. Khoruzhy // The coordination analysis of experimental and calculated critical parameters is conducted for the studied before critical assemblies with the cores of uranium and plutonium and reflectors of beryllium and polyethylene. The calculations were performed using the C-007 program with the following libraries of nuclear-physics constants: БАС, ENDF/B and Jendl.

Key words: critical assembly, uranium, plutonium, core, effective neutron multiplication factor, library of nuclear-physics constants.

С начала проведения критмассовых экспериментов накоплен большой объем экспериментальных интегральных данных (размножающие, кинетические и спектральные параметры) для различных критических систем. Проведение анализа согласованности экспериментальных и расчетных значений эффективного коэффициента размножения нейтронов $K_{эф}$ позволит оценить степень расчетного описания критическихборок с различными отражателями современными библиотеками ядерно-физических констант, а также определить сборку, для которых требуется проведе-

ние уточняющих экспериментов для проверки библиотек констант.

Размножающие параметры (масса и размеры слоев РС, $K_{эф}$) рассматриваемых в данной работе критическихборок (КС) с активными зонами (АЗ) из металлических делящихся материалов (уран, плутоний) с отражателями из бериллия и полиэтилена взяты из журналов «Вопросы атомной науки и техники» различных годов выпуска, архива данных интегральных экспериментов ВеАр [1] и справочника по ядерной критической безопасности [2]. Почти все рассматриваемые расчетные

модели КС получены в РФЯЦ-ВНИИЭФ. Для расчетных моделей КС, представленных в указанных выше источниках, по программе С-007 [3] получены расчетные значения $K_{эф}$ с библиотеками констант ENDF/B, Jendl, БАС и построены зависимости отношения расчетных и экспериментальных значений $K_{эф}$ от толщины отражателя. Опубликованные расчетные модели КС не всегда доводились до уровня тестовых, поэтому не для всех КС в источниках приводится погрешность определения $K_{эф}$. В данной работе для исследуемых конфигураций КС погрешность $K_{эф}$ принята равной 0,5 %, что соответствует порядку величины.

1. КС с отражателем из полиэтилена

1.1. КС с урановой АЗ и отражателем из полиэтилена

Сборки данной категории можно условно разделить на две группы: КС с АЗ из урана

среднего обогащения (СОУ) и урана высокого обогащения (ВОУ). В первой группе содержатся всего семь конфигураций КС. Анализ согласованности расчетных и экспериментальных значений $K_{эф}$ (рис. 1) не позволяет однозначно оценить степень достоверности расчетного описания критических параметров КС из данной группы. Имеющиеся данные указывают на занижение расчетных значений $K_{эф}$ относительно экспериментальных для небольших толщин отражателя из полиэтилена.

Во вторую группу помещены 25 КС с АЗ из ВОУ и отражателями из полиэтилена, воды и тяжелой воды. Сборки с отражателями из воды и тяжелой воды включены в эту группу для того, чтобы посмотреть, как описываются КС с водородсодержащими отражателями. В общем, расчетные значения $K_{эф}$ для КС из данной группы занижены относительно экспериментальных, особенно при использовании в расчетах библиотеки БАС (рис. 2–4).

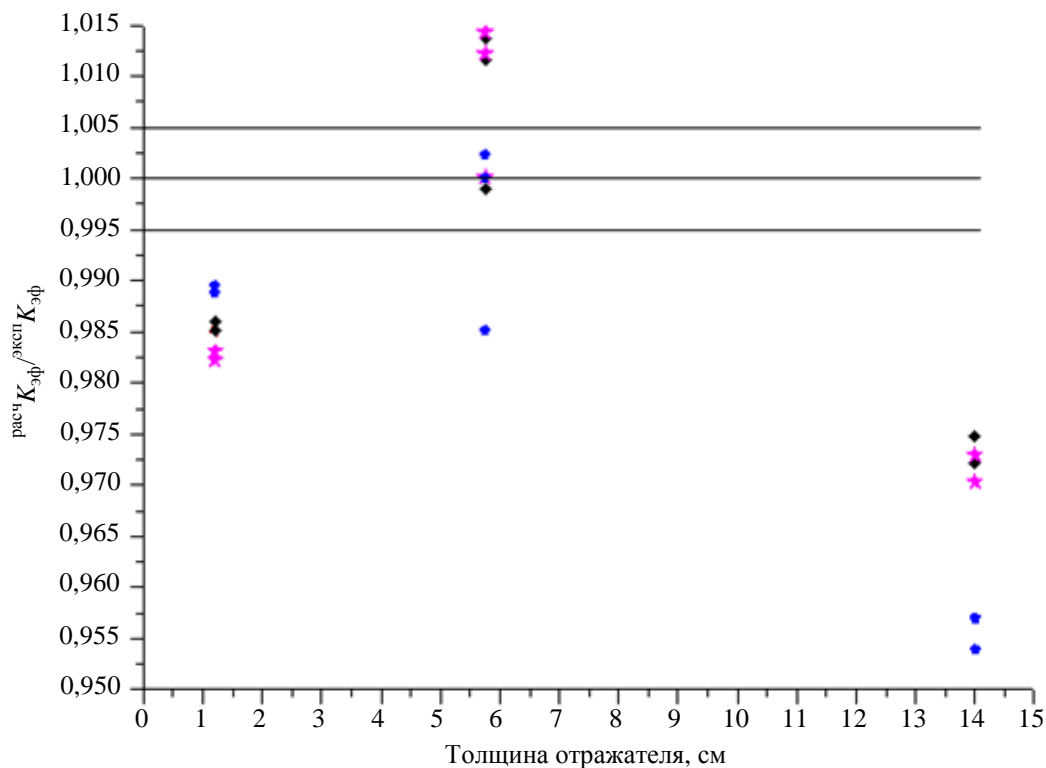


Рис. 1. Зависимость отношения расчетных и экспериментальных значений $K_{эф}$ для КС с АЗ из СОУ от толщины отражателя из полиэтилена (◆ – ENDF/B-8; ★ – JENDL-4; ● – БАС)

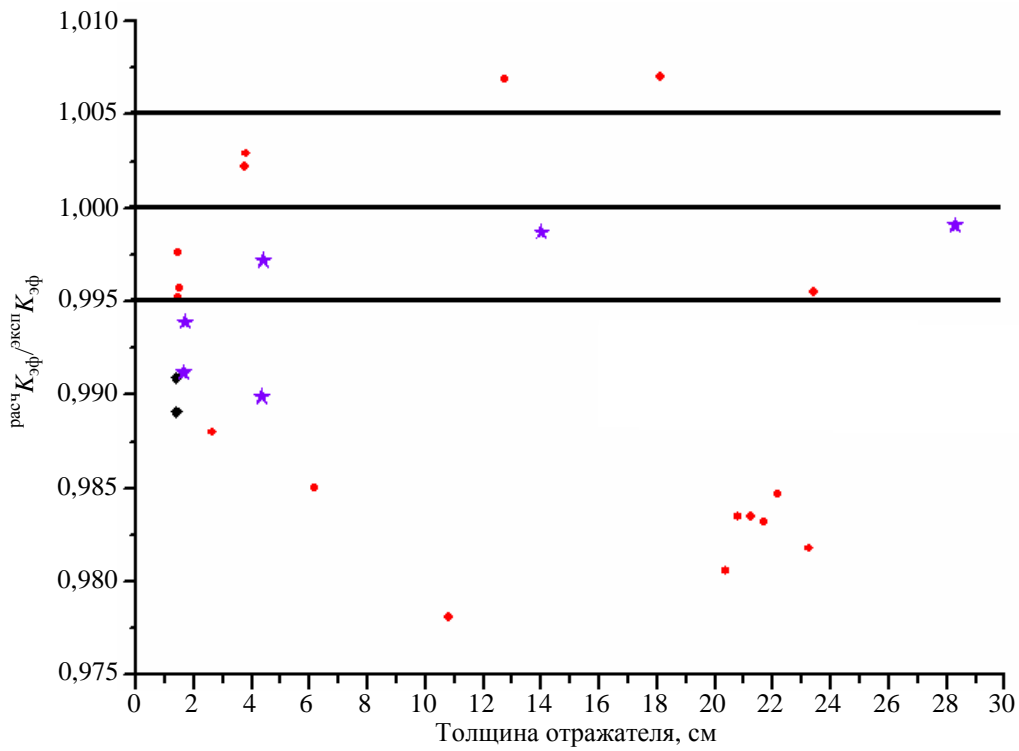


Рис. 2. Зависимость отношения расчетных (при использовании библиотеки ENDF/B-8) и экспериментальных значений $K_{эф}$ для КС с АЗ из ВОУ от толщины водородсодержащего отражателя (● – полиэтилен, ◆ – тяжелая вода, ★ – вода)

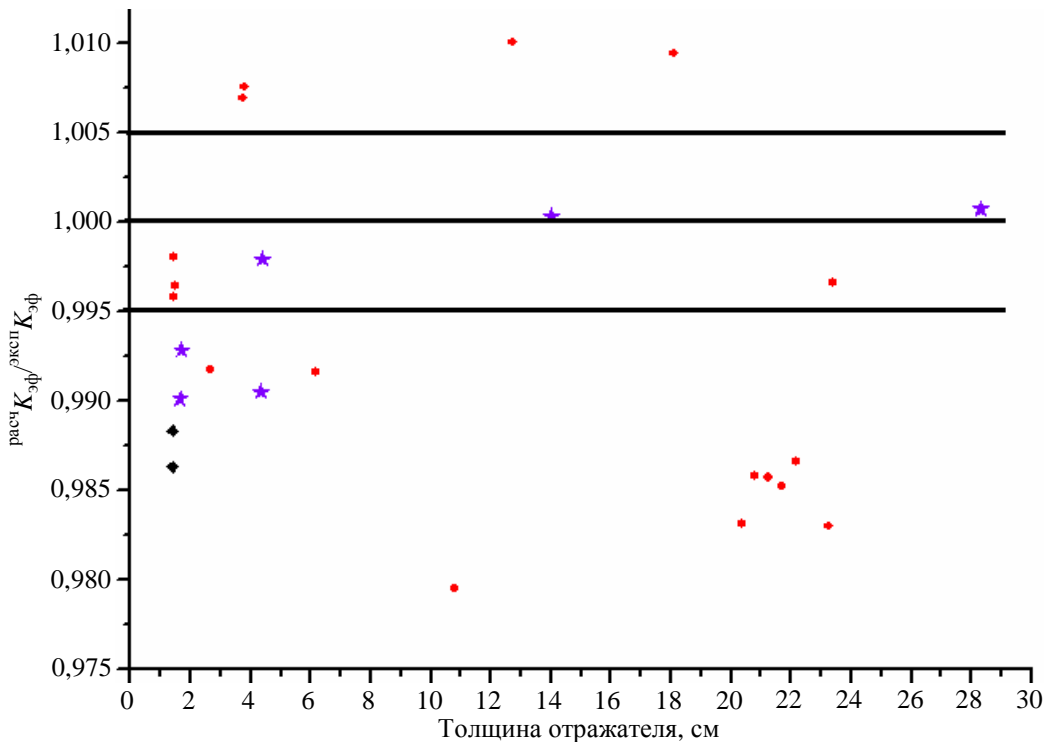


Рис. 3. Зависимость отношения расчетных (при использовании библиотеки Jendl-4) и экспериментальных значений $K_{эф}$ для КС с АЗ из ВОУ от толщины водородсодержащего отражателя (● – полиэтилен, ◆ – тяжелая вода, ★ – вода)

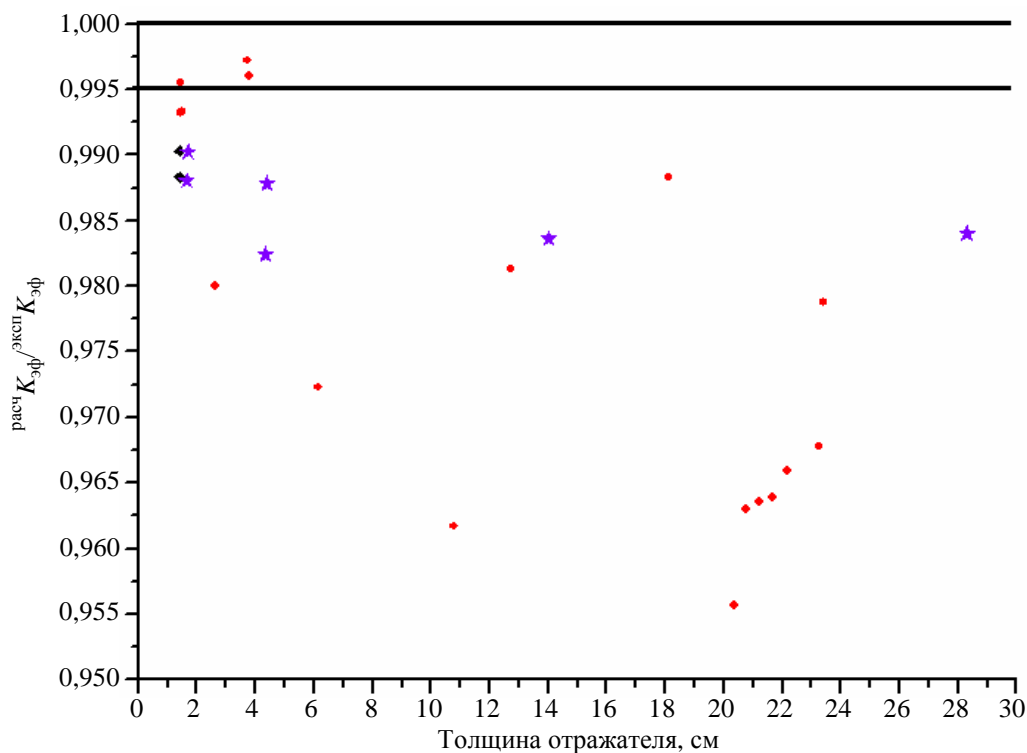


Рис. 4. Зависимость отношения расчетных (при использовании библиотеки БАС) и экспериментальных значений $K_{эф}$ для КС с АЗ из ВОУ от толщины водородсодержащего отражателя (● – полиэтилен, ◆ – тяжелая вода, ☆ – вода)

1.2. КС с плутониевой АЗ и отражателем из полиэтилена

К данной категории отнесены 29 конфигураций КС с АЗ из плутония в α - и δ -фазах

и водородсодержащими отражателями, преимущественно из полиэтилена. Как видно из рис. 5, при толщине отражателя до 10 см критические параметры сборок удовлетвори-

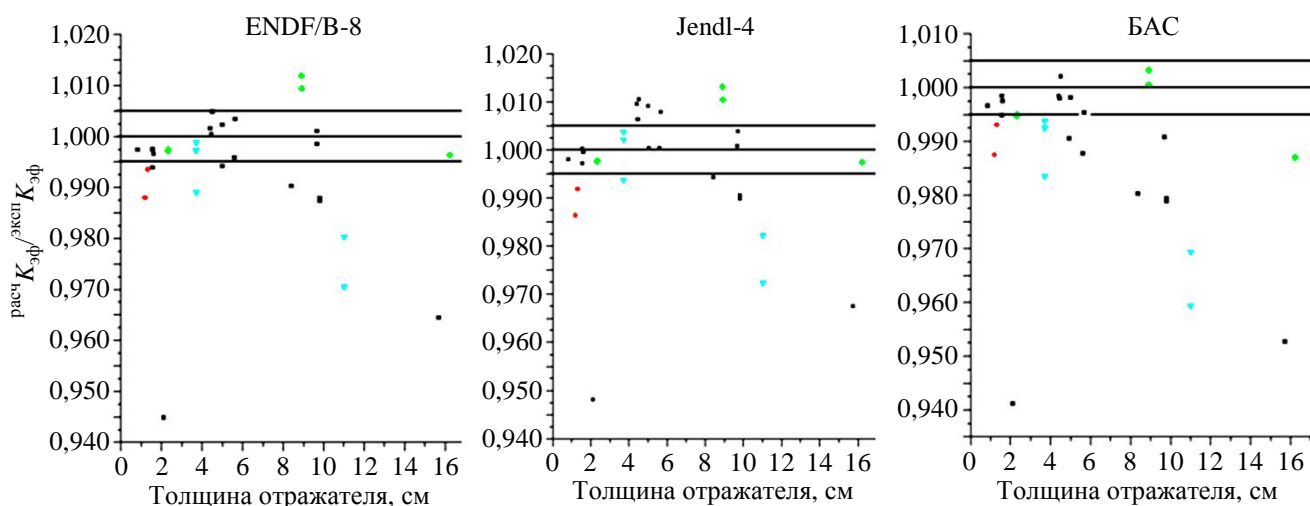


Рис. 5. Зависимость отношения расчетных и экспериментальных значений $K_{эф}$ для КС с АЗ из плутония от толщины водородсодержащего отражателя: ■ – АЗ из плутония в δ -фазе и отражателем из полиэтилена, ● – АЗ из плутония в δ -фазе и отражателем из тяжелой воды, ◆ – АЗ из плутония в δ -фазе и отражателем из воды, ▼ – АЗ из плутония в α -фазе и отражателем из полиэтилена

тельно описываются в расчетах с использованием различных библиотек констант. Наиболее близкими к экспериментальным значениям $K_{эф}$ являются расчетные значения, полученные с библиотекой ENDF/B-8.

2. КС с отражателями из бериллия

2.1. КС с урановой АЗ и отражателем из бериллия

Для КС с АЗ из СОУ и отражателем из бериллия имеется относительно мало экспериментальных данных, как и в случае с отражателем из полиэтилена. Зависимость отношения расчетных и экспериментальных значений $K_{эф}$ от толщины отражателя (рис. 6) также не дает однозначных выводов о степени рас-

ного описания критических параметров КС с АЗ из СОУ и отражателем из бериллия. Можно только констатировать, что для небольших толщин отражателя (≈ 1 см) наблюдается занижение расчетных значений относительно экспериментальных.

Группа КС с отражателем из бериллия и АЗ из ВОУ включает в себя 19 конфигураций сборок. Из анализа расчетного описания критических параметров данной группы КС (рис. 7–9) следует, что расчетные и экспериментальные значения $K_{эф}$ совпадают в пределах 0,5 % при использовании библиотеки Jendl-4. Применение в расчетах библиотеки ENDF/B-7.1 приводит к некоторому завышению, а использование библиотеки БАС – к занижению расчетных значений $K_{эф}$ относительно экспериментальных.

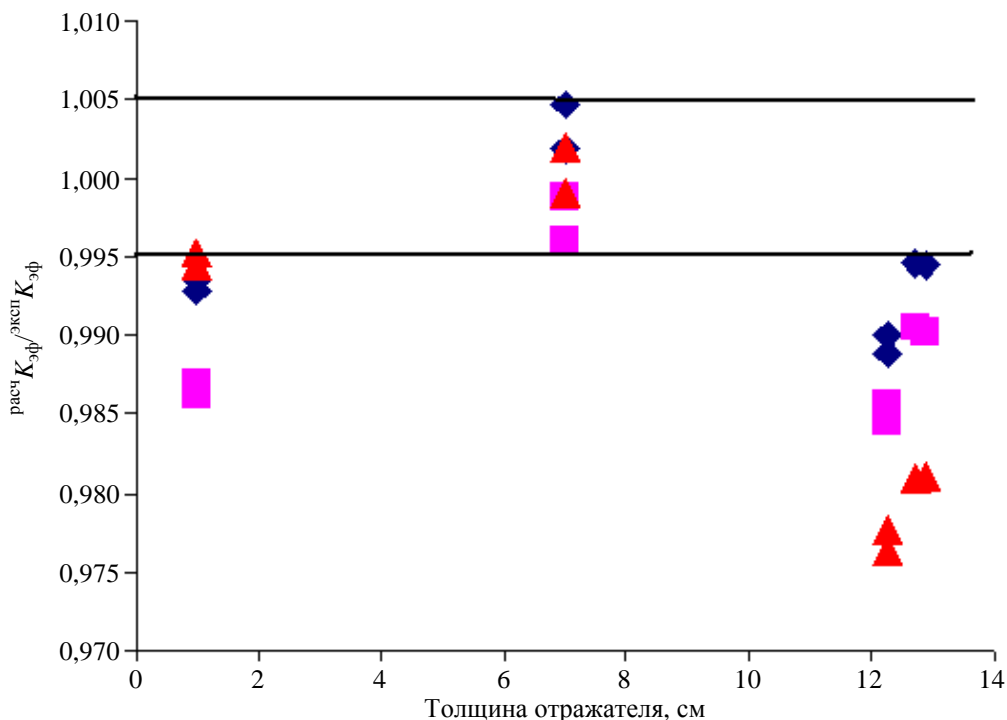


Рис. 6. Зависимость отношения расчетных и экспериментальных значений $K_{эф}$ для КС с АЗ из СОУ от толщины отражателя из бериллия: \blacklozenge – ENDF/B-7.1, \blacksquare – Jendl-4, \blacktriangle – БАС

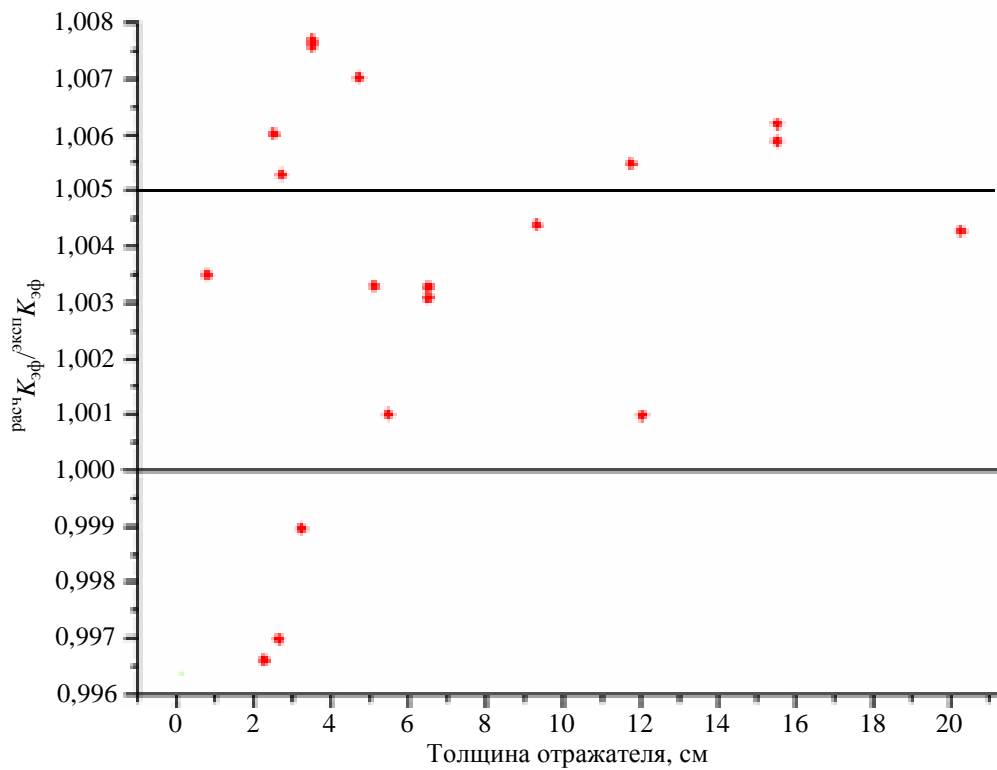


Рис. 7. Зависимость отношения расчетных (при использовании библиотеки ENDF/B-7.1) и экспериментальных значений $K_{эф}$ для КС с АЗ из ВОУ от толщины отражателя из бериллия

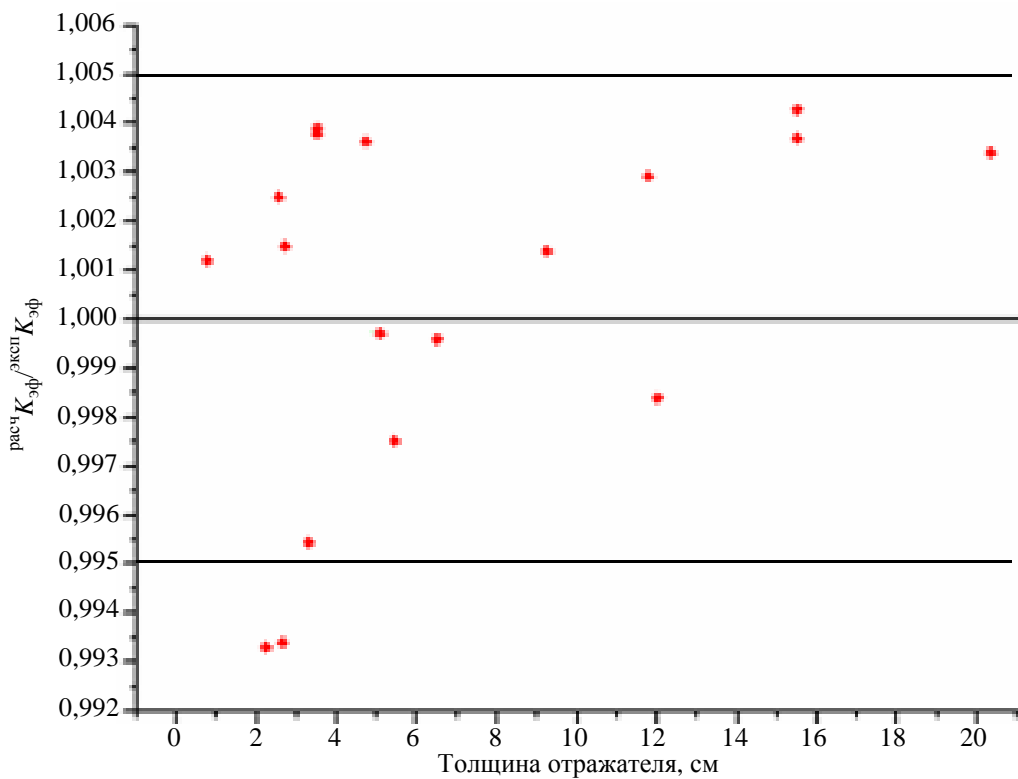


Рис. 8. Зависимость отношения расчетных (при использовании библиотеки Jendl-4) и экспериментальных значений $K_{эф}$ для КС с АЗ из ВОУ от толщины отражателя из бериллия

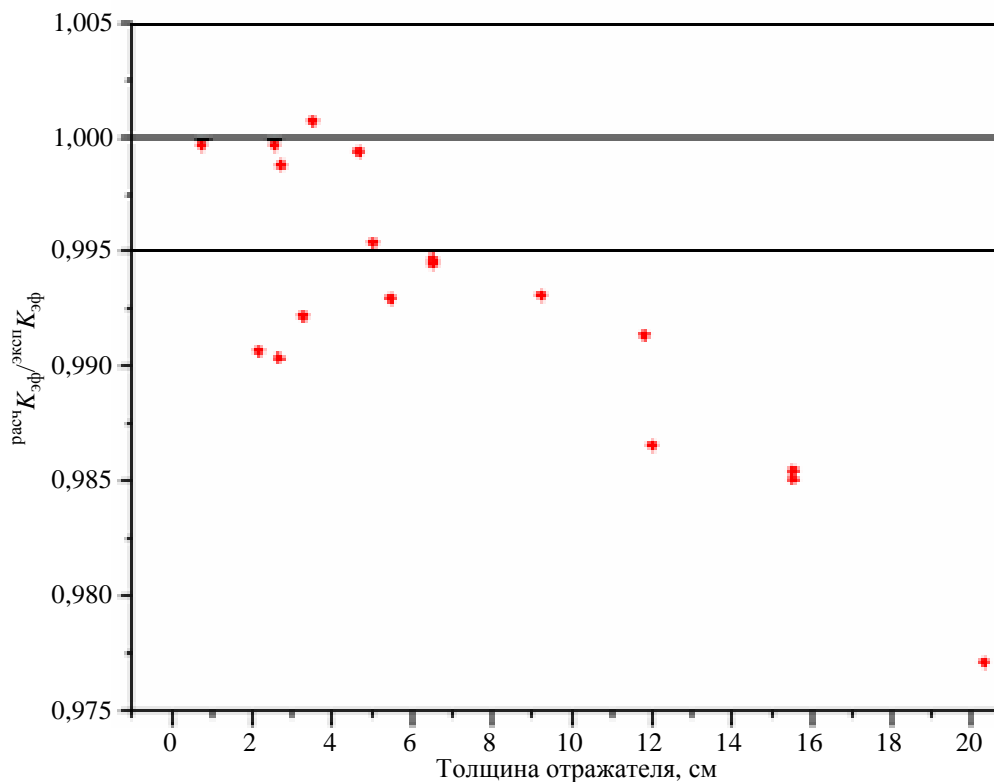


Рис. 9. Зависимость отношения расчетных (при использовании библиотеки БАС) и экспериментальных значений $K_{эф}$ для КС с АЗ из ВОУ от толщины отражателя из бериллия

2.2. КС с плутониевой АЗ и отражателем из бериллия

В данную группу помещены 16 конфигураций КС с отражателем из бериллия и АЗ из плутония в α - и δ -фазах. Из рис. 10, 11 сле-

дует, что практически для всех конфигураций КС из данной группы расчетные значения $K_{эф}$ совпадают с экспериментальными, причем с использованием как библиотеки ENDF/B-7.1, так и Jendl-4.

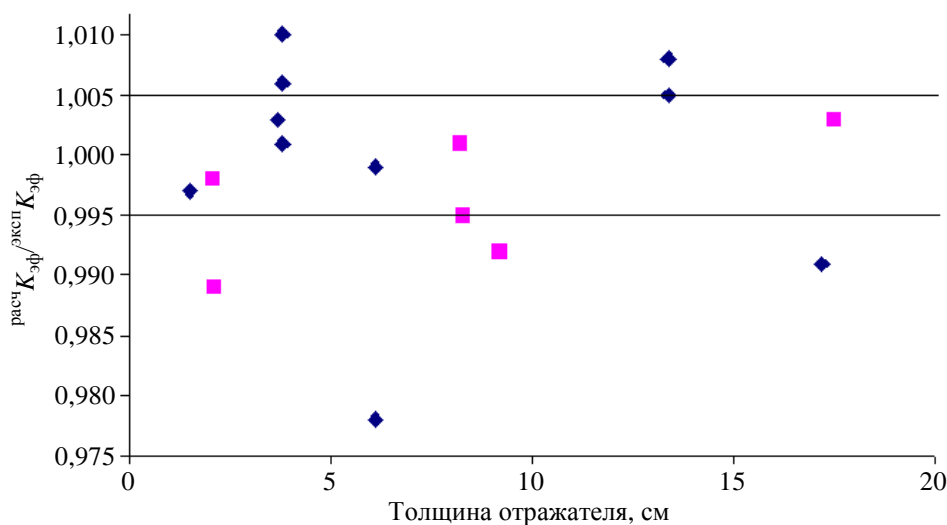


Рис. 10. Зависимость отношения расчетных (при использовании библиотеки ENDF/B-7.1) и экспериментальных значений $K_{эф}$ для КС с АЗ из плутония от толщины отражателя из бериллия: \blacklozenge – АЗ из плутония в δ -фазе, \blacksquare – АЗ из плутония в α -фазе

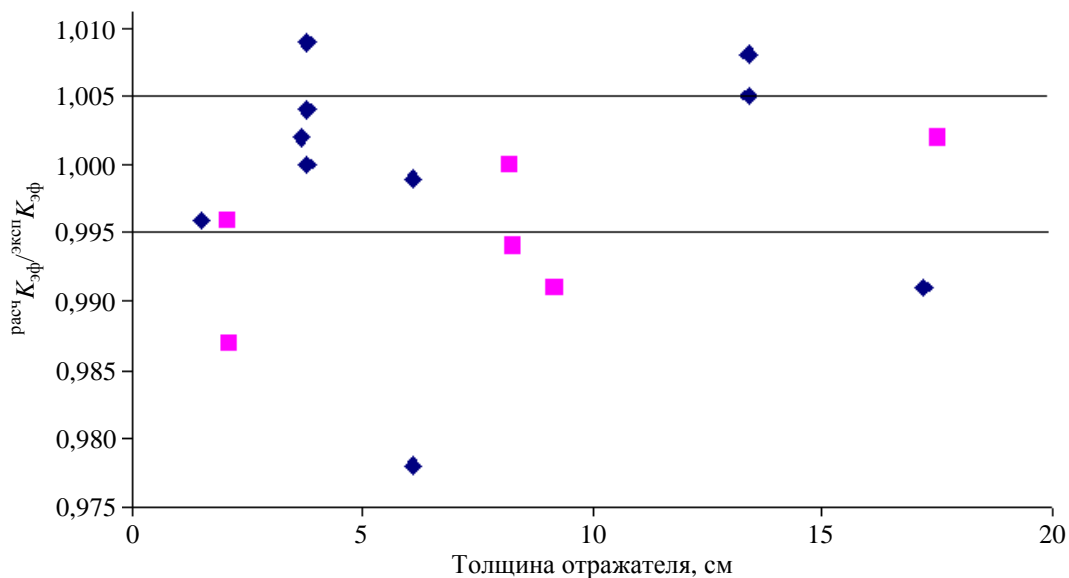


Рис. 11. Зависимость отношения расчетных (при использовании библиотеки Jendl-4) и экспериментальных значений $K_{эф}$ для КС с АЗ из плутония от толщины отражателя из бериллия: \blacklozenge – АЗ из плутония в δ -фазе, \blacksquare – АЗ из плутония в α -фазе

Заключение

РС с плутониевой АЗ с отражателями из бериллия и полиэтилена с толщиной отражателя до 10 см хорошо описываются библиотеками Jendl-4 и ENDF/B-7.1. Значения $K_{эф}$, полученные с библиотекой БАС, являются несколько заниженными относительно экспериментальных данных.

Для РС с АЗ из урана высокого обогащения с отражателем из бериллия толщиной до 10 см расчетные значения $K_{эф}$ совпадают с экспериментальными в пределах 0,5 %. Однако в случае отражателя из полиэтилена расчетные данные занижены. Также они являются заниженными для РС с АЗ из урана среднего обогащения, причем с отражателями как из бериллия, так и полиэтилена. Это может свидетельствовать о некорректном отображении в константах порогового характера деления ^{238}U , поскольку с увеличением доли этого изотопа увеличивается расхождение расчетных и экспериментальных значений $K_{эф}$. Для проверки этого утверждения требуются уточняющие эксперименты и анализ константного обеспечения.

Список литературы

1. Горелов В. П., Ильин В. И., Крутько Н. А. Архив ВеАр характеристик сферических и цилиндрических критических сборок // ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов. 2000. Вып. 2/3. С. 168–175.
2. International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments. – Nuclear Energy Agency, Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, NEA/NSC/DOC(95).
3. 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.

Контактная информация –
 Кайгородов Алексей Анатольевич,
 старший научный сотрудник ИЯРФ,
 РФЯЦ-ВНИИЭФ,
 e-mail: otd4@exped.vniief.ru

Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов, 2021, вып. 4, с. 77–84.