

ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ

СЕРИЯ:

Ядерные константы

ВЫПУСК

5 (59)

1984

ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Серия: ЯДЕРНЫЕ КОНСТАНТЫ

Научно-технический сборник

Выпуск 5(59)

ЯДЕРНО-РЕАКТОРНЫЕ ДАННЫЕ

(ПРОГРАММНО-КОНСТАНТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТОВ РЕАКТОРОВ И ЗАЩИТЫ)

Москва

1984

СОДЕРЖАНИЕ

Едкевич М.С. Банк нейтронно-физических констант Института атомной энергии им. И.В. Курчатова	3
Волощенко А.М., Гермогенова Т.А., Исаенко Т.Г., Луховицкая Э.С., Николаев М.Н., Олейник-Овод Г.М., Савоськин М.М., Фейгельсон Н.Б. Новая версия пакета Объединенной константной системы	6
Воронков А.В., Журавлев В.И., Натрусова Е.Г. GNDL - групповая библиотека нейтронных данных	10
Великанов В.В., Савоськина Г.В. Комплекс программ АРМАНЬЯК	14
Кощеев В.Н., Николаев М.Н. Библиотека нейтронных данных для расчета групповых констант	16
Мантуров Г.Н. Система программ и архивов ИНДЭКС	20
Николаев М.Н., Савоськин М.М. О современном состоянии системы АРАМАКО	24
Пивоваров В.А., Серегин А.С. Методика и программа автоматизированной подготовки мало-групповых констант для расчета реакторов в трехмерной гексагональной геометрии	27
Синица В.В. Программа расчета групповых констант на основе библиотек оцененных нейтронных данных	34
Долгов Е.В., Цибуля А.М. Оценка методической погрешности 26-группового приближения	38
Долгов Е.В., Савоськин М.М., Цибуля А.М. К вопросу о разработке мультигрупповой системы констант	49
Содержание сборника "Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерные константы за 1984 г.	54

Сборник подготовлен Физико-энергетическим институтом
и Комиссией по ядерным данным

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор О.Д. КАЗАЧКОВСКИЙ

НЕЙТРОННЫЕ КОНСТАНТЫ И ПАРАМЕТРЫ

Зам. главного редактора Б.Д. КУЗЬМИНОВ

Ф.Н. Беляев, П.И. Благоволин, В.П. Вертебный, В.Я. Головня, Ю.С. Замятнин,
Ю.А. Казанский, С.С. Коваленко, В.Е. Колесов, В.А. Коньшин, В.Н. Манохин,
В.И. Мостовой, Г.В. Мурадян, В.Н. Нефедов, М.Н. Николаев, Ю.П. Попов,
Г.Я. Труханов, В.А. Толстикова, О.А. Сальников, С.И. Сухоручкин, Г.Е. Шаталов,
Г.Б. Яньков, В.П. Ярына, М.С. Юдкевич

КОНСТАНТЫ И ПАРАМЕТРЫ СТРУКТУРЫ ЯДРА И ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

Зам. главного редактора А.Г. ЗЕЛЕНКОВ

Б.Я. Гужовский, П.П. Дмитриев, Н.Н. Жуковский, Б.С. Ишханов, Е.Г. Копанец,
В.М. Кулаков, И.П. Селинов, Ю.В. Сергеенков, Ю.В. Хольнов, Н.П. Чижова,
Ф.Е. Чукреев

ЯДЕРНО-РЕАКТОРНЫЕ ДАННЫЕ

Зам. главного редактора М.Ф. ТРОЯНОВ

И.А. Архангельский, П.П. Благоволин, А.И. Воропаев, А.Ю. Гагаринский,
Т.В. Голашвили, Л.В. Диев, В.П. Жарков, С.М. Зарицкий, Ю.А. Казанский,
А.А. Лукьянов, В.Г. Мадеев, В.И. Матвеев, В.А. Наумов, М.Н. Николаев,
Р.В. Никольский, Э.Е. Петров, Г.Б. Померанцев, Л.В. Точеный, В.В. Хромов,
О.В. Шведов

Ответственный секретарь выпуска В.В. Возяков

УДК 621.039.519

БАНК НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТ ИНСТИТУТА АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ им. И. В. КУРЧАТОВА

М. С. Д д к е в и ч

NEUTRON PHYSICS CONSTANT BANK OF THE CURCHTOV MEMORY I A E.
The neutron physics constants bank consists from the libraries,
library service computer codes and data preparation codes for
reactor calculations. Each part of the bank is described.

В практике реакторных расчетов широко используются различные библиотеки нейтронно-физических констант, описывающих взаимодействие нейтронов с ядрами. Основные библиотеки собраны в банк (см. таблицу). Все библиотеки записаны на магнитные носители единообразно, обслуживаются одними программными средствами и позволяют использовать единую технологию подготовки констант для программ реакторных расчетов. Это дает возможность называть совокупность библиотек банком.

Банк нейтронно-физических констант

Таблица

Название библиотеки, страна или организация, год создания	Содержание	Программы подготовки констант
ENDF/B: IV - целиком V - частично США, 1974, 1979 ENDF-LLL, США, 1976 UKNDL, Великобритания, 1971	Оцененные данные о всех характеристиках взаимодействия нейтронов с ядрами ($0,005 \text{ эВ} \leq E \leq 20 \text{ МэВ}$)	MINX, ГРУКОН, NEDAM
БНАБ, ФЭИ, 1978	26-групповая система констант для расчета реакторов и защиты	MARS, АРАМАКО-2F MIM
КОРТ, ИАЭ, 1980	Константы для расчета тепловых реакторов	TEERMAC
LIPAR, ИАЭ, 1983	Оцененные параметры разрешенных резонансов	CROSS

Все библиотеки банка и их программное обеспечение записаны на диске коллективного пользования, доступном всем пользователям ЭВМ в режиме чтения и закрытом в режиме записи. В банке также имеются некоторые программы подготовки реакторных констант.

Авторы программного обеспечения банка исходили из того, что пользователи реакторных программ должны иметь свободный доступ к исходным данным - к библиотекам констант, т.е. должна быть обеспечена возможность простыми средствами выбрать из библиотек нужную информацию, вывести ее на печать и при необходимости скорректировать.

Все библиотеки записаны на магнитные носители (в дальнейшем диски) в виде текстов. Единица записи - 80-символьная карта. Библиотеки имеют различный формат записи информации, но информация всегда располагается по иерархическому принципу, например, в случае многогрупповых констант нуклид - группа - секция. Каждая карта имеет номер, отражающий иерархию и однозначно определяющий место карты в библиотеке.

Запись информации в виде текста позволяет использовать для работы с библиотеками хорошо развитый на всех типах ЭВМ аппарат работы с текстами. На ЭВМ БЭСМ-6 - это редактор, входящий в стандартное математическое обеспечение. Возможности редактора расширены путем включения в него дополнительных директив. В частности, можно выбрать информацию, расположенную в разных местах библиотеки, но связанную какой-либо общей характеристикой (например, в случае многогрупповой библиотеки - среднегрупповые сечения всех элементов всех или указанных групп).

Программное обеспечение для работы с библиотеками собрано в комплексе ТЕКДА [1], дает возможность сформировать временную библиотеку с нужной только для данного расчета информацией; изменить и дополнить информацию во временной библиотеке; получить справочную информацию о составе постоянной и временной библиотек, вывести данные на печать; прочитать библиотеку из программ на языке ФОРТРАН.

Таким образом обеспечена возможность при расчетах произвольно менять исходные данные. В то же время гарантирована сохранность основной библиотеки. Аппарат редактирования особенно удобен при работе по подгонке констант.

Дополнительным преимуществом записи библиотек в виде текста является простота их адаптации на ЭВМ разных типов.

Запись числовой информации в виде текста имеет недостаток - требует дополнительного времени на перекодировку. Поэтому для массовых оперативных расчетов целесообразно сформировать рабочую библиотеку и записать ее на магнитном диске в бесформатном виде. Формат рабочей библиотеки должен быть ориентирован на конкретную программу.

В дальнейшем библиотеки, записанные в виде текста, будем называть базовыми в отличие от бесформатных рабочих библиотек.

Система констант БНАБ - основная система для расчета быстрых реакторов. В банк записана последняя версия БНАБ-78 [2]. Кроме того, для основных делящихся и сырьевых изотопов в нее включены характеристики резонансов, вычисленные на основе обобщенного подгруппового подхода [3]. Это дает возможность использовать получившуюся систему констант и для расчетов гетерогенных тепловых реакторов. Константы БНАБ записаны в банк в специально для этой цели разработанном формате ТЕМБР [4]. Он близок к известному формату ENDF/B [5], но учитывает специфику многогрупповых констант.

Для подготовки реакторных макроскопических констант написана программа MARS [6]. В ней использованы те же алгоритмы, что и в рекомендуемой авторами библиотеки БНАБ программе АРАМАКО-2F [7]. Программа MARS оформлена в виде модуля, результаты ее работы записываются на внешний носитель. Запись проводится отдельными рекордами, каждый из которых содержит однотипную, четко определенную информацию. Рекорды снабжены именами, по которым их можно найти и считать. Имеется программа поиска и считывания, внешне имитирующие прямой доступ. Рабочая библиотека программы MARS также записана в формате ТЕМБР. От базовой ее отличает иерархия данных: группа - секция - материал. Это позволяет прочитать нужную информацию за один просмотр библиотеки. Для обслуживания рабочей библиотеки написан редактор BINED, позволяющий выбрать из библиотеки любую необходимую информацию и скомпоновать временную рабочую библиотеку, в которую при необходимости можно внести коррективы.

Существует большое семейство реакторных программ, главным образом для расчета быстрых реакторов, константы для которых готовят программы АРАМАКО-2F [7] или МИМ [8]. Чтобы привязать их к банку, написаны программы LONT* для АРАМАКО и ТИТОВИ* для МИМ, которые готовят рабочие библиотеки указанных программ. Отметим, что рабочие библиотеки, сформированные авторами программы АРАМАКО и полученные из библиотеки банка через программу LONT, разумеется, совпадают. Использование банка дает преимущество - делает константы полностью открытыми для пользователя. То же относится и к программе МИМ.

Константы для тепловых реакторов. Потребности реакторных расчетов в области термализации нейтронов обеспечивает библиотека КОРТ [9]. В ней записаны общие характеристики ядер (масса, время жизни и др.), тепловые сечения, энергетический ход сечений ниже 5 эВ, если их энергетическая зависимость не подчиняется закону $1/v$, число вторичных нейтронов при делении. В этой же библи-

* Программа LONT написана Е.А.Макаровой, программа ТИТОВИ - В.А.Стукаловым.

отеке записан спектр частот колебаний атомов основных реакторных замедлителей, дающий возможность вычислять дифференциальные сечения неупругого и упругого рассеяния с учетом химической связи и теплового движения атомов. В банке для этого имеются программы NEWRAS [10] и ELSONR [11].

Библиотеки банка могут быть связаны с реакторными программами через программу подготовки констант ТЕРМАС [12], которая готовит и записывает на внешний носитель микроскопические парциальные сечения и матрицы рассеяния в заданной энергетической шкале (рабочая библиотека) либо по заданному составу среды макроскопические сечения.

Область энергий разрешенных резонансов. Прецизионные расчеты резонансного поглощения обеспечиваются программным пакетом CROSS, являющимся результатом развития описанной ранее программы CROS [13] и состоящим из библиотеки резонансных параметров LIPAR, программы расчета сечений CROSN, обслуживающих и сервисных подпрограмм.

Библиотека резонансных параметров, версия LIPAR-3, содержит информацию о 66 изотопах. Она заменяет менее полную и частично устаревшую версию LIPAR-1 [13].

Программа CROSN по параметрам резонансов вычисляет сечения в одной энергетической точке для заданного списка изотопов, их концентраций и температур. Используется тот же алгоритм, что и при оценке параметров конкретного ядра. Учитываются тепловое движение ядер, интерференция резонансного и потенциального рассеяния и, если необходимо, интерференция резонансов. Информация для расчета берется из рабочей библиотеки LIPAR. Программа для ее формирования также входит в пакет, и пользователь может дополнить или изменить данные. Обслуживающие программы дают возможность рассчитывать сечения, опираясь на библиотеку оцененных нейтронных данных ENDF/V.

Список литературы

1. Чистякова В.А., Юдкевич М.С. ТЕКДА - комплекс для хранения, редактирования и эксплуатации библиотек данных на ЭВМ БЭСМ-6: Препринт № 3046. М.: ИАЭ, 1978.
2. Абагян Л.П., Базазянц Н.О., Николаев М.Н., Цибуля А.М. Групповые константы для расчета реакторов и защиты. М.: Энергоиздат, 1981.
3. Тебин В.В., Юдкевич М.С. Подгрупповые параметры в области разрешенных резонансов: Препринт № 3955/5. М.: ИАЭ, 1981.
4. Осипов В.К., Чистякова В.А., Юдкевич М.С. ТЕМЕР - формат текстовой записи библиотек многогрупповых констант для расчета реакторов и защиты. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика и техника ядерных реакторов, 1982, вып.8(21), с.62.
5. Data format and procedures for the evaluated nuclear data file. BNL-NCS-50496 (ENDF-102), 1975.
6. Осипов В.К., Чистякова В.А., Юдкевич М.С. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика и техника ядерных реакторов, 1982, вып.7(29), с.86.
7. Базазянц Н.О., Вырский М.Ю., Гермогенова Т.А. и др. АРАМАКО-2F - система обеспечения нейтронными константами расчетов переноса излучения в реакторах и защите. М.: ИПМ АН СССР, 1976.
8. Башмачников А.И. Константное обеспечение комплекса НФ-6: Препринт № 49(408). Димитровград: НИИАР, 1979.
9. Абагян Л.П., Юдкевич М.С. Библиотека нейтронных данных для расчета тепловых реакторов. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, 1981, вып.4(43), с.24-52.
10. Лиман Г.Ф., Майоров Л.В. Программа NEWRAS для расчета дифференциальных сечений рассеяния медленных нейтронов. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика и техника ядерных реакторов, 1982, вып.8(21), с.32.
11. Лиман Г.Ф. Программа SOLCST и ELSONR для расчета полных и упругих когерентных сечений рассеяния тепловых нейтронов. - Там же, 1982, вып.5(27), с.74.
12. Гомин Е.А., Майоров Л.В. Комплекс ТЕРМАС для расчета групповых сечений нейтронов в области термализации. - Там же, с.70.
13. Тебин В.В., Юдкевич М.С. Расчет нейтронных сечений по оцененным резонансным параметрам. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, 1978, вып.2, с.29.

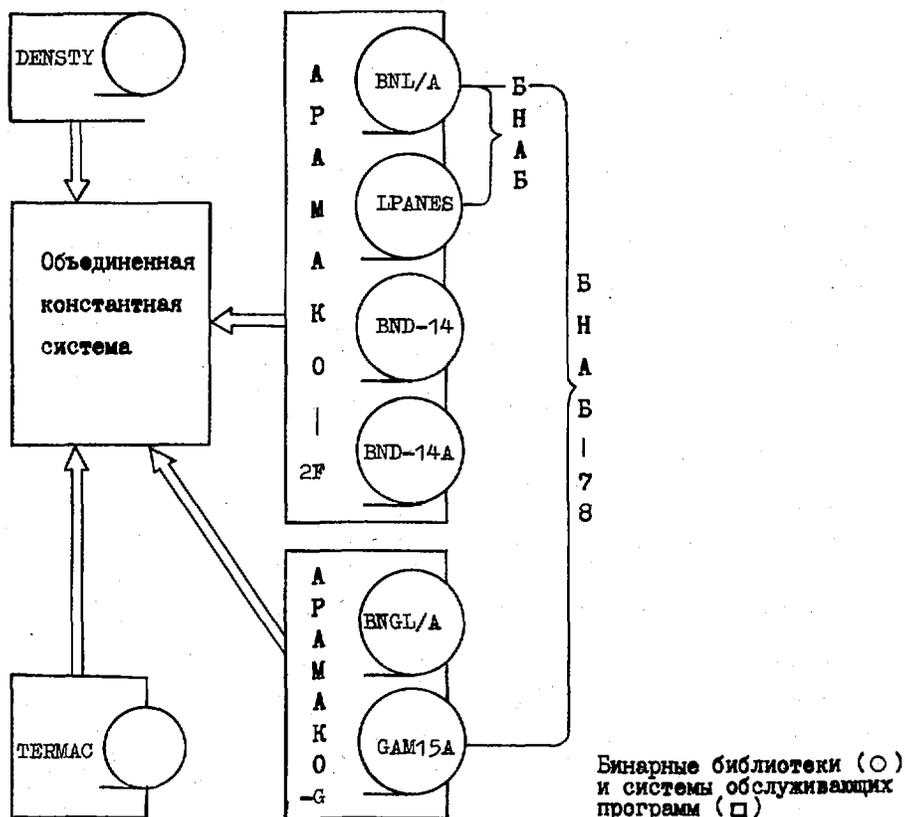
Статья поступила в редакцию 27 июля 1984 г.

НОВАЯ ВЕРСИЯ ПАКЕТА ОБЪЕДИНЕННОЙ КОНСТАНТНОЙ СИСТЕМЫ

А.М.Волощенко, Т.А.Гермогенова, Т.Г.Исаенко,
Э.С.Луховицкая, М.Н.Николаев, Г.М.Олейник-Овод,
М.М.Савоськин, Н.Б.Фейгельсон

A NEW VERSION OF THE UNITED GROUP CROSS-SECTIONS RETRIEVAL SYSTEM PACKAGE. A united group cross-sections retrieval system (URS) has been developed to provide convenient operation of the systems ARAMAКО-2F, ARAMAКО-G, DENSTY, TERMAC etc. in computations of radiation transport, value functions and various functionals. Since the system development (1980) both the language and the functional contents have been improved and supplemented. In this paper the input language and the system performance in the new version are described.

Объединенная константная система (ОКС) создана для обеспечения удобной эксплуатации различных константных систем при расчетах переноса излучения, функций ценности и различных функционалов (см. рисунок). Функциональное наполнение ОКС составляют известные константные системы: DENSTY [1], АРАМАКО-2F [2], АРАМАКО-G [3], система расчета 49-групповых констант [4,5], АРАМАКО-80 [6], TERMAC [7], а также преобразователи форматов ARVES [8] и JAST.



Со времени создания (1980 г.) ОКС использовалась для решения задач по радиационной защите. В настоящее время ведутся интенсивные работы по созданию пакета ЗАЩИТА [9], в котором система ОКС будет использована для решения задач как по защите, так и по физике реакторов.

По мере эксплуатации как в язык, так и в состав функционального наполнения системы ОКС вносились дополнения. По сравнению с версией, описанной в работе [10], в новую версию системы [11] включены следующие константные системы: TERMAC, АРАМАКО-80, система расчета 49-групповых нейтронных констант, создан оператор JOIN, внесены дополнительные параметры в оператор FORM, увеличен состав сервисных программ.

Операторы языка системы ОКС

Задание для системы ОКС представляет собой последовательность операторов. По своему функциональному назначению операторы делятся на исполняемые и неисполняемые. Исполняемый оператор задает некоторое действие, например вызов константной программы или преобразование форматов. Неисполняемый оператор - это описание объектов, используемых при работе исполняемого оператора. Порядок выполнения операторов определяется порядком их написания. Область действия исполняемого оператора распространяется на неисполняемые операторы, написанные непосредственно после исполняемого оператора, до следующего исполняемого оператора.

В настоящее время в системе ОКС реализованы следующие операторы: ZONE, CONST, DATA, FORM, TARE, JOIN, END. Опишем их более подробно.

Оператор ZONE - неисполняемый. Он описывает одну физическую зону (вещество), характеризующуюся однородным с физической точки зрения составом. Чтобы учесть такие случаи, когда изотопы в зоне пространственно разделены и имеют разные температуры, оставлена возможность задать температуру T_i для каждого изотопа отдельно.

Оператор ZONE имеет вид: ZONE: <номер зоны>, <T>, <имя изотопа>, <ядерная концентрация>, <T_i>.

Повторять k раз

Номер зоны - целое положительное число, T - общая температура зоны (K). Далее идут тройки параметров, описывающих изотоп. T_i - температура данного изотопа. Если T_i не задана, то она по умолчанию считается равной T. Температуры и ядерные концентрации - вещественные числа. Имя изотопа - идентификатор. Идентификатор в системе - это последовательность (букв, цифр, символов ".", "-", " ", "x"), начинающаяся с буквы. Длина идентификатора не должна превышать шести символов.

Пример 1. ZONE: 7, 600., U-235, 1.21E-4, ZR, 0,0084. В примере описаны два изотопа. Температуры изотопов не заданы и считаются равными температуре зоны.

Оператор CONST - исполняемый. Он вычисляет константы по одной из константных программ, входящих в систему ОКС. Полученному в результате массиву констант присваивается имя, которое задается параметром оператора. Оператор CONST имеет вид: CONST: <имя массива>, <имя программы>, <режим>. Имя массива - идентификатор. Под этим именем будет упоминаться полученный массив констант. Имя программы - идентификатор. Он однозначно определяет константную систему, ее версию, а также программу, которую следует применить для расчета нужного типа констант.

В настоящее время в систему ОКС включены следующие программы:

NEUTR - расчет нейтронных констант в 26-, 28-групповом приближении с помощью системы АРАМАКО-2F [2] и в 49-групповом приближении с помощью 49-групповой константной системы [5];

ГАММА- расчет $\gamma(G)$ -констант в 15-групповом приближении с помощью системы АРАМАКО-G [3];

N-G - расчет нейтронных и G-констант (АРАМАКО-G);

NN-GG - расчет нейтронных, N-G- и G-констант (АРАМАКО-G);

CNN-GG - расчет нейтронных, N-G- и G-констант и представление их в виде одного массива в формате FМАС5А (АРАМАКО-G);

DENSTY - расчет 21-групповых нейтронных реакторных констант с помощью системы DENSTY [1];

RNEUT - расчет нейтронных реакторных констант с помощью системы АРАМАКО-80 [6];

ТЕРМАС - расчет термализационных констант с помощью системы ТЕРМАС [7].

Параметр "режим" определяет выбор варианта работы программы и задается списком подпараметров, длина которого, а также смысл каждого из элементов зависят от конкретной константной программы. Допустимые значения параметров подробно описаны в инструкции по системе ОКС,

Пример 2. CONST: A, NEUTR, 26, 2, 2, 0; ZONE: I, 595., H., 452., 0., 226., B-I, 7.55E-9; ZONE: 2, 595., FE, .848. В этом примере оператор CONST применяется к двум физическим зонам. Он задает обращение к программе NEUTR. Рассчитанный массив нейтронных констант получит имя А.

Оператор DATA - неисполняемый. Он применяется в тех случаях, когда параметр исполняемого оператора представляет собой массив чисел или список идентификаторов. Оператор DATA имеет вид:

DATA: <имя массива >, <список >. Имя массива - идентификатор. Список - последовательность чисел или идентификаторов, разделенных запятыми.

Пример 3. CONST: G, GAMMA, I, NGCOM; ZONE: I, 300., FE., 0847; ZONE: 2, 300., H., 067, 0., 0335; DATA: NGCOM, 0, 0, 0, 0, 0, 0, I, I, 2, 2, 2, 3, 3, 0, 0.

Требуется рассчитать γ -константы с помощью программы GAMMA. Третий параметр, равный единице, означает, что в массиве γ -констант угловая зависимость переходов из одной группы энергий в другую будет задана в поточечном представлении. Четвертый параметр NGCOM - имя массива, описывающего свертку констант по группам энергий γ -квантов. Массив состоит из 15 целых чисел и задается оператором DATA.

Оператор FORM - исполняемый. Он предназначен для перевода констант из одного формата в другой. Оператор FORM имеет вид: FORM: <имя массива >, <формат >, <имя массива >, <режим >; 1-й параметр - имя массива, который вырабатывается оператором FORM; 2-й параметр - имя формата; 3-й параметр - имя исходного массива; 4-й параметр - режим (он определяет характер работы программы, реализующий требуемое преобразование форматов). Режим задается списком подпараметров. Длина списка и смысл каждого из элементов зависят от конкретного преобразования.

В систему ОКС включены следующие форматы:

AMAC5A - формат сопряженных констант, полученный из стандартного формата FMAC5A, принятого в защитной версии системы АРАМАКО;

ROZ-6 - формат констант, используемый программой POZ-6 [8];

ARoz-6 - формат сопряженных констант, используемых программой POZ-6;

CRoz-6 - объединенный формат; константы в этом формате представляют собой два последовательно записанных массива констант: первый в формате POZ-6, второй в формате ARoz-6.

Пример 4. CONST: A, NEUTR, 26, 2, 2, 0; ZONE: I, 595., H., 452., 0., 226., B-I0, 7.55E-9; ZONE: 2, 595., FE., 848; FORM: B, ROZ-6, A, , 2, 5.

Массив А, полученный программой NEUTR, будет переведен из формата FMAC5A в формат ROZ-6 и получит имя В. На печать будут выданы константы для интервала групп 2,5.

Оператор TAPE - неисполняемый. Он предназначен для задания места во внешней памяти, куда должен быть помещен массив с данным именем. Этот массив вырабатывает исполняемый оператор (к которому относится оператор TAPE). Этот же исполняемый оператор записывает массив на указанное место. Информация о месте во внешней памяти может быть задана или как номер канала, или как математический номер устройства и номер зоны. Это определяется конкретным исполняемым оператором, информацию для которого содержит оператор TAPE.

Оператор TAPE имеет вид: TAPE: <имя массива >, <номер ВУ >, <начало >, <длина >; <имя массива > - идентификатор; <номер ВУ > - это или номер канала (в этом случае 3-й и 4-й параметры могут быть опущены), или математический номер внешнего устройства; <начало > - номер начальной зоны; <длина > - число зон.

Пример 5. CONST: A, NEUTR, 26, 2, 2, 0; ZONE: I, 300., FE., 066., 0-I6., 033; ZONE: 2, 300., CR., 04., H., 001; FORM: B, CRoz-6, A, 0, 0, 3, 7; TAPE: B, 5.

Массив В в формате CRoz-6 будет записан в канале 5, что соответствует магнитной ленте с математическим номером 45. Массив А будет помещен на ресурс системы ОКС. Если этот массив должен быть сохранен, то после оператора CONST следует написать оператор TAPE с указанием места во внешней памяти для массива А.

Оператор JOIN - исполняемый. Он предназначен для объединения двух массивов, представленных в одном и том же формате, в один массив в том же формате. В системе ОКС такое объединение производится для формата FMAC5A. Необходимость такого объединения вызвана тем, что некоторые константные системы налагают ограничения на число зон или изотопов, одновременно участвующих в расчете. Оператор JOIN позволяет снять это ограничение.

Оператор имеет вид: JOIN: <имя массива >, <формат >, <имя массива >, <имя массива >, <режим >; 1-й параметр - имя массива, который вырабатывается оператором JOIN; 2-й параметр - FMAC5A; 3-й параметр - имя первого объединяемого массива; 4-й параметр - имя второго объединяемого массива; 5-й параметр - режим (он определяет характер работы программы, реализующий объединение).

ние). Режим состоит из параметров, значения которых здесь не приводятся. Параметр "режим" может быть опущен.

Оба объединяемых массива могут быть рассчитаны в одном и том же задании. Допускается также, чтобы один из массивов был получен ранее. В этом случае нужно дать указание о месте его хранения с помощью оператора TAPE.

Пример 6. CONST: B, NEUTR, 26, 2, 2, 0; ZONE: 1, 595., H, .452, .0, .226., B-10, 7.55E-9; JOIN: C, PMA5A, A, B; TAPE: A, 35, I, 100; TAPE: C, 36, I, 200.

Оператор JOIN объединит массивы A и B в один массив C. Массив A он прочтет с магнитной ленты 35, массив B - с ресурса системы OKC. Результат поместит на магнитную ленту 36.

Оператор END - конца задания. Он имеет вид: END.

Пример 7. Окончательный вид задания для системы OKC: CONST: A, NEUTR, 26, 2, 2, 0; ZONE: 1, 300, FE, .066, .0-16, .033; ZONE: 2, 300., CR, .04, .H, .001; FORM: B, ROZ-6, A, 0, 0, 10, 15; TAPE: B, 5; END.

Обращение к системе OKC

Задание для системы пробивается на перфокартах на стандартном алфавитно-цифровом устройстве. Перфокарты подкладываются в пакет для запуска на машине после слова `EXECUTE`. Система OKC организована как подпрограмма. Обращение к ней из программы пользователя выполняется с помощью оператора `CALL` (или `CALL LOADGO`). Как отдельная задача система может быть использована с помощью карты `MAIN OKC1`. Система OKC не налагает ограничений по памяти ни на программу, вызывающую систему, ни на константные программы, к которым обращается OKC. Эта возможность обеспечивается специальными системными средствами, включенными в систему OKC.

Список литературы

1. Марин С.В., Марковский Д.В., Шаталов Г.Е. Программа расчета пространственно-энергетического распределения нейтронов в одномерной геометрии `DENSTX`: Препринт ИАЭ-2832. М., 1977.
2. Базазянц Н.О., Вьрский М.Ю., Гермогенова Т.А. и др. АРАМАКО-2F - система обеспечения нейтронными константами расчетов переноса излучения в реакторах и защите. М.: ИИМ АН СССР, 1976.
3. Абагян А.А., Барыба М.А., Басс Л.П. и др. АРАМАКО-G - система обеспечения многогрупповыми константами расчетов полей гамма-излучения в реакторах и защите: Препринт № 122. М.: ИИМ АН СССР, 1978.
4. Вьрский М.Ю., Дубинин А.А., Клинецов А.А. и др. АРАМАКО-2F - версия системы константного обеспечения расчетов переноса высокоэнергетических нейтронов: Препринт ФЭИ-904. Обнинск, 1979.
5. Вьрский М.Ю., Дубинин А.А., Илюшкин А.И. и др. 49-групповая система констант для расчета переноса нейтронов в радиационных защитах. - Третья Всесоюзная научная конференция по защите от ионизирующих излучений ядерно-технических установок (тезисы докладов). Тбилиси, 1981.
6. Абагян Л.П., Базазянц Н.О., Николаев М.Н., Цибуля А.М. Групповые константы для расчета реакторов и защиты. М.: Энергоиздат, 1981.
7. Гомин Е.А., Майоров Л.В. Программа `TERMAS`. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика и техника ядерных реакторов, 1982, вып. 5.
8. Волощенко А.М., Костин Е.И., Панфилова Е.И., Уткин В.А. `POZ-6` - система программ для решения уравнения переноса в одномерных геометриях. Версия-2: Инструкция ИИМ АН СССР. М., 1980.
9. Басс Л.П., Гермогенова Т.А., Корягин Д.А. и др. Программное обеспечение задач физики защиты реакторов: Препринт № 86. М.: ИИМ АН СССР, 1981.
10. Гермогенова Т.А., Корягин Д.А., Духовицкая Э.С. и др. OKC - пакет программ константного обеспечения. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика и техника ядерных реакторов. 1983, вып. 4(33).
11. Волощенко А.М., Гермогенова Т.А., Исаенко Т.Г. и др. Объединенная система константного обеспечения - OKC. Версия 3.0.: Препринт № 20. М.: ИИМ АН СССР, 1984.

Статья поступила в редакцию 27 июля 1984 г.

GNDL - THE GROUP NEUTRON DATA LIBRARY. This paper deals with the structure of the library and its basic data formats. There is proposed a simple technique for attaching GNDL to application programs.

В большинстве задач по реакторной физике и физике защиты от проникающей радиации, для решения которых используется метод групп, требуются групповые константы, представляющие собой усредненные по энергетическому диапазону группы сечения различных процессов взаимодействия нейтронов с ядрами. Ввиду исключительно сложной зависимости сечений от энергии, а иногда и просто отсутствия данных о детальном ходе сечений для отдельных энергетических диапазонов у некоторых изотопов групповые микроконстанты получают в настоящее время с помощью различных неустоявшихся алгоритмов и оценок (вплоть до волевых) как экспериментального, так и расчетно-теоретического материала. В последнее время эту информацию получают на основе различных зарубежных библиотек оцененных данных. Следовательно, она постоянно обновляется и поэтому нужно иметь удобные средства для внесения изменений, дополнений, исправлений в групповые микроконстанты. Так как число изотопов, применяемых в реакторостроении достигает нескольких сотен, а число групп, применяемых при расчетах, достигает нескольких десятков, то групповые микроконстанты представляют собой большой массив числовой информации, получение которого связано с большими трудностями и достаточно трудоемко. Кроме того, этот массив требуется на входе программ, получающих групповые макроконстанты, следовательно, его необходимо организовать удобно как с точки зрения контроля групповых микроконстант, так и с точки зрения потребления его программами расчета групповых макроконстант. В свою очередь программы расчета макроконстант получают на выходе сравнимый по объему с массивом групповых микроконстант массив групповых макроконстант, который потребляется программами расчета реактора и защиты, поэтому массив должен быть удобно организован.

В настоящее время в СССР для обеспечения расчетных программ групповыми константами были созданы системы подготовки групповых констант, например АРАМАКО-2F/1/, АРАМАКО-G/2/, DEKSTU/3/ и др. Большинство этих систем решают задачу получения групповых макроконстант из групповых микроконстант, используя для этой цели различные (свои в каждой библиотеке) методы: подгрупповой, методы выделенных резонансов, факторов самозкранировки и т.д. Соответствующие библиотечные программы ориентированы на собственный для каждой системы формат представления групповых микроконстант, поэтому их трудно объединить. Но, как показывает опыт эксплуатации, ни один из методов не является абсолютно лучше другого во всем энергетическом диапазоне. Возникает необходимость использовать для различных изотопов и энергетических интервалов разные методы получения макроконстант, поэтому нужен единый формат представления групповых микроконстант. Кроме того, отсутствие унифицированных входов и выходов у названных библиотек затрудняет подключение систем к расчетным программам. Как правило, такая программа подключается к одной константной системе, что затрудняет объективное сравнение как качества расчетных методов, так и качества групповых констант.

В данной работе кратко описана групповая библиотека нейтронных данных GNDL, разработанная в ордена Ленина Институте прикладной математики АН СССР им.М.В.Келдыша и предназначенная для хранения и выборки нейтронных данных, необходимых при проведении расчетов для задач по реакторной физике и физике защиты от проникающей радиации. При проектировании этой библиотеки преследовались следующие цели:

- создать единый формат для хранения различных множеств групповых нейтронных констант, который позволил бы унифицировать процедуры общения с данными и обеспечил бы возможность легко и удобно обмениваться информацией о сечениях между различными библиотеками, а также вносить изменения и дополнения в имеющиеся данные;
- обеспечить возможность переработки микроконстант с помощью различных наиболее распространенных алгоритмов в групповые макроконстанты, необходимые при расчете реакторов и защиты от проникающей радиации;
- облегчить привязку различных расчетных программ к данным библиотеки.

В связи с поставленными целями в библиотеке GNDL используются два формата представления данных: GNDL/T – текстовый формат групповых микроконстант и GNDL/B – бинарный формат групповых микроконстант. Текстовый формат, построенный по принципу "один изотоп – все группы" (т.е. вместе группируются данные для одного изотопа), используется для хранения групповых микроконстант и предназначен для решения задач, связанных с изменением и дополнением данных, а также для обмена данными о сечениях между различными библиотеками. Бинарный формат ориентирован на применение в программах получения макроконстант и в других программах, использующих групповые микроконстанты. Бинарный формат строится по принципу "одна группа – все изотопы" (т.е. вместе сгруппированы данные по всем изотопам для одной группы). В этот формат специальной программой RTWB преобразуются данные из текстового формата с заданным числом групп.

Программное обеспечение GNDL состоит из:

- комплекса программ получения макроконстант (USCONS);
- комплекса программ "Функции доступа";
- комплекса обслуживающих программ (КОП) библиотеки;

USCONS-комплекс предназначен для получения групповых макроконстант из микроконстант, записанных в формате GNDL/B. В настоящее время в комплексе реализованы следующие алгоритмы расчета макроконстант: простое суммирование, метод подгрупп, различные модификации метода выделенных резонансов и метод факторов самоэкранировки.

Воспринимая расчетное задание на специально разработанном языке, с помощью которого описываются составы физических зон, температуры и режимы работы, комплекс позволяет рассчитывать макроконстанты различными методами в разных энергетических диапазонах и для различных физических зон. Данные в пакете запуска USCONS-комплекса делятся на три раздела: МЕТОД, ЗОНА, КОНЕЦ ДАННЫХ. Раздел КОНЕЦ ДАННЫХ в пакете может быть только один, в то время как разделов МЕТОД и ЗОНА в пакете может быть произвольное число. Разделы МЕТОД и ЗОНА имеют номера, которые изменяются в порядке следования этих разделов в пакете.

Карты раздела МЕТОД содержат данные, описывающие изменение метода расчета констант по группам. Считается, что пакет исходных данных USCONS-комплекса разбит на области действия разделов МЕТОД согласно следующему соглашению: область действия раздела МЕТОД с номером N – это все разделы ЗОНА, которые помещены в пакете между этим разделом и разделом МЕТОД с номером $N+1$ (или разделом КОНЕЦ ДАННЫХ, если N – номер последнего раздела МЕТОД). Принятое соглашение позволяет изменять методы расчета констант по зонам [4]. Карты раздела ЗОНА содержат данные, описывающие состав одной физической зоны. На первой карте раздела пробивается имя раздела ZONE, а на последующих картах пробиваются текстовые имена изотопов, входящих в состав зоны, и их ядерные концентрации и температуры [4].

Основной путь, по которому идут в настоящее время при стыковке константных прикладных программ, – стандартизация выходных форматов константных систем – является не только малоэффективным средством, но и в какой-то степени тормозом в развитии как самих константных систем, так и расчетных программ (специалисты опасаются изменять выходные форматы константной системы из-за возможности возникновения множества переделок в расчетных программах, а расчетчики опасаются перестройки своего входного формата из-за написания новой программы стыковки с константной системой). Основная трудность на этапе привязки к константной системе для расчетчика – извлечение нужного числа из выходного формата системы. Именно на решение такой проблемы и были направлены основные усилия при разработке системы GNDL. Это достигается введением в ее состав специальных программ-функций (функций доступа), результатом работы которых является получение одного элемента из общего массива выходной информации. В результате пользователю ничего не нужно знать об устройстве выходного формата константной системы, он сразу может приступить к написанию программы заполнения единиц записей своего входного формата. Подложив свою программу к программам константной системы, в которых должна быть предусмотрена возможность вызова внешней функции, благодаря совместной работе этих программ пользователь получит свой формат констант. По нашему мнению, предлагаемый метод на 80-90% уменьшает трудности привязки программ расчетчика к константной системе.

Третий комплекс программ (КОП) предназначен для обслуживания пользователей, работающих с библиотеками групповых микроконстант. Важнейшая составная часть комплекса – программа RTWB,

которая по заданию пользователя выбирает из формата GNDL/T данные с конкретным именем и записывает их на любой носитель, заданный пользователем в формате GNDL/B. Кроме того, в комплекс КОП входят программы распечатки содержимого библиотеки GNDL/B. В общих чертах работа с библиотекой GNDL происходит следующим образом. Пусть постоянный архив формата GNDL/T заполнен, например, групповыми библиотеками АРАМАКО-2F [1], DENSITY [3] и БНАБ-26 [5]. Расчетчик желает провести серию расчетов с константами из библиотеки АРАМАКО-2F, пополненными данными о факторах самоэкранировки из библиотеки БНАБ-26, для того, чтобы сравнить подгрупповой метод получения макроконстант и метод факторов самоэкранировки. Пользователь обращается с соответствующим заданием к программе RTWB, которая выбирает для заданных изотопов данные с именем АРАМАКО-2F и БНАБ-26, перерабатывает эти данные в формат GNDL/B и записывает их на заданную пользователем магнитную ленту. В результате на ленте у расчетчика образуется 26-групповая библиотека микроконстант, в которой резонансная структура сечений описывается подгруппами и факторами самоэкранировки. Обращаясь к USCONS-комплексу и задавая разные режимы его работы, пользователь может получать макроконстанты двумя методами. Такая организация библиотеки GNDL позволяет сделать работу пользователя, занимающегося расчетом реакторов и защиты, независимой от константных архивов большого объема и обеспечивает ему эффективное вычисление макроконстант для большой серии расчетов (т.е. он может без обращения к большим константным архивам провести всю серию расчетов, которая не требует смены группового разбиения).

Основные форматы данных, разработанные в библиотеке GNDL, позволяют хранить групповые микроконстанты для всей практически интересной в реакторной физике области энергий нейтронов. GNDL/T-форматы являются гибкими в том смысле, что почти любой механизм нейтронного взаимодействия может быть точно описан ими. Они являются также ограничительными, так как только ограниченное число различных представлений допускается для данных, относящихся к любому механизму нейтронного взаимодействия.

Необходимо отметить, что строение формата GNDL/T представляет собой модификацию строения формата известной библиотеки оцененных данных ENDF/B-IV [6]. Эта модификация позволила без изменения количества информации, содержащейся в форматных рекордах ENDF/B, хранить в одном материале (основной единице информации в ENDF/B) групповые микроконстанты, соответствующие различным групповым разбиениям.

Дадим краткое описание форматов библиотеки GNDL/T. Введем определения, аналогичные определениям из библиотеки GNDL/B.

Материал определяется как изотоп или смесь изотопов. Им может быть единственный нуклид; природный элемент, содержащий несколько изотопов; молекула, содержащая несколько элементов; стандартная смесь элементов (например, некоторая марка стали). Каждому материалу в библиотеке GNDL/T присваивается единственное идентифицирующее имя, состоящее не более чем из четырех букв или цифр и начинающееся с буквы.

Множество данных для каждого материала подразделяется на файлы. Каждый файл содержит данные определенного класса и имеет двузначный идентифицирующий номер MF. Каждый файл подразделяется на секции, каждая из которых состоит из данных для некоторого типа реакции и имеет трехзначный идентифицирующий номер MT. Необходимо отметить, что данные в материале следуют в порядке возрастания номеров файлов, а данные в каждом файле следуют в порядке возрастания номеров секций.

Данные в каждой секции подразделяются на именованные подсекции. Имя именованной подсекции содержит не более восьми буквенно-цифровых символов и начинается с буквы. Оно записывается в специальном заголовочном рекорде HEAD (см. далее), который всегда предшествует набору данных именованной подсекции. Именованная подсекция содержит данные для того типа реакции, которому соответствует содержащая ее секция. Необходимо отметить, что все данные, относящиеся к какой-то определенной библиотеке микроконстант, помещенных в архив формата GNDL/T, располагаются, хотя и в разных секциях, но в одинаковых именованных подсекциях. Наличие всех файлов, секций или всех именованных подсекций в каждом материале необязательно.

Данные для конкретного материала начинаются с карты SUBROUTINE (имя материала) и заканчиваются двумя картами RETURN и END. Все карты с данными для этого материала начинаются с буквы C (обозначение строки комментария на языке ФОРТРАН), т.е. формально материал хранится в формате GNDL/T в виде пустой SUBROUTINE с комментариями.

Каждый набор данных для материала записывается с помощью пяти форматных записей:

- HEAD - заголовочный, содержит восемь чисел и две текстовые константы;
- LIST - используется для записи ряда действительных чисел V_1, V_2, \dots ;
- TAB1 - применяется при записи табулированных функций от одного переменного $y(x)$;
- TAB2 - используется для записи табулированных функций от двух переменных $y(x, z)$

(определяет, сколько значений z должно быть задано и как интерполировать между их последовательными значениями);

- CONTE имеет четыре вида (NEND, SEND, FEND, TEND), которые используются в качестве сигнала конца именованной подсекции, секции, файла и ленты соответственно.

Стандартная работа с текстовыми редакторами на ЭВМ достигается следующим расположением данных на обычной 80-колоночной перфокарте, которая делится на десять полей:

Поле	Колонки	Описание
1	1-1	C - обозначение строки комментария на языке ФОРТРАН
2	2-12	Данные
3	13-23	Данные
4	24-34	Данные
5	35-45	Данные
6	46-56	Данные
7	57-67	Данные
8	68-69	MF
9	70-72	MT
10	73-80	Последовательный номер карты в материале

Следовательно, изъяв из карты поле MAT - порядковый номер материала в библиотеке ENDF/V и переместив в связи с этим поля MF и MT, можно без потери информативности каждой перфокарты (суммарная длина полей данных на перфокарте в библиотеках ENDF/V и GNDL/T одинакова) освободить колонки 73-80 для последовательной нумерации перфокарт в материале. Это позволяет проводить редактирование данных в стандартном режиме работы практически с любым текстовым редактором, имеющимся в составе математического обеспечения ЭВМ. Все действительные числа в записях LIST, TAB1 и TAB2 пробиваются на перфокартах в формате E11.4, а все целые числа из этих записей, кроме MF и MT, пробиваются в формате I11. MF-число пробивается в формате I2, а MT-число - в формате I3.

В настоящее время в формат библиотеки GNDL с помощью специально разработанных для этой цели программ WFGNDL осуществлен перевод данных из широко известных групповых библиотек APAMAQ-2F, DENSTY, БНД-49, БНАБ-26 и др. Эти программы легко переводят в библиотеку GNDL данные из других библиотек групповых микроконстант.

Список литературы

1. Базазянц Н.О., Бырский М.Ю., Гермогенова Т.А. и др. APAMAQ-2F - система обеспечения нейтронными константами расчетов переноса излучения в реакторах и защите. М.: ИПМ АН СССР, 1976.
2. Абагян А.А., Барыба М.А., Басс Л.П. и др. APAMAQ-G - система обеспечения многогрупповыми константами расчетов поля гамма-излучения в реакторах и защите: Препринт № 122. М.: ИПМ АН СССР, 1978.
3. Марин С.В., Марковский Д.В., Шаталов Г.Е. Программа расчета пространственно-энергетического распределения нейтронов в одномерной геометрии (DENSTY): Препринт № 2832. М.: ИАЭ, 1977.
4. Воронков А.В., Журавлев В.И., Натрусова Е.Г. USCONS - комплекс программ библиотеки GNDL для расчета групповых макроконстант (инструкция пользователю). М.: ИПМ АН СССР, 1983.
5. Абагян Л.П., Базазянц Н.О., Бондаренко И.И., Николаев М.Н. Групповые константы для расчета ядерных реакторов. М.: Атомиздат, 1964.
6. Garber D., Dunford G., Pearlstein S. Data formats and procedures for the nuclear data file, BNL-NCS-50496(ENDF-102), 1975.

Статья поступила в редакцию 27 июля 1984 г.

THE ARMANJAC CODE. The code ARMANJAC (abbreviation of the russian phrase "automized calculation of the few group neutron-nuclear constants") is intend for compilation different data files on the magnetic tape or disc. Files of nuclear concentrations, multigroup neutron spectra and few group constants are compiled for uses in the few group calculations as the simplified group constants serrice system for narrow application area. May be used also in the single few group calculations.

Назначение программы. Комплекс программ АРМАНЬЯК (автоматизированный расчет малогрупповых нейтронно-ядерных констант) предназначен для формирования на магнитном носителе ЭВМ библиотеки файлов ядерных концентраций, спектров нейтронов и малогрупповых констант в целях дальнейшего использования библиотеки в качестве упрощенной малогрупповой системы константного обеспечения узкого назначения. Может быть использована также при подготовке констант для разовых малогрупповых расчетов.

Комплекс программ АРМАНЬЯК написан на языке ФОРТРАН-IV, поставлен на ЭВМ БЭСМ-6 в Физико-энергетическом институте (г.Обнинск). Размер оперативной памяти - 32 К; рабочий магнитный барабан - от 80 до 150 трактов в зависимости от параметров задачи; магнитная лента библиотеки файлов, магнитная лента (диск) - с системой АРАМАКО. Операционная система - "Диспак" ("Дубна"), мониторная система - "Дубна". Объем текста программ превышает 3000 перфокарт. Оттранслированный комплекс занимает 26 зон на магнитной ленте (диске) в восьмиричной системе исчисления.

Постановка задачи. При проведении малогрупповых расчетов реакторов на быстрых нейтронах используются малогрупповые макро- и блокированные микроконстанты, полученные путем свертки соответствующих многогрупповых констант. Последние для заданных составов зон готовятся системой константного обеспечения (такой, как, например, АРАМАКО) с учетом эффектов резонансной самоэкранировки и т.п. Часто возникает необходимость рассчитать большое число вариантов одного и того же реактора, отличающихся не большими изменениями составов зон. В этих случаях при каждом изменении состава нецелесообразно обращаться к громоздкой многогрупповой системе константного обеспечения; выгоднее пересчитывать малогрупповые макроконстанты из насчитанных для данного реактора малогрупповых блокированных микроконстант. Комплекс программ АРМАНЬЯК предназначен для удовлетворения этой потребности, т.е. для формирования на магнитном носителе ЭВМ величин, необходимых для расчета малогрупповых констант (ядерных концентраций и многогрупповых интегральных спектров зон, которые вводятся с перфокарт), а также малогрупповых макро- и блокированных микроскопических констант каждой зоны (рассчитываются путем свертки с весом соответствующего интегрального спектра 26-групповых микро- и соответственно макроскопических констант; последние в свою очередь рассчитываются на основе библиотеки БНАБ-78 [1] в помощью комплекса программ АРАМАКО [2]). Сформированная комплексом АРМАНЬЯК библиотека может использоваться расчетчиками в качестве базы данных упрощенной системы константного обеспечения, ориентированной на использование при расчетных работах по определенному проекту.

Программа расчета малогрупповых констант, входящая в комплекс АРМАНЬЯК, может использоваться также в качестве подпрограммы подготовки констант в комплекс программ, предназначенный для разового малогруппового расчета. При этом необходимые для расчета малогрупповых констант исходные данные - ядерные концентрации и спектры, с весом которых производится свертка малогрупповых констант, могут либо вводиться с перфокарт, либо считываться из соответствующей библиотеки данных, предварительно сформированной с помощью соответствующих модулей комплекса АРМАНЬЯК.

Метод решения. При работе комплекса АРМАНЬЯК в режиме формирования библиотеки независимо друг от друга используются четыре программы:

- INLIB - используется для разметки магнитного носителя и формирования каталогов библиотеки;
- JOBMCO - формирует файлы ядерных концентраций для одной или нескольких физических зон рассчитываемого реактора;

- FORMET - формирует файлы 26-групповых интегральных спектров, потоков и, возможно, токов нейтронов, с весом которых должна быть затем произведена свертка 26-групповых констант в мало-групповые (число групп не более 26);

- CONSTM - рассчитывает мало-групповые макро- и микроконстанты для изотопов, входящих в состав реактора, путем свертки блокированных 26-групповых микроконстант. Расчет последних производится с помощью системы АРАМАКО [2].

В 26-групповые сечения упругого замедления перед сверткой вводятся поправки на отличие формы внутригруппового спектра от стандартной, принятой при расчете табличных значений сечений замедления. Форма внутригруппового спектра оценивается путем двухузловой кусочно-линейной аппроксимации многогрупповой гистограммы интегрального спектра зоны [3]. Свертка транспортных сечений и первых угловых моментов сечений замедления производится с весом интегральных токов. Если таковые не заданы непосредственно, они оцениваются одним из следующих способов:

- спектр тока полагается совпадающим со спектром потока;
- ток полагается пропорциональным потоку, деленному на транспортное сечение;
- интегральные 26-групповые спектры токов рассчитываются в приближении материального параметра каждой из рассматриваемых зон.

При расчете мало-групповых микроконстант с помощью специальной подпрограммы GENER можно при желании свернуть несколько последних по списку нуклидов, входящих в состав реактора, в "обобщенный" нуклид, характеризуемый одним набором микроконстант в каждой зоне. Например, все компоненты нержавеющей стали можно свернуть в один обобщенный нуклид "сталь". В рассматриваемом режиме работы комплекса АРМАНЬЯК программа CONSTM заносит сформированные файлы мало-групповых констант в библиотеку. При этом номенклатура мало-групповых констант по выбору пользователя может соответствовать потребностям расчетов либо в P_1 -приближении, либо в диффузионном приближении.

Программа CONSTM может быть включена также в комплекс программ, предназначенный для разовых мало-групповых расчетов. В этом режиме работы файлы мало-групповых констант могут и не заноситься в библиотеку. Используемые для их получения ядерные концентрации и интегральные спектры могут либо вводиться с перфокарт при обращении к программе CONSTM, либо считываться из библиотеки (если они туда были предварительно занесены).

Ограничения сложности задачи. Число файлов, формируемых в библиотеке, не более 20, число зон, для которых в файле может быть представлена информация, не более 999; число зон, для которых в одном пакете задания могут быть рассчитаны мало-групповые константы, не более 100.

Типичное время счета. Подготовка 4-групповых констант в формате, необходимом для расчета реактора в трехмерной гексагональной геометрии (программа TRIGEX), на основе 26-групповых констант, подготовленных программами системы АРАМАКО, для 16 нуклидов и 10 зон осуществляется за 45 с. Файл концентраций в библиотеке файлов (запись в файл концентраций 18 нуклидов для 20 физических зон реактора) создается примерно за 15 с.

Особенности программы. Занесение мало-групповых констант в формируемую библиотеку файлов осуществляется программой CONSTM только в том случае, если необходимые для расчета ядерные концентрации и интегральные спектры считываются этой программой из формируемой библиотеки (а не непосредственно с перфокарт, как это возможно, когда программа CONSTM используется при оперативной подготовке мало-групповых констант для разового расчета). Этим гарантируется сохранность всей информации, использованной при получении мало-групповых констант, в сформированной библиотеке, что может оказаться весьма важным при последующем анализе расчетных результатов.

Вспомогательные и сопутствующие программы. В процессе работы комплекса АРМАНЬЯК используются программы и библиотеки констант системы АРАМАКО. Обмен с внешней памятью (магнитные ленты, барабан, диск) производится программой EDWRTD - прямого доступа системы АРАМАКО [2]. Ввод исходной информации осуществляется программами бесформатного ввода [4].

Состояние программы. Главная программа комплекса АРМАНЬЯК - CONSTM - используется в Физико-энергетическом институте при оперативной подготовке мало-групповых констант для нейтронно-физического расчета реактора в трехмерной гексагональной геометрии по программе TRIGEX [5]. Программы формирования библиотеки используются для поддержания архива расчетных вариантов при анализе

экспериментов на реакторе БН-350 по программе TRIGEX (хранятся только ядерные концентрации и интегральные спектры). Ведется работа по включению программы TRIGEX в комплекс программ расчета кампании реактора. Этот комплекс будет работать с библиотеками малогрупповых констант, сгенерированными с помощью комплекса АРМАНЬЯК.

Список литературы

1. Абагян Л.П., Базазянц Н.О., Николаев М.Н., Цибуля А.М. Групповые константы для расчета реакторов и защиты. М.: Энергоиздат, 1981.
2. Базазянц Н.О., Вьрский М.Ю., Гермогенова Т.А. и др. АРАМАКО-2F - система обеспечения нейтронными константами расчетов переноса излучения в реакторах и защите. М.: ИПМ АН СССР, 1976.
3. Николаев М.Н., Рязанов В.Г., Савоськин М.М., Цибуля А.М. Многогрупповое приближение в теории переноса нейтронов. М.: Энергоатомиздат, 1983.
4. Ильяшенко А.С., Лиман Г.Ф. Подпрограммы бесформатного ввода на языке ФОРТРАН: Препринт № 2293, М.: ИАЭ, 1973.
5. Серегин А.С. Аннотация программ TRIGEX для малогруппового нейтронно-физического расчета реактора в трехмерной гексагональной геометрии. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика и техника ядерных реакторов, 1983, вып.4(33), с.59.

Статья поступила в редакцию 27 июля 1984 г.

УДК 621.039.519

БИБЛИОТЕКА НЕЙТРОННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА ГРУППОВЫХ КОНСТАНТ

В.Н.К о щ е е в, М.Н.Н и к о л а е в

THE NEUTRON DATA LIBRARY FOR GROUP CONSTANT CALCULATIONS. First version of the evaluated neutron data library of SOCRATOR system is described. Library content data for 67 the more important nuclear reactor and radiation shielding materials. Soviet and foreign evaluations were used as the data sources.

Машинная библиотека оцененных нейтронных данных, описываемая в настоящей работе, является составной частью системы СОКРАТОР (системы обеспечения константами расчетов атомных реакторов и радиационной защиты [1]). Вместе с пакетом прикладных программ ГРУКОН [2] она образует подсистему МИКРО, служащую для периодического генерирования для отдельных нуклидов наборов групповых констант, не зависящих от состава среды.

В настоящее время создана лишь первая версия машинной библиотеки файлов оцененных нейтронных данных (ФОНД). Библиотека включает полные наборы оцененных нейтронных данных в энергетической области 10^{-4} эВ - 20 МэВ для 67 важнейших материалов ядерных реакторов и радиационной защиты, для изотопов ядер-актиноидов, образующихся в процессе выгорания ядерного топлива, и для ^{197}Ag , сечение радиационного захвата на котором используется в качестве стандарта при измерениях нейтронных сечений (остальные ядра, сечения которых используются в качестве нейтронных стандартов, входят в состав реакторных материалов). В библиотеку ФОНД предполагается также включить оцененные нейтронные данные для ядер-осколков деления, дающих основной вклад в шлакование и отравление реакторов. В настоящее время приняты решения о компиляции файлов оцененных данных для 27 важнейших осколков деления. Однако компиляция файлов оцененных нейтронных данных для большинства этих осколков еще не завершена. Поэтому эти данные будут включены в библиотеку ФОНД позже.

Данные в библиотеке ФОНД представлены в формате американской национальной библиотеки оцененных ядерных данных ENDF/V [3]. В библиотеку включены те из оцененных нейтронных данных, которые представлялись составителям первой версии наиболее надежными. Тем не менее надежность данных

первой версии библиотеки ФОНД недостаточна для того, чтобы их можно было рекомендовать использовать в проектных расчетах ядерных энергетических установок. Для такого использования необходимо:

1) получив из библиотеки ФОНД групповые константы, рассчитать по ним измерявшиеся характеристики представительного набора критических сборок и защитных композиций; сравнив затем результаты расчета с экспериментальными данными, оценить масштаб и характер погрешностей расчетных предсказаний характеристик реакторов и защиты по данным библиотеки ФОНД;

2) провести частичную переоценку данных для некоторых нуклидов с учетом всей имеющейся экспериментальной информации и современных представлений теории ядерных реакций, а также с учетом результатов анализа расчетно-экспериментальных расхождений данных по критическим сборкам и защитным композициям;

3) повторить расчеты пункта 1) для уточненной версии библиотеки ФОНД; убедиться в том, что она обеспечивает точность расчетных предсказаний, не худшую, чем та, которая гарантируется используемой ныне системой групповых констант БНАБ-78 (при расчете быстрых реакторов и радиационной защиты) [4].

До того, как будет выполнена эта работа, нет оснований отказываться от использования действующих систем константного обеспечения многогрупповых расчетов. Что же касается расчетов быстрых реакторов, то переход от системы констант БНАБ-78 к константам, составленным на основе первой версии библиотеки ФОНД, приведет к снижению точности результатов. С точки зрения главных потребителей нейтронных констант - проектировщиков ядерно-энергетических установок - первая версия библиотеки ФОНД представляет интерес лишь как источник данных, необходимых для пополнения имеющихся систем групповых констант данными для новых нуклидов, к точности констант которых не предъявляется особых требований. Другое непосредственное практическое применение первой версии библиотеки ФОНД состоит в генерировании на ее основе систем мультигрупповых констант (сотни или тысячи групп) для отработки соответствующих систем константного обеспечения и проверки точности используемых многогрупповых приближений (групп 21, 26, 28). Отметим, что определенный выше статус первой версии библиотеки ФОНД принципиально не отличается от статусов последних версий национальных библиотек оцененных нейтронных данных США (ENDF/B-V), ФРГ (KEBDAK-3), Великобритании (UKNDL), Японии (JENDL-2). В этих странах (не говоря уже о Франции, не располагающей собственной национальной библиотекой оцененных нейтронных данных) проектные расчеты базируются на апробированных системах групповых констант, а не на библиотеках оцененных данных.

Создание библиотеки ФОНД завершает разработку подсистемы МИКРО - последнего необходимого структурного элемента системы СОКРАТОР. Другими структурными элементами системы СОКРАТОР являются подсистема МАКРО, оперативно готовящая все константы, необходимые для проведения многогрупповых расчетов конкретных вариантов реакторов или защиты, и подсистема ИНДЭКС, обеспечивающая автоматизацию анализа расчетно-экспериментальных расхождений данных макроскопических экспериментов и корректировку констант. Функции подсистемы МАКРО применительно к 26- или 28-групповому приближению выполняет в настоящее время система АРАМАКО-2Г [5], а функции подсистемы ИНДЭКС - комплекс программ CORE [6], включающий библиотеку погрешностей оцененных данных (ковариационную матрицу), библиотеку расчетно-экспериментальных расхождений и их погрешностей и библиотеку коэффициентов чувствительностей результатов макроскопических экспериментов к константам. Однако разработка всех структурных элементов системы СОКРАТОР не означает еще ее практического запуска; о нем можно будет говорить лишь после того, как последовательное использование всех трех подсистем позволит выработать такую версию библиотеки ФОНД, которую можно будет рекомендовать к практическому использованию.

Выбор формата библиотеки ФОНД. Первоначальный вариант формата представления оцененных нейтронных данных в машинной библиотеке системы СОКРАТОР был разработан в 1972 г. [7] на основе критического анализа единственно известного в то время формата представления данных в английской библиотеке UKNDL [8]. Этот формат известен как формат СОКРАТОР. В середине 70-х годов стало доступным описание формата представления данных в американской библиотеке оцененных данных ENDF/B [9], который был разработан как с учетом опыта эксплуатации UKNDL, так и с учетом накопленного в США опыта формального структурирования больших информационных массивов, позволяющего использовать при обращении к библиотеке стандартизованные программные элементы. В результате

большее (по сравнению с форматами UKNDL и СОКРАТОР) практическое удобство сочетается в нем с универсальностью. Эти достоинства привели к тому, что оцененные данные в формате ENDF/B быстро научились обрабатывать и в европейских странах, а в Японии при формировании национальной библиотеки оцененных нейтронных данных (библиотеки JENDL) было решено непосредственно использовать формат ENDF/B. Это обстоятельство, а также разработка программ перевода данных из формата ENDF/B в форматы английской и западногерманской библиотек привели секцию ядерных данных МАГАТЭ (NDS IAEA) к решению рекомендовать формат для международного обмена оцененными данными. В связи с отмеченными достоинствами формата ENDF/B и его международным статусом было решено уже в первой версии библиотеки оцененных данных системы СОКРАТОР перейти к формату ENDF/B. Одновременно библиотеке было присвоено специальное название ФОНД, поскольку использование одного и того же названия СОКРАТОР для формата, собственно библиотеки и системы вносило изрядную путаницу.

Следует, однако, отметить, что потенциальные возможности формата ENDF/B используются лишь постольку, поскольку это предусмотрено комплексом перерабатывающих программ. Используемый в США комплекс программ для переработки данных библиотеки ENDF/B накладывает на потенциальные возможности формата множество ограничений. Наиболее существенны ограничения, касающиеся представления данных о резонансной структуре сечений. Например, данные для одного изотопа должны иметь одну и ту же границу между областями разрешенных и неразрешенных резонансов и для s - и p -резонансов. Практически это ведет к тому, что область полного разрешения оценщиками принимается равной таковой для s -резонансов, а вклад p - и d -резонансов учитывается в "нерезонансной подложке". Это ведет к недооценке резонансной самоэкранировки сечений, особенно сечения захвата, в которые вклад p - и d -резонансов особенно велик. В области неразрешенных резонансов флуктуации средних сечений, обусловленные входными состояниями или даже просто статистическими флуктуациями ширин и расстояний, в системе ENDF/B описываются заданием энергетической зависимости средних ширин, причем, как правило, для p -волны. Это ведет к недооценке резонансной самоэкранировки. Формат ENDF/B, возможности которого ограничены действующими версиями американских обрабатывающих программ, назовем форматом ENDF/B-V. Указанные выше и другие недостатки этого формата отмечались на рабочем совещании в МАГАТЭ в конце 1981 г. [10]. Несмотря на эти недостатки, при создании первой версии библиотеки ФОНД решено использовать формат ENDF/B-V без изменений.

Выбор оцененных нейтронных данных. При формировании первой версии библиотеки ФОНД большую роль играл фактор времени: эту версию решено было скомпилировать в 1982 г. с тем, чтобы в 1983 г. начать практическую работу с библиотекой. В связи с этим отбор данных для библиотеки ФОНД производился лишь среди тех наборов данных, которые были предоставлены в формате ENDF/B. Результаты всех отечественных оценок, выполненных в ФЭИ (Обнинск) или в Институте тепло- и массообмена АН БССР (Минск), а также результаты оценок, выполненных в Дрезденском технологическом университете, уже были представлены в этом формате. Из международного обменного фонда оцененных нейтронных данных к анализу были привлечены:

- из библиотеки ENDF/B-V [11] данные по нейтронным стандартам, данные для второстепенных ядер-актиноидов, не входящих в состав необлученного топлива, а также данные по ядрам - осколкам деления, не являющимся стабильными изотопами материалов реакторостроения; время последнего пересмотра этих данных 1975-1978 гг.;
- библиотека ENDF/B-IV [12], содержащая данные для большинства стабильных ядер и ядер-актиноидов; время оценки начало 70-х гг.;
- библиотека ENDL-78 [13], разработанная в Лаборатории Лоуренса в Ливерморе (США); содержит данные для большинства стабильных нуклидов; время оценки 1970-1975 гг.;
- библиотека JENDL-1 [14] - первая версия японской национальной библиотеки оцененных нейтронных данных, содержащая данные по основным реакторным материалам и наиболее важным осколкам деления.

Работа с названными машинными библиотеками данных велась на ЭВМ БЭСМ-6, на которой существовали необходимые для работы программные средства: редактор текстов [15], возможности которого были специально расширены для работы с текстовыми библиотеками типа ENDF/B [16], и пакет прикладных программ ГРУКОН [2], позволяющий получать групповые константы. Чтобы сделать имеющиеся оцененные данные компактными, они были переведены в 28-групповую форму со структурой ВНАБ [4]. При сравнении результатов различных оценок использовались:

Список изотопов, содержащихся в библиотеке ФОНД

№	Изотоп	Оцененные данные
1	1-H-1	S(tot, el, gam), A, GF, AF
2	1-H-2	S(tot, el, 2n, gam), A, GF, AF
3	1-H-3	S(tot, el, non, 2n), A, E
4	2-He-3	S(tot, el, non, 2n, p, d), A
5	2-He-4	S(tot, el) A
6	3-Li-6	S(tot, el, in, in(i), 2nalf, alf, p,t), A, E, GF, AF
7	3-Li-7	S(tot, el, in, 2n, 2nalf, in(i); in(c), gam, d) A, E, GF, AF
8	4-Be-9	S(tot, el, 2n(i), gam, p,d,t,alf), A, E, GF, AF, EF
9	5-B-10	S(tot, el, in(i), gam, p, d, alf, t 2alf), A, GF, AF
10	5-B-11	S(tot, el, in, 2n, in(i), in(c), gam, p, t, alf), A, E, GF, AF, EF
11	6-C-12	S(tot), el, in, in(i), in(c), gam, p, d, alf), A, E, GF, AF
12	7-N-14	S(tot, el, in, 2n, in(i), gam, p,d,t, alf, 2alf), A, E, GF, AF
13	8-O-16	S(tot, el, in, in(i), gam, p, d, alf), A, GF, AF
14	9-F-19n	S(tot, el, non, in, 2n, n'alf, n'p, in(i), in(c), gam, p,d,t,alf), A,E,GF,AF,EF
15	11-Na-23	RP,S(tot, el,in,2n, in(i), in(c), gam, p, alf), A, E
16	12-Mg-nat	S(tot, el, non, in, 2n, n'alf,n'p, in(i), in(c), gam, p, alf),A,E,GF,AF,EF
17	13-Al-27	RP,S(tot, el, in, in(i), in(c), 2n, gam, p, alf), A, E
18	14-Si-nat	S(tot, el, in, 2n, n'p, in(i), in(c), gam, p, d, alf), A, E
19	17-Cl-nat	S(tot, el, in, 2n, n'alf, n'p, in(i), in(c), gam, p, alf), A,E,GF,AF,EF
20	19-K-nat	S(tot, el, in, 2n, n'alf, n'p, in(i), in(c), gam, p, alf) A, E, GF, AF, EF
21	20-Ca-nat	S(tot, el, in, 2n, n'alf, n'p, in(c), gam, p, alf), A,E,GF,AF,EF
22	22-Ti-nat	S(tot, el, non, in, 2n, in(i), in(c), gam, p, alf), A, E, GF, AF, EF
23	23-V-nat	S(tot, el, non, in, 2n, n'alf, n'p, in(i), in(c), gam, p, d, t,alf),A,E,GF,AF,EF
24	24-Cr-nat	RP,S(tot,el,in,2n,n'alf,n'p,in(i),in(c),gam,p,d,t,alf) A,E,GF,AF,EF
25	25-Mn-55	RP,S(tot, el,in, in(i),in(c), 2n, n'alf, n'p, gam, p, d, He3, alf), A, E
26	26-Fe-nat	RP,S(tot,el,non,in,2n,n'alf,n'p,in(i),in(c),gam,p,d,t, He3,alf) A,E,GF,AF,EF
27	27-Co-59	RP,S(tot,el,in,2n,in(i), in(c), gam, p, d, t, alf), A, E, GF, AF
28	28-Ni-nat	RP,S(tot,el, in,2n, n'p, in(i), in(c), gam, p, alf), A, E, GF, AF, EF
29	29-Cu-nat	RP,S(tot, el, non, in,2n,3n,n'p,n'alf, in(i),in(v),gam,p,d,He3,alf) A,E,GF,AF,EF
30	31-Ga-nat	S(tot,el, in, 2n, in(c), gam, p, alf), A, E, GF, AF, EF
31	39-Y-89	RP, S(tot, el, in, in(i), in(c), gam)A, E
32	40-Zr-nat	S(tot, el, in, 2n, 3n, in(i), in(c), gam, p), A, E, GF, AF, EF
33	41-Nb-93	RP, URP,S(tot, el, in, 2n, 3n, n'alf, in(i), in(c), gam, p, alf), A, E, GF, AF
34	42-Mo-nat	RP,S(tot,el, in, in(i), in(c),gam), A, E
35	48-Cd-nat	S(tot, el, non, in, 2n, in(i), in(c), abs, gam, p, alf), A, E
36	63-Eu-151	RP, URP, S(tot,el,non,in,2n,3n,n'alf,n'p, in(i),in(c),gam,p,d,t,He3,alf)A,E,GF,AF,EF
37	63-Eu-153	RP,URP,S(tot,el,non,in,2n,3n,n'p, in(i),in(c),gam,p,d,t,He3,alf)A,E,GF,AF, EF
38	64-Cd-nat	RP,S(tot,el, in, 2n,3n, in(c), gam), A, E
39	73-Ta-181	RP,URP,S(tot, el, in, 2n, 3n, in(i), in(c), gam, p), A, E, GF,AF, EF
40	74-W-182	RP,URP,S(tot,el,in,2n,3n, n'p, in(i), in(c), gam, p, alf), A, E, GF, AF, EF
41	74-W-183	RP, URP,S(tot, el, in, 2n, 3n, n'p, in(i), in(c), gam, p, alf),A,E,GF,AF,EF
42	74-W-184	RP,URP,S(tot,el,in,2n,3n,n'p,in(i),in(c), gam, p, alf), A,E,GF,AF,EF
43	74-W-186	RP,URP,S(tot,el,in,2n,3n, n'p, in(i), in(c), gam, p, alf), A,E,GF,AF,EF
44	75-Re-185	RP,URP,S(tot,el,in,2n,3n,in(i),in(c), gam)A, E
45	75-Re-187	RP,URP,S(tot,el,in,2n,3n, in(i), in(c), gam), A, E
46	75-Au-197	RP,S(tot,el,in,2n,3n,in(i), in(c), gam, p, alf) A, E
47	82-Pb-nat	S(tot,el,in,2n,3n,in(i), in(c), gam), A, E, GF, AF, EF
48	90-Th-232	NU,RP,URP,S(tot, el,in, 2n, 3n, f, in(i), in(c), gam), A, E
49	91-Pa-233	NU,RP,URP,S(tot,el, in, 2n,3n, f, in(i), in(c), gam), A, E
50	92-U-233	NU, RP, S(tot, el, in, 2n, 3n, f, in(i), in(c), gam), A, E
51	92-U-234	NU, RP, URP, S(tot, el, in, 2n, 3n, f, in(i), in(c), gam), A, E
52	92-U-235	NU, RP, URP, S(tot, el, in, 2n, 3n, f, in(i), in(c), gam), A, E
53	92-U-236	NU, RP, URP, S(tot, el, in, 2n, 3n, f, in(i), in(c), gam), A, E
54	92-U-238	NU, RP, URP, S(tot, el, in, 2n, 3n, 4n, f, in(i), in(c), gam) A, E
55	93-Np-237	NU, RP, URP, S(tot, el, in, 2n, 3n, f, in(i), in(c), gam), A, E
56	93-Np-239	NU, S(tot,el, in, 2n, 3n, f, in(i), in(c), gam), A, E
57	94-Pu-238	NU, RP, URP, S(tot, el, in, 2n, 3n, f, in(i), in(c), gam), A, E
58	94-Pu-239	NU, RP, URP, S(tot, el, in, 2n, 3n, f, in(i), in(c), gam), A, E
59	94-Pu-240	NU, RP, URP, S(tot, el, in, 2n, 3n, f, in(i), in(c), gam), A, E
60	94-Pu-241	NU, RP, URP, S(tot, el, non, in, 2n, 3n, f, in(i), in(c), gam, A, E
61	94-Pu-242	NU, RP, URP, S(tot, el, in, 2n, 3n, f, in(i), in(c), gam), A, E
62	95-Am-241	NU, RP, URP, S(tot, el, in, 2n, 3n, f, in(i), in(c), gam), A, E, GF, AF, EF
63	95-Am-242M	NU, RP, URP, S(tot, el, in, 2n, 3n, f, 4n, in(i), in(c), gam), A,E,GF,AF,EF
64	95-Am-243	NU, RP, URP, S(tot, el, in, 2n, 3n, 4n, f, in(i), in(c), gam), A, E, GF, AF, EF
65	96-Cm-242	NU, RP, URP, S(tot, el, in, 2n, 3n, f, in(i), in(c), gam), A,E,GF,AF,EF
66	96-Cm-244	NU, RP, URP, S(tot, el, in, 2n, 3n, f, in(i), in(c), gam),A,E,GF,AF,EF
67	96-Cm-245	NU, RP, S(tot, el, in, 2n, 3n, f, 4n, in(c), gam), A,E, GF, AF, EF

- краткие описания (а иногда и графики), содержащиеся в сопровождающей библиотеки документации;
- групповые константы;
- содержащаяся в файлах оцененных данных заголовочная информация, а при необходимости и сами оцененные данные.

При отборе данных в библиотеку ФОНД учитывались следующие факторы:

- полнота учтенных экспериментальных данных и год выполнения оценки;
- описание резонансной структуры сечений (предпочтение отдавалось данным, в которых резонансная структура описывается резонансными параметрами, в области неразрешенных резонансов - средними параметрами);
- использование современных методов расчетной оценки нейтронных сечений и спектров (метод связанных каналов для оценки сечений возбуждения низколежащих уровней при высоких энергиях, учет предравновесных процессов при оценке спектров вторичных нейтронов и т.п.);
- полнота представленного набора нейтронных реакций.

Часть отобранных оцененных данных заменялась на более современные, более надежные или более полные (например, включались резонансные параметры из последней компиляции BNL/177, средние резонансные параметры, оцененные путем усреднения параметров разрешенных резонансов и подгонки под средние сечения в области неразрешенных резонансов [18], либо расчетная энергетическая зависимость сечения какой-нибудь важной реакции заменялась на экспериментальную кривую, полученную в недавних измерениях). По каждому файлу данных, отобранному в ФОНД, составлено письменное обоснование. В настоящее время эти обоснования существуют лишь как рабочие материалы. В дальнейшем планируется наиболее существенную их часть включить в 451-ю (заголовочную) секцию каждого набора данных.

Содержание библиотеки ФОНД. Список оцененных нейтронных данных, составляющих библиотеку ФОНД, приведен в таблице; в ней указаны нуклиды и сами данные, по которым проведена оценка. Для описания приводимых в таблице данных введены следующие обозначения: NU - характеристики запаздывающих и мгновенных нейтронов; RE - параметры разрешенных резонансов; URP - средние резонансные параметры; S(x) - нейтронные сечения реакции (nx); A(x) - угловые распределения вторичных нейтронов реакции (nx); E(x) - соответствующие энергетические распределения; AE(x) - соответствующие энергоугловые распределения; GF(x) - данные о множественности фотонов, рождаемых в реакции (nx); AF(x) - угловые распределения этих фотонов; EF(x) - их энергетические распределения. Индексы i и c при неупругом рассеянии характеризуют соответственно дискретные уровни и континуум неразрешенных уровней ядра-мишени.

* *
* *
* *

Большинство проанализированных оцененных данных для изотопов было получено из Центра по ядерным данным благодаря содействию В.Н.Манохина и А.И.Блохина. Средства перевода данных с ЭВМ ЕС на ЭВМ БЭСМ-6 были созданы В.В.Евстифеевым. Возможность получения групповых констант с помощью пакета прикладных программ ГРУКОН обеспечил В.В.Синица; соответствующие расчеты были выполнены Е.А.Корчагиной. Некоторые данные были получены непосредственно от оценщиков В.А.Коньшина, Н.О.Базазянц, Г.Н.Мантурова, Л.П.Абагян. Большая работа по редактированию файлов была выполнена Л.В.Петровой. Всем им авторы выражают свою благодарность.

Список литературы

1. Николаев М.Н. Обеспечение расчетов быстрых реакторов ядерными данными. - Ядерные константы. 1972, вып.8, ч.1, с.3.
2. Синица В.В. Препринт № II88, Обнинск; ФЭИ, 1981.
3. Data formats and procedures for the evaluated nuclear data file, BNL-NCS-50496 (ENDF-102), 2nd ed., 1979.
4. Абагян Л.П., Базазянц Н.О., Николаев М.Н., Цибуля А.М. Групповые константы для расчета реакторов и защиты. М.: Энергоиздат, 1981.

5. Базаянц Н.О., Бырский М.Ю., Гермогенова Т.А. и др. АРАМАКО-2F - система обеспечения нейтронными константами расчетов переноса излучения в реакторах и защите: Препринт ИПМ АН СССР. М., 1976.
6. Мантуров Г.Н. Препринт № IO34. Обнинск; ФЭИ, 1980.
7. Колесов В.Е., Николаев М.Н. См. [17], ч.4, с.3.
8. Norton D.S. UKAEA nuclear data library. AEEW-N 824, 1968.
9. Data formats and procedures for the evaluated nuclear data file, BNL-NCS-50496 (ENDF-102), 1975.
10. Proc. the IAEA consult. meeting on U and Pu resonance parameters. Vienna, INDC(NDS)-129GJ, 1981.
11. ENDF/B Summary Documentation, BNL-17541 (ENDF-201), 3rd ed., 1979.
12. Ibid., 2nd ed., 1975.
13. Howerton R.J., Mac Gregor M.H. UCRL-50400, v.15, Part D, Rev.1, 1978.
14. Japanese Evaluated Nuclear Library, ver.1, JENDL-1, JEARI 1261, NEANDC (J), 59/1, 1979.
15. Мазный Г.Л. Программирование на БЭСМ-6 в системе "Дубна". М.: Наука, 1978.
16. Чистякова В.А., Юдкевич М.С. Препринт № 3046. М.: ИАЭ, 1978.
17. Mughabghab S.F., Divadeeman M., Holden N.E. Neutron cross-sections. Vol.1. Neutron resonance parameters and thermal cross-sections. Part A. Academic Press, 1981.
18. Кононов В.Н., Юрлов Б.Д., Мантуров Г.Н. и др. В кн.: Нейтронная физика (Материалы 4-й Всесоюзной конференции по нейтронной физике, Киев, 1977). М.: ЦНИИатоминформ, 1978, ч.2, с.211.

Статья поступила в редакцию 27 июля 1984 г.

УДК 621.039.519

СИСТЕМА ПРОГРАММ И АРХИВОВ ИНДЭКС

Г.Н.М а н т у р о в

SYSTEM OF CODES AND ARCHIVES INDEX. The program complex for the calculational analysis of macroscopic experiments data, constants adjustment and evaluation of calculational accuracy of nuclear reactor parameters is described.

В 1972 г. С.М.Зарицким, М.Н.Николаевым и М.Д.Орловым (ФЭИ) была поставлена задача и намечена схема работ по разработке и составлению машинных программ и архивов, получивших название ИНДЭКС* (исправление нейтронных данных на основе анализа результатов макроскопических экспериментов), цель которых:

- обработка и хранение оцененных результатов макроскопических экспериментов и соответствующих расчетных данных в виде, позволяющем использовать их для корректировки констант;
- расчет и хранение коэффициентов чувствительности измеренных величин и параметров реактора к ядерным константам;
- проведение коррекции нейтронных констант, обеспечивающей наилучшее согласие расчетов с экспериментальными результатами, путем варьирования этих констант в пределах оцененных погрешностей;
- оценка точности расчетного предсказания нейтронно-физических характеристик проектируемых реакторов до и после корректировки констант;
- оценка потребностей в ядерных данных с учетом требуемой точности расчета различных характеристик реактора;
- оценка информативности различных экспериментов в целях выбора оптимальной экспериментальной программы.

* Под этой системой понимается комплекс программ, которые поставлены на достаточно мощной ЭВМ (например, БЭСМ-6), привязаны к одной системе константного обеспечения и связаны между собой через машинные архивы.

Система ИНДЭКС должна была включать в себя:

- программы оценки макроэкспериментов (под оценкой понимается нахождение той доли расхождений между расчетными и измеренными величинами, которая обусловлена неточностью используемых в расчете констант; определение ковариационных матриц погрешностей экспериментальных и расчетных данных, а также нахождение коэффициентов чувствительности рассчитываемых величин к константам);
- архивы результатов оценки макроэкспериментов;
- систему подготовки констант, обеспечивающую переработку файлов оцененных ядерных данных в групповые константы;
- программы оценки дифференциальных ядерно-физических экспериментов для выработки оцененных ядерных данных и составления ковариационных матриц погрешностей ядерных констант;
- архивы ковариационных матриц погрешностей групповых констант;
- программы статистического анализа расчетно-экспериментальных расхождений с использованием коэффициентов чувствительностей и ковариационных матриц погрешностей констант, а также результатов расчетов и измерений.

Такая система была создана [1]. Ее структура показана на рис.1 Центральное место в системе ИНДЭКС занимает комплекс программ статистического анализа CORE (рис.2), исходные данные для которого обеспечиваются машинными библиотеками: погрешностей ядерных констант LUND (Library of Uncertainties for Nuclear Data), оцененных данных базовых экспериментов LEMEX (Library of Evaluated Macroscopic Experiments) и коэффициентов чувствительностей этих экспериментов и проектируемых реакторов к константам LSENS (Library of SENSitivity coefficients). Алгоритмы расчетов, заложенные в программах комплекса CORE, реализуют методы статистической обработки экспериментальной информации. Для выполнения операций матричной алгебры разработана специализированная библиотека процедур, осуществляющих сложение матриц (SUMD), умножение (MWN, MWNT, MNZ), транспонирование (OPA), обращение матриц (REVERD) и другие операции над ними. Вторую часть системы ИНДЭКС составляют программы и архивы, обеспечивающие заполнение машинных библиотек LUND, LEMEX и LSENS.

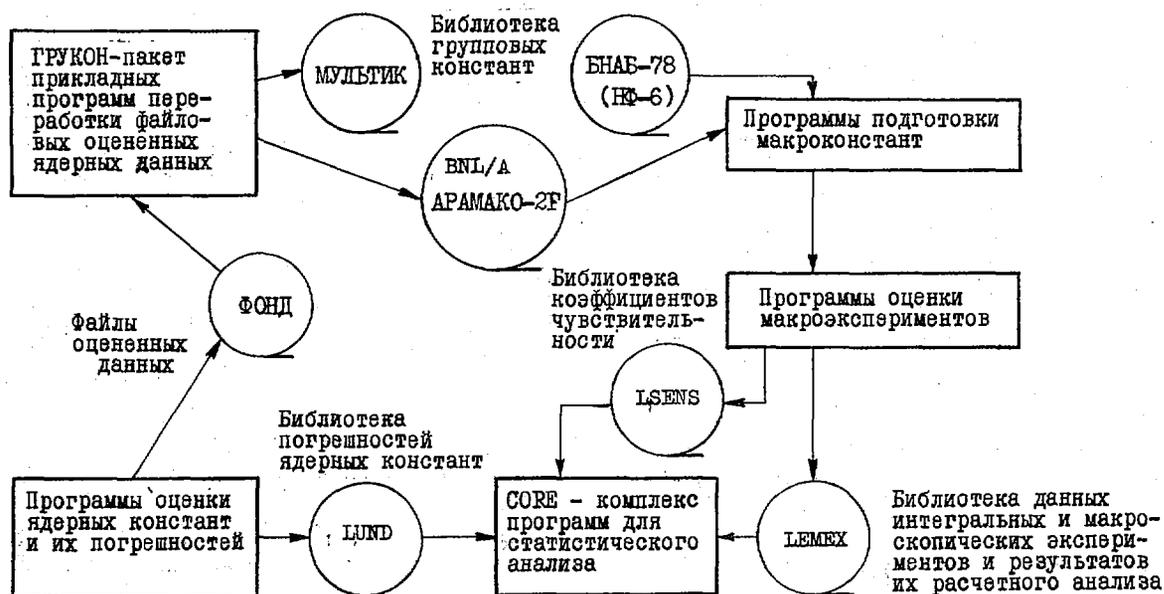


Рис.1. Система ИНДЭКС

Для расчетов полей излучения, их функционалов и коэффициентов чувствительностей и проведения оценки макроэкспериментов в действующей версии системы ИНДЭКС используются следующие программы:

- для проведения многогрупповых расчетов реакторов - NULGEO для расчетов в B_0 -приближении, КРАБИ для одномерных расчетов в P_1 -и S_N -приближениях, ТВК-2D для двумерных диффузионных расче-

тов в RZ- и XY-геометриях, программы расчета реакторов и защит методом Монте-Карло в реальной трехмерной геометрии, TRIGEX для расчетов в трехмерной гексагональной геометрии, ВПС для расчетов реакторов с учетом реальной гетерогенности размещения топлива;
 - для расчетов нейтронных и гамма-полей в радиационной защите - P03-5, P03-6 и P03-II, а также программа ЗАКАТ, осуществляющая расчет коэффициентов чувствительностей.

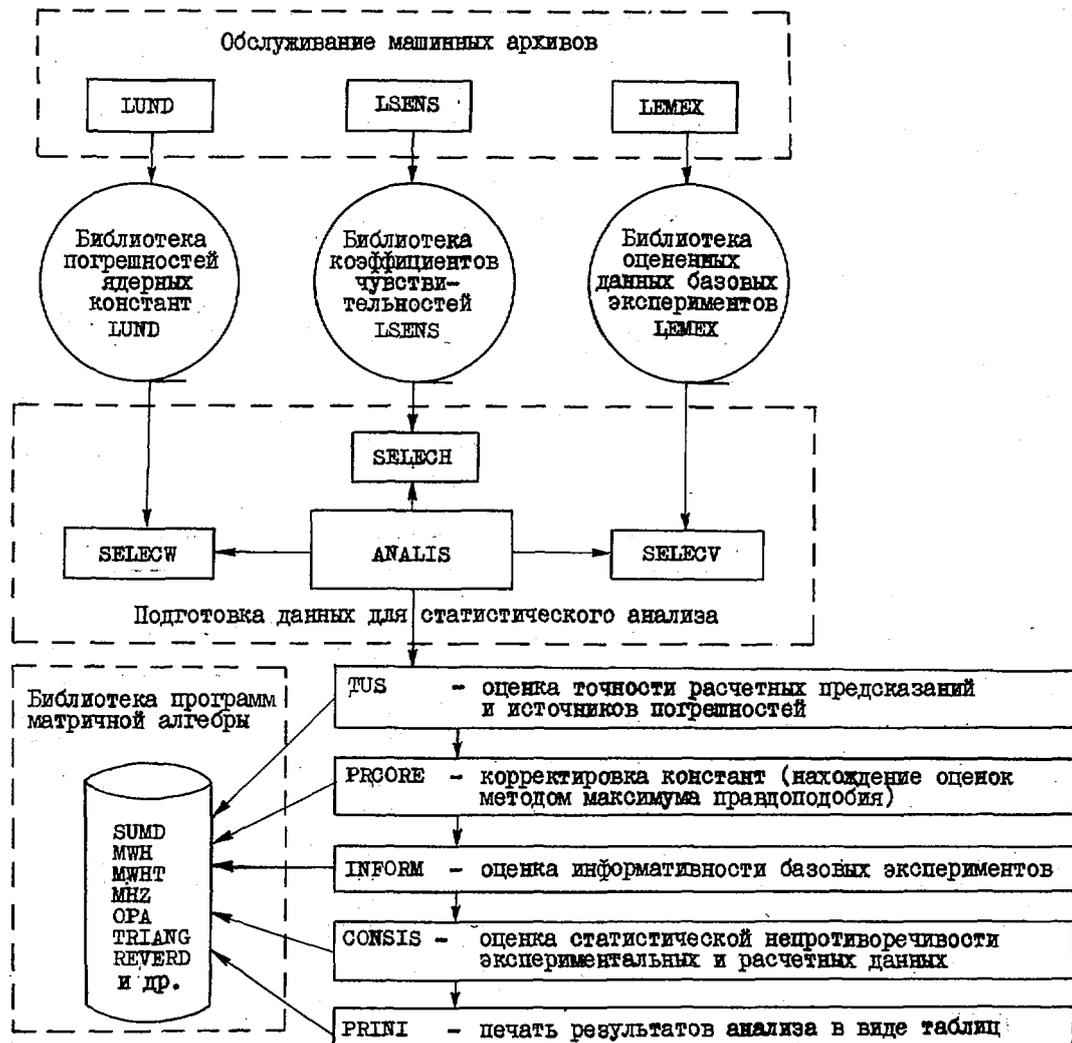


Рис.2. Структура комплекса CORE

Список расчетных программ может быть расширен или изменен с учетом развивающихся потребностей и открывающихся возможностей.

Обеспечение константами расчетов реакторов и защит осуществляется в рамках системы СОКРАТОР (система обеспечения константами расчетов атомных реакторов и радиационной защиты) [2]. Основной в ней является библиотека файлов оцененных нейтронных данных (ФОНД), записанная на машинных носителях информации в текстовом виде в формате ENDF/B [3]. Имеющаяся версия библиотеки ФОНД в основном соответствует тем данным, на базе которых была получена система констант БНАБ-МИКРО [4]. Переработка данных библиотеки ФОНД (а при необходимости и других библиотек оцененных данных) в групповые константы для произвольного группового разбиения осуществляется с помощью пакета прикладных программ ГРУКОН (расчет групповых констант) [5]. Канал ФОНД - ГРУКОН позволяет обновлять и пополнять содержание второй константной библиотеки - АРАМАКО (автоматизированный расчет макроскопических констант) [6,7], которая сама по себе является специализированной систе-

мой, служащей для обеспечения константами многогрупповых расчетов полей излучения в реакторах и защите. В действующей версии системы АРАМАКО обеспечена практическая возможность проведения 26-28- или 49-групповых нейтронных расчетов, а также расчетов γ -полей в 15-групповом приближении. В дальнейшем предусмотрено подключение мультигрупповой (примерно 300 групп) библиотеки констант МУДБИК. В качестве стандартной константной базы используется система констант БНАБ-78 [4], при необходимости с более подробным разбиением области высоких энергий нейтронов [6]. Переработка данных групповых библиотек в макроскопические константы, требуемые для расчетов полей излучения, а также получение констант, необходимых для расчетов функционалов этих полей, осуществляются программами, входящими в систему АРАМАКО.

Библиотека погрешностей ядерных данных LUND содержит ковариационные матрицы погрешностей групповых констант БНАБ-МИКРО, от которых используется в практических расчетах система констант БНАБ-78 отличается лишь некоторыми сечениями ^{238}U , откорректированными на основе данных экспериментов, выполненных на быстрых критических сборках [4]. Описание оценки этих ковариационных матриц и соответствующие числовые данные содержатся в работе [4]. Кроме ковариационной матрицы основной библиотеки констант в библиотеке LUND могут храниться также ковариационные матрицы погрешностей различных версий констант.

Немного о заполнении библиотек LEMEX и LSENS. Библиотека LSENS заполняется программным путем: результаты расчетов коэффициентов чувствительностей, полученные с использованием программ NUDGE, ТВК-2D или ЗАКАТ, заносятся в нее с помощью специальных интерфейсных модулей. Что же касается библиотеки LEMEX, то она заполняется только вручную. В нее заносятся:

- символические имена экспериментов и измерявшихся в них функционалов;
- экспериментальные результаты, включающие все поправки, необходимые для приведения этих результатов к обчислимой модели эксперимента (поправка типа А), а также ковариационная матрица погрешностей экспериментов с учетом погрешностей поправок типа А;
- расчетные результаты, включающие все поправки, необходимые для приведения их к обчислимой модели эксперимента (поправки типа В), а также матрица погрешностей результатов расчетов с учетом погрешностей поправок типа В.

К настоящему времени накоплен немалый опыт использования системы ИНДЭКС для анализа чувствительностей реакторных и защитных характеристик к константам. Так, в работе [9] проведен анализ источников погрешностей расчета коэффициентов $K_{эф}$, КВ и КВА большого быстрого плутониевого реактора-размножителя и намечены пути повышения точности расчетных предсказаний характеристик быстрых реакторов. В работе [10] получены оценки точности расчетных предсказаний характеристик быстрых реакторов с использованием системы групповых констант БНАБ-78, которые составили $\pm 1,4\%$ для $K_{эф}$ и $\pm 0,035$ для КВ. В работе [4] наряду с эвристической корректировкой БНАБ-МИКРО, в результате которой была получена система констант БНАБ-78, была проведена алгоритмическая корректировка, подтверждающая результаты авторских исследований. В работе [11] проведена оценка точности расчета защиты быстрого реактора.

Как видно из описания, действующая версия системы ИНДЭКС ориентирована на обработку и анализ результатов реакторных и защитных базовых экспериментов, а также оценку точности расчетных предсказаний характеристик проектируемых быстрых реакторов и защит. Очевидно, развитая система программ может быть использована и в других областях, где возникает задача корректировки большого числа параметров по результатам косвенных экспериментов.

Список литературы

1. Мантуров Г.Н. Программное обеспечение задач анализа чувствительностей реакторных характеристик к ядерным константам: Препринт № 1034. Обнинск: ФЭИ, 1980.
2. Николаев М.Н. Обеспечение расчетов быстрых реакторов ядерными данными. - Ядерные константы, 1972, вып.8, ч.1, с.3.
3. Data formats and procedures for the evaluated nuclear data file. BNL-NCS-50496 (ENDF-102), 2nd ed., 1979.
4. Абагян Л.П., Базазянц Н.О., Николаев М.Н., Цибуля А.М. Групповые константы для расчетов реакторов и защиты. М.: Энергоиздат, 1981.

5. Силица В.В. Пакет ГРУКОН. Часть I. Программа преобразований: Препринт № 1188. Обнинск: ФЭИ, 1981.
6. Базазянц Н.О., Вырский М.Ю., Гермогенова Т.А. и др. АРАМАКО-2F - система обеспечения нейтронными константами расчетов переноса излучения в реакторах и защите: Препринт ИПМ АН СССР. М., 1976.
7. Абагян А.А., Барыба М.А., Басс Л.П. и др. АРАМАКО-G - система обеспечения многогрупповыми константами расчетов полей гамма-излучения в реакторах и защите: Препринт № 122. М.: ИПМ АН СССР, 1978.
8. Гермогенова Т.А. Корягин Д.А., Луховицкая Э.С. и др. Объединенная система константного обеспечения - ОКС: Препринт № 140. М.: ИПМ АН СССР, 1979.
9. Алексеев П.Н., Мантуров Г.Н., Николаев М.Н. Оценка погрешностей расчета коэффициентов критичности и воспроизводства энергетических быстрых реакторов из-за неточности нейтронных данных. - Атомная энергия, 1980, вып.49(4), с.221.
10. Мантуров Г.Н., Николаев М.Н. Оценка точности расчетных предсказаний характеристик быстрых реакторов-бридеров по системе констант БНАБ-78. - В кн.: Нейтронная физика (Материалы 5-й Всесоюзной конференции по нейтронной физике, Киев, 15-19 сентября, 1980). М.: ЦНИИАтоминформ, ч.3, с.316.
11. Мантуров Г.Н., Савицкий В.И., Илюшкин А.И. Оценка константной составляющей погрешности расчета защиты быстрого реактора. - Там же, с.323.

Статья поступила в редакцию 27 июля 1984 г.

УДК 621.039.519

О СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ СИСТЕМЫ АРАМАКО

М.Н.Николаев, М.М.Савоськин

ON THE PRESENT STATUS OF THE ARAMACO SYSTEM. Status of the code system ARAMACO calculated multigroup constants for resolving of neutron and gamma-ray transport equations and calculations of linear and bilinear functionals of radiation field is described.

АРАМАКО - система обеспечения константами расчетов нейтронных и γ -полей в реакторах на быстрых нейтронах и радиационной защите в многогрупповом приближении. В настоящее время система состоит из базы данных и программ для ее обслуживания, пакетов программ подготовки многогрупповых констант, пакета программ одномерного расчета реактора КРАБ-1.

База данных включает следующие файлы:

- BNL/A - базовую 26-групповую библиотеку сечений взаимодействия нейтронов с веществом с подгрупповым представлением резонансной структуры сечений в бинарном формате, содержащую информацию о нуклидах из работ [1-3] и о некоторых других нуклидах, находящихся в пробной эксплуатации;
- DOPPLER - 26-групповую библиотеку в бинарном формате, содержащую доплеровские приращения факторов резонансной самоэкранировки сечений [1,3];
- PLANES - 26-групповую библиотеку в бинарном формате, содержащую параметры анизотропии упругого рассеяния [3,4];
- LHYDR-26 - 26-групповую библиотеку в бинарном формате, содержащую данные о взаимодействии нейтронов с водородом [1];
- LHYDR-28 - то же, что и LHYDR-26, и дополнительную информацию о первой и нулевой группах разбиения библиотеки БНАБ-78 [3];

- BND-14 - двухгрупповую библиотеку в бинарном формате, содержащую данные о взаимодействии нейтронов с веществом для первой и нулевой групп разбиения библиотеки БНАБ-78 [3];
- BNGL/A - базовую библиотеку групповых констант в бинарном формате, содержащую множественность и 15-групповые спектры γ -квантов, возникающих в результате нейтронных реакций [3];
- SAI - детальный ход массовых коэффициентов γ -ослабления при γ -взаимодействиях в бинарном формате [5];

- BGL/A - детальный ход сечений взаимодействия γ -квантов с веществом в бинарном формате. Эта библиотека получена путем программной обработки файла SAI;

- GAM15G - 15-групповую библиотеку взаимодействия γ -квантов с веществом;
- TEMEP - 26-групповую библиотеку групповых констант в текстовом формате [6];
- OLN - оперативную библиотеку, содержащую данные BNGL/A или файл TEMEP. Отметим, что все расчетные программы пакета АРАМАКО используют данные только из этой библиотеки, а сама библиотека генерируется специальными программными средствами. При работе с файлом TEMEP специальными программными средствами генерируются и файлы DORPLER. Форматы представления данных описаны в работах [6-9].

Пакеты программ системы АРАМАКО можно условно разделить на составные части.

I. Пакет программ АРАМАКО - ОКС. состоит из:

1) программ подготовки 28- или 26-групповых констант для расчета переноса нейтронов в реакторах и радиационной защите (состоящих из протяженных гомогенных зон) методами сферических гармоник, методом Ивона, дискретных ординат и др. В этих программах анизотропия упругого рассеяния представлена в виде разложения в ряд по полиномам Лежандра шесть первыми именами ряда (в случае водорода - пятнадцать). Полное макроскопическое сечение и сечение упругого рассеяния усредняются с учетом тонкой структуры анизотропии потока вплоть до шестого углового момента в предположении, что $\sum_{t\ell}^g \approx \sum_{t\min}$ при $\ell \geq 6$ (это практически и наблюдается);

2) программы подготовки констант для расчета источников вторичного γ -излучения на основе расчета нейтронных полей в 28- и 26-групповом приближении;

3) программ усреднения групповых констант на основе детального хода сечений взаимодействия γ -квантов с веществом;

4) программ подготовки многогрупповых констант, входящих в уравнения переноса γ -квантов на основе библиотеки GAM15G;

5) программы, объединяющей программы 1), 2), 4).

Вышеперечисленный пакет программ включен в пакет прикладных программ Объединенной константной системы [10] и применяется главным образом при исследовании физики защиты. Однако с помощью программы P03-VI [11] можно рассчитать одномерный реактор нулевой мощности, т.е. в этом пакете программ подготовки констант эффект Доплера не учитывается.

II. Пакет программ АРАМАКО-Р предназначен в основном для простых расчетов быстрых энергетических реакторов и включает:

1. Программы подготовки групповых констант для расчета нейтронных полей в диффузионном P_1 -приближении и более высоких приближениях. Индикатриса рассеяния учитывается двумя членами при разложении в ряд по полиномам Лежандра или в транспортном приближении для программ, реализующих решение уравнения переноса методом дискретных ординат или методом Монте-Карло.

Указанные программы готовят константы главным образом для расчета интегральных нейтронно-физических характеристик реакторов, таких, как коэффициенты $K_{эф}$, K_B и его составляющие, темп выгорания, эффективность органов СУЗ, натриевый эффект и эффект Доплера реактивности. С их помощью можно получить такие дифференциальные характеристики, как распределение скоростей реакций и тепловыделение. Зоны рассчитываемых реакторов должны быть гомогенны и достаточно протяженны для применимости группового приближения. При расчете быстрых реакторов с гетерогенными активными зонами применение групповых констант, рассчитанных в рамках этого пакета программ, может приводить к погрешностям, масштаб которых должен оцениваться путем сравнения с результатами расчетов негрупповыми методами.

Учет резонансной структуры в этих программах основан на концепции сечения разбавления и подгруппового представления сечений взаимодействия нейтронов с веществом. Это позволяет сократить время подготовки констант на ЭВМ БЭСМ-6 для типичного многозонного варианта реактора при-

мерно до 1 мин. Эффект Доплера учитывается путем интерполяции таблиц доплеровских коэффициентов приращений факторов самоэкранировки между базовыми точками температур и экстраполяции при температуре больше 2100 К по экспоненциальной функции. Изменением коэффициентов самоэкранировки сечений как следствием изменения сечения разбавления при эффекте Доплера пренебрегают. Связанные с этими приближениями погрешности расчета основных характеристик реакторов малы по сравнению с другими методическими погрешностями 26-группового приближения.

Учет резонансной самоэкранировки сечений ^{233}U , ^{235}U и ^{232}Th в области энергий, меньших 46,5 эВ, проводится в приближении бесконечной массы.

2. Программы коррекции сечения упругого замедления и спектра нейтронов деления. Эта процедура необходима для снижения методической погрешности коэффициента $K_{\text{эф}}$ с 3 до 1%. В данных программах для каждой гомогенной зоны реактора в 26-групповом приближении с неоткорректированными сечениями и спектром нейтронов деления χ ($\nu=2,4$) рассчитывается интегральный спектр для зон с $\nu \Sigma_f \neq 0$ в приближении материального параметра (асимптотический спектр), а для зон с $\nu \Sigma_f = 0$ - равновесный спектр. Далее спектры аппроксимируются ломаной, а по оцененному таким образом внутригрупповому спектру в сечение упругого замедления вводятся поправки. Многогрупповые спектры используются также для определения величины $\bar{\nu}$, по значению которого уточняется спектр нейтронов деления.

3. Программы подготовки констант для расчета источников вторичного β -излучения на основе расчета поля нейтронов в 26-групповом приближении и 15-групповых макроскопических констант, входящих в интегро-дифференциальное уравнение переноса β -квантов в приближении изотропии индикатрисы рассеяния.

4. Программы подготовки констант для расчета поля энерговыделения в реакторе с учетом переноса энергии β -квантами.

Алгоритмы подготовки констант, реализованные в пакетах АРАМАКО-ОКС и АРАМАКО-Р, достаточно подробно изложены в работах [3,8,12].

Ш. Пакет программы АРАМАКО-К предназначен для подготовки 26-групповых констант, используемых в прикладных программах при расчетном анализе экспериментов на быстрых критических сборках. Пакет отличается от пакета АРАМАКО-Р:

- программами подготовки микроскопических констант для расчета локальных коэффициентов реактивности малых образцов. В этих программах реализованы алгоритмы усреднения сечений образца с учетом возмущения спектров окружающей среды;

- программами расчета гомогенизированных макро- и микроскопических констант гетерогенных сред. В данных программах рассчитываются ячейки гетерогенных решеток в плоской и цилиндрической геометрии методом вероятности первых столкновений в подгрупповом транспортном приближении. Предусмотрена возможность расчета ячеек кластерного типа, состоящих из N угольных правильных призм с цилиндрическими включениями;

- программами подготовки констант, в которых резонансная самоэкранировка сечений учитывается путем усреднения по всем возможным комбинациям подгрупп резонансных нуклидов, что существенно увеличивает время работы процессора даже при подготовке констант гомогенных сред.

IV. Пакет программ КРАБ-I для одномерного расчета реактора является составной частью системы АРАМАКО - инструментом методических оценок тех или иных алгоритмов подготовки много- и мало-групповых констант.

Описанные выше состояния системы АРАМАКО соответствуют реализации на ЭВМ БЭСМ-6. В настоящее время ведется работа по переводу системы на ЕС ЭВМ. Например, программы подготовки констант для гомогенных сред и программы коррекции сечения упругого замедления и спектра нейтронов деления пакета АРАМАКО-Р находятся в промышленной эксплуатации. Перевод системы АРАМАКО на ЕС ЭВМ проводится с учетом возможностей этих ЭВМ, но с сохранением форматов и последовательностей входной и выходной информации в целях минимальных переделок в обращении к системе из прикладных программ.

Список литературы

1. Абаган Л.П., Базазянц Н.О., Бондаренко И.И., Николаев М.Н. Групповые константы для расчета ядерных реакторов. М.: Атомиздат, 1964.

2. Хохлов В.Ф., Савоськин М.М., Николаев М.Н. Комплекс программ АРАМАКО для расчета групповых макро- и блокированных микросечений на основе 26-групповой системы констант в подгрупповом представлении. - Ядерные константы, 1972, вып.8, ч.3, с.3-132.
3. Абагян Л.П., Базазянц Н.О., Николаев М.Н., Цибуля А.М. Групповые константы для расчета реакторов и защиты. М.: Энергоиздат, 1981.
4. Базазянц Н.О., Забродская А.С., Николаев М.Н. Групповые параметры анизотропии рассеяния нейтронов. - См. [2], ч.2, с.3-96.
5. Сторм Э., Исразль Х. Сечения взаимодействия гамма-излучения. М.: Атомиздат, 1973.
6. Осипов В.К., Чистякова В.А., Юдкевич М.С. ТЕМЕР - формат текстовой записи библиотек многогрупповых констант для расчета реакторов и защиты. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика и техника ядерных реакторов, 1982, вып.5(27), с.62.
7. Базазянц Н.О., Вьрский М.Ю., Гермогенова Т.А. и др. АРАМАКО-2F - система обеспечения нейтронами константами расчетов переноса излучения в реакторах и защите. М.: ИПМ АН СССР, 1976.
8. Абагян Л.П., Барыба М.А., Басс Л.П. и др. АРАМАКО-g - система обеспечения многогрупповыми константами расчетов полей гамма-излучения в реакторах и защите: Препринт № 122. М.: ИПМ АН СССР, 1978.
9. Вьрский М.Ю., Дубинин А.А., Клинецов А.А. и др. АРАМАКО-2F - версия системы константного обеспечения расчетов переноса высокоэнергетических нейтронов: Препринт № 904. Обнинск: ФЭИ, 1979.
10. Гермогенова Т.А., Корягин Д.А., Луховицкая Э.С. и др. Объединенная система константного обеспечения - ОКС: Препринт № 140. М.: ИПМ АН СССР, 1979.
11. Волощенко А.В., Костин Е.И., Панфилова Е.И., Уткин В.А. РОЗ-6 - система программ для решения уравнения переноса в одномерных геометриях. М.: ИПМ АН СССР, 1980.
12. Николаев М.Н., Рязанов Б.Г., Савоськин М.М., Цибуля А.М. Многогрупповое приближение в теории переноса нейтронов. М.: Энергоатомиздат, 1983.

Статья поступила в редакцию 27 июля 1984 г.

УДК 621.039.51

**МЕТОДИКА И ПРОГРАММА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДГОТОВКИ МАЛОГРУППОВЫХ КОНСТАНТ
ДЛЯ РАСЧЕТА РЕАКТОРОВ В ТРЕХМЕРНОЙ ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ**

В.А.П и в о в а р о в , А.С.С е р е г и н

A METHOD AND A COD FOR AUTOMATIC FEU-GROUP CROSS-SECTIONS PREPARATION FOR THE THREE-DIMENSIONAL REACTOR CALCULATION IN HEXAGONAL GEOMETRY. The paper describes an effective method of feugroup macroconstants preparation for the three-dimensional calculations of fast reactors in hexagonal geometry. The method is based on the 26-group calculation of the reactor in that geometry. The numerical results obtained for the prototype fast reactor SNR-300 indicate that this method can be used for practical calculations.

В практике проектирования и расчетного обеспечения эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах широкое распространение получили расчеты в трехмерной гексагональной геометрии на основе мало-группового диффузионного приближения. В связи с этим возникает необходимость в максимальной автоматизации подготовки мало-групповых констант. В настоящее время эта подготовка осуществляется, как правило, на основе нескольких многогрупповых расчетов в одно- или двумерной (R-Z)-геометрии и находится в большой зависимости от опыта и физической интуиции расчетчика. Это обстоятельство весьма затрудняет проведение многовариантных расчетных исследований и сравнение результатов, полученных разными авторами. Кроме того, такая процедура плохо поддается автоматизации как из-за сложности в формализации построения упрощенных моделей, так и из-за трудностей обратного перехода к гексагональной геометрии.

Предлагаемая методика автоматизированной подготовки малогрупповых констант базируется на использовании трехмерного 26-группового расчета в гексагональной геометрии. Основная особенность этой методики - четкая ориентация многогруппового расчета исключительно на подготовку малогрупповых констант. Опыт расчетов в (R-Z)-геометрии показывает, что требования к точности групповых потоков, используемых для свертки групповых констант, значительно ниже требований, предъявляемых обычно к точности потоков при расчете коэффициента $K_{эф}$ и полей тепловыделения. Это обстоятельство может быть эффективно использовано при построении алгоритма 26-группового расчета, чему и посвящена в основном настоящая работа. Авторы не затрагивают вопросов, связанных со способами свертки констант, и используют наиболее распространенный на практике метод усреднения (в том числе и коэффициента диффузии) по среднему для некоторой области интегральному потоку. Цель - создание инженерной программы, полностью автоматизирующей подготовку малогрупповых констант для расчета реакторов в трехмерной гексагональной геометрии, - может быть достигнута путем решения многогрупповой диффузионной задачи в той же расчетной модели, что и малогрупповая задача.

Методика многогруппового расчета. Основная трудность, возникающая при решении сформулированной выше проблемы, связана с получением решения многогрупповой диффузионной задачи в трехмерной гексагональной геометрии:

$$-\text{div} D^{(g)}(\vec{r}) \nabla \phi^{(g)}(\vec{r}) + \Sigma_{y\beta}^{(g)}(\vec{r}) \phi^{(g)}(\vec{r}) = \sum_{\ell=1}^{g-1} \Sigma^{\ell \rightarrow g}(\vec{r}) \phi^{(\ell)}(\vec{r}) + \chi^{(g)}(\vec{r}) Q(\vec{r}), \quad (1)$$

где источник нейтронов, обусловленный делением,

$$Q(\vec{r}) = \frac{1}{K_{эф}} \sum_{\ell=1}^N \nu \Sigma_f^{(\ell)}(\vec{r}) \phi^{(\ell)}(\vec{r}); \quad (2)$$

g - номер группы ($g=1, 2, \dots, N$). Остальные обозначения общеприняты [1].

Трехмерные 26-групповые расчеты в гексагональной геометрии в традиционной постановке [расчет $K_{эф}$, $\phi^{(g)}(\vec{r})$] даже при сравнительно низких требованиях к точности итераций и грубой пространственной сетке (одна точка на шестигранную призму) сопряжены с большими временными затратами. Имеется и техническая трудность в проведении таких расчетов, вызванная ограниченностью оперативной и внешней памяти, используемых на практике ЭВМ. Все это приводит к тому, что имеющиеся программы трехмерного многогруппового расчета в гексагональной геометрии, например JAR [2], не могут быть эффективно использованы для подготовки малогрупповых констант в серийных расчетных исследованиях. Возникает практическая необходимость в упрощении исходной задачи (1), (2), а поставленная цель - использование полученного решения только для свертки групповых констант - позволяет это сделать. Сформулируем важнейшие упрощения.

Для численного решения условно-критической задачи (1), (2) с соответствующими граничными условиями обычно используется метод итерации источника [1]. Известно, что интегральные по зонам потоки, используемые при подготовке малогрупповых констант, сходятся быстрее, чем детальное пространственное распределение групповых потоков. Поэтому число внешних итераций, необходимых для получения интегральных спектров, может быть значительно меньше, чем при традиционном решении задачи (1), (2) с обычной для практики точностью. Число внешних итераций может быть сокращено еще более за счет наилучшего выбора начального распределения источника деления $Q_0(\vec{r})$, обычно полагаемого равным константе. В предлагаемой методике число внешних итераций равно единице, а необходимое для расчета распределение $Q_0(\vec{r})$ берется из одногруппового ($N=1$) решения задачи (1), (2).

Из опыта расчетов известно, что на формирование энергетического спектра, а следовательно, и на усреднение констант в конкретной кассете определяющее влияние оказывают не более чем два слоя окружающих ее кассет. Отсюда ясно, что для данной задачи наибольшее значение имеет локальная структура источников деления, достаточно хорошо описываемая одногрупповым расчетом. Ниже приведены данные, свидетельствующие в пользу такого утверждения. Однако на практике, по-видимому, могут встретиться расчетные модели (надеемся, немногочисленные), когда указанное приближение может оказаться недостаточным. На этот случай предусмотрена возможность пересчета источни-

ков деления с последующим проведением многогруппового расчета, т.е. возможность внешних итераций. Имеется и другой путь повышения точности - более корректное определение начального распределения $\phi_0(\vec{r})$, например на основе 26-группового решения задачи (1), (2) при сохранении безытерационного (без внешних итераций) варианта многогруппового расчета.

Выше отмечалось, что для усреднения констант в практических расчетах используется не пространственное распределение $\phi^{(g)}(\vec{r})$, а средние по некоторым областям V_i интегральные потоки $\bar{\phi}_i^{(g)}$. Эти области (как правило, однородные) выбираются так, чтобы спектр внутри них менялся слабо и вследствие этого малогрупповые константы можно было считать не зависящими от пространственной координаты. Таким образом, с точки зрения конечной цели хранить 26-групповые потоки во всех узлах расчетной сетки не обязательно. В процессе же решения задачи (1) хранение пространственных распределений $\phi^{(g)}(\vec{r})$ необходимо, так как они используются при вычислении источника замедления для нижележащих групп. Чтобы избавиться от этой необходимости, принято следующее приближение для вычисления источника замедляющихся нейтронов:

$$\sum_{\ell=1}^{g-1} \Sigma^{\ell \rightarrow g}(\vec{r}) \phi^{(\ell)}(\vec{r}) \approx \sum_{\ell=1}^{g-1} \Sigma^{\ell \rightarrow g}(\vec{r}) \phi^{(g-1)}(\vec{r}) + \frac{\sum_{\ell=1}^{g-2} \phi^{(\ell)}(\vec{r})}{\sum_{\ell=1}^{g-2} \bar{\phi}_i^{(\ell)}} \sum_{\ell=1}^{g-2} \Sigma^{\ell \rightarrow g}(\vec{r}) \bar{\phi}_i^{(\ell)} \Big|_{\vec{r} \in V_i} \quad (3)$$

Приближение (3) выполняется для первых трех групп, а в отсутствие водорода - для всех групп ниже одиннадцатой. Оно вытекает из предположения, что внутри областей V_i пространственное распределение потоков $\phi^{(g)}(\vec{r})$ во всех группах одинаково, т.е. энергетический спектр не меняется. В действительности это не так. Однако, как уже говорилось, мы выбираем области V_i именно таким образом, чтобы спектр менялся слабо, а значит, можно ожидать, что приближение (3) будет выполняться достаточно точно. Практическое отсутствие внешних итераций и приближение (3) - главные особенности предлагаемой методики.

Переход к конечно-разностной форме задачи (1) осуществляется для пространственной сетки с узлами, расположенными в центрах тяжести шестигранных призм. По высоте расчетная область разбивается на плоские слои. Полученная система линейно-алгебраических уравнений решается итерационным способом. Для ускорения итераций и сокращения времени счета используются следующие методы:

1. Метод верхней релаксации [1]. Ускоряющий параметр ω вычисляется на 8-й итерации для первой энергетической группы и на 5-й для остальных групп.

2. Для задания начального распределения потоков в группах ниже первой используется формула

$$\phi_0^{(g)}(\vec{r}) = \frac{\sum_{\ell=1}^{g-1} \Sigma^{\ell \rightarrow g}(\vec{r}) \phi^{(\ell)}(\vec{r}) + \chi^{(g)}(\vec{r}) Q(\vec{r})}{B_g^2(\vec{r}) D^{(g)}(\vec{r}) + \Sigma_{y\beta}^{(g)}(\vec{r})}, \quad (4)$$

где $B_g^2(\vec{r})$ определяется из расчета предыдущей группы в предположении, что пространственные зависимости потоков нейтронов в соседних группах близки:

$$B_g^2(\vec{r}) = \frac{\sum_{\ell=1}^{g-2} \Sigma^{\ell \rightarrow g}(\vec{r}) \phi^{(\ell)}(\vec{r}) + \chi^{(g-1)}(\vec{r}) Q(\vec{r})}{\phi^{(g-1)}(\vec{r}) D^{(g-1)}(\vec{r})} - \frac{\Sigma_{y\beta}^{(g-1)}(\vec{r})}{D^{(g-1)}(\vec{r})}. \quad (5)$$

Об эффективности приближения (5) свидетельствуют данные табл. I. Здесь представлено число итераций при расчете тестовой модели реактора SNR-300 (ФРГ) [2] с точностью по локальным потокам $\epsilon < 10^{-2}$, где

$$\varepsilon = \max \left\{ \left| \frac{\varphi_j^{(g)}(\vec{z}) - \varphi_{j-1}^{(g)}(\vec{z})}{\varphi_{j-1}^{(g)}(\vec{z})} \right| \right\} \quad (j - \text{номер итерации}). \quad (6)$$

Таблица 1
Число итераций при расчете реактора SNR-300

Группа	1	2	3	4
1	16	16	16	8
2	23	15	13	2
3	22	13	14	3
4	21	15	13	6
5	19	11	13	5
6	20	17	13	11
7	19	13	12	8
8	18	12	10	9
9	18	9	10	7
10	17	9	9	4
11	16	4	8	4
12	14	6	7	4
13	9	4	4	3
14	15	12	8	10
15	17	8	10	5
16	17	5	10	3
17	17	6	9	2
18	18	5	10	2
19	18	7	9	2
20	19	6	9	2
21	19	8	10	2
22	20	9	9	2
23	21	7	9	2
24	21	7	8	2
25	22	8	8	2
26	18	6	6	2
Суммарное число итераций	474	238	257	112

Примечание. В колонке 1 в качестве начального приближения взято $\varphi_0^{(g)}(\vec{r})=1$, в колонке 2 начальное распределение рассчитано по формуле (4) с параметром $V_g^2(\vec{r})$, определенным по формуле (5), в колонке 3 расчет $\varphi_0^{(g)}(\vec{r})$ проведен по формуле (4) с $V_g^2=0$. В колонке 4 приведено число итераций при расчете реактора SNR-300 с использованием критерия ε при $\varepsilon_0=10^{-2}$. Начальное распределение рассчитывалось по формулам (4), (5).

Из табл. I видно, что приближение (4), (5) во всех группах имеет преимущество перед $\varphi_0^{(g)}(\vec{r})=1$. Особенно велико это преимущество в 9-й и ниже лежащих группах. В целом число итераций сокращается почти вдвое. В 6-й и 14-й группах более эффективным оказывается приближение (4) с $V_g^2=0$. Это объясняется влиянием сильных резонансов кислорода в первом случае и натрия во втором. В результате этого влияния пространственные зависимости потоков 5-й и 6-й групп, а также 13-й и 14-й соответственно резко отличаются друг от друга и расчет $V_g^2(\vec{r})$ с использованием зависимости потока предыдущей группы по формуле (5) становится неоправданным. Поэтому при расчете реакторов с окисным топливом и натриевым теплоносителем $\varphi_0^{(g)}(\vec{r})$ в 6-й и 14-й группах целесообразно рассчитывать с $V_g^2=0$.

3. При итерационном расчете пространственного распределения групповых потоков желательно варьировать точность итераций в зависимости от относительной величины потока и от вклада его в рассчитываемую характеристику реактора. Сделать это можно путем введения переменного критерия выхода из итерационной процедуры, зависящего от условий задачи, номера группы, вклада данного расчетного узла в искомый функционал. Для нашей задачи был принят критерий

$$\varepsilon = \max \left\{ \left| \frac{\varphi_j^{(g)}(\vec{z}) - \varphi_{j-1}^{(g)}(\vec{z})}{\varphi(\vec{z})} \right| \right\} < \varepsilon_0, \quad (7)$$

где $\varphi(\vec{r})$ - полный поток, полученный из одnogруппового решения задачи (1), (2).

Отметим, что в программе имеется ограничение, по которому меньше двух итераций не делается. Сравнение четырехгрупповых макроконстант, рассчитанных с использованием критериев (6) и (7), показывает, что различие не превышает 1%. Суммарное число итераций, как это видно из табл. I, уменьшается более чем в два раза.

4. Сходимость итерационного процесса в различных узлах расчетной сетки не одинакова. Существуют подобласти, где решение устанавливается значительно быстрее, чем в целом по реактору. Например, пространственное распределение потоков в активной зоне, как правило, сходится быстрее, чем в экране. Свойство неодинаковой сходимости может быть использовано при экономии расчетного времени. Для этого нужно выделить достаточно большие подобласти, в которых для получения решения требуется меньшее число итераций, и организовать обход этих подобластей при выполнении лишних итераций. Подобласти должны быть достаточно большими для того, чтобы экономия времени от такого обхода превысила затраты на его организацию (выделение,

проверку условий и т.п.). Выбор таких подобластей определяется как условиями задачи, так и конкретным алгоритмом ее численного решения. В программе SERP83 в качестве описанных подобластей выбраны расчетные слои, а схема итераций выглядит следующим образом.

Расчет ведется по слоям либо сверху вниз, либо наоборот. Условие выхода из итераций проверяется в каждом расчетном слое. Как только критерий для данного слоя выполнен, этот слой выключается из процесса итераций. Когда критерий будет таким образом удовлетворен во всех слоях, делается еще одна итерация по всем расчетным слоям. Если после этого оказывается, что критерий в целом по реактору еще не выполнен, то итерации продолжают по обычной схеме с пересчетом всех слоев. Однако опыт расчетов реакторов SNR-300, БН-350, БН-600 показал, что одной заключительной полной (по всем слоям) итерации уже достаточно. В табл.2 представлены данные, характеризующие процесс итераций в модели реактора SNR-300 с рассматриваемой точки зрения, 1 означает, что расчет в слое проводится, 0 - слой в процессе итерационного счета пропускается. Данные приведены для 5-й группы. Итерации проводились по схеме Зейделя с точностью $\epsilon_0 = 10^{-2}$ по критерию (6). Видно, что описанный прием дает существенную экономию вычислительных затрат.

Таблица 2

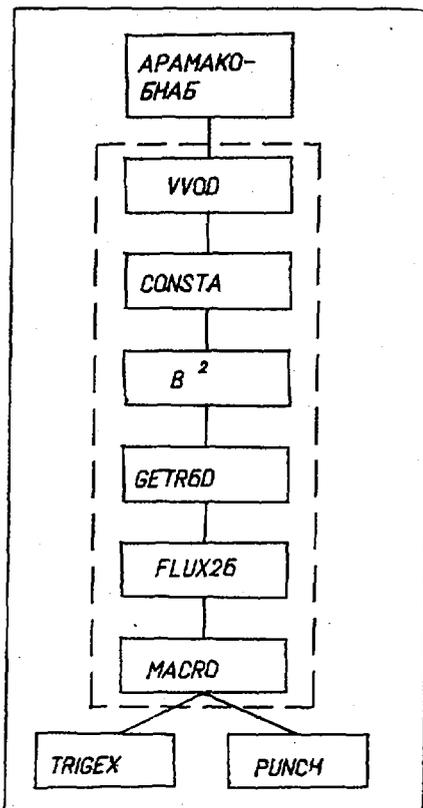
Характер итерационного процесса в 5-й группе для модели реактора SNR-300

Номер итерации	Номер слоя																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
5	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Предложенная методика реализована в программе SERP83, включающей в себя расчет 26-групповых потоков в трехмерной гексагональной геометрии и подготовку на этой основе малогрупповых констант.

Программа SERP83. Блок-схема программы SERP83 представлена на рисунке.

АРАМАКО-БНАБ - исходная библиотека 26-групповых сечений, обеспеченная обрабатываемыми программами, позволяющими рассчитывать заблокированные микро- и макроконстанты. VVOD - ввод исходных данных, которые разделены на две основные группы. Первая группа, содержащая картограмму, служебную информацию по распределению внешней памяти, выбору режимов счета, печати и т.п., полностью соответствует формату исходных данных программы TRIGEX [3]. Вторая группа исходных данных задает режим работы системы АРАМАКО [4]. Она содержит концентрации и температуры физических зон, входящих в рассчитываемую систему. Кроме того, вводятся данные о границах широких групп. В отличие от программы TRIGEX, в которой принято послойное задание расчетной картограммы, в программе SERP83 предусмотрен дополнительно менее трудоемкий пакетный способ описания геометрии и состава реактора.



Блок-схема программы SEPR83

TRIGEX), а также могут быть переданы через COMMON-блок непосредственно в программу TRIGEX. Последний путь является наиболее эффективным, так как в этом случае имеется возможность передать не только необходимые для расчета константы, но и начальные малогрупповые потоки, что сокращает число итераций в программе TRIGEX и, следовательно, общее время счета.

Программа написана на языке ФОРТРАН и поставлена на ЭВМ БЭСМ-6. Объем программы 2200 операторов. Время счета реактора SNR-300 (397 кассет и 20 слоев по высоте) составляет примерно 9 мин, реактора БН-350 (721 кассета, 24 слоя по высоте) 20 мин.

Результаты расчетов. В табл. 3, 4 представлены результаты расчетов малогрупповых констант $D^{(g)}$ и $\Sigma_{y\beta}^{(g)}$, выполненных для модели реактора SNR-300. Данные в колонке 1 соответствуют расчету 26-групповых потоков по итерационной схеме Зейделя с точностью $\epsilon_0 = 10^{-2}$ по критерию (6). Начальное распределение $Q_0(\vec{r})$ при этом получалось из одногруппового расчета. В колонке 2 приведены аналогичные результаты для случая, когда начальное распределение источника задавалось формулой

$$Q_0(\vec{r}) = \nu \Sigma_f^i \Big|_{\vec{r} \in V_i} \quad (8)$$

где $\nu \Sigma_f^i$ - одногрупповые константы, рассчитанные в B^2 -приближении. Различие первого и второго расчетов характеризует чувствительность малогрупповых констант к форме используемого в многогрупповом расчете источника. Видно, что эта чувствительность невелика. Несмотря на то, что приближение (8) представляет собой весьма грубую оценку $Q_0(\vec{r})$ по сравнению с одногрупповым расчетом, различия в коэффициенте диффузии не превышают 1%. В сечении увода различия не превышают 1,5%, за исключением 2-й группы для бокового экрана, где разница составляет 5,5%. Столь малая зависимость малогрупповых констант от формы источника $Q_0(\vec{r})$ является косвенным доказательством того, что оценка этого распределения с помощью одногруппового расчета для данной задачи достаточна.

В колонке 3 табл. 3, 4 приведены расчеты без введения поправок к сечению замедления, т.е. поправочный фактор $b_1 = 1$. Видно, что различия в коэффициенте диффузии лежат в пределах 1%, кроме

CONSTA - модуль, обеспечивающий выборку и преобразование рассчитанных системой АРАМАКО 26-групповых констант во внутренний формат программы SEPR83.

B^2 - расчет потоков в B^2 -приближении во всех физических зонах, имеющихся в исследуемой системе. В зонах, содержащих делящиеся изотопы, значение B^2 определяется из условия критичности, а в неделящихся зонах $B^2=0$.

На основе полученных таким образом спектров рассчитываются поправки к сечению замедления $\sqrt{5}$ (подпрограмма BJTJ-АРАМАКО) и спектры деления $\chi_i^{(g)}$ (подпрограмма XIN-АРАМАКО). Эти же спектры используются для получения одногрупповых констант, необходимых для работы модуля GETR6D.

GETR6D - одногрупповой расчет условно-критической задачи (1), (2) в трехмерной гексагональной геометрии в целях получения начального распределения источников $Q_0(\vec{r})$. Модуль представляет собой упрощенный вариант основного итерационного блока программы TRIGEX.

FLUX-26 - 26-групповой расчет задачи (1) в трехмерной гексагональной геометрии с известным источником $Q_0(\vec{r})$. Результатом расчета являются интегральные по выделенным зонам спектры.

MACRO - расчет макроскопических малогрупповых констант $(D, \Sigma_{y\beta}, \nu \Sigma_f, \Sigma_f + 0,35 \Sigma_c, \Sigma^{i \rightarrow j})$, а также поправок к сечению замедления и пересчет спектров деления с использованием полученных интегральных спектров. Результаты расчета выдаются на печать, на перфокарты (в формате ввода программы

I-й группы для бокового экрана, где различие достигает 1,5%. Значительно больше различаются сечения увода. Так, в I-й группе различие достигает 15%, во 2-й 5%, в 3-й 13% (для регулирующего стержня 30%), а в 4-й группе разница составляет около 5%. Таким образом, введение коэффициента b_1 весьма существенно сказывается на расчет малогрупповых констант. В колонке 4 представлены результаты, аналогичные данным колонки I, с точностью итераций 26-группового расчета $\varepsilon_0 = 10^{-2}$, однако критерий выхода из итерационного процесса в этом случае определялся по формуле (7). Различия малогрупповых констант при этом не превышают 1%, что свидетельствует о приемлемости данного критерия для решаемой задачи. Напомним, что при переходе от условия (6) к условию (7) число итераций сокращается более чем в два раза (см. табл. 2).

Таблица 3

Коэффициент диффузии
в различных вариантах расчета
для модели реактора SNR-300

Группа	1	2	3	4
Зона малого обогащения				
I	2,636	2,635	2,616	2,629
2	1,556	1,551	1,566	1,555
3	0,8148	0,8152	0,8164	0,8147
4	0,9672	0,9669	0,9621	0,9672
Зона большого обогащения				
I	2,632	2,633	2,613	2,626
2	1,566	1,573	1,574	1,565
3	0,8028	0,8026	0,8044	0,8029
4	0,9500	0,9497	0,9455	0,9497
Боковой экран				
I	2,099	2,100	2,066	2,095
2	1,166	1,182	1,186	1,165
3	0,7068	0,7063	0,7120	0,7069
4	0,8119	0,8119	0,8115	0,8119
Регулирующий стержень в активной зоне				
I	4,388	4,388	4,363	4,373
2	2,808	2,805	2,833	2,807
3	1,211	1,211	1,227	1,212
4	1,696	1,695	1,694	1,695

Таблица 4

Сечение увода
в различных вариантах расчета
для модели реактора SNR-300

Группа	1	2	3	4
Зона малого обогащения				
I	0,03583	0,03585	0,03053	0,03580
2	0,025509	0,025580	0,025593	0,025518
3	0,01707	0,01712	0,01904	0,01710
4	0,02687	0,02694	0,02826	0,02828
Зона большого обогащения				
I	0,03626	0,03621	0,03130	0,03632
2	0,026165	0,026084	0,026290	0,026167
3	0,01882	0,01878	0,02095	0,01882
4	0,03356	0,03367	0,03496	0,03358
Боковой экран				
I	0,04492	0,04448	0,03754	0,04498
2	0,026305	0,025962	0,025971	0,026311
3	0,01572	0,01563	0,01770	0,01574
4	0,01388	0,01388	0,01434	0,01388
Регулирующий стержень в активной зоне				
I	0,01855	0,01854	0,01579	0,01862
2	0,021800	0,021821	0,021761	0,021805
3	0,026366	0,026403	0,028249	0,026380
4	0,038936	0,039014	0,039282	0,038960

Примечание. В колонках 1-3 критерий завершения итерационного процесса определяется формулой (6), в колонке 4 - формулой (7). В колонках 1,3,4 начальное распределение источников деления $Q_0(z)$ взято из одногруппового расчета, в колонке 2 - по формуле (8). В колонках 1,2,4 вводятся поправки на сечения замедления b_j , в колонке 3 - $b_j=1$.

Список литературы

1. Шишков Л.К. Методы решения диффузионных уравнений двумерного ядерного реактора. М.: Атомиздат, 1976.

2. Зизин М.Н., Шишков Л.К., Ярославцева Л.Н. Тестовые нейтронно-физические расчеты ядерных реакторов. М.: Атомиздат, 1980.
3. Серегин А.С. Аннотация программы TRIGEX для малогруппового нейтронно-физического расчета реактора в трехмерной гексагональной геометрии. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика и техника ядерных реакторов, 1983, вып.4(33), с.59-60.
4. Базазянц Н.О., Вьрский Н.Ю., Гермогенова Т.А. и др. АРАМАКО-2F - система обеспечения нейтронными константами расчетов переноса излучения в реакторах и защите. М.: ИПМ АН СССР, 1976.
5. Абагян Л.П., Базазянц Н.О., Николаев М.Н., Цибуля А.М. Групповые константы для расчета реакторов и защиты. - М.: Энергоиздат, 1981.

Статья поступила в редакцию 27 июля 1984 г.

УДК 621.039.519

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ГРУППОВЫХ КОНСТАНТ НА ОСНОВЕ
БИБЛИОТЕК ОЦЕНЕННЫХ НЕЙТРОННЫХ ДАННЫХ

В.В.С и н и ц а

THE CODE FOR GROUP CONSTANT PREPARATION ON BASIS A NEUTRON DATA LIBRARY. Structure and opportunities of the applied program pocket GRUCON for generation multigroup microscopic constants on the base of neutron cross-section evaluated data libraries are considered.

Программа ГРУКОН (расчет групповых констант) является частью системы обеспечения константами расчетов атомных реакторов и радиационной защиты (СОКРАТОР) [1]. Вместе с библиотекой файлов оцененных нейтронных данных ФОНД [2] программа ГРУКОН образует подсистему МИКРО, предназначенную для периодического генерирования заданных нуклидов наборов много- и мультигрупповых констант (с числом групп соответственно от нескольких десятков до нескольких сотен), не зависящих от состава среды. В качестве примера можно назвать известную систему констант БНАБ [3], а также формируемую в настоящее время в целях проверки используемых многогрупповых приближений 250-групповую (в области замедления) систему МУЛЬТИК [4].

По своей структуре программа ГРУКОН является пакетом прикладных программ [5], основными компонентами которого являются:

- набор функциональных модулей, осуществляющих различные преобразования структур данных по нейтронным сечениям;
- аппарат системных программ, назначение которого состоит в организации последовательной обработки функциональных модулей (в соответствии с заданием) и в обеспечении информационного сопряжения модулей;
- система команд, с помощью которых пользователь задает программу преобразования структур данных.

Обмен данными между функциональными модулями производится стандартизованными информационными единицами (стандартными представлениями), которые хранятся в рабочей библиотеке пакета - библиотеке стандартных представлений (БСП). Это позволяет также квалифицировать пакет прикладных программ ГРУКОН, как пакет со стандартным функциональным наполнением. Описание устройства пакета, его возможностей и правил использования содержится в работах [6-9].

Структура функционального наполнения. Все преобразования, выполняемые пакетом ГРУКОН, делятся на четыре группы:

- ввод данных с перфокарт или извлечение из библиотек оцененных данных с переводом в стандартную форму и запись в БСП;
- алгоритмические преобразования, с помощью которых осуществляется переход от одного способа представления данных по сечениям к другому;
- редакционные преобразования, меняющие лишь расположение данных в БСП, с сохранением внутренней структуры стандартных представлений;

- вывод данных из БСП, т.е. печать на АЦПУ в виде листинга, аннотированных таблиц, или перевод в формат библиотеки групповых констант с записью на указанное устройство.

Наиболее важной является вторая группа преобразований, поэтому рассмотрим ее более подробно. Набор преобразований, входящих в эту группу, выбран таким образом, чтобы обеспечить переход от представлений данных по сечениям, используемых в библиотеках оцененных данных, к константным представлениям. Как известно, в библиотеках оцененных данных для представления резонансной структуры сечений используются параметры разрешенных резонансов (R), таблицы энергетической зависимости сечений (S), средние резонансные параметры (U). Для библиотек групповых констант характерны групповые функционалы сечений (F) и подгрупповые параметры (P). Таким образом, задача состоит в том, чтобы перейти от совокупности R, S, U к F- или P-представлению. В пакете ГРУКОН этот переход осуществляется с помощью следующих модулей:

- расчет детального хода сечений из параметров разрешенных резонансов (R/T-S);
- расчет сечений при заданной температуре (S/T-S);
- расчет энергетической зависимости ожидаемых значений функционалов сечений на основе энергетической зависимости средних резонансных параметров (U/D-F);
- сложение различных компонентов сечений, заданных детальным ходом, с приведением к общему набору опорных энергий (S/C-S);
- вычисление групповых функционалов на основе детальных ходов сечений (S/G-F);
- вычисление групповых функционалов на основе энергетической зависимости ожидаемых значений функционалов сечений (F/G-F);
- свертка функционалов сечений, заданных на различных компонентах сечений (F/C-F);
- получение подгрупповых параметров на основе зависимости групповых функционалов сечений от параметров среды сечений разбавления, температур (F/-P).

Схема преобразования показана на рис.1. Особенность этой схемы состоит в том, что она не предполагает ограничений, обычно накладываемых перерабатывающими программами на библиотеки оцененных данных, а именно: 1) полное сечение должно быть задано на множестве опорных энергий, представляющем объединение всех множеств для национальных сечений; 2) области разрешенных и неразрешенных резонансов не должны перекрываться друг другом, даже если резонансы относятся к различным системам [10]. Таким образом, эта схема открывает более широкие возможности для представления резонансной структуры сечений в библиотеках оцененных данных.

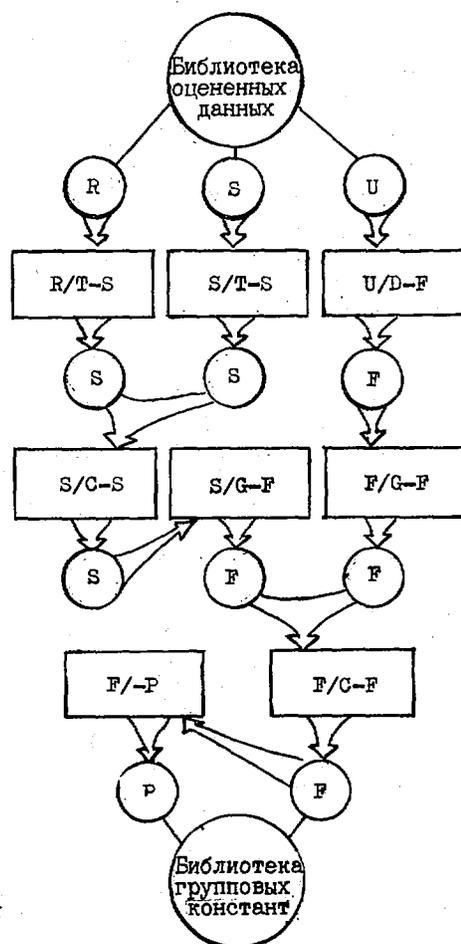


Рис.1. Схема преобразования оцененных данных по нейтронам сечениям в групповые константы

В настоящее время возможности функционального наполнения пакета прикладных программ ГРУКОН шире тех, которые требуются для решения основной задачи. Оказалось, что существуют смежные задачи, например анализ данных микроскопических экспериментов, оценка нейтронных сечений, формирование библиотек оцененных данных, которые частично могут быть решены с помощью уже имеющихся функциональных модулей. С другой стороны, было сочтено целесообразным расширить набор модулей с тем, чтобы более полно перекрыть смежные области. Например, появилась группа модулей преобразования таблиц сечений, предназначенная для автоматизации работы по формированию файла детального хода сечений; были расширены возможности модулей S/G-F, U/D-F, F/C-F с тем, чтобы наряду с блокированными сечениями, используемыми в библиотеках групповых констант, можно было рассчитывать и экспериментально измеряемые функции пропускания и самоиндикации.

В настоящее время полное число функциональных модулей (включая модули ввода - вывода и редакции) составляет 28 [9].

Управление преобразованием и организация обмена данными. В пакете ГРУКОН существуют два уровня управления преобразованием данных. Первый уровень управления осуществляется с помощью так называемой программы преобразования, вводимой с перфокарт в начале расчета программой-монитором пакета (рис.2). В программе преобразования на стационарном языке (см.далее) задается последовательность вызова функциональных модулей и указывается расположение данных в БСП.

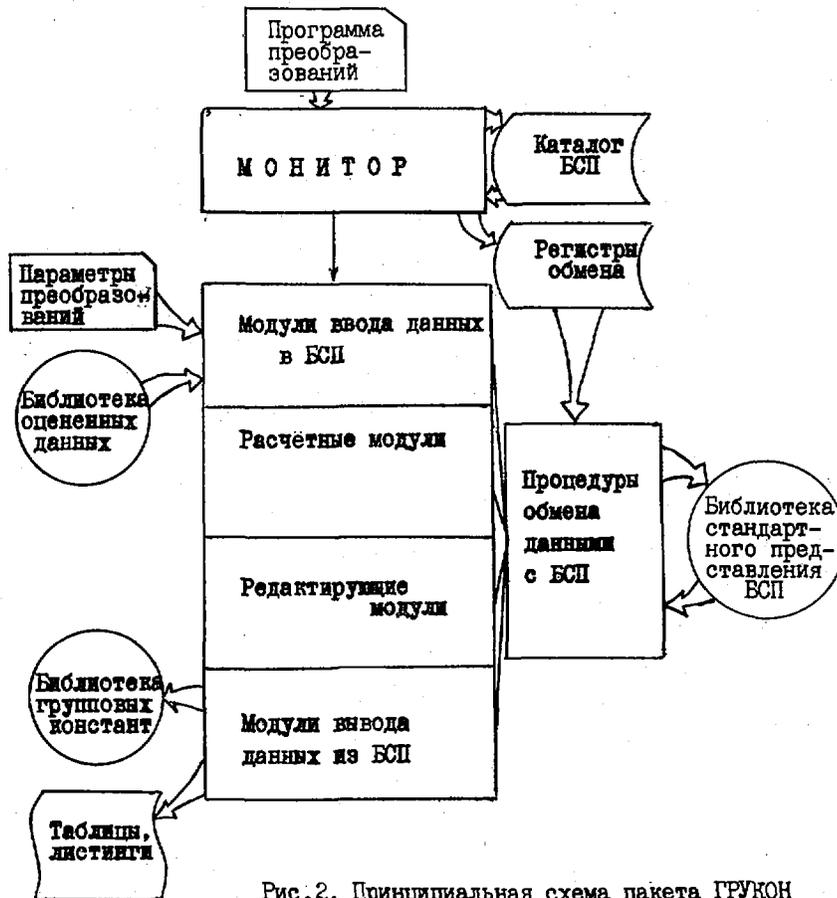


Рис.2. Принципиальная схема пакета ГРУКОН

Второй уровень управления - управление режимом работы модуля - выполняется посредством "параметров преобразования". Параметры вводятся модулем ввода данных с перфокарт (INPUT) и хранятся в БСП наряду с основными данными по сечениям, отличаясь от них только именем (как основные данные, так и параметры имеют одинаковую формальную структуру стандартных представлений). Поскольку набор параметров специфичен для каждого модуля, их условные имена совпадают с именами соответствующих преобразований. Например, для модуля расчета детального хода из резонансных па-

раметров (R/T-S) параметры преобразования имеют имя R/T-S и содержат номер резонансной формулы; число температур, при которых необходимо вычислить сечения; границы энергетического интервала; точность интерполяции между опорными энергиями; значения температур. Все данные, которые заносятся в БСП (независимо от того, вводятся они извне или получаются в результате расчета), регистрируются программой-монитором в каталоге БСП, в который заносятся имя данных; номер устройства, на котором они расположены; начальный адрес данных, их длина (в словах). Перед тем, как вызвать очередной модуль, программа-монитор, анализируя очередную команду из программы преобразования, определяет адреса исходных данных, учитывающихся в преобразовании, и формирует из них регистры обмена. Таким образом осуществляется настройка на определенный режим работы системных процедур обмена, используемых в телефункциональных модулях для чтения и записи данных из БСП. Таким образом, из телефункциональных модулей исключается информация о расположении данных, что существенно упрощает процесс его программирования. В то же время правильное использование для обмена данными с БСП системных процедур гарантирует информационное сопряжение модулей и сохранность БСП. Обмен информацией между модулем и БСП ведется по трем каналам: по первому поступат исходные данные, по второму - параметры, по третьему записываются результаты расчета. Информация по каждому из каналов падается постранично, через соответствующие буферные массивы (листы). Устройства, к которым прикреплены каналы, могут быть различными или одинаковыми. В последнем случае соответствия страница - канал не наблюдается, а обмен страницами осуществляется с учетом частотности обращения.

Система команд. При составлении программы преобразования используются четыре группы команд:

- на преобразование данных (включая ввод, вывод, редакцию и алгоритмические преобразования);
- формирования каталога (запись в каталог, замена имени данных и вывод содержания каталога на АЦПУ);
- назначение рабочего поля библиотеки БСП;
- управления (повторение группы команд, окончание преобразования).

Наиболее общая структура отмечается у команд первой группы, поэтому ограничимся ими. Команда на преобразование имеет трехадресную структуру: I, J, K, < имя k-данных >, < адрес k-данных в БСП >; где I, J, K - адреса соответственно исходных данных, параметров и результатов преобразования в каталоге БСП (под адресом данных в каталоге понимается номер строки каталога, в которой они зарегистрированы); кроме адресов данных в команде также может быть указано имя, присваиваемое результатам преобразования и адрес, по которому они должны быть записаны в БСП (если адрес опущен, результаты заносятся в рабочее поле БСП с первого свободного слова). Под адресом в БСП понимается номер устройства; номер первого слова; число слов, занимаемое данными. Следует отметить, что необходимость в указании адреса в БСП возникает редко, поэтому структура команд обычно довольно проста. Остальные команды являются подмножеством команд на преобразование; например, команда окончания преобразования состоит из одного имени и записывается следующим образом: ,, ,END. Подробное описание системы команд в пакете ГРУКОН можно найти в работе [6]. Возврат к "кодovому программированию" во входном языке пакета ГРУКОН, казалось бы, является шагом назад, если не учесть то обстоятельство, что появление языков более высокого уровня было связано с потребностью автоматизации программирования, а здесь такой потребности не возникает.

Опыт эксплуатации и перспективы развития программы. С момента ввода на ЭВМ БЭСМ-6 первой действующей версии пакета ГРУКОН с его помощью была проведена предварительная переработка данных из имевшихся в распоряжении автора зарубежных библиотек (американских библиотек ENDF-78 [11], ENDF/B-IV [12], отдельных файлов ENDF/B-V [13], а также японской библиотеки JENDL-I [14]) в 28-групповые неблокированные сечения, усредненные с весом стандартного спектра в групповом разбиении БНАБ [3]. Выпалены оценочные расчеты сечений и сформированы файлы детального хода библиотеки оцененных данных ФОНД.

Получены среднегрупповые значения сечений в 250-групповом разбиении МУЛЬТИК для основных реакторных материалов и начаты расчетные работы по получению подгрупповых параметров. В настоящее время ведется обкатка алгоритмов получения подгрупповых параметров; начаты работы по перенесению программы на ЭВМ ЕС-1060. В ближайшем будущем предполагается включить в пакет модули пе-

переработки данных по угловым и энергетическим распределениям нейтронов, работающие пока в автономном режиме.

Список литературы

1. Николаев М.Н. Обеспечение расчетов быстрых реакторов ядерными данными. - Ядерные константы, 1972, вып.8, ч.1, с.3.
2. Коцеев В.Н., Николаев М.Н. Библиотека нейтронных данных для расчета групповых констант, - См. настоящий выпуск, с.16-20.
3. Абагян Л.П., Базазянц Н.О., Николаев М.Н., Цибуля А.М. Групповые константы для расчета реакторов и защиты. М.: Энергоиздат, 1981.
4. Долгов Е.В., Савоськин М.М., Цибуля А.М. К вопросу о разработке мультигрупповой системы констант. - См. настоящий выпуск, с.49-53.
5. Басс Л.П., Гермогенова Т.А., Журавлев В.И. и др.: Препринт ИГиМ АН СССР № 44, М., 1979.
6. Сеница В.В. Препринт № 1188. Обнинск: ФЭИ, 1981.
7. Сеница В.В. Препринт № 1189. Обнинск: ФЭИ, 1981.
8. Сеница В.В. Препринт № 1332. Обнинск: ФЭИ, 1982.
9. Сеница В.В. Препринт № 1429. Обнинск: ФЭИ, 1983.
10. MacFarlane R.E., Boicourt R.M. NJOY: A neutron and photon cross-section processing system. - Trans. ANL, 1975, v.22, p.720.
11. Howerton R.J., MacGregor M.R. The LLL evaluated nuclear data library (ENDL), UCRL-50400, California, Livermore, 1978, v.15, part D, Rev.1.
12. ENDF/B Summary documentation, ENL-17541 (ENDF-201), 2nd ed., Upton, New York, 1975.
13. Ibid., 3rd ed. Upton, New York, 1979.
14. Japanese evaluated nuclear data library, Ver.1, JENDL-1, JEARI-1261, NEANDC (J) 59/1. Tokai-mura, Ibaraki-ken, 1979.

Статья поступила в редакцию 27 июля 1984 г.

УДК 621.039.519

ОЦЕНКА МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ 26-ГРУППОВОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ

Е.В.Долгов, А.М.Цибуля

STATUS OF THE FINE GROUP CONSTANT SYSTEM DEVELOPMENT. Necessity of transition from 26-group approximation to a fine group one is substantiated. The structure of the fine group constant set and corresponding retrieval are described.

Чтобы определить методическую погрешность 26-группового приближения [1], необходимо провести сравнение с расчетами, выполненными в более детальном энергетическом разбиении при одинаковой исходной информации. В качестве такого эталона в данной работе использовалась 288-групповая система констант. Она была разработана на ЭВМ М-222 и по энергетической структуре соответствовала 28-групповой системе констант ЕНАВ [2]. Разбиение групповой библиотеки (28 групп) на мультигрупповую (288 групп) осуществлялось следующим образом: (-1)-я группа (14,0-14,5 МэВ) выделена в отдельную мультигруппу; 0-я группа (10,5-14,0 МэВ) разбита на три мультигруппы; 1-я группа (6,5-10,5 МэВ) - на пять мультигрупп; групп 2-8 включительно (их нижние границы 4,0; 2,5; 1,4; 0,8; 0,4; 0,2; 0,1 МэВ) - на девять мультигрупп. Остальные группы разбиты на 12 мультигрупп каждая. Все мультигруппы, лежащие в пределах широкой группы, имеют одинаковую ширину в шкале логарифма. Для описания неразрешенной резонансной структуры сечений в мультигруппах используется подгрупповое приближение. С недостаточным ресурсом памяти ЭВМ М-222 связаны ог-

раничения на суммарное число подгрупп, входящих во все мультигруппы данной широкой группы; оно не должно превышать заданного числа (9 или 12). Это достигается объединением мультигрупп с близкими средними сечениями в более широкие мультигруппы. Число подгрупп в каждой мультигруппе не должно превышать 4.

На рис. I приведены средние мультигрупповые сечения ^{238}U , цифрами обозначено число подгрупп в данной мультигруппе. Средние мультигрупповые сечения захвата отделены от полного сечения штриховкой. Как видно из рисунка, первые семь сильных резонансов ^{238}U хорошо описываются в принятом мультигрупповом приближении по энергии с учетом того, что резонансная структура, не разрешенная мультигруппами, учитывается в подгрупповом приближении. При формировании мультигрупповой системы констант основное внимание уделено изотопам, наиболее сильно влияющим на расчетные характеристики быстрых реакторов. На основе файлов UKNDL и отечественных файлов были подготовлены мультигрупповые константы для изотопов ^{10}B , ^{12}C , ^{16}O , натрия, алюминия, железа, никеля, ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{240}Pu . Информация для изотопов, не вошедших в данный список, взята из библиотеки констант АРАМАКО [3].

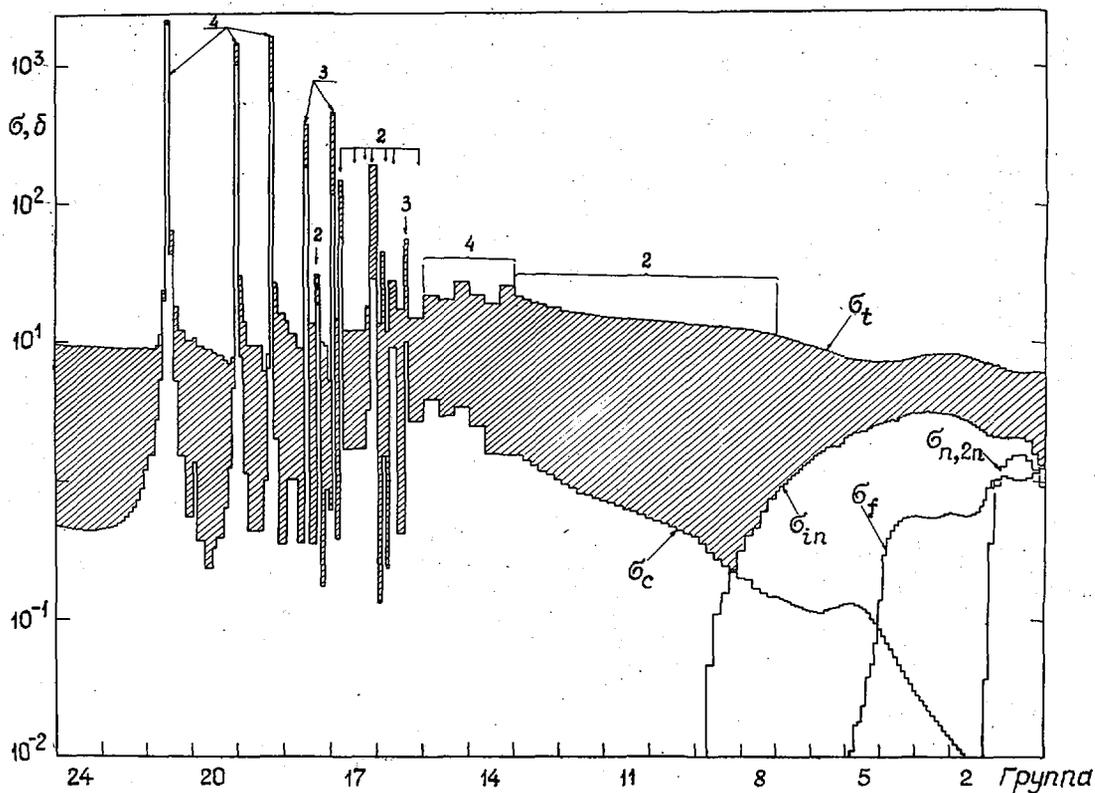


Рис. I. Средние мультигрупповые сечения ^{238}U

Методика расчета. Для работы с мультигрупповой библиотекой констант написан программный комплекс, который предоставляет возможности:

- проводить подготовку мультигрупповых блокированных макро- и микроконстант;
- рассчитывать мультигрупповые потоки и ценности в V_0 -приближении;
- осуществлять свертку мультигрупповых констант в 26-групповые как с весом стандартного спектра, так и с весом рассчитанных потоков;
- проводить 26-групповой расчет потоков и ценностей по свернутым константам;
- проводить расчет линейных функционалов потока (скоростей реакций) и билинейных функционалов потока и ценностей (реактивностей образцов) в групповом и мультигрупповом разбиениях;
- вычислять поправочные коэффициенты к константам, отражающие влияние отличия формы внутригруппового спектра от стандартного на результаты усреднения 26-групповых констант;

- вводить поправки в основные физические характеристики (интегральные потоки, коэффициент $K_{эф}$, центральные коэффициенты реактивности), рассчитанные в 26-групповом приближении, на форму внутригруппового спектра.

Этот комплекс был применен для оценки точности 26-группового приближения. Сравнение результатов 26-группового и 288-группового расчетов было выполнено в диффузионном V_0 -приближении для сред, исследованных на критических сборках БСФ и КБР, а также для среды, представляющей собой активную зону тестовой модели быстрого реактора.

Для каждой среды проводился базовый вариант расчета в мультигрупповом приближении - вариант А - и три 26-групповых расчета:

- вариант Б - расчет по константам, усредненным с весом мультигрупповых потоков, полученных в варианте А;

- вариант В - расчет по константам, усредненным с весом стандартного спектра и с сечениями замедления, как в варианте А;

- вариант Г - расчет по константам, усредненным по стандартному спектру и с сечениями замедления, либо полученными для стандартного спектра, либо оцененными по одной из приближенных методик [4], в которых:

МГ - приближенный мультигрупповой метод, не учитывающий энергетическую зависимость сечений в пределах группы. Вероятность подгруппового рассеяния, оставляющего нейтрон в пределах той же группы БНАБ, считалась линейно меняющейся от нуля на нижнеэнергетической границе группы до удвоенной среднегрупповой на верхнеэнергетической границе. Неупруго-рассеянные нейтроны равномерно распределяются по оставшейся части группы;

ГГ - расчет формы внутригруппового спектра по модели непрерывного замедления Грлинга - Герцеля. Сечения в пределах группы считаются постоянными;

ПА - параболическая оценка формы спектра. Параметры параболы определяются из условий сохранения нейтронных потоков в данной и двух соседних группах (эти потоки определяются в предварительном расчете);

ДУ - двухузловая оценка формы спектра, состоящая в аппроксимации гистограммы предварительно рассчитанной плотности рассеяния кусочно-линейной ломаной, имеющей по два узла в каждой группе. Значения в узловых точках определяются из условия сохранения среднегрупповой плотности рассеяния Q и равенства производной dQ/dU (в интервале между точками, целиком лежащем в пределах одной группы) среднему значению производных на соседних участках ломаной. Положение узлов оптимизируется для обеспечения максимальной плавности аппроксимации;

ЛИ - оценка формы спектра с помощью линейной интерполяции групповых потоков.

Расчет линейных функционалов потока. Результаты расчетов линейных функционалов потока приведены в табл. 1, 2. Все величины, полученные для вариантов А и Б, совпадают друг с другом (это явилось средством проверки правильности работы программ). Сравнение данных, полученных в вариантах А и Б, показывает, что даже при сохранении точных сечений замедления использование при усреднении сечений захвата и деления стандартного, а не реального спектра ведет к погрешностям в значениях коэффициентов $K_{эф}$ (0,8% в сборке БС-38) и КВА (0,5% для тестовой модели быстрого реактора).

Использование стандартного спектра при подготовке сечения замедления (вариант Г с поправочным фактором $\beta_i = 1$) ведет к погрешностям в значении $K_{эф}$ (3,5% для сборки БС-38). Для пояснения этих цифр обратимся к табл. 3, 4. Видно, что влияние различия между стандартным и реальным спектрами на сечения захвата и деления наиболее сильно проявляется в области низких энергий и приводит к занижению групповых потоков в стандартном 26-групповом расчете из-за завышения сечений поглощения, усредненных по стандартному спектру. Это естественно, так как внутригрупповые спектры в рассматриваемой области энергий в быстрых реакторах жестче, чем стандартный спектр. В табл. 4 обращают на себя внимание существенные погрешности в сечениях деления ^{238}U и в 4-й группе, вызывающей почти половину всех делений ^{238}U в реакторе. Этот эффект значительно превышает увеличение сечения неупругого рассеяния в данной группе и не компенсируется им. Более того усреднение сечений неупругого рассеяния по стандартному спектру может вести к занижению сечений неупругих переходов, сопровождающихся большой потерей энергии, т.е. к занижению сечения увода

нейтронов деления под порог деления ^{238}U . Хотя это проявляется и не всегда (в частности, для активной зоны тестовой модели занижение сечения увода под порог деления ^{238}U не имеет места), суммарный эффект неточности, усредненный по стандартному спектру, ведет к завышению величины σ_f^8 на 2-3%.

Таблица I

Сравнение функционалов, рассчитанных по различным моделям замедления

Функционал	I		$\delta I = (I_{\alpha} / I_{\text{мультик}} - 1) 100\%$					
	Вариант		Методики варианта Г					
	А, Б	В	МГ	ГГ	ПА	ДУ	ЛИ	$b_j = I$
Сборка ВЭС-33								
$K_{\text{эф}}$	0,9612	+0,3	-0,1	+0,6	+0,9	+0,2	+0,4	+2,8
\bar{V}	2,5115	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	0	+0,2
Σ_f	0,00249	+0,5	+2,4	+0,9	0	+0,6	-0,6	+3,2
Σ_c	0,00402	+0,1	-2,7	0	-1,3	+0,4	-0,3	-1,1
f^8/f^5	0,0209	+2,0	+3,2	+4,8	+4,1	+2,2	-1,3	+6,0
f^9/f^5	0,9105	+0,4	-0,7	+0,5	+0,9	+0,5	+0,8	+1,4
f^{40}/f^5	0,1878	+0,1	-2,6	+1,4	+2,4	0	-1,8	+5,1
c^8/f^5	0,1402	-0,2	+0,7	-0,1	-0,7	0	-0,1	-3,7
c^8/f^9	0,1540	-0,6	+1,4	-0,6	-1,6	-0,8	-0,9	-5,1
α^5	0,2846	0	+1,4	-0,1	-0,7	+0,2	0	-0,2
α^9	0,2917	+0,2	+3,4	+0,3	-1,8	+0,6	-0,5	+1,4
Модель активной зоны Бейкера								
$K_{\text{эф}}$	1,000	+0,4	+0,2	+1,0	+1,5	+0,7	+0,5	+3,3
\bar{V}	2,887	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	+0,1
Σ_f	0,00166	+0,8	+2,1	+1,5	+1,8	+1,0	+0,7	+4,6
Σ_c	0,00261	+0,3	+0,2	-0,1	-0,7	0,0	0,0	-0,8
f^8/f^5	0,0195	+2,3	+2,7	+5,3	+4,5	+2,8	+0,4	+8,8
f^9/f^5	0,871	+0,8	+0,2	+1,1	+1,6	+1,3	+1,1	+2,5
f^{40}/f^5	0,167	+0,5	-0,8	+1,6	+0,6	+0,3	-2,4	+5,2
c^8/f^5	0,136	+0,2	+0,3	0,0	-0,2	+0,5	0,0	-3,1
c^8/f^9	0,156	-0,7	+0,1	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	-5,4
α^5	0,297	+0,4	+0,4	+0,3	+0,8	+0,7	+0,7	+0,9
α^9	0,352	-0,8	+1,2	-1,4	-2,1	-1,5	-1,7	-0,6
$K_{\text{ВА}}(\delta=0)$	1,039	-0,4	-0,2	-0,8	-1,3	-0,3	-0,8	-5,3
$K_{\text{ВА}}(K_{\text{эф}}=1)$	1,039	+0,6	+0,3	+1,8	+2,5	+1,5	+0,3	+3,2

Рассмотрим теперь, как влияет на форму спектра выбор той или иной модели замедления. Из табл.3 видно, что в случае, когда сечения меняются плавно, модели МГ и ГГ обеспечивают приемлемую точность расчета спектра в той области энергий, где нет источников неупругого рассеяния и деления (или они незначительны, т.е. ниже 9-й группы). При более высоких энергиях погрешности в расчете потоков существенно возрастают. Точность восстановления спектров по интерполяционным моделям заметно хуже. В случаях, когда в спектрах проявляются резонансные особенности (13-я группа), ни одна из приближенных моделей замедления не оказалась способной описать эту особенность в спектре с точностью, лучшей 10%. В табл.5 для этих же вариантов приведены значения поправочных факторов b_j , рассчитанных по различным моделям замедления. В первых трех группах эти поправки вычислялись во всех вариантах для стандартного спектра (спектра нейтронов деления).

Сравнение функционалов, рассчитанных в различных приближениях

Функционал	БЭС-30				БЭС-3I			
	I		$\delta I, \%$		I		$\delta I, \%$	
	Вариант		Вариант Г		Вариант		Вариант Г	
	A, B	B	ГГ	$b_{j=1}$	A, B	B	ГГ	$b_{j=1}$
$K_{эф}$	1,000	0,2	0,2	0,7	0,9808	0,5	1,0	3,5
\bar{V}	2,508	0,1	0,1	0,2	2,8634	0,0	0,0	0,1
$\sum f$	0,00393	0,5	0,7	2,4	0,00226	0,8	1,4	4,3
$\sum f^c$	0,00206	0,4	0,2	1,3	0,00434	0,1	0,0	-0,9
f^8/f^5	0,0447	2,0	4,6	6,2	0,0200	2,2	4,8	5,9
f^9/f^5	1,082	0,0	0,2	-0,2	0,899	0,5	0,7	1,4
f^{40}/f^5	0,335	0,0	1,9	4,3	0,180	0,2	-1,5	5,2
c_8/f^5	0,124	0,1	0,1	-0,8	0,1395	0,0	0,0	-3,7
c_8/f^9	0,115	0,0	0,0	-0,6	0,1552	-0,6	-0,6	-5,0
α^5	0,224	0,0	-0,3	-0,3	0,2882	0,0	-0,2	-0,2
α^9	0,150	0,8	0,3	6,7	0,3043	0,0	-0,3	1,8

Таблица 3

Сравнение групповых потоков, рассчитанных по различным моделям замедления (активная зона Бейкера)

Номер группы	φ	$\delta\varphi = (\varphi_\alpha / \varphi_{\text{мультик}} - 1) 100\%$						
		Вариант	Методики варианта Г					
			A, B	B	МГ	ГГ	ПА	ДУ
I	0,35	0,0	+4	+4	+4	+4	+4	+10
2	1,83	+0,1	0	0	0	0	0	+5
3	4,75	-0,5	+1	+1	+1	+1	+1	+2
4	9,98	+0,1	+6	+4	+3	0	+2	+7
5	11,54	+0,3	-5	0	+1	-10	-20	+8
6	21,94	-0,5	-7	0	-5	+10	+8	+12
7	27,91	+0,3	-6	-1	+2	-2	+8	+2
8	32,08	-0,2	-2	-1	+2	-3	-6	-4
9	29,72	-0,1	0	-1	-1	-2	+1	-6
10	23,92	-0,4	+2	0	+2	+5	+5	-8
11	19,43	-0,4	+2	+1	+3	0	+3	-9
12	10,05	-0,6	+2	0	-3	+4	+16	-7
13	4,02	-0,8	-10	-13	-10	-4	+2	-10
14	6,95	-3,6	-4	-6	-25	-15	-7	-12
15	3,19	-4,8	+2	-1	+5	-1	-3	+4
16	1,20	0,89	0,94	0,89	1,02	0,90	0,91	1,15
17	0,26	0,85	1,00	0,91	1,11	1,07	1,04	1,69
18	0,030	0,76	1,20	1,05	1,36	1,28	1,43	3,34
19	0,0 ² 21	0,89	2,20	1,70	3,1	3,8	2,1	13,8
20	0,0 ³ 12	0,94	2,5	1,82	3,7	4,8	7,1	35
21	0,0 ⁵ 34	0,66	2,6	1,36	10,2	11,0	25,7	203
	209,16	-0,4	-1,9	-0,5	-0,3	-0,3	-0,2	-1,3

Примечание. Ниже 15-й группы дается отношение $\varphi_\alpha / \varphi_{\text{мультик}}$.

Таблица 2

БЭС-35			БЭС-38			
I		$\delta I, \%$	I		$\delta I, \%$	
Вариант		Вариант Г	Вариант		Вариант Г	
A, Б	В	$b_{j=1}$	A, Б	В	ГГ	$b_{j=1}$
0,9651	0,6	0,7	0,9459	0,8	0,9	1,1
2,5504	0,1	0,1	2,849	0,0	0,0	0,0
0,00356	0,6	1,4	0,00283	0,9	1,5	1,8
0,00585	-0,2	0,6	0,00570	-0,2	0,2	0,2
0,0224	2,6	4,3	0,0209	2,6	4,1	3,8
1,088	0,3	0,3	1,075	0,3	0,5	0,3
0,254	1,4	5,3	0,242	1,6	4,6	5,2
0,121	-0,4	0,4	0,123	-0,1	0,2	-0,3
0,111	-0,4	0,1	0,114	-0,5	-0,2	-0,7
0,226	-0,7	-1,0	0,231	-0,7	-1,0	-1,1
0,132	-0,3	3,6	0,139	-0,2	-0,3	4,0

Таблица 4

Погрешности групповых констант, связанные со стандартным способом усреднения (активная зона Бейкера)

Номер группы	$\delta \Sigma_c$	$\delta \Sigma_f$	$\delta \Sigma_{in}$	$\delta \sigma_f^8$	$\delta \sigma_c^8$	$\delta \sigma_f^9$	$\delta \sigma_c^9$	$\delta \sigma_f^5$	$\delta \sigma_c^5$	$\delta \sigma_c^{Na}$	$\delta \sigma_c^{Fe}$
1	-0,3	+0,2	0	+0,2	-0,3	+0,1	-0,3	+0,2	-0,2	+0,1	-0,2
2	-0,3	0	-0,1	+0,1	-0,5	0	-0,5	0	-0,5	+0,2	-0,4
3	+1,2	0	+0,8	+0,2	-3,3	-0,2	-3,3	-0,5	-5,1	-0,6	-1,2
4	-3,1	+1,3	+0,6	+2,0	-3,3	0	-2,6	0	-3,9	-0,8	+0,2
5	-2,3	+2,5	+3,3	+10,6	-2,0	+0,8	-4,1	+0,5	-2,9	-2,5	-8,3
6	+0,3	+0,2	+2,4	+10,0	+0,6	+0,2	-2,3	-0,2	-1,1	-2,0	+0,3
7	-0,7	+0,2	+1,3	+4,0	-0,7	+0,2	-1,1	-0,3	-1,2	-1,2	-0,6
8	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0
9	+0,8	0	-2,3	-	+0,8	0	+0,4	+0,2	+0,4	+0,4	+0,4
10	+0,3	+0,1	+1,1	-	+0,4	+0,1	+1,0	+0,3	+0,6	+0,7	+2,5
11	+0,6	+0,2	-	-	+0,4	+0,2	+1,1	+0,5	+0,5	+0,7	+3,6
12	+0,9	+0,7	-	-	+0,7	+0,7	+3,0	+1,5	+1,3	+1,5	-7,1
13	+1,3	+0,3	-	-	+0,7	+0,3	+0,2	+0,1	0	+10,0	-1,4
14	+6,2	+3,3	-	-	+3,6	+3,3	+4,0	+0,6	+1,7	-5,9	+18,0
15	-1,8	+9,1	-	-	-0,3	+9,1	-4,6	+4,6	+4,7	-0,6	+3,9
16	+7,3	+12,	-	-	0,0	+12	+17	+6,5	+3,2	+1,9	+5,3
17	+7,0	-5,5	-	-	+9,3	-5,5	+5,1	+0,2	+5,2	+3,7	+5,9
18	+4,8	+17	-	-	-3,4	+17	+9,8	+24	+8,5	+7,4	+8,9
19	-25	+24	-	-	-19	+24	-32	+7,6	+1,6	+6,3	+9,6
20	-33	+85	-	-	+66	+85	+67	-19	-3,3	+9,2	+9,6
21	+70	-18	-	-	+145	-18	-27	-49	-15	+14	+14

Таблица 5

Сравнение поправки на сечение замедления, полученные различными методами

Номер группы	МУЛЬТИК	МГ	ГГ	ПА	ДУ	ЛИ
1	3,44	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38
2	1,67	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
3	1,28	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
4	1,34	1,29	1,14	1,19	1,30	1,42
5	1,24	1,34	1,21	1,18	1,45	1,77
6	1,24	1,34	1,21	1,30	1,10	1,16
7	1,06	1,16	1,07	1,04	1,08	0,97
8	0,99	1,03	0,99	0,96	1,02	1,05
9	0,96	0,98	0,96	0,96	0,98	0,95
10	0,92	0,92	0,91	0,89	0,87	0,89
11	0,88	0,88	0,86	0,83	0,87	0,83
12	0,87	0,86	0,85	0,86	0,81	1,03
13	0,82	0,94	0,94	0,89	0,92	0,81
14	0,70	0,76	0,74	0,98	0,85	0,76
15	0,67	0,69	0,67	0,74	0,71	0,73
16	0,51	0,61	0,58	0,63	0,69	0,69
17	0,38	0,52	0,49	0,54	0,55	0,64
18	0,23	0,36	0,32	0,46	0,60	0,66
19	0,37	0,41	0,37	0,43	0,46	0,60
20	0,10	0,15	0,11	0,41	0,38	0,60
21	0,09	0,14	0,11	0,12	0,74	0,77

Из рассмотренных данных видно, что в области ниже порога неупругого рассеяния наиболее предпочтительным является ГГ-метод. В области 1-4 МэВ, где происходит основная доля делений ^{238}U , ни один из методов не обеспечивает приемлемой точности описания формы внутригруппового спектра: значения поправочного фактора b_j существенно отличаются от полученных в мультигрупповом расчете, с чем и связаны значительные погрешности в групповых потоках в этой области энергий.

На рис.2 в качестве иллюстрации приведены мультигрупповые потоки и плотности столкновений, рассчитанные для композиции активной зоны быстрого реактора. Из рисунка видно хорошее разрешение по энергии основных резонансов для ^{23}Na , ^{56}Fe и ^{16}O .

Расчет билинейных функционалов потока и ценности. На примере расчета центральных коэффициентов реактивности с использованием мультигрупповой системы констант оценим точность расчета билинейных функционалов потока и ценности в 26-групповом приближении. При этом оценим те отличия билинейно усредненных констант от констант, усредненных с потоком, которые связаны с плавной энергетической зависимостью функции ценности. Эти отличия отражают косвенное влияние изменения концентрации i -го изотопа на макроконстанты среды; такое изменение вызывает некоторое изменение формы внутригруппового спектра, а следовательно, и усредненных по этому спектру констант. Что касается отличий билинейно усредненных констант от констант, усредненных с потоком, обусловленных корреляцией резонансных структур функции ценности и изотопной плотности столкновений, то они подробно рассмотрены в работах [4,5].

Конечно, при мультигрупповых расчетах учитывается и часть резонансных эффектов постольку, поскольку 288-групповое приближение позволяет разрешить резонансную структуру сечений. Кроме 288-группового расчета коэффициентов реактивности (вариант А) были проведены три типа 26-групповых расчетов, описанных выше (варианты Б, В, Г).

В табл.6 приведены результаты мультигруппового расчета отношений коэффициента реактивности указанных веществ к коэффициенту реактивности ^{235}U . В табл.7 даны погрешности соответствующих вариантов групповых расчетов в процентах. Из приведенных данных видно, что поправки составляют, как правило, десятые доли процента коэффициента реактивности ^{235}U . Поэтому обычные групповые расчеты малых коэффициентов реактивности содержат значительные погрешности. Из данных табл.7

видно, что если при групповых расчетах сечения замедления не пересчитывать, то погрешность групповых расчетов коэффициентов реактивности рассеивающих материалов во многих случаях сокращается. Разумеется, отмеченная компенсация погрешностей не может служить основанием для рекомендации отказаться от уточнения сечения замедления при проведении многогрупповых расчетов.

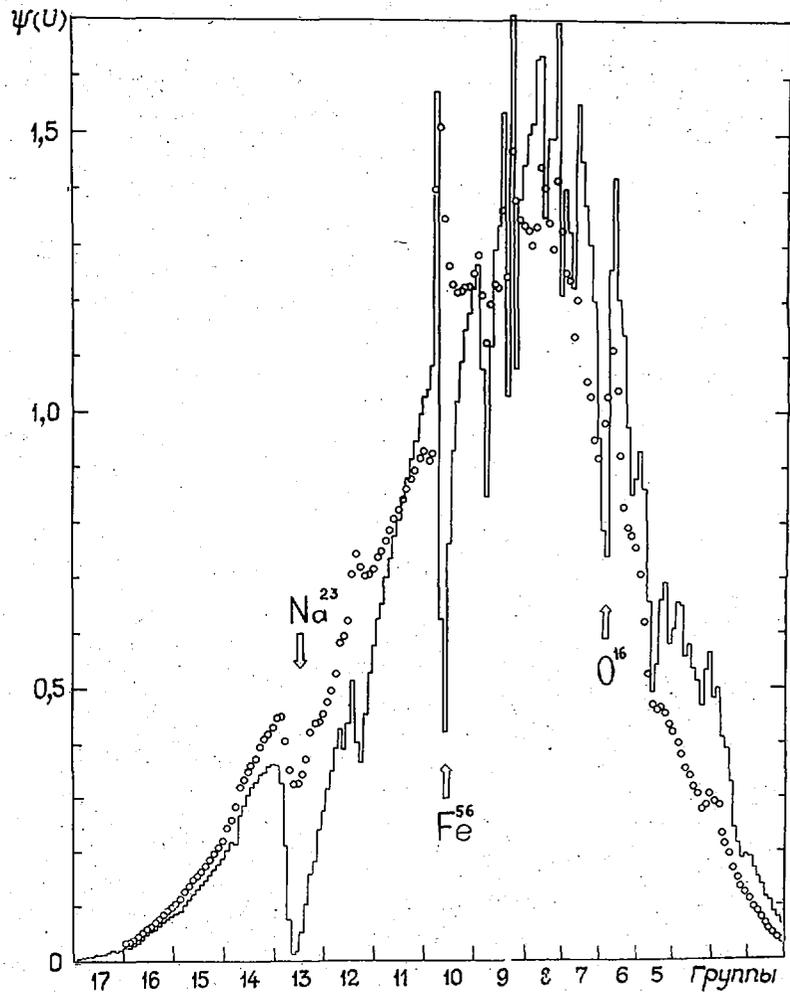


Рис. 2. Расчетная плотность потока (—) и плотность столкновений (o) в активной зоне тестовой модели Бейкера

Отношение реактивностей β_{α} , рассчитанных в мультигрупповом приближении $[\beta_{\alpha}^A = (k_{\alpha}/k_{235U})100\%]$ (Вариант А) Таблица 6

Сборка	^{90}Pu	^{10}B	^{40}Pu	^8C	Никель	Железо	Хром	Алюминий	Натрий	^{12}C
БЭС-26	132	-293	-16,9	-29,1	-0,59	-0,04	-0,17	0,56	1,43	2,16
БЭС-27	150	-234	21,8	-14,6	-0,22	0,64	0,49	1,19	2,18	2,77
БЭС-28	153	-81	36,4	-5,3	-1,37	-0,66	-0,73	-0,52	0,16	0,18
БЭС-30	157	-88	39,8	-4,7	-1,34	-0,66	-0,63	-0,34	0,31	0,71
БЭС-31	125	-67	13,0	-6,4	-1,30	-0,94	-1,04	-1,09	-0,10	-0,99
БЭС-33	121	-82	11,6	-7,2	-0,91	-0,74	-0,80	-0,73	-0,46	-0,13
БЭС-35	144	-42	26,2	-5,5	-1,92	-1,34	-1,50	-1,37	-1,68	-2,23
БЭС-38	138	-34	24,2	-5,0	-1,97	-1,31	-1,68	-1,68	-2,07	-2,91
КБР-3	116	-176	-41,6	-31,1	-0,70	-0,42	-0,56	-0,23	-0,85	-0,04
КБР-7	132	-235	-66,3	-46,2	-0,69	-0,50	-0,64	-0,02	-0,10	0,24
Бейкера	III	-95	33,6	-7,3	-1,00	-0,73	-0,94	-	-0,53	-0,49

Таблица 7

Различия в коэффициентах реактивностей, рассчитанных в групповом и мультигрупповом приближениях $[(\beta_{\alpha}^B - \beta_{\alpha}^A) / \beta_{\alpha}^A]$

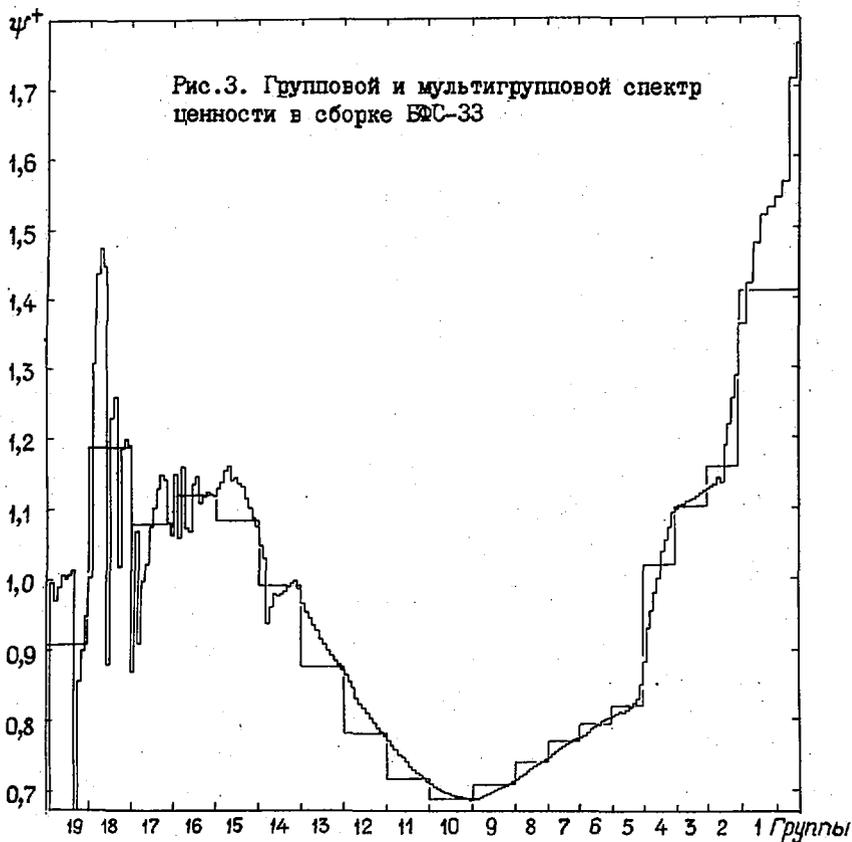
Сборка	^9Pu	^{10}B	^{40}Pu	^8U	Никель	Железо	Хром	Алюми- ний	Нат- рий	^{12}C
Вариант Б										
БФС-26	-0,4	-1,1	-1,6	0,4	21	116	60	2	-29	-3
БФС-27	-0,6	-1,8	-0,2	0,9	157	-25	-36	-2	-5	-5
БФС-28	0,0	0,3	-0,2	2,1	23	10	15	-10	-243	-170
БФС-30	-0,2	-0,8	-0,3	1,4	22	0	19	-14	-61	-35
БФС-31	-0,2	-1,7	0,8	-2,8	2	1	1	-5	900	7
БФС-33	-0,3	-1,8	3,4	-2,6	17	9	5	2	-200	69
БФС-35	0,2	2,0	0,2	-0,2	-8	-7	-8	1	-6	-7
БФС-38	0,3	3,7	0,1	0,5	-7	-1	-6	-21	-2	3
КБР-3	-0,3	1,0	-0,5	2,2	-6	3	-5	8	-64	21
КБР-7	-0,4	2,7	-1,3	4,6	-1	10	0	450	30	16
Бейкера	-0,4	-3,3	11,9	-3,5	3	1	-2		8	15
Вариант В										
БФС-26	0,3	-4,1	-15,0	-2,1	20	193	56	-1	-32	-4
БФС-27	-0,1	-4,1	5,0	-1,7	168	-31	-35	-3	-6	-6
БФС-28	-0,2	-0,5	-0,2	1,0	27	11	16	-7	-247	-176
БФС-30	-0,3	-1,8	-0,2	0,2	26	2	21	-8	-65	-38
БФС-31	0,4	-1,6	+1,6	-2,3	3	4	0	-2	900	6
БФС-33	0,0	-3,5	2,8	-4,5	21	12	6	5	-200	83
БФС-35	0,5	1,5	1,9	-0,1	-7	-6	-8	3	-5	-7
БФС-38	0,6	3,1	2,0	0,5	-6	1	-5	3	2	-1
КБР-3	1,3	-3,1	-4,5	-6,2	-7	5	-6	10	-62	-60
КБР-7	2,4	1,2	-1,0	-3,0	-1	12	-2	470	34	12
Бейкера	0,8	-3,3	-23,2	-2,4	5	6	-2	-	7	12
Вариант Г										
БФС-26	3,6	-4,0	21,0	-1,6	8	-42	-16	12	-10	-8
БФС-27	1,5	-4,0	9,7	-7,7	73	4	4	5	-4	-8
БФС-28	-0,2	-4,6	7,9	0,5	-1	-8	-5	-16	150	74
БФС-30	0,0	4,4	6,9	-0,8	0	-12	-6	-47	22	13
БФС-31	2,0	10,9	1,0	5,0	14	3	-2	-3	-263	-16
БФС-33	1,5	5,4	2,1	0,9	0	6	4	6	-36	-30
БФС-35	0,3	0,9	7,3	0,1	-13	-8	-8	2	-12	-17
БФС-38	0,3	1,7	6,8	1,2	-7	20	-5	3	-2	-7
КБР-3	6,0	0,3	40,5	1,2	2	3	-7	-4	-27	-194
КБР-7	5,2	-5,5	36,6	-8,8	0	1	-8	63	72	-41
Бейкера	3,6	8,8	-47,0	5,4	-3	7	0	-	-12	-15

В табл. 8 на примере сборки БФС-33 приведено распределение вкладов сечений замедления графита в коэффициент реактивности по группам для разных вариантов расчета. Групповой (вариант Б) и мультигрупповой спектры ценности в этой сборке приведены на рис. 3. В группах 1-9, где ценность нейтронов с летаргией падает, вклады в коэффициент реактивности графита отрицательны, при более низких энергиях (не считая области разрешенных резонансов) положительны. Из рис. 3 видно, что в той области энергий, где единственным источником нейтронов данной группы является упругое замедление из соседней группы, рассчитанная в групповом приближении ценность совпадает с ценностью упругозамедляющихся в нее нейтронов.

Таблица 8

Групповые вклады сечения замедления графита
в коэффициент реактивности для разных вариантов расчета (БЭС-33):

Номер группы	Вариант			
	А	Б	В	Г
I	-0,018	-0,022	-0,022	-0,010
2	-0,036	-0,042	-0,042	-0,030
3	-0,127	-0,259	-0,250	-0,170
4	-0,709	-0,663	-0,671	-0,668
5	-0,148	-0,189	-0,215	-0,175
6	-0,387	-0,246	-0,242	-0,408
7	-0,548	-0,574	-0,590	-0,494
8	-0,701	-0,727	-0,731	-0,614
9	-0,459	-0,453	-0,452	-0,311
10	0,521	0,510	0,506	0,513
11	0,869	0,728	0,715	0,811
12	0,685	0,582	0,555	0,615
13	0,443	0,357	0,336	0,423
14	0,120	0,121	0,158	0,226
15	0,014	0,016	0,007	0,012
16	-0,005	-0,004	-0,005	-0,010
17	-0,001	0,002	0,003	0,014
18	0,000	0,000	0,000	-0,007
19	0,000	0,000	0,000	-0,001
Сумма	-0,460	-0,663	-0,941	-0,981



В результате оказывается, что в группах 10-13 групповая ценность $\bar{\varphi}_g^+$ меньше усредненной мультигрупповой $\langle \varphi^+ \rangle_g$. При более высоких энергиях, когда источник нейтронов распределен по группе более равномерно, $\bar{\varphi}_g^+ \approx \langle \varphi^+ \rangle_g$, а в высокоэнергетических группах $\bar{\varphi}_g^+$ близко к ценности нейтронов вблизи нижеэнергетической границы группы, т.е. также в области, в которой сосредоточены нейтроны источника. Распределение спектра ценности и энергетического поведения потока и сечений позволяет объяснить все отклонения групповых вкладов в коэффициент реактивности графита (колонка Б в табл.8) от мультигрупповых (колонка А).

В табл.9 приведены вклады в коэффициент реактивности различных материалов сборки ВЭС-33 от основных нейтронных процессов. Видно, что основное отличие многогруппового расчета (вариант А) от группового с "точными" константами (вариант Б) обусловлено различием в оценке вклада упругого замедления. При мультигрупповых расчетах этот вклад (через энергетическую зависимость функции ценности внутри группы) учитывает и то влияние, которое оказывает изменение замедляющей способности среды на среднегрупповые константы. В случае натрия этот эффект проявляется особенно сильно.

Таблица 9

Вклады в коэффициенты реактивности от разных процессов для четырех вариантов расчета (сборки ВЭС-33)

Изотоп	Метод	Вклады в коэффициент реактивности от				
		$\nu\sigma_f$	σ_a	σ_{in}	$\sigma_{зам}$	Суммарный коэффициент реактивности
^{235}U	А	725,6	-303,5	-7,17	0,08	415,0
	Б	725,6	-300,9	-7,00	0,02	417,7
	В	724,5	-300,0	-7,07	0,02	417,5
	Г	737,0	-319,4	-7,58	0,13	410,2
^{239}Pu	А	785,4	-280,3	-5,41	0,08	499,8
	Б	785,4	-278,4	-5,62	0,02	501,4
	В	787,6	-279,1	-5,72	0,01	502,8
	Г	809,0	-301,6	-6,26	0,13	501,3
^{238}U	А	16,4	-38,5	-7,85	0,06	-29,9
	Б	16,4	-38,1	-7,56	0,00	-29,3
	В	16,7	-38,1	-7,66	-0,01	-29,0
	Г	17,6	-39,2	-8,29	0,12	-29,8
Железо	А	-	-1,25	-2,03	0,22	-3,06
	Б	-	-1,26	-1,92	-0,17	-3,35
	В	-	-1,31	-1,96	-0,18	-3,46
	Г	-	-1,38	-2,13	0,30	-3,21
Натрий	А	-	-0,75	-1,51	4,19	1,93
	Б	-	-0,72	-1,43	0,18	-1,97
	В	-	-0,76	-1,41	0,10	-2,07
	Г	-	-0,80	-1,56	4,40	2,14
Углерод	А	-	-0,02	-0,08	-0,46	-0,56
	Б	-	-0,02	-0,07	-0,86	-0,95
	В	-	-0,02	-0,07	-0,94	-1,03
	Г	-	-0,03	-0,08	-0,28	-0,39

✱ ✱

Показано, что при многогрупповых расчетах критических сборок и энергетических быстрых реакторов необходим расчет сечений замедления на основе приближенной оценки формы внутригруппового спектра. Расчет сечений замедления рекомендуемыми приближенными методами сводит методическую погрешность многогруппового расчета коэффициента $K_{эф}$ с 3% до не более 1% и коэффициента КВА

до 2%. Примерно половина этих погрешностей обусловлена неточностью оценки сечений замедления, а половина - влиянием неопределенности внутригруппового спектра на сечения деления и захвата. При существующей точности ядерных данных методические погрешности 26-группового приближения представляются допустимыми. Дальнейшее повышение точности расчетных предсказаний до требуемого уровня вызовет необходимость перехода к мультигрупповой системе констант.

Численным сравнением результатов многогрупповых и мультигрупповых расчетов показано, что при расчетах коэффициентов реактивности рассеивающих образцов важную роль играет учет возмущений ими формы нейтронного спектра. Многогрупповые расчеты не могут обеспечить точность расчета коэффициента реактивности, лучшую нескольких десятых процента (до 1%) коэффициента реактивности основного топливного изотопа.

Список литературы

1. Абагян Л.П., Базазянц Н.О., Бондаренко И.И., Николаев М.Н. Групповые константы для расчета ядерных реакторов. М.: Атомиздат, 1964.
2. Абагян Л.П., Базазянц Н.О., Николаев М.Н., Цибуля А.М. Групповые константы для расчета реакторов и защиты. М.: Энергоиздат, 1981.
3. Хохлов В.Ф., Савоськин М.М., Николаев М.Н. Комплекс программ АРАМАКО для расчета групповых макро- и блокированных микросечений на основе 26-групповой системы констант в подгрупповом представлении. - Ядерные константы, 1972, вып.8, ч.3, с.3.
4. Николаев М.Н., Рязанов Б.Г., Савоськин М.М., Цибуля А.М. Многогрупповое приближение в теории переноса нейтронов. М.: Энергоатомиздат, 1983.

Статья поступила в редакцию 27 июля 1984 г.

УДК 621.039.519

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ МУЛЬТИГРУППОВОЙ СИСТЕМЫ КОНСТАНТ

Е.В.Долгов, М.М.Савоськин, А.М.Цибуля

ESTIMATION OF THE METHODOLOGICAL UNCERTAINTIES OF THE 26-GROUP APPROXIMATION. The fine group constant set and corresponding retrieval codes are described. The uncertainties of 26-group calculation of linear and bilinear functionals are estimated by the comparison of the results zero-dimension 288 group and 26 group calculations.

Принятая при расчетах быстрых реакторов 26-групповая система констант описывает энергетическую зависимость нейтронного потока и сечений достаточно подробно с точки зрения нужд серийных расчетов. Однако при расчете критических сборок, результаты измерений на которых планируется использовать для коррекций констант, а также при окончательных расчетах проектируемых реакторов и тестовых расчетах, направленных на проверку 26-группового приближения, необходимо более детальное описание энергетической зависимости сечений.

При расчете спектра, функционалов потока и ценности нейтронов основными методическими (не связанными с неточностью используемых констант) погрешностями являются погрешности многогруппового расчета. Эти погрешности обусловлены неточностью в описании формы внутригруппового спектра, принятого при усреднении групповых констант, например стандартные 26-групповые константы усреднены в первых трех группах с весом спектра деления ^{235}U под действием тепловых нейтронов, а остальные группы - с весом фермиевского спектра. Спектр нейтронов в среде отличается от указанного стандартного спектра. В первую очередь эти различия влияют на величину группового сечения упругого замедления нейтронов. В настоящее время разработаны методы введения поправок к сечению замедления на форму внутригруппового спектра [1,2], однако ни одному из них нельзя отдать предпочтение; все эти методы не устраняют, а лишь сокращают (примерно втрое) погрешность результатов расчета, связанную с невозможностью точно вычислить сечения замедления.

Неточные знания формы внутригруппового спектра сказываются на результатах усреднения сечений реакций, в первую очередь тех, чьи сечения сильно зависят от энергии: деление ^{238}U , неупругое рассеяние на низколежащих уровнях, радиационный захват (особенно в области широких и промежуточных резонансов).

В таблице приведены оценки погрешностей в характеристиках критических сборок. Из таблицы видно, что неопределенности линейных функционалов, обусловленные погрешностями группового приближения, сравнимы и даже превышают экспериментальные погрешности. Что же касается билинейных функционалов (центральные коэффициенты реактивности), то здесь неопределенности, связанные с групповым подходом, еще большие из-за влияния внутригрупповой структуры ценности и других эффектов.

Оценка погрешностей результатов отдельных экспериментов, %

Функционал	Среднеквадратичный разброс результатов [3]	Погрешность	
		оцененная экспериментаторами [4]	26-группового приближения [2,5]
$K_{эф}$	0,7	0,3	0,8
$\sigma_f(^{238}\text{U}) / \sigma_f(^{235}\text{U})$	5,3	3,0	4,0
$\sigma_f(^{239}\text{Pu}) / \sigma_f(^{235}\text{U})$	3,3	2,0	2,5
$\sigma_f(^{240}\text{Pu}) / \sigma_f(^{235}\text{U})$	10,0	5,0	5,0
$\sigma_c(^{238}\text{U}) / \sigma_f(^{235}\text{U})$	2,3	2,0	2,0

Таким образом, чтобы снизить методическую погрешность расчета величин, измеряемых на критических сборках, до уровня более низкого, чем уровень экспериментальных погрешностей, а также в целях достижения требуемой точности расчета основных характеристик быстрых реакторов необходим переход от 26-группового приближения к многогрупповому приближению со значительно большим числом энергетических групп. Основные требования, предъявляемые к системе константного обеспечения мультигрупповых расчетов:

- групповое разбиение должно соответствовать разбиению в БНАВ [6];
- необходимо предусмотреть возможность проведения расчетов с использованием информации для некоторой части изотопов из мультигрупповой библиотеки, а для остальных - из 28-групповой библиотеки констант [7];
- должна быть обеспечена возможность заполнения входной библиотеки микроконстант системы MULTIG программным путем на основе файлов оцененных данных.

Энергетическое разбиение для мультигрупповой системы констант было выбрано следующим образом. Область энергий 10,5-20,0 МэВ разбита на девять мультигрупп равной ширины в масштабе логарифма; области 2,5-4; 4,0-6,5; 6,5-10,5 МэВ разбиты каждая на шесть равных мультигрупп; области 0,8-1,4; 1,4-2,5 МэВ каждая разбиты на восемь мультигрупп; область 0,1-0,8 МэВ разбита на 27 мультигрупп; область 1 эВ - 0,1 МэВ разбита на 180 равных по логарифму мультигрупп. Диапазон энергий ниже 1,0 эВ представляет собой область термализации, групповое разбиение в которой не определено. Для удовлетворения второго требования решено включить информацию из 28-групповой библиотеки непосредственно в мультигрупповую библиотеку констант так, чтобы обеспечить единую обработку данных.

В настоящее время существуют программы [8], предназначенные для получения групповых констант непосредственно из файлов оцененных ядерных данных (например, ГРУКОН [8], СПУРТ [9], ПЛОУ [10]). С их помощью происходит заполнение базовой мультигрупповой библиотеки MULTIS, упорядоченной по изотопам. Для проведения расчетов более удобным является такое построение библиотеки, при котором данные упорядочены по энергетической переменной (группе). Таковой является рабочая библиотека MULTIG, в которой наряду с мультигрупповыми данными приведена информация из библиотек АРАМАКО. Общая схема константного обеспечения мультигрупповых нейтронных расчетов приведена на рисунке.

Структурной единицей каждой мультигрупповой библиотеки является секция, содержащая нейтронные данные определенного типа. Для библиотеки MULTIS определен набор из четырех секций, данные которых необходимы для расчета нейтронных полей. Число секций в библиотеке при необходимости может быть увеличено.

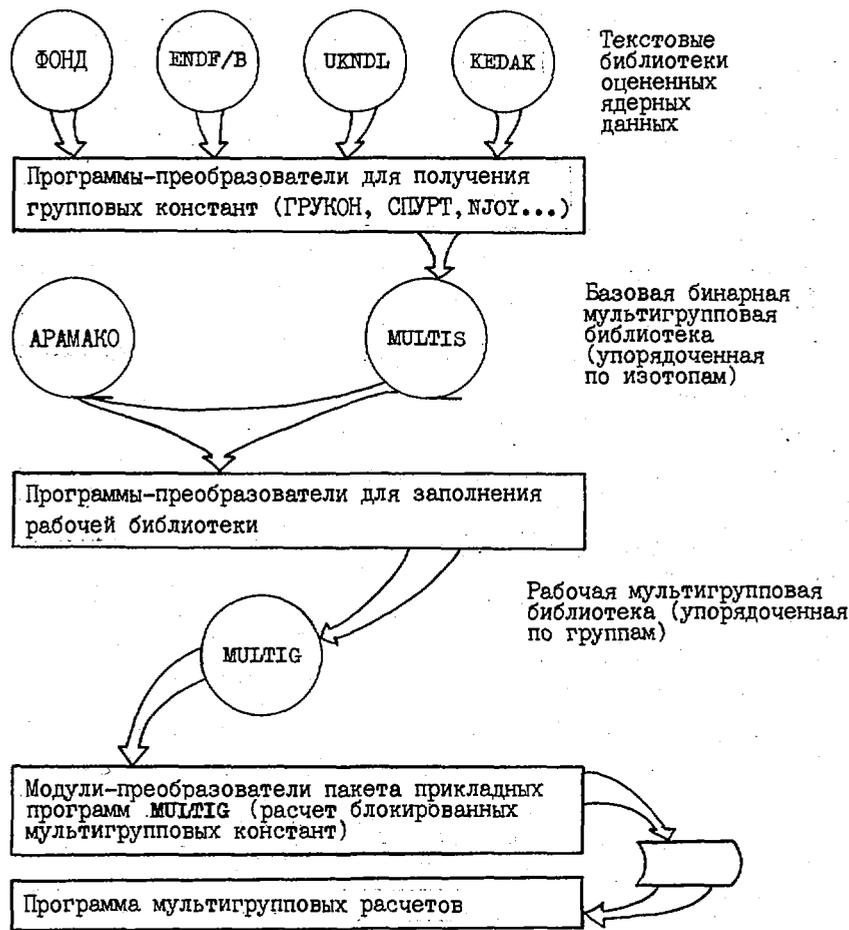


Схема константного обеспечения мультигрупповых нейтронных расчетов

В первой секции для каждого нуклида приводятся следующие величины ν , σ_f , σ_c , σ_{e1} , σ_{in} , где ν - полное число нейтронов, испускаемых на один акт деления, σ_f - среднегрупповое сечение деления, σ_c - среднегрупповое сечение поглощения нейтрона без деления, σ_{e1} - среднегрупповое сечение упругого рассеяния, σ_{in} - среднегрупповое суммарное сечение неупругого рассеяния и реакций $(n, 2n)$, $(n, 3n)$ и $(n, 4n)$. Значения ν и σ_f приводятся лишь для делящихся изотопов, σ_{in} - в группах, где есть неупругое рассеяние. Все величины приводятся для температуры 300 К. Вычисление их осуществляется пакетом прикладных программ ГРУКОН файлов оцененных ядерных данных в формате библиотеки ENDF/B.

Во второй секции приведены данные о резонансной структуре и температурные поправки. Резонансная структура сечений описывается с помощью подгруппы работы [11]: приведены доли подгрупп A_j и коэффициенты резонансной структуры RK_j^x , которые являются отношениями сечения j -й подгруппы данного процесса $x(x = f, c, e1, in)$, вычисленному при заданной температуре, к среднегрупповому сечению при температуре 300 К. Доли подгрупп считаются независимыми от температуры; на них накладывается условие $\sum A_j = 1$. Если $\sigma_x(T)$ есть среднегрупповое сечение процесса x при температуре T , то $\sigma_x(T) = \sigma_x(T_0) \sum_{j=1}^x A_j RK_j^x(T)$. Подготовка долей подгрупп A_j и коэффициентов

RK_{\downarrow}^j также возлагается на пакет ГРУКОН (в настоящий момент разработка этих блоков в виде, требующемся для заполнения библиотеки MULTIS, еще не завершена).

Секция 3 предназначена для описания спектров вторичных нейтронов при неупругом рассеянии. Спектр таких нейтронов представляет собой суперпозицию спектров, описываемых различными формализмами, а именно: неупругое рассеяние с возбуждением определенного уровня ядра-мишени, испарение одного и последовательное испарение нескольких нейтронов. В библиотеке приводятся параметры, характеризующие эти формализмы (энергии возбуждения дискретных уровней, пороги реакций, число испаряемых нейтронов, температуры, описывающие спектры испарения каждого нейтрона, мультигрупповая матрица вероятностей неупругих переходов) и вероятности каждого формализма в данной мультигруппе.

Секция 4 описывает анизотропию упругого рассеяния. В ней приведены среднегрупповые индикатрисы рассеяния в виде разложения в ряд по полиномам Лежандра. Программное обеспечение данной секции еще не реализовано. Напомним, что здесь каждая секция содержит информацию, упорядоченную по нуклидам. В рабочей библиотеке MULTIG иерархия данных иная: в каждой энергетической группе приводится информация о различных типах реакций для всех нуклидов. Каждый тип данных описывается своей секцией. В настоящее время в библиотеке предполагается иметь семь секций (число их может быть увеличено):

1. Секцию среднегрупповых констант. Наряду с данными из секции I библиотеки MULTIS здесь приведены мультигрупповое полное сечение σ_t , определяемое из баланса; средний косинус угла упругого рассеяния μ_{el} ; средний косинус угла неупругого рассеяния μ_{in} ; множественность вторичных нейтронов $z = (\sigma_{in} + 2\sigma_{n,2n} + 3\sigma_{n,3n} + 4\sigma_{n,4n}) / (\sigma_{in} + \sigma_{n,2n} + \sigma_{n,3n} + \sigma_{n,4n})$; признак наличия резонансной структуры в сечениях данной мультигруппы KB .

2. Секцию резонансной структуры. Приводятся доли подгрупп A_j и коэффициенты резонансной структуры RK_{\downarrow}^j (для процессов $x=t, f, c, el, in$).

3. Секцию неупругих переходов. Для каждого нуклида приводятся матрицы вероятностей переходов в данную мультигруппу из вышележащих групп. Для легких изотопов приведены аналогичные матрицы первых угловых моментов межгрупповых переходов.

4. Секцию упругих переходов. Для всех изотопов приведены матрицы вероятностей переходов при упругом рассеянии и матрицы первых угловых моментов. Из описания секций 3 и 4 видно, что библиотека в готовом виде содержит данные для обеспечения расчетов в диффузионном и P_1 -приближениях. Константа для расчетов с учетом анизотропии упругого рассеяния более высокого порядка должна насчитываться с помощью программ, которые войдут в функциональный блок подготовки констант. При этом используется информация из следующей секции.

5. Секцию анизотропии рассеяния. Приведены гармоники (угловые моменты) среднегрупповой индикатрисы рассеяния в виде разложения в ряд по полиномам Лежандра.

6. Секцию широкогрупповых констант. Предназначена для обеспечения расчетов по константам системы АРАМАКО. Информация этой секции приводится только в тех мультигруппах, которые попадают на начало энергетического интервала, описываемого широкой группой. При счете в оперативной памяти они программным образом преобразуются в форматы, соответствующие описанию мультигрупповых констант (секции 1-5), чем обеспечивается единый алгоритм подготовки мульти- и широкогрупповых констант. Данные для этой секции берутся из файлов системы константного обеспечения АРАМАКО.

7. Секцию доплеровских приращений. Предназначена для учета температурной зависимости широкогрупповых сечений. Идеология расчета и формат данных совпадают с тем, что заложено в системе констант БНАБ-78. Информация взята из файла доплеровских приращений системы АРАМАКО и приводится лишь в тех мультигруппах, что и данные секции 6.

В настоящий момент в библиотеке MULTIG заполнены секции 6 и 7, идет разработка программного обеспечения для заполнения секций 1-5 и расчета заблокированных констант.

Список литературы

1. Николаев М.Н., Рязанов Б.Г., Савоськин М.М., Цибуля А.М. Многогрупповое приближение в теории переноса нейтронов. М.: Энергоиздат, 1983.
2. Долгов Е.В., Цибуля А.М. Оценка методической погрешности 26-группового приближения - См. настоящий выпуск, с.38-49.

3. Абагян Л.П., Базазянц Н.О., Николаев М.Н., Цибуля А.М. Групповые константы для расчета реакторов и защиты. М.: Энергоиздат, 1981.
4. Казанский Ю.А., Дулин В.А., Зиновьев В.П. и др. Методы изучения реакторных характеристик на критических сборках БЭС. М.: Атомиздат, 1977.
5. Пивоваров В.А. Погрешности приближения постоянства столкновений в мультигрупповых константах. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, 1982, вып. I(45), с.14-23.
6. Абагян Л.П., Базазянц Н.О., Бондаренко И.И., Николаев М.Н. Групповые константы для расчета ядерных реакторов. М.: Атомиздат, 1964.
7. Базазянц Н.О., Вырский М.Ю., Гермогенова Т.А. и др. АРАМАКО-2F — система обеспечения нейтронными константами расчетов переноса излучения в реакторах и защите. М.: ИПМ АН СССР, 1976; Вырский М.Ю., Дубинин А.А., Клинцов А.А. и др. АРАМАКО-2F — версия системы константного обеспечения расчетов переноса высокоэнергетических нейтронов: Препринт № 904. Обнинск; ФЭИ, 1978.
8. Сеница В.В. Пакет ГРУЖОН. Ч. I. Программа преобразований: Препринт № 1188. Обнинск; ФЭИ, 1981; Сеница В.В. Пакет ГРУЖОН. Ч. II. Управляющие параметры: Препринт № 1189. Обнинск; ФЭИ, 1981.
9. Колесов В.Е., Кривцов А.С. Алгоритм и программа подготовки групповых констант расчета реакторов на основе библиотеки нейтронных данных системы СОКРАТОР. — В кн.: Нейтронная физика (Материалы 3-й Всесоюзной конференции по нейтронной физике. Киев, 9-13 июня 1975). М.: ЦНИИАтоминформ, 1976, ч. I, с.140.
10. Macfarlane R.E., Voicourt R.N. NJOY: A neutron and photon cross-section processing system. — Trans. Amer. Nucl. Soc., 1975, v.22, p.720.
11. Nicolaev M.N. Comments on the probability table method. — Nucl. Sci. and Engng, 1976, v.61, p.2.

Статья поступила в редакцию 27 июля 1984 г.

СОДЕРЖАНИЕ

сборника "Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерные константы" за 1984 г.*

Нейтронные константы и параметры

Орлова Л.Н., Поляков А.А., Рухло В.П., Титаренко Ю.Е., Комин С.Ф., Шведов О.В., Мясоедов Б.Ф., Давыдов А.В., Травников С.С.	Фомушкин Э.Ф., Новоселов Г.Ф., Виноградов Ю.И., Гаврилов В.В., Маслеников Б.К., Полюнов В.Н., Сурин В.М., Швецов А.М.
Интегральные сечения радиационного захвата в тепловой и резонансной областях энергий для ^{230}Th , $^{231-233}\text{Pa}$, ^{236}U , ^{237}Np	Энергетическая зависимость сечения деления ^{243}Am быстрыми нейтронами
I(55),3	3(57),17
Коренной В.П., Возяков В.В., Хаткевич О.В., Фоков Ю.Г., Груша Н.М.	Григорьев Е.И., Ярына В.П.
Неупругое рассеяние нейтронов на хrome и его влияние на расчетные характеристики реактора с диссоциирующим теплоносителем	Сечение реакции $^{199}\text{Hg} (n, n') ^{199\text{m}}\text{Hg}$ для использования в нейтронно-активационных измерениях
I(55),9	3(57),19
Дитце К., Ферманн К., Леманн Е., Хюттель Г., Голубев В.И., Козловцев В.Г., Веселов В.М.	Душин В.Н., Фомичев А.В., Шпаков В.И., Коваленко С.С.
Оценка ядерных данных кадмия в интегральном эксперименте на критической сборке КБР-9	Оценка сечения деления ^{235}U нейтронами с энергией 14,5-14,7 МэВ
I(55),13	3(57),21
Блохин А.И., Булеева Н.Н., Колесов В.Е., Кривцов А.С., Манохин В.Н., Пахомова О.А.	Маршалкин В.Е., Пovyшев В.М.
Постановка на ЭВМ ЕС-1033 комплекса программ для работы с библиотеками оцененных нейтронных данных в формате ENDF/B	Энергетическое распределение γ -излучения, сопровождающего взаимодействие быстрых нейтронов с природной смесью изотопов свинца
I(55),16	3(57),23
Блинов М.В., Спироборский Б.Д., Филатенков А.А., Ширяев В.М.	Колесов В.В., Лукьянов А.А.
Спектры γ -излучения, возникающего при взаимодействии нейтронов с энергией 3 МэВ с ядрами ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U	Построение сечения поглощения нейтронов по данным многоуровневого анализа полного сечения
3(57),3	3(57),25
Говердовский А.А., Гордюшин А.К., Кузьминов Б.Д., Митрофанов В.Ф., Сергачев А.И., Соловьев С.М., Солошенко П.С.	Бадиков С.А., Блохин А.И., Гай Е.В., Манохин В.Н., Работнов Н.С.
Измерение отношения сечений деления ^{237}Np и ^{235}U методом изотопных примесей	Аналитическое представление на основе Паде-аппроксимации сечений пороговых реакций из дозиметрического файла
3(57),13	3(57),28
Трофимов Ю.Н., Немилев Ю.А.	Бондаренко И.М., Петров Э.Е.
Сечение радиационного захвата ^{98}Mo при энергии нейтронов 0,3-2 МэВ	Оценка сечений взаимодействия нейтронов с ядрами ^{6}Li для расчета керма-фактора
3(57),15	3(57),35
	Бондаренко И.М., Петров Э.Е.
	Оценка сечений взаимодействия нейтронов с ядрами ^{7}Li для расчета керма-фактора
	3(57),44

* Цифры после названия статьи обозначают номера выпусков и страницы.

Константы и параметры структуры ядра и ядерных реакций

Журавлева Г.М., Чукреев Ф.Е. Решение задачи пополнения и использования международной базы экспериментальных ненейтронных ядерных данных в формате "Обобщенный ЭКСФОР"	2(56),3	Казарицкий В.Д. Анализ методом Монте-Карло интегральных экспериментов по выходу нейтронов под действием протонов высокой энергии	4(48),11
Шорин В.С., Карабаш В.А., Соснин А.Н. Дифференциальное сечение реакции $^{14}\text{N}(d,p)^{15}\text{N}$ в области энергии нейтронов 0,3-2,0 МэВ для задач элементного анализа	2(56),26	Абрамович С.Н., Гужовский Б.Я., Жеребцов В.А., Звенигородский А.Г. Оцененные значения полных и дифференциальных сечений взаимодействия протонов с ядрами ^6Li и ^7Li [реакции $^6\text{Li}(p,\alpha)^3\text{He}$, $^6\text{Li}(p,n)^6\text{Be}$, $^7\text{Li}(p,n)^7\text{Be}$, $^7\text{Li}(p,\alpha)^4\text{He}$]	4(48),17
Дмитриев П.П. Систематика выходов ядерных реакций для толстой мишени при энергии дейтронов 22 МэВ	2(56),32	Даутов Л.М., Журкабаев Б.Д., Каипов Д.К. Калибровочные константы изомерных сдвигов мёссбауэровских ядер	4(48),33
Гречухин Д.П., Солдатов А.А. Исследование процесса конверсии мягких ядерных переходов ($\hbar\omega \leq 3$ кэВ) в связи с эффектами химического окружения атома	2(56),36	Джелепов Б.С., Учеваткин И.Ф., Шестопалова С.А. Ядерно-спектроскопические константы распада $^{171}\text{Lu} \rightarrow ^{171}\text{Yb}$	4(48),36
Абрамович С.Н., Гужовский Б.Я., Перешивкин В.А. Полные сечения образования радионуклида ^{11}C в реакциях $^9\text{Be}(^3\text{He},n)^{11}\text{C}$, $^{10}\text{B}(d,n)^{11}\text{C}$ и $^{11}\text{B}(d,2n)^{11}\text{C}$	2(56),55	Джелепов Б.С., Учеваткин И.Ф., Шестопалова С.П. Значения ядерно-спектроскопических констант распада $^{172}\text{Lu} \rightarrow ^{172}\text{Yb}$	4(48),54
Журавлева Г.М., Игнаточкин А.Е., Чукреев Ф.Е. Технология ввода данных для получения вторичного информационного документа в формате "Обобщенный ЭКСФОР" на малой ЭВМ	2(56),60	Демирханов Р.А., Дорохов В.В., Дзюзя М.И., Дорохова Г.А. Масс-спектрографическое измерение масс изотопов в области от рО-дия до ксенона ($103 \leq A \leq 136$)	4(48),67
Жудов В.И., Кулаков В.М., Одинов Б.В., Панов А.Д. Вариации постоянной распада 26-минутного изомера ^{235}U и некоторые вопросы математической обработки кривых радиоактивного распада	4(58),3		

Ядерно-реакторные данные

Воропаев А.И., Матвеев И.П., Шикина В.И., Шокодько А.Г. Анализ погрешностей реактивности по методу обращенного решения управления кинетики, обусловленных погрешностями параметров запаздывающих нейтронов	I(55),18	Броницкий Л.Л., Мякинченко С.Н., Постников В.В. Исследование влияния температуры нейтронного газа и эмиттера на изменение чувствительности эмиссионных детекторов нейтронов	I(55),35
Базыков А.И., Жарков В.П., Карташев И.А. Расчет анизотропных переходов без полиномиального разложения	I(55),24	Пивоваров В.А. Пространственная зависимость групповых констант в неразмножающих резонансных средах	3(57),51
Ешов А.А., Книжникова Л.А., Фрунзе В.В. Эффективные пороговые сечения для экспериментального определения потоков нейтронов в бланкетах термоядерного реактора	I(55),29	Быков В.А., Викулов В.К., Жирнов А.Д., Замора П.В., Климов А.Д., Митяев Ю.И., Сироткин А.П. Учет блокировки резонансного поглощения нейтронов на ^{236}U в мало-групповых расчетах тепловых реакторов	3(57),59
	55	Чирков В.А., Усынин Г.Б. Потенциалы воспроизводства ядерного топлива для изотопов плутония в реакторе на быстрых нейтронах	3(57),64

Программно-константное обеспечение расчетов реакторов и защиты

Одхевич М.С. Банк нейтронно-физических констант Института атомной энергии им. И.В.Курчатова	5(59),3	Пивоваров В.А., Серегин А.С. Методика и программа автоматизированной подготовки малогрупповых констант для расчета реакторов в трехмерной гексагональной геометрии	5(59),27
Волощенко А.М., Гермогенова Т.А., Исаенко Т.Г., Луговникова Э.С., Николаев М.Н., Олейник-Овод Г.М., Савоськин М.М., Фейгельсон Н.Б. Новая версия пакета Объединенной константной системы	5(59),6	Синица В.В. Программа расчета групповых констант на основе библиотек оцененных нейтронных данных	5(59),34
Воронков А.В., Журавлев В.И., Натрусова Е.Г. GNDL — групповая библиотека нейтронных данных	5(59),10	Долгов Е.В., Цибуля А.М. Оценка методической погрешности 26-группового приближения	5(59),38
Великанов В.В., Савоськин Г.В. Комплекс программ АРМАНЬЯК	5(59),14	Долгов Е.В., Савоськин М.М., Цибуля А.М. К вопросу о разработке мультигрупповой системы констант	5(59),49
Кощеев В.Н., Николаев М.Н. Библиотека нейтронных данных для расчета групповых констант	5(59),16		
Мантуров Г.Н. Система программ и архивов ИНДЭКС	5(59),20		
Николаев М.Н., Савоськин М.М. О современном состоянии системы АРАМАКО	5(59),24		

Редакторы Г.В.Зубова, Е.И.Ходакова
Технический редактор С.И.Халиллулина
Корректоры Г.Н.Балашова, М.А.Макеева

Подписано в печать 28.12.84.	Т-25428.	Формат 60x84 1/8.
Печать офсетная.	Печ.л. 8,0+I вклейка	Уч.-изд.л. 7,0.
Индекс 3645.	II статей.	Тираж 370 экз.
		Зак.тип. №1247

Отпечатано в ЦНИИатоминформе
127434, Москва, ас/ящ 971

УДК 621.039.519

БАНК НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТ ИНСТИТУТА АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ им. И. В. КУРЧАТОВА/М. С. Юдкевич. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, 1984, вып. 5(59), с. 3-5.

Описываются структура и содержание банка нейтронно-физических констант, состоящего из библиотек, программ обслуживания и подготовки данных для реакторных программ. Использование банка делает константы полностью открытыми для пользователя (табл. 1, список лит. - 13 назв.)

УДК 621.039.5

НОВАЯ ВЕРСИЯ ПАКЕТА ОБЪЕДИНЕННОЙ КОНСТАНТНОЙ СИСТЕМЫ/А. М. Волощенко, Т. А. Гермогенова, Т. Г. Исаянко и др. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, 1984, вып. 5(59), с. 6-9.

Объединенная константная система создана для обеспечения удобной эксплуатации константных систем АРАМАКО-2F, АРАМАКО-G, DENSTU, ТЕМАС и др. при расчетах переноса излучения, функций ценности и различных функционалов. Со времени создания (1980 г.) как в язык, так и в состав функционального наполнения системы вносились усовершенствования и дополнения. В предлагаемой работе описывается входной язык и возможности системы, составляющие ее новую версию (рис. 1, список лит. - 11 назв.).

УДК 621.039.5

GNDL - ГРУППОВАЯ БИБЛИОТЕКА НЕЙТРОННЫХ ДАННЫХ/А. В. Воронцов, В. И. Журавлев, Е. Г. Натрусова. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, 1984, вып. 5(59), с. 10-13.

Описываются структура, организация и основные форматы представления данных в групповой библиотеке нейтронных констант GNDL, разработанной в Институте прикладной математики АН СССР им. М. В. Келдыша и предназначенной для хранения и выборки нейтронных данных. Предлагается простой способ присоединения прикладных программ к данной библиотеке (список лит. - 6 назв.).

УДК 621.039.519

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ АРМАНЬЯК/В.В.Великанов, Г.В.Савоськина.- Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, 1984, вып.5(59), с.14-16.

Комплекс программ АРМАНЬЯК (автоматизированный расчет малогрупповых нейтронно-ядерных констант) предназначен для формирования на магнитном носителе ЭВМ библиотеки файлов ядерных концентраций, спектров нейтронов и малогрупповых констант в целях дальнейшего использования этой библиотеки в качестве упрощенной малогрупповой системы константного обеспечения узкого назначения. Может быть использована также при подготовке констант для разовых малогрупповых расчетов (список лит. - 5 назв.).

УДК 621.039.519

БИБЛИОТЕКА НЕЙТРОННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА ГРУППОВЫХ КОНСТАНТ/ В.Н.Кочеев, М.Н.Николаев. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, 1984, вып.5(59), с.16-20.

Описана первая версия машинной библиотеки файлов оцененных нейтронных данных ФОНД, включающей данные для 67 важнейших материалов ядерных реакторов и радиационной защиты. Данные представлены в формате ENDF/V. В качестве источников использованы результаты оценки данных дифференциальных нейтронно-физических экспериментов, полученные в Советском Союзе и за рубежом. Первая версия библиотеки ФОНД не предназначена для использования в проектных расчетах реакторов и защиты. Ее назначение в том, чтобы служить основой для выработки откорректированной версии, гарантирующей адекватное описание результатов представительного набора макроскопических экспериментов, а также для генерации систем мультигрупповых констант при методических исследованиях (табл. I, список лит. - 18 назв.).

УДК 621.039.519

СИСТЕМА ПРОГРАММ И АРХИВОВ ИНДЭКС/Г.Н.Мантуров.- Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, 1984, вып.5(59), с.20-24.

Описывается программный комплекс, предназначенный для сравнительного анализа расчетно-экспериментальных данных интегральных и макроскопических экспериментов и оценки точности расчетных предсказаний характеристик ядерных реакторов на основе анализа чувствительности расчетных значений реакторных характеристик к используемым при расчете ядерно-физическим константам и погрешностям констант. Описывается также применения разработанного аппарата к реакторным и защитным задачам (рис. 2; список лит. - II назв.).

УДК 621.039.519

О СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ СИСТЕМЫ АРАМАКО/М.Н.Николаев, М.М.Савоськин. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, 1984, вып.5(59), с.24-27.

Рассмотрено современное состояние системы подготовки многогрупповых констант АРАМАКО для решения уравнений переноса нейтронов и γ -квантов, а также для расчетов линейных и билинейных функционалов их полей (список лит. - 12 назв.).

УДК 621.039.51

МЕТОДИКА И ПРОГРАММА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДГОТОВКИ МАЛОГРУППОВЫХ КОНСТАНТ ДЛЯ РАСЧЕТА РЕАКТОРОВ В ТРЕХМЕРНОЙ ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ/В.А.Шваров, А.С.Серегин. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, 1984, вып.5(59), с.27-34.

Предлагается методика и программа для автоматизированной подготовки многогрупповых констант с использованием 26-группового расчета в трехмерной гексагональной геометрии. Основная особенность методики - четкая ориентация многогруппового расчета исключительно на подготовку многогрупповых констант. Такая ориентация позволила наряду с естественными упрощениями исходной задачи (крупная пространственная сетка, уменьшение точности окончания итерационного процесса) ввести приближения, позволившие довести время счета многогрупповых констант до приемлемых для практики значений при достаточной корректности получаемых результатов. Например, на подготовку четырехгрупповых макроконстант для модели реактора SNR-300 (ФРГ) требуется 9 мин на ЭВМ БЭСМ-6. Предложенная методика реализована в программе SERR83, написанной на языке ФОРТРАН (рис.1, табл.4, список лит. - 5 назв.).

УДК 621.039.519

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ГРУППОВЫХ КОНСТАНТ НА ОСНОВЕ БИБЛИОТЕК ОЦЕНЕННЫХ НЕЙТРОННЫХ ДАННЫХ/В.В.Синица. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, 1984, вып.5(59), с.34-38.

Программа ГРУКОН предназначена для переработки библиотек оцененных нейтронных данных в групповые и мультигрупповые (с числом групп около 300) микроскопические константы. По своей структуре она представляет собой пакет прикладных программ с тремя основными компонентами: монитором, языком задания и библиотекой функциональных модулей. Первая действующая версия пакета ограничивалась возможностью получения среднегрупповых несблокированных сечений из библиотек оцененных нейтронных данных в формате ENDF/V. С ее помощью были переработаны другие библиотеки. В последующих двух версиях в функциональное наполнение пакета были добавлены соответственно модули преобразования таблиц сечений и модули расчета факторов самозкранировки. В настоящее время готовится к вводу в эксплуатацию четвертая версия пакета прикладных программ ГРУКОН, позволяющая рассчитывать подгрупповые параметры (рис.2, список лит. - 14 назв.).

УДК 621.039.519

ОЦЕНКА МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ 26-ГРУППОВОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ/Е.В.Долгов, А.М.Цибуля. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, 1984, вып.5(59), с.38-49.

Путем сравнения мультигрупповых расчетов (288 групп) с групповыми (26 групп) оценена точность расчета линейных и билинейных функционалов в 26-групповом приближении. Показано, что при многогрупповых расчетах быстрых реакторов необходим расчет сечений замедления на основе приближенной оценки внутригруппового спектра. При существующей точности ядерных данных методические погрешности 26-группового приближения представляются допустимыми. Дальнейшее повышение точности расчетных предсказаний основных физических характеристик быстрых реакторов до требуемого уровня вызовет необходимость перехода к мультигрупповой системе констант. Многогрупповые расчеты не могут обеспечить точность расчета центральных коэффициентов реактивности, лучшую десятых долей процента (до 1% коэффициента реактивности основного топливного изотопа (рис.3, табл.9, список лит. 4 назв.).

УДК 621.039.519

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ МУЛЬТИГРУППОВОЙ СИСТЕМЫ КОНСТАНТ/Е.В.Долгов, М.М.Савоськин, А.М.Цибуля. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, 1984, вып.5(59), с.49-53.

При расчете спектра и функционалов потока и ценности основными методическими погрешностями являются погрешности многогруппового приближения. Для достижения требуемой точности расчета основных характеристик быстрых реакторов необходим переход от 26-группового приближения к мультигрупповому. Дается описание мультигрупповой системы констант и состояние дел с ее разработкой (рис.1, табл.1, список лит. - 11 назв.).

I р. 50 к.

Индекс 3645

Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерные константы, 1984, вып. 5(59), с. 1-56.