

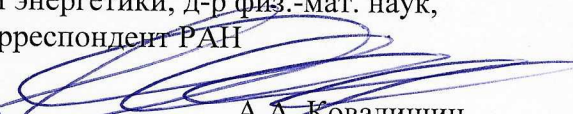
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»
(НИЦ «Курчатовский институт»)
Курчатовский комплекс перспективной атомной энергетики
(ККПАЭ)

УДК 621.039.51...17
Инв. № 119.3-9отч-23
от «31» мая 2023 г.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по ядерным
технологиям - и.о. руководителя
Курчатовского комплекса перспективной
атомной энергетики, д-р физ.-мат. наук,
член-корреспондент РАН




А.А. Ковалишин
_____ 2023 г.

**РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ
ПС «ЖИР (УЧЕБНАЯ ВЕРСИЯ 1.0)»**

Руководитель ОФМЭ ККПАЭ



В.Д. Давиденко

Ответственный исполнитель,
начальник ЛМРЭ ОСИ ОФМЭ ККПАЭ




М.В. Иоаннисиан


Москва 2023 г.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель ОФМЭ ККПАЭ,
д.т.н.

 31.05.23 В.Д. Давиденко

Начальник ЛМРЭ ОСИ ОФМЭ
ККПАЭ, к.ф.-м.н

 31.05.23 М.В. Иоаннисиан


Начальник ЛДАЭС ОИТ
ОФМЭ ККПАЭ, к.ф.-м.н

 31.05.23 В.И. Белоусов


Старший научный сотрудник
ЛМРЭ ОСИ ОФМЭ ККПАЭ

 31.05.23 Е.А. Гомин

Главный научный сотрудник
ОФМЭ ККПАЭ, д.ф.-м.н.

 31.05.23 М.И. Гуревич

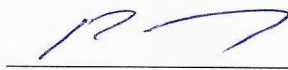
Младший научный сотрудник
ЛМРЭ ОСИ ОФМЭ ККПАЭ

 31.05.23 И.И. Дьячков

Старший научный сотрудник
ЛМРЭ ОСИ ОФМЭ ККПАЭ,
к.ф.-м.н.

 31.05.23 М.Р. Малков


Зам. руководителя ККПАЭ,
д.ф.-м.н.

 31.05.23 К.Ф. Раскач

Старший научный сотрудник
ЛМРЭ ОСИ ОФМЭ ККПАЭ

 31.05.23 К.Г. Чернов

Нормоконтролёр
ведущий инженер
ОФМЭ ККПАЭ

 31.05.23 Н.В. Мазурина

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АкЗ	– активная зона;
БФОД	– библиотеки файлов оценённых данных;
БОЯД	– библиотека оценённых ядерных данных;
ИР	– исследовательский реактор;
НИЦ	– научно-исследовательский центр;
ООП	– объектно-ориентированное программирование;
ОС	– операционная система;
ПД	– продукт деления;
ПК	– программный комплекс;
ПО	– программное обеспечение;
ПС	– программное средство;
ФОЯД	– файлы оценённых ядерных данных;
ЭВМ	– электронно-вычислительная машина;
ЯЭУ	– ядерная энергетическая установка;
ENDF	– библиотеки оценённых ядерных данных (англ. Evaluated Nuclear Data File);
MPI	– интерфейс передачи сообщений (англ. Message Passing Interface);
NCGSIM	– универсальный язык комбинаторного описания геометрии (англ. Combinatorial Geometry).

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1. Описание программы КИР.....	8
Взаимодействие физического модуля с файлами библиотек формата ACE12	
2. Сведения о библиотеках констант.....	13
3. Содержание комплекса.....	14
4. Установка КИР	15
5. Запуск КИР.....	16
6. Исходные данные физического модуля.....	19
6.1. Файл материалов.....	19
6.2. Задание термализационных матриц.....	20
6.3. Задание выгорающих изотопов	21
6.4. Копирование материалов	22
6.5. Файл настройки библиотеки	23
7. Исходные данные геометрического модуля.....	27
7.1. Простые системы	31
7.2. Описание тел	36
7.3. Описание зон.....	49
7.4. Сложные системы.....	58
7.5. Описание сложных систем при помощи сетей.....	60
7.6. Описание сложных систем при помощи решёток.....	69
8. Исходные данные модуля источника.....	88
8.1. Создание внешнего источника	88
8.2. Форма источника	91
8.3. Спектр источника	95
8.4. Направление источника	96
9. Исходные данные модуля регистрации	102
10. Исходные данные модуля траекторий	107
11. Системные требования	109
Список использованных источников	110
Приложение А	112

Приложение Б	115
Приложение В.....	123
Приложение Г	130
Приложение Д.....	131

ВВЕДЕНИЕ

Программа КИР (Учебная версия 1.0) [1-4] предназначена для получения решения на одноядерных и многоядерных компьютерах как стационарного, так и нестационарного уравнения переноса нейтронов с учётом запаздывающих нейтронов аналоговым методом Монте-Карло [5-6]. В программе реализован аналоговый метод Монте-Карло, который моделирует историю нейтрона на основе файлов оценённых ядерных данных в системах с трёхмерной геометрией в однородной и неоднородной среде.

ПС КИР написана на языках программирования FORTRAN стандарта 2008 и C++ стандарта 2011 года (физический модуль PHM). Отличительная особенность кода КИР связана с применением методологии объектно-ориентированного программирования (ООП) для разработки кода. Наличие классов и объектов позволяет упростить понимание кода и его составляющих, сделать код гибким и более открытым для совершенствования, что облегчает расширение и упрощает поддержку кода. Кроме того, использование ООП упрощает переход с одного языка программирования на другой и позволяет воспользоваться объектами из другого языка через программный интерфейс (Application Program Interface, API). Также надо отметить, что, с другой стороны, использование ООП может ускорить разработку и упростить поддержку программы.

КИР позволяет выполнять расчёты на многопроцессорных компьютерах. Распараллеливание программ выполнено на базе программного интерфейса MPI (Message Passing Interface). Он является наиболее распространённым стандартом интерфейса обмена данными в параллельном программировании, а его реализации существуют для большого числа компьютерных платформ.

С учётом возможности решения, наряду со стандартными статическими задачами, полноценной нестационарной задачи, комплекс существенно расширяет область применения метода Монте-Карло в проектной практике. Ниже перечислены основные прикладные задачи комплекса:

- вычисление эффективного коэффициента размножения нейтронов, распределения энерговыделения и скорости генерации нейтронов деления по ТВС и отдельным твэлам, а также любых нейтронных скоростей реакций по имеющимся библиотекам;
- расчёт эффектов и коэффициентов реактивности;
- моделирование переходных процессов при нормальной эксплуатации и в аварийных режимах работы реактора, вызванных движением органов регулирования или изменением плотности теплоносителя в отдельных областях реактора;
- создание математических бенчмарков для верификации программ инженерного класса.

1. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ КИР

Программа КИР предназначена непосредственно для выполнения расчётов задач нейтронного переноса. Взаимодействие с программой осуществляется через входные и выходные текстовые файлы в соответствии с рисунком 1.

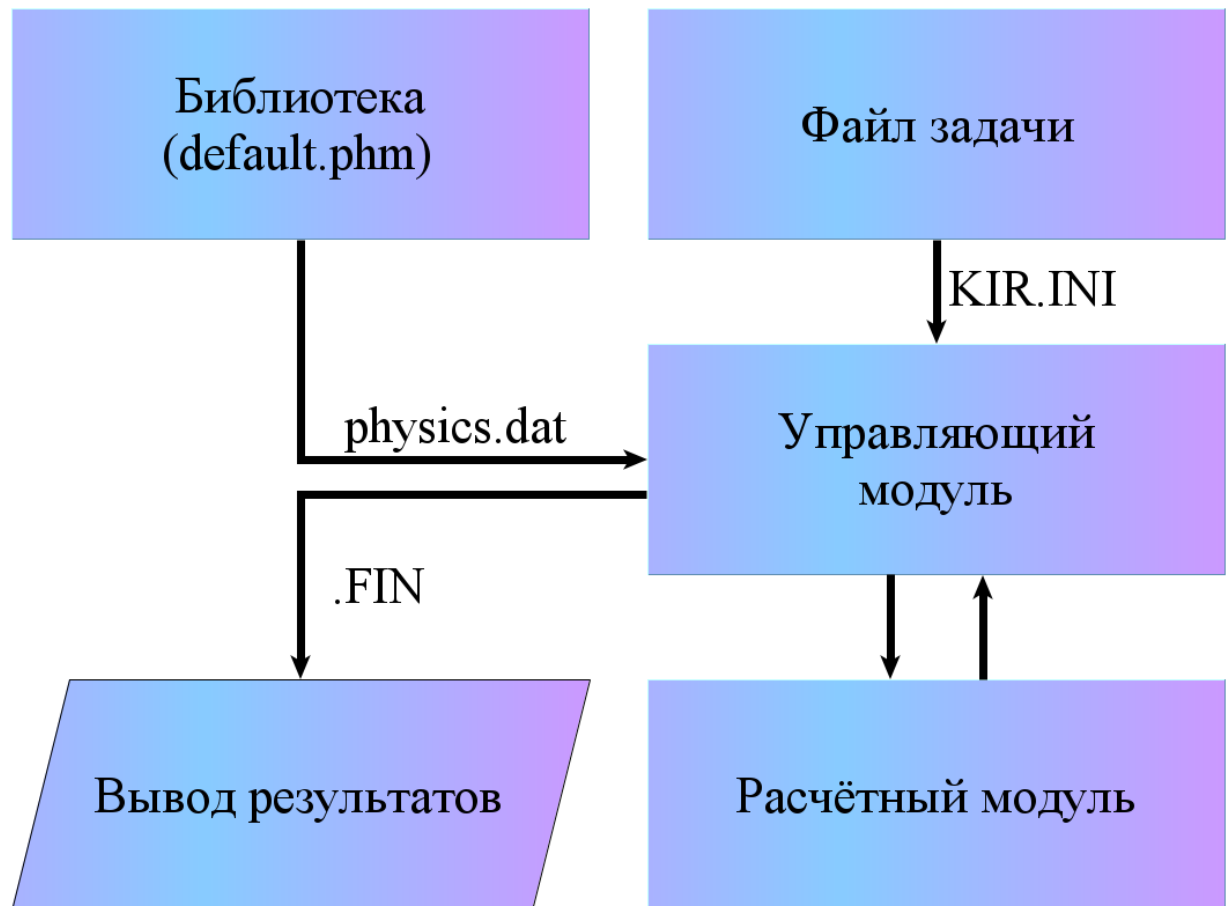


Рисунок 1 – Схематическое представление взаимодействия программы КИР с
входными и выходными данными

На рисунке-схеме 1 введены следующие обозначения:

default.phm – файл настройки библиотеки (п. 6.5);

physics.dat – файл материалов (п. 6.1);

KIR.INI – файл настройки задачи (предназначен для передачи имени «Файла задачи» и некоторых управляющих значений);

.FIN – файл результата решения поставленной задачи (обычно обозначается именем задачи с расширением *.*fin*).

Управляющий модуль осуществляет корректное считывание сечений «Библиотеки» через файл настройки библиотеки и файл материалов, а также геометрических и управляющих данных из «Файла задачи», и поступление их в соответствующие вычислительные модули программы КИР, которые на схеме обозначены под обобщающим названием «Расчётный модуль». Расчётный модуль осуществляет взаимодействие с управляющим модулем и производит поиск решения поставленной задачи. Решение, полученное в процессе счёта задачи, поступает в управляющий модуль, после чего производится «Вывод результатов».

Архитектура КИР разработана на основе современной методологии ООП и состоит из модулей. Необходимо подчеркнуть, что каждый модуль программы КИР – это объект, взаимодействующий с другими объектами. Для создания каждого модуля в программе применяются классы Фортрана (стандарт 2008 [7]), которые описываются и подчиняются всем законам ООП.

Составными частями программы КИР являются следующие модули:

SUP (SUPPORT) – модуль вспомогательных функций;

BANK – Банк (модуль накопления вторичных частиц);

NCG – Нейтронный Комбинаторный Геометрический модуль [8];

PHYS (PHYSICS) – Физический модуль;

RRS (Radiation Reactor Source) – модуль Радиационного Реакторного Источника;

REG – Регистрационный модуль;

TRJ (TRAJECTORY) – Транспортный модуль;

CTRL (CONTROL) – Управляющий модуль.

Названия модулей, их обозначение и назначение приведены в таблице 1.

Таблица 1. Модули программы КИР

Название модуля	Назначение	
Управляющий, <i>CTRL</i>	Управление расчётом Обеспечивает возможность автоматического изменения любых параметров в процессе расчёта	
Банк, <i>BANK</i>	Ведение очередей частиц, подлежащих моделированию (банк частиц)	
Транспортный, <i>TRJ</i>	Моделирование траекторий частиц в системе	
Физический, <i>PHYS</i>	Розыгрыш взаимодействия частиц с веществом по информации из банка данных	
	Подмодули физического модуля:	
	Название подмодуля	Функция
	<i>PHM</i>	Позволяет учитывать эффекты непрерывного изменения энергии частицы при столкновениях, а также как непрерывную, так и ступенчатую зависимость сечений от энергии. Производится непрерывное слежение за энергией нейтрона
Геометрический, <i>NCG</i>	Моделирование прямолинейных участков траекторий между столкновениями	
Источник, <i>RRS</i>	Моделирование фазовых координат частиц источника или нейтронов начального поколения при решении задач на критичность	
Регистрационный, <i>REG</i>	Расчёт функционалов полей излучения	
	Подмодули модуля регистрации для вычисления функционалов:	
	Название подмодуля	Функция
	<i>GENERAL</i>	общие функционалы, такие как интегральные параметры $K_{эфф}$, $\beta_{эфф}$, $L_{эфф}$ и т.д.
	<i>STD</i>	стандартные функционалы (усреднённые характеристики по интервалам следующих типов: временные, энергетические, пространственные и т.д.)
Вспомогательный, <i>SUP</i>	Содержит платформонезависимые вспомогательные объекты и подпрограммы	

Вспомогательный модуль

Модуль Вспомогательных функций (SUPPORT) содержит сервисные подпрограммы и функции: датчик псевдослучайных чисел, подпрограммы ввода/вывода, подпрограммы работы с файлами HDF5 [9], классы и т.п. Подпрограммы, функции и классы доступны для применения любым другим модулем и являются платформонезависимыми.

HDF-файл

HDF – название формата файлов, разработанного для хранения большого объёма цифровой информации. Первоначально был разработан Национальным центром суперкомпьютерных приложений, сейчас поддерживается некоммерческой организацией HDF Group.

HDF5 – современная версия формата, в которой для индексации используются *Б-деревья (B-trees)*. Б-дерево (или Би-дерево) – структура данных, дерево поиска. С точки зрения внешнего логического представления, сбалансированное, сильно ветвистое дерево. Часто используется для хранения данных во внешней памяти. Использование Б-деревьев для хранения данных впервые было предложено ещё в 1970 году. Сбалансированность означает, что длины любых двух путей от корня до листьев различаются не более, чем на единицу. Ветвистость дерева – это свойство каждого узла дерева ссылаться на большое число узлов-потомков. С точки зрения физической организации Б-дерево представляется как мультисписочная структура страниц памяти, то есть каждому узлу дерева соответствует блок памяти (страница). Внутренние и листовые страницы обычно имеют разную структуру.

Преимущества HDF-файла

Далее указываются основные преимущества, которыми обладает HDF.

Гетерогенные данные. Библиотека поддерживает n-мерные наборы данных, и каждый элемент в наборе данных может сам по себе быть сложным объектом.

Упрощённый обмен данными. Библиотека является портативной, не требует привязки к поставщику данных и представляет собой формат файла с самоописанием, т.е. все данные и метаданные могут передаваться в одном файле.

Кроссплатформенность. Программная библиотека, которая работает на различных вычислительных платформах (от ноутбуков до систем с массовым параллелизмом) и реализует высокоуровневый API с интерфейсами C, C++, Fortran-90, Python и т.д.

Быстрый ввод/вывод. Ввод-вывод с богатым набором интегрированных высокопроизводительных функций, которые позволяют оптимизировать время доступа и пространство для хранения.

«Большие данные». Нет ограничений на количество или размер объектов данных в коллекции, что обеспечивает большую гибкость для больших объёмов данных.

Компрессия данных. Библиотека позволяет хранить и обрабатывать данные в упакованном виде, оптимизируя пространство, занимаемое этими данными.

Банк частиц

Банк (BANK) хранит рождающиеся частицы, подлежащие моделированию, а также позволяет быстро их извлекать из конца или начала очереди. Существует возможность создавать множественные очереди частиц произвольного типа, которые могут участвовать в реализации параллельного расчёта.

Взаимодействие физического модуля с файлами библиотек формата ACE

Необходимую для проведения расчёта информацию о сечениях реакций (обычных и дважды дифференциальных) физический модуль берет из файлов библиотек формата ACE. Возможно использование как с ACE-файлов в исходном текстовом формате, так и ACE-файлов, преобразованных в формат HDF (для преобразования из текстового ACE-формата в бинарный формат HDF разработана специальная программа, которая прилагается к физическому модулю). При работе с форматом HDF считывание данных ACE-файла в оперативную память значительно ускоряется. Физический модуль считывает массив данных из файла в один непрерывный блок памяти. Затем создаются необходимые для работы физического модуля объекты, каждый из которых копирует из блока необходимую ему информацию. После чего блок удаляется.

2. СВЕДЕНИЯ О БИБЛИОТЕКАХ КОНСТАНТ

В состав программы входит библиотека *ENDF/B VII.1* [10] (диапазон температур от 273 К до 3000 К). Благодаря тому, что библиотека представлена в универсальном формате *ACE*, имеется возможность проведения расчёта задач на основе этой же библиотеки с использованием других программ, например, *MCNP* [11] и др. Для формирования констант используется распространённая программа *NJOY-2012* [12] и отечественная разработка *GRUCON* [13].

Библиотека включает в себя данные по выходам ПД, периодам полураспада нестабильных нуклидов, каналам переходов в результате распада или нейтронного взаимодействия. Библиотечный набор данных (Таблица 2) обеспечивает расчёт источников энерговыделения в результате распада нестабильных нуклидов, а также спектры гамма-квантов, образующихся в процессе распада.

Таблица 2. Состав банка данных КИР

Название библиотеки	Описание
ENDF/B-VII.1	Основная библиотека констант взаимодействия нейтронов с ядрами, основанная на международных файлах ядерных данных. Диапазон температур от 273 К до 3000 К.
LIB UNK	Библиотека, используемая при моделировании нуклидной кинетики (выгорание).

3. СОДЕРЖАНИЕ КОМПЛЕКСА

В существующей версии программы имеются следующие каталоги:

KIR_ED – корневой каталог всего комплекса. В нём находится запускающая программа «*kir_ed.exe*» для ОС Windows («*kir_ed.bin*» – для ОС Linux) и рабочие файлы.

В каталоге *PROGRAMS* находятся все вычислительные и служебные программы комплекса.

В каталоге *LIBRARY* находятся следующие библиотеки:

в подкаталоге *kir_lib* – библиотека UNK для программы КИР.

Вспомогательные каталоги:

TEST – тестовые задания и результаты расчётов (Приложение А "Описание тестовых заданий и результатов расчётов");

DOC – документация

"Руководство пользователя КИР (Учебная версия 1.0)" и

"Руководство пользователя Визуализатор КИР (Учебная версия 1.0)"

Библиотека ENDF/B-VII.1 представлена отдельно на трёх дисках (e-71.njoy.tpc-ed.hdf).

4. УСТАНОВКА КИР

Для установки программы «КИР» необходимо записать на жёсткий диск компьютера, с прилагаемого CD-диска, USB носителя или иного устройства, весь набор каталогов и находящихся в них файлов с сохранением структуры каталогов. Комплекс готов к работе после записи.

По умолчанию, на носителе находятся исполняемый файл программы КИР – *kir_ed* и каталоги библиотеки оценённых ядерных данных *ENDF/B-VII.I*. При копировании каталогов требуется запомнить пути их размещения на жёстком диске. В дальнейшем путь к исполняемому файлу будет обозначаться как *PATH_KIR*, а путь к библиотеке – как *PATH_LIB*.

Использование с CD-диска или иного устройства с неразрешённой на него записью не допускается.

5. ЗАПУСК КИР

При запуске любого расчёта по программе КИР необходимы следующие файлы (по умолчанию):

- Файл *kir_ed* – программа КИР
- Файл *KIR.INI* (Файл должен содержать название файла варианта, который требуется рассчитать, с двумя пустыми строками с пробелом.)

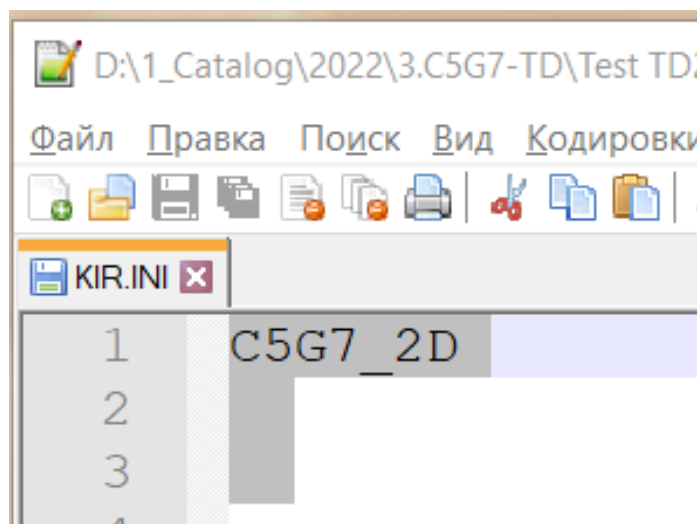


Рисунок 2 – Отображение названия варианта в файле

- Файл варианта (Пример: *C5G7_2D*)
- Файл материального состава *physics.dat*

Windows

Для выполнения расчёта необходимо запустить исполняемый файл *kir_ed* двойным щелчком правой кнопкой мыши. Данный метод запустит расчёт в однопроцессорном режиме. Перед запуском необходимо установить пакет программ «Microsoft MPI» из дистрибутива на диске.

Для удобства работы можно создать скрипт для запуска программы.

Для запуска программы через скрипт в однопроцессорном режиме создайте *bat*-файл (например, “*kir.bat*”), в котором разместите команду:

`PATH_KIR/kir_ed %1`

При запуске скрипта (*bat*-файла) программа *kir_ed* может находиться в любой удобной для пользователя директории – *PATH_KIR*, но в данном случае в *bat*-файле требуется задать путь к программе.

Для запуска программы в многопроцессорном режиме требуется также создать скрипт, в котором необходимо разместить следующую команду:

```
"%MSMPI_BIN%mpiexec.exe" -n N kir.bat %1
```

где N – необходимое количество используемых процессоров, *MSMPI_BIN* – переменная окружения, устанавливается автоматически с пакетом «Microsoft MPI».

Данный скрипт запускает созданный выше скрипт для однопроцессорного режима (*bat*-файл) в многопроцессорном режиме.

Linux

Для запуска программы в операционной системе Linux, требуется создать скрипт (например, “*mpi_kir.sh*”), который будет содержать следующие строки команд:

```
#!/bin/bash
```

```
rm *.KIR*
```

```
rm *.SCR*
```

```
rm *.LST*
```

```
rm *.SYS*
```

```
rm *.HDF*
```

```
rm *.h5*
```

```
export LD_LIBRARY_PATH=$HDF5_LIBS_STATIC:$LD_LIBRARY_PATH
```

```
export HDF5_USE_FILE_LOCKING=FALSE
```

```
ulimit -s unlimited
```

```
export GFORTRAN_UNBUFFERED_ALL=Y
```

```
mpirun -np 64 ~/bin/kir_ed.bin
```

Переменная `HDF5_LIBS_STATIC` содержит путь на библиотеки HDF.

При запуске скрипта (bash-файла) программа *kir_ed* может находиться в любой удобной для пользователя директории – *PATH_KIR*, но в данном случае в bash-файле требуется задать путь к программе.

Если необходимо произвести запуск на кластере, то в командной строке введите:

```
sbatch mpi_kir.sh
```

6. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ФИЗИЧЕСКОГО МОДУЛЯ

Физический модуль (PHYSICS) формирует сечения и другие характеристики взаимодействия нейтронов со средой. В программе КИР используется физический модуль **РНМ** (PHysics Module – Физический Модуль). Модуль позволяет решать задачи, связанные с моделированием стационарных и нестационарных процессов, происходящих в ядерных реакторах, а также задачи радиационной безопасности.

Физический модуль РНМ позволяет учитывать эффекты непрерывного изменения энергии нейтрона при столкновениях, а также непрерывную зависимость сечений от энергии.

При проведении расчетов по программе КИР с использованием физического модуля РНМ, необходим дополнительный файл с материальным составом рассматриваемой модели, в котором описываются концентрации материального состава модели. По умолчанию входной файл должен иметь следующее имя – *physics.dat*. Также, при данном виде расчета требуется наличие файлов библиотеки оцененных ядерных данных для всех нуклидов, описанных в данном файле.

6.1. Файл материалов

В файле *physics.dat* содержится информация о материалах модели, их температурах, изотопном составе и признаках, является ли изотоп выгорающим. Информация о файлах библиотеки, их местоположения и методов расчёта берётся из файла *default.phm*, в файле *physics.dat* указываются лишь имена изотопов. Формат файла следующий. В первой строке указывается директория, в которой лежит файл *default.phm*. В последующих строках указывается материальный состав. Каждый материал задается следующим образом. Сначала идет строка, в которой указывается температура. Если температура не указана, то задается по умолчанию – *300K*. Затем задается материальный состав – по одной строке на каждый изотоп, в

каждой строке сначала указывается концентрация, а затем имя изотопа. Между двумя материалами должна быть пустая строка.

Пример файла *physics.dat*:

D:\ACE\ENDFB8\

T=400

3.3444e-02 O16

T=500

4.5486e-04 Pu239

2.4984e-05 Pu240

Здесь в первой строке указана директория, в которой лежит файл *default.phm* и затем заданы два материала. Первый материал состоит из одного изотопа с именем O^{16} с концентрацией $3.3444e-02$ при температуре $400K$, а второй материал состоит из двух изотопов с именами Pu^{239} и Pu^{240} и температурой $500K$.

6.2. Задание термализационных матриц

Для задания термализационной матрицы необходимо после имени изотопа поставить символ «|» и имя термализационной матрицы. Перед символом «|» и после него должен быть хотя бы один пробел.

Пример:

T=300

6.6888e-02 H2 | DD2O

3.3444e-02 O16

Здесь для изотопа с именем “H2” задана термализационная матрица с именем “DD2O”.

6.3. Задание выгорающих изотопов

Выгорающие изотопы можно отметить символом «@» в начале строки, например:

@4.5486e-04 Pu239

@2.4984e-05 Pu240

6.6888e-02 H2 | DD2O

3.3444e-02 O16

Можно также указать номера выгорающих изотопов в начале материала в первых строках после указания температуры, например:

T=500

@(4 - 12)

@(22 - 67)

4.5486e-04 Pu239

2.4984e-05 Pu240

...

В этом случае в материале выгорающими будут изотопы с 4 по 12 и с 22 по 67. Если в материале все изотопы выгорающие, это можно отметить символами «@@» в начале материала, после указания температуры, например

T=600

@@

4.5486e-04 Pu239

2.4984e-05 Pu240

...

В этом случае во втором материале все изотопы будут выгорающими.

Можно также задать номера материалов, в которых все выгорающие изотопы во второй и последующих строках файла с входными данными после трех символов «@@@» например:

D:\ACE\ENDFB8\

@@@(2 - 5)

@@@(7 - 18)

T=400

6.6888e-02 H2 | DD2O

3.3444e-02 O16

T=2100

4.5486e-04 Pu239

2.4984e-05 Pu240

...

В этом случае у материалов с 2 по 5 и с 7 по 18 все изотопы будут выгорающими.

6.4. Копирование материалов

Задать несколько материалов с одинаковым изотопным составом можно один раз задав этот материал, а затем вместо материала поставить знак «\$» и номер материала, данные которого нужно скопировать.

Пример:

T=1900

4.5486e-04 Pu239

2.4984e-05 Pu240

T=400

6.6888e-02 H2 | DD2O

3.3444e-02 O16

T=2000

4.5486e-04 U235

2.4984e-05 U238

\$2

T=1800

4.5486e-04 U234

2.4984e-05 U235

6.5. Файл настройки библиотеки

Файл *default.phm* должен находиться в директории, указанной в первой строке файла *physics.dat* и должен содержать информацию об используемых физмодулем ACE-библиотеках. У файла следующий формат. В первой строке должен быть указан набор температур, для которых имеются ACE-файлы. Начинаться строка должна с символов «T={» далее должны быть через запятую перечислены температуры и завершаться строка должна символом «}».

Пример:

T={300,400,500,600}

В последующих строках файла должна содержаться информация о содержащихся в библиотеке изотопах, на каждый изотоп по одной строке. Формат строки следующий. Начинаться строка должна с имени изотопа, которое будет использоваться для задания изотопного состава в *physics.dat*, затем должен быть указан набор параметров в виде:

<имя параметра> = <значение>.

ace

Параметр **ace** – имя ACE-файла. В имени файла символы {T} будут заменены на температуру. Например, если в файле содержится строка:

H1 ace=D:\ENDFB8\{T}\001H_001.{T}

а первая строка файла такая, как в предыдущем примере, то физмодуль будет предполагать, что для изотопа, заданного в *physics.dat* под именем H1 имеются следующие ACE-файлы

D:\ENDFB8\300\001H_001.300

D:\ENDFB8\400\001H_001.400

D:\ENDFB8\500\001H_001.500

D:\ENDFB8\600\001H_001.600

для температур 300, 400, 500 и 600K соответственно. Наличие параметра **ace** является обязательным, при его отсутствии будет выдано сообщение об ошибке. Все остальные параметры являются необязательными, при их отсутствии будут использоваться значения по умолчанию.

fiss

Параметр **fiss** – является ли нуклид делящимся. Допустимые значения *false* и *true*. Значение по умолчанию *false*.

ptable

Параметр **ptable** – использовать ли для этого нуклида вероятностные таблицы. Допустимые значения *true* и *false*. Значение по умолчанию *false*.

В случае, если указано значение *true*, а в ACE-файле вероятностных таблиц нет, или, если, наоборот, указано значение *false*, а в ACE-файле вероятностные таблицы есть будет выдано соответствующее предупреждение.

В обоих случаях расчет будет продолжен без использования вероятностных таблиц.

delayed

Параметр **delayed** – использовать ли информацию о запаздывающих нейтронах. Допустимые значения параметра: *0* – не использовать, *p* – только мгновенные нейтроны, *pd* – мгновенные и запаздывающие нейтроны. Значение по умолчанию *0*. Если нуклид не делящийся, а указанное значение не *0*, выдаётся сообщение об ошибке.

thermal

Параметр **thermal** – является ли ACE-файл тепловым ACE-файлом. Допустимые значения *true* и *false*. Значение по умолчанию *false*. В случае, если указано *ptable=true* или **delayed** не равно *0* будет выдано сообщение об ошибке.

hdf

Параметр **hdf** – представлен ли ACE-файл в формате HDF. Допустимые значения *true* и *false*. Значение по умолчанию *false*.

isotropic

Параметр **isotropic** – использовать ли при моделировании угла рассеяния у нуклида изотропное распределение, или моделировать то, которое задано в ACE-файле. Допустимые значения *true* и *false*. Значение по умолчанию *false*.

T

Параметр **T** – набор температур. Используется только для задания сетки температур термализационных матриц. Формат такой же, как при задании температур в первой строке файла. Значение по умолчанию – набор

температур, заданный в первой строке файла. Параметр может быть задан только при *thermal=true*.

sigma1

Параметр **sigma1** – выполнять ли в процессе расчёта доплеровское уширение по методу SIGMA1. Допустимые значения – *true*, *false* и *OnTheFly*. Значение по умолчанию *false*. Если указано *false*, то в процессе счета доплеровское уширение не выполняется. Если указано *true*, то доплеровское уширение выполняется с использованием кэша. Если указано *OnTheFly*, то выполняется доплеровское уширение без использования кэша. Если *thermal=true*, а *sigma1* не равно *false*, выдаётся сообщение об ошибке.

7. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ

Геометрический модуль (NCG) определяет местонахождение частицы, отслеживает её перемещение в пространстве и вычисляет все необходимые функции, аргументами которых служат пространственные координаты [15]. В программе используется усовершенствованный подход по разработке и развитию геометрического модуля NCG. Геометрический модуль программы КИР позволяет моделировать трёхмерные системы с произвольной геометрией, используя комбинаторный подход, основанный на описании сложных пространственных форм комбинациями простых тел с помощью теоретико-множественных операций пересечения, дополнения и объединения на основе некоторого набора типов тел-примитивов. Возможно задание сетей и решёток, получаемых размножением некоторых исходных элементов, заданных с помощью комбинаторики.

Имеется некоторый набор типов тел-примитивов. Для каждого типа тела имеется система параметров, полностью описывающая форму конкретного тела и его положение в пространстве. Каждому типу тела соответствует программа, определяющая точки пересечения любой прямой с любым конкретным телом этого типа. Для обеспечения эффективности счёта все тела ограничены плоскостями или поверхностями второго порядка.

Возможно задание решёток, получаемых размножением некоторых исходных элементов, заданных с помощью комбинаторики.

В модуле помимо представления повторяющихся геометрических объектов с помощью решёток, введены так называемые сети. Элемент сети не размножается в процессе ввода, расчёт траектории внутри него производится в локальной системе координат. Таким образом, иерархия геометрических объектов частично сохраняется и на фазе счёта. Сеть всегда состоит из плотно примыкающих друг к другу элементов с одинаковой внешней формой. Преобразования координат сводятся к сдвигам и не замедляют расчёт. Это радикально упрощает задание геометрии и экономит оперативную память компьютера.

На границе рассматриваемой системы обязательно должны быть заданы граничные условия. Все граничные условия можно разделить на два класса:

условия, отображающие симметрии системы;

условия, отображающие физические свойства системы.

Детализация возможных граничных условий приведена в описании исходных данных для геометрического модуля. Здесь мы ограничимся их перечислением.

Симметрия – это характеристика тела трёхмерного пространства, по отношению к которой описание системы инвариантно. В программе можно задать следующие симметрии:

1. зеркальная симметрия;
2. поворотная симметрия;
3. сдвиговая (трансляционная) симметрия.

Можно использовать следующие физические граничные условия:

1. чёрная поглощающая поверхность (условие вылета из системы);
2. белое (изотропное) отражение.

Кроме условий утечки и отражения допускается их комбинация, когда на внешней поверхности системы задаётся некоторое положительное альбедо $\alpha < 1$. При пересечении траекторией частицы поверхности с вероятностью α происходит отражение, а с вероятностью $(1 - \alpha)$ – поглощение.

В данном разделе описываются правила задания исходных данных для:

- геометрического модуля NCG с компилятором с языка NCGSIM,
- специального алгоритма учёта зернистой микроструктуры топлива,
- использования метода выровненных сечений.

Полное руководство по использованию языка NCGSIM состоит из двух разделов: описание простой системы и задание сложных систем. Первый раздел содержит законченную инструкцию для пользователей, не нуждающихся в сложных конструкциях языка NCGSIM. Кроме того, он служит введением, облегчающим понимание изложения второго раздела.

В дальнейшем в этом разделе необязательные секции и параметры файла исходных данных приводятся в квадратных скобках '[...]'. Фигурные скобки обозначают альтернативные варианты.

Введём некоторые определения и основные понятия.

Для описания геометрии в модуле используется декартова система координат. Расположение начала системы координат и ориентация осей в пространстве могут быть выбраны произвольно, наиболее удобно для пользователя. Эту систему координат далее будем называть глобальной. Отдельные элементы при задании многоуровневой (сложной) геометрии могут быть описаны в локальных системах координат.

В модуле используется комбинаторный способ задания геометрии с помощью простейших геометрических областей, которые называются телами. Примерами тел-примитивов являются шары, параллелепипеды, цилиндры и т.д.

Каждое тело имеет тип и параметры, описывающие конкретные размеры тела и его положение в пространстве. Например, для шара параметрами являются положение центра и радиус.

При описании конкретной системы используется конечное число тел, к которым применяются три операции теории множеств: дополнение, пересечение и объединение. Это позволяет строить достаточно сложные формы.

Конечная область пространства, внутри которой производится расчёт, называется контейнером системы. Она разбивается на конечное число областей, называемых геометрическими зонами или просто зонами. Геометрические зоны строятся из тел с помощью трёх вышеупомянутых операций.

Любая точка системы входит только в одну геометрическую зону. Исключением являются точки границ зон. Геометрическая зона считается гомогенной, то есть однородной по своим свойствам. В частности, это означает, что любая зона состоит из одного материала.

Номер материала, которым заполнена геометрическая зона, называется материальным номером этой зоны. Под материальной зоной понимается совокупность всех точек пространства с одинаковым материалом. Очевидно, что материальная зона составляется как совокупность геометрических зон, взятых целиком. Отдельные части материальной зоны могут не иметь общих границ.

Для работы регистрационного модуля в контейнере системы выбираются два независимых набора областей, называемых регистрационными зонами и регистрационными объектами, в которых, вообще говоря, могут оцениваться совершенно разные наборы функционалов потока частиц. Любая регистрационная зона или регистрационный объект составлена из одной или нескольких геометрических зон, и каждая геометрическая зона входит в одну регистрационную зону, а также в один регистрационный объект. Номер регистрационной зоны, к которой принадлежит данная геометрическая зона, называется её регистрационным номером, а номер соответствующего регистрационного объекта – объектным номером.

На поверхности контейнера должны быть заданы граничные условия. Считается, что вся внешняя граница может быть разбита на несколько поверхностей, и в пределах одной поверхности устанавливается одно граничное условие. Типичными граничными условиями являются: трансляция, зеркальное отражение, белое отражение и утечка.

Расчёт всегда осуществляется в конечной области пространства. При необходимости выполнить расчёт в бесконечной области, вычисления ведутся в конечной части области, а бесконечность описывается с помощью граничных условий зеркальной симметрии или трансляции.

Таким образом, описать геометрию системы – это значит задать:

- все геометрические зоны, составляющие систему;
- соответствие материальных, регистрационных и объектных номеров геометрическим зонам;

- граничные условия на внешней поверхности системы.

Описание данных для задания геометрии представляет собой последовательность строк текстового файла, заканчивающуюся строкой с идентификатором FINISH в начале строки без пробельных символов.

Ввод и обработка фрагмента с данными для модуля производится программными средствами стандартного ввода, описанными выше.

7.1. Простые системы

Описание простой системы состоит из последовательности предложений (см. Приложение А). Некоторые предложения объединены в секции. Порядок секций строго фиксирован и имеет следующий вид:

<заголовок>

<секция граничных условий>

<секция тел>

<секция зон>

[<таблица объёмов регистрационных зон>]

FINISH

Заголовок состоит из одного предложения:

HEAD [<целое число 1>[<целое число 2>[<целое число 3>]]]

Обязательной в этом предложении является только метка HEAD.

<целое число 1> принимает значения 0, 1, 2, 3, 4 (значение по умолчанию равно 1):

0 – отсутствие печати на вводе;

1 – печать вводимых строк;

2 – то же, что 1 и остановка после ввода;

3 – то же, что 1 и печатаются таблицы тел и зон в памяти;

4 – то же, что 3 и остановка после ввода.

<целое число 2> – отвечает за управление трассировкой (значение по умолчанию есть 0), обозначим его Nt:

$N_t = 0$ – отсутствие трассировки;

$N_t > 0$ – выдача первых N_t точек трассировки, затем трассировка выключается;

$N_t = -1$ – трассировка на протяжении всего времени моделирования;

$N_t < -1$ – выдача $-N_t$ первых точек трассировки, затем происходит остановка задачи.

$\langle \text{целое число } 3 \rangle$ – задаёт количество дополнительных позиций, отводимых под списки поиска (значение по умолчанию равно 400). Если при счёте возникает сообщение диагностики,

NO PLACE FOR LIST

то для ускорения счёта можно увеличить это значение. Изменение этого значения не отражается на результатах моделирования.

Секция граничных условий состоит в задании контейнера, в котором определены тела системы и условий на поверхностях этого контейнера. Есть два способа определения контейнера.

Первый способ состоит в описании плоскостей симметрии, каждая из которых задана предложением вида:

MIR P Q

P – вектор, Q – скаляр. Компоненты P и Q – явно заданные константы или имена констант. Разделителями служат пробелы или запятые. Плоскость симметрии имеет уравнение: $(P, x) + Q = 0$. Вектор P направлен внутрь контейнера. Плоскости симметрии задают ограниченный многогранник, который и является контейнером системы.

Строка с меткой END должна завершать секцию граничных условий.

Далее в примере задан контейнер – конечная призма, которая пересекается плоскостью OXY по треугольнику с вершинами (0, 0, 0), (1, 0, 0), (0, 1, 0) и имеет основания $\{z = 0\}$ и $\{z = 1\}$.

Пример.

MIR 1,0,0 0

MIR 0,1,0 0

MIR -1,-1,0 1

MIR 0,0,1 0

MIR 0,0,-1 1

END

При втором способе контейнером служит первое тело в секции описания тел. В качестве контейнера можно использовать тела: SPH, RPP, HEX, RCZ, BOX (см. описание секции тел).

Контейнер задаётся одним предложением:

CONT <список граничных условий> [S<угол>[<угол>]] PRS<угол>[<угол>]]

<список граничных условий> состоит из столькох фрагментов, сколько имеется граничных поверхностей у тела, служащего контейнером.

Каждый фрагмент имеет структуру: В или W[<вероятность>] или M[(<вероятность>)] или C[<вероятность>] или Т.

<вероятность> – действительное число, принадлежащее интервалу (0; 1) и задающее вероятность отражения. В противном случае происходит поглощение частицы. Если вероятность не задана, то считается, что происходит отражение.

- В – все вылетающие частицы поглощаются (“чёрная” граница);
- W – “белое” отражение, при котором поток отражённых на границе частиц считается изотропным по направлениям, а градиент потока перпендикулярен нормали. Рассмотрим сферическую систему координат (t, f) с полюсом, соответствующим внутренней нормали, где t – полярный угол, а f – азимутальный. Тогда для отражённых частиц $\cos^2(t)$ имеет равномерное распределение на отрезке [0; 1], а f – на единичной окружности. В скобках может быть указана вероятность

отражения, если некоторая доля долетающих до границы частиц поглощается;

- М – зеркальное отражение, в скобках может быть указана вероятность отражения, если некоторая доля частиц поглощается;
- С – белое цилиндрическое отражение, допустимое на боковой поверхности вертикального цилиндра. При таком отражении z-компонента направления полёта не меняется, а x- и y- компоненты соответствуют изотропному в плоскости OXY потоку с градиентом, перпендикулярным внутренней нормали поверхности. Для отражённых частиц синус угла между направлением и внутренней нормалью равномерно распределён на $[-1; 1]$. В скобках может быть указана вероятность отражения, если некоторая доля частиц поглощается;
- Т – трансляционная симметрия. Такой тип симметрии можно задавать на всех гранях тел RPP, BOX и HEX и на верхней и нижней гранях тела RCZ. Эта симметрия должна быть задана согласованно на противоположных гранях. Трансляционная симметрия допускается на боковой поверхности тела RCZ, если ось цилиндра совпадает с осью OZ, и на поверхности шара, если центр шара расположен в начале координат. В первом случае граничная точка (a, b, c) переходит в точку (-a, -b, c), а во втором – в точку (-a, -b, -c).

Фрагменты задаются в порядке нумерации граней, приведённом в секции описания тел.

S<угол> определяет вертикальный угол зеркальной симметрии от 0 (плоскость OXZ) до положения, определяемого параметром <угол> в градусах. Допустимые значения этого параметра: 180, 90, 60, 45, 30. Если угол симметрии введён, то условие трансляции может быть задано только на нижней и верхней гранях тел типа RPP, HEX или RCZ (см. ниже в секции тел).

Дополнительный угол означает поворот угла симметрии на заданное число градусов против часовой стрелки вокруг вертикальной оси.

Пример.

Задаётся угол симметрии, соответствующий диапазону углов [45;135], то есть прямой угол с вертикальной биссектрисой:

CONT T T C S90 45

PRS<угол> – соответствует предыдущей, за исключением того, что плоскости симметрии расположены симметрично относительно OXZ и образуют с осью OX угол, определяемый параметром <угол>. Смысл дополнительного угла тот же, что и в предыдущем случае.

Пример (Первое тело есть RCZ):

CONT T T W(0.5) PRS60

Два способа определения контейнера имеют важное различие. Плоскости симметрии (как заданные предложениями MIR, так и заданные конструкцией S или PRS) не входят явно в определение зон. При проведении траектории учитывается возможность пересечения этих плоскостей с любой зоной. Пользователь может описывать геометрию, не заботясь об этих границах.

Тело-контейнер – это одно из тел, из которых строится комбинаторное описание зон. Пересечения других тел с контейнером должно явно указываться.

Пример:

Пусть контейнером служит параллелепипед RP, и задан угол симметрии S90. Задан шар SP, который пересекается как с телом RP, так и с плоскостью $\{y=0\}$. Нужно описать зону пересечения шара с контейнером, заштрихованную на рисунке 3.

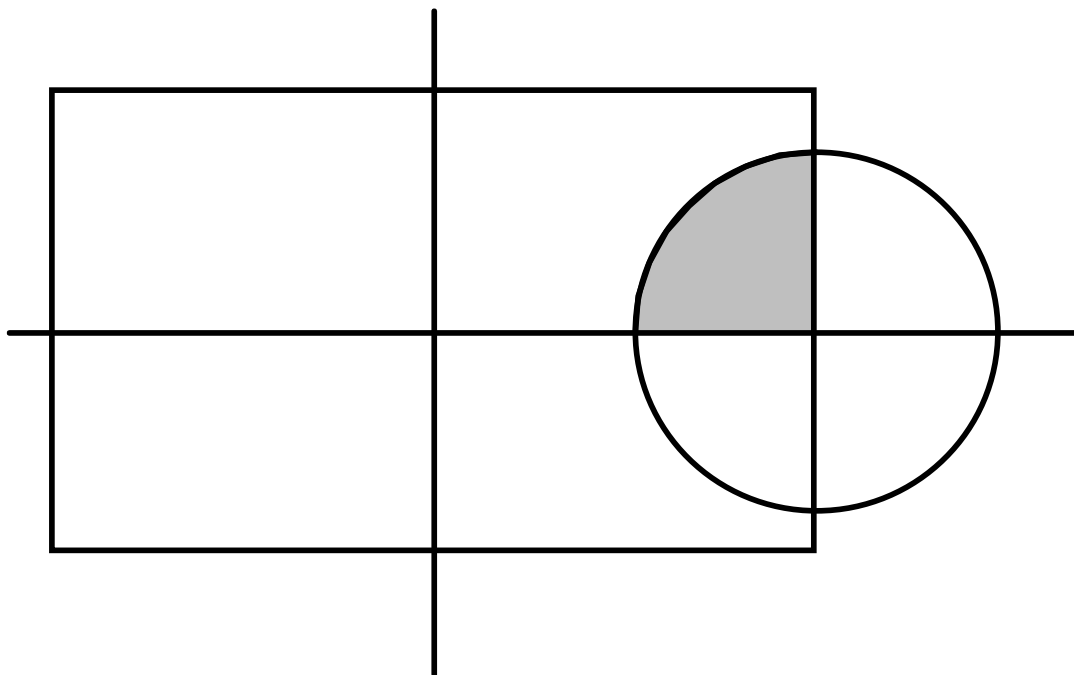


Рисунок 3 – Пересечение тел

Корректный вариант описание будет

RP SP

так как ограничение плоскостью симметрии будет автоматически учтено.

В некоторых случаях требуется автоматическая проверка выхода частицы за пределы тела контейнера для любой геометрической зоны. Это требует дополнительных затрат времени счёта, но часто сильно сокращает подготовку данных. Для этого перед строкой CONT в файле исходных данных должна быть строка

CNTAND

На основании этого признака к любой зоне глобальной геометрии, включая и элементы решёток, добавляется операция пересечения с телом-контейнером, что обеспечивает контроль выхода за его пределы.

7.2. Описание тел

В секции тел последнее кодируется с помощью трёх- или четырёх-символьного ключа, обозначающего тип тела, и набора числовых

параметров. Параметры тела должны задаваться в том порядке, в котором они перечисляются в описании.

После ключа в скобках дано однобуквенное обозначение тела, которое используется только при печати таблицы тел.

Если тело используется как контейнер, то на его границах задаются граничные условия. Граница тела делится на составляющие её поверхности, нумеруемые целыми числами 1,2,... Для каждого типа тела дано разбиение границы на поверхности и их нумерация.

Каждое тело описывается одним предложением вида:

<метка> <имя тела> <параметры>

<метка> определяет тип одного из перечисленных ниже тел в виде трёхсимвольного ключа.

<имя тела> – служит для ссылок на него. Это есть идентификатор, содержащий не более 6 латинских букв и цифр и начинающийся с буквы. Вместо этого идентификатора может стоять символ '*'. В этом случае тело получает имя N<порядковый номер тела>. В качестве имени тела нельзя использовать идентификаторы U и T, которые имеют специальный смысл.

<параметры> – константы, включая числа или выражения по количеству параметров для данного типа тела. Разделителями служат пробелы или запятые (возможно, вместе с пробелами). Поэтому в выражениях не должно быть внутренних пробелов. В описании тела ARB используется символ '/', обозначающий начало описания граней. Этот символ должен быть окружён пробелами.

Раздел заканчивается специальной строкой, содержащей символы END в качестве метки предложения.

Далее приводятся описания тел с указанием их типа и используемых параметров, на рисунках 4-16 изображены эти тела.

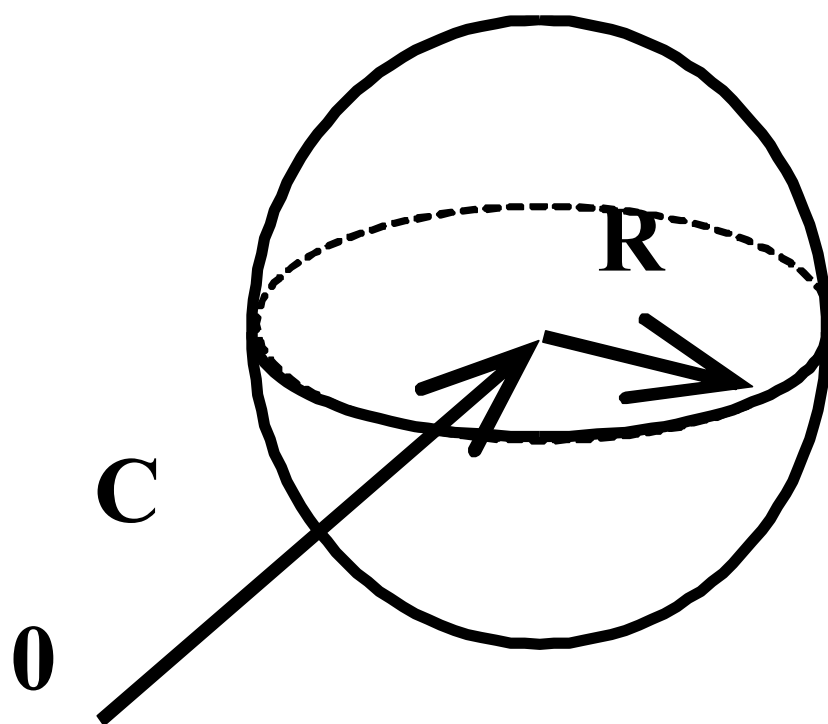


Рисунок 4 – Шар: SPH (S)

Параметры: \mathbf{C} , \mathbf{R} . \mathbf{C} – радиус-вектор центра, \mathbf{R} – радиус шара. Вся граница представляет одну поверхность.

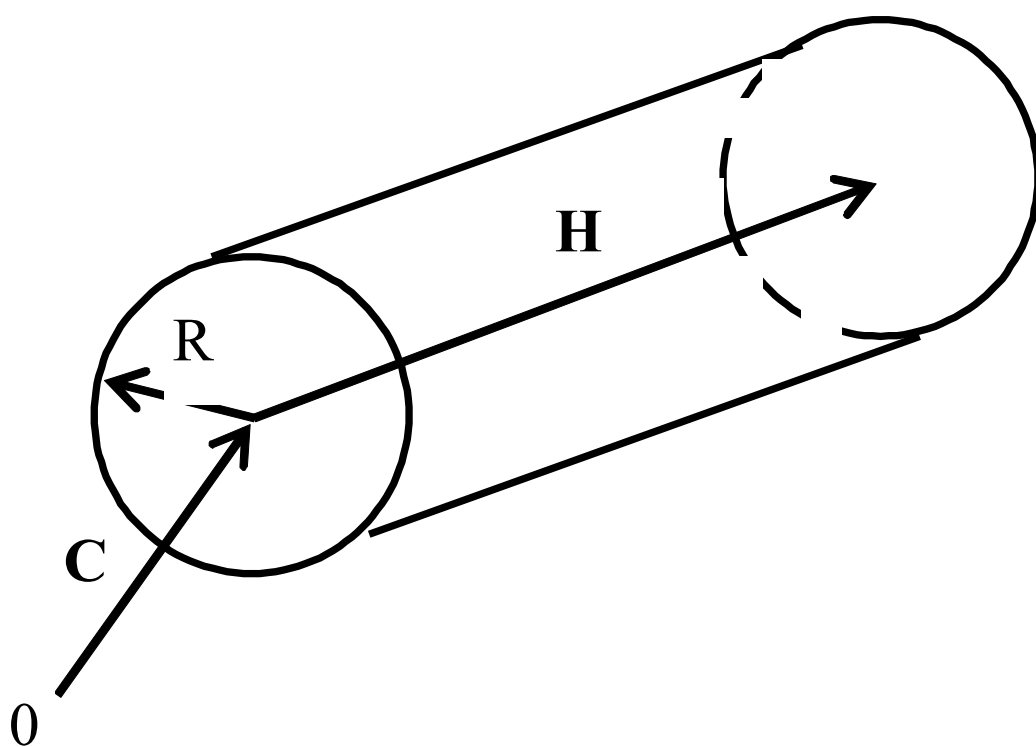


Рисунок 5 – Правильный круговой цилиндр: RCC (C)

Параметры: C , H , R . C – радиус-вектор центра одного из оснований. H – вектор, соединяющий центр этого основания с центром другого основания, R – радиус цилиндра.

Поверхности: первое основание (номер 1), второе основание (2), боковая поверхность (3).

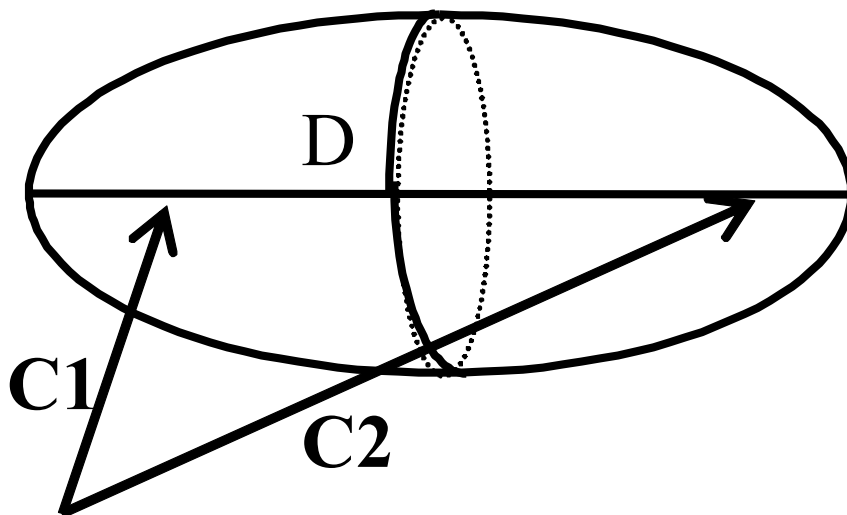


Рисунок 6 – Эллипсоид вращения: ELL (E)

Параметры: C_1 , C_2 , D . C_1 , C_2 – радиус-векторы фокусов, D – длина малой полуоси. Граница состоит из одной поверхности.

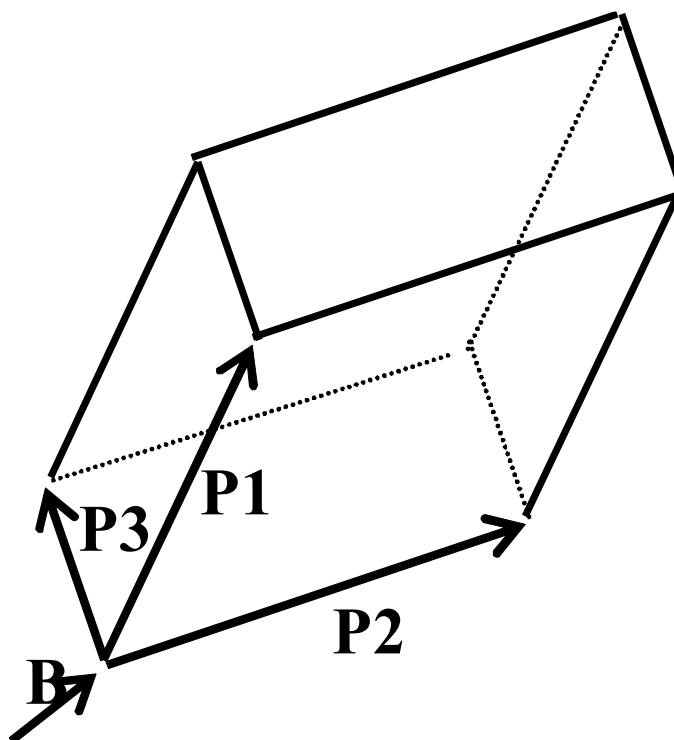


Рисунок 7 – Произвольный параллелепипед: BOX (B)

Параметры: \mathbf{V} , \mathbf{P}_1 , \mathbf{P}_2 , \mathbf{P}_3 . \mathbf{V} – радиус-вектор вершины параллелепипеда, \mathbf{P}_1 , \mathbf{P}_2 , \mathbf{P}_3 – векторы, совпадающие по направлениям и длинам с тремя рёбрами, идущими из \mathbf{V} .

Поверхностями служат 6 граней тела, перечисляемые по порядку номеров: грань, содержащая \mathbf{P}_1 и \mathbf{P}_2 ; противоположная грань; грань с \mathbf{P}_2 и \mathbf{P}_3 ; грань с \mathbf{P}_1 и \mathbf{P}_3 ; грань, противоположная третьей; грань, противоположная четвёртой.

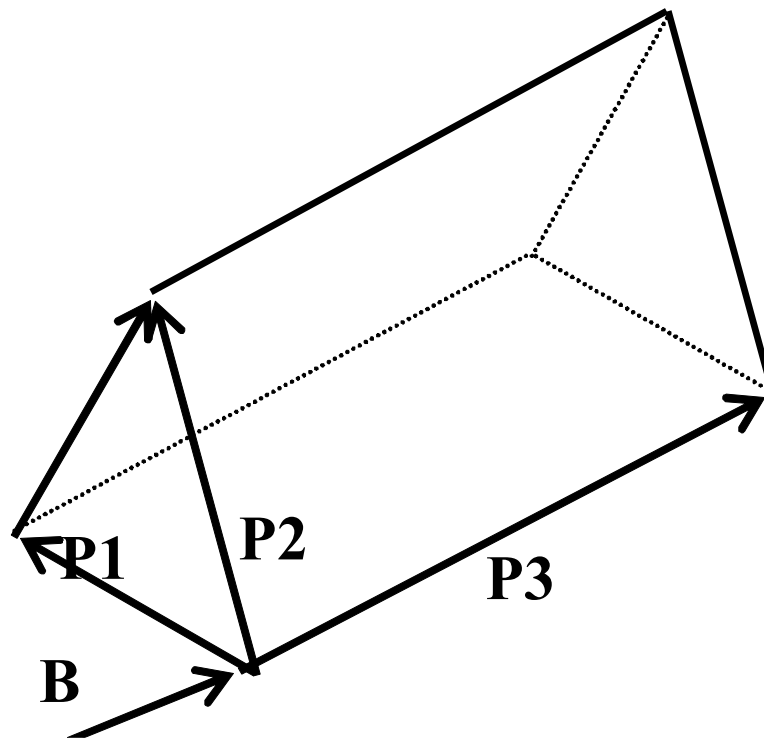


Рисунок 8 – Призма с треугольником в качестве основания: WED (W)

Параметры: \mathbf{V} , \mathbf{P}_1 , \mathbf{P}_2 , \mathbf{P}_3 . \mathbf{V} – радиус-вектор вершины; \mathbf{P}_1 , \mathbf{P}_2 , \mathbf{P}_3 – рёбра, исходящие из \mathbf{V} , причём \mathbf{P}_1 и \mathbf{P}_2 лежат в основании, а \mathbf{P}_3 параллелен образующей.

Поверхностями служат 5 граней тела, перечисляемые по порядку номеров: грань, содержащая \mathbf{P}_1 и \mathbf{P}_2 ; противоположная грань; грань, содержащая \mathbf{P}_1 и \mathbf{P}_3 ; грань параллельная \mathbf{P}_3 ; грань, содержащая \mathbf{P}_2 и \mathbf{P}_3 .

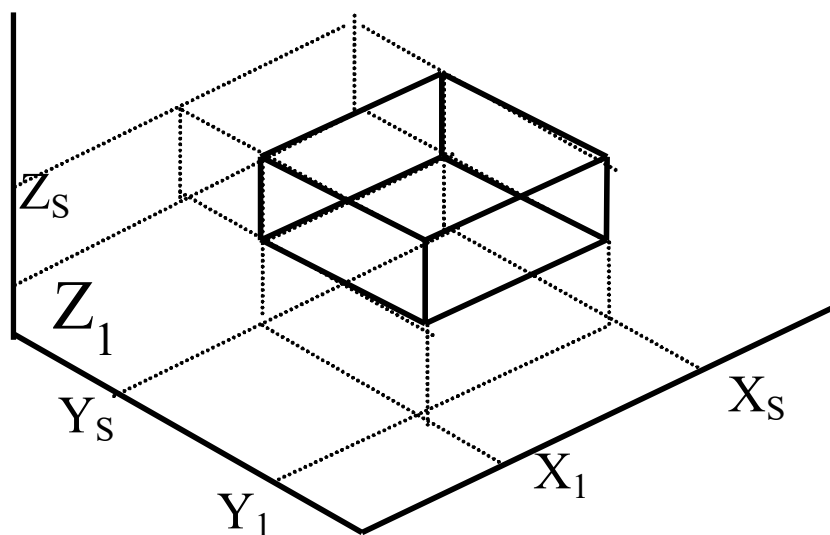


Рисунок 9 – Параллелепипед с рёбрами, параллельными осям координат:

RPP (P)

Параметры: $X_1, X_s, Y_1, Y_s, Z_1, Z_s$ ($X_1 < X_s, Y_1 < Y_s, Z_1 < Z_s$); тело задано неравенствами $X_1 < x < X_s, Y_1 < y < Y_s, Z_1 < z < Z_s$.

Поверхностями служат 6 граней тела, перечисляемые по порядку: ($z=Z_1$), ($z=Z_s$), ($x=X_1$), ($y=Y_1$), ($X=X_s$), ($Y=Y_s$).

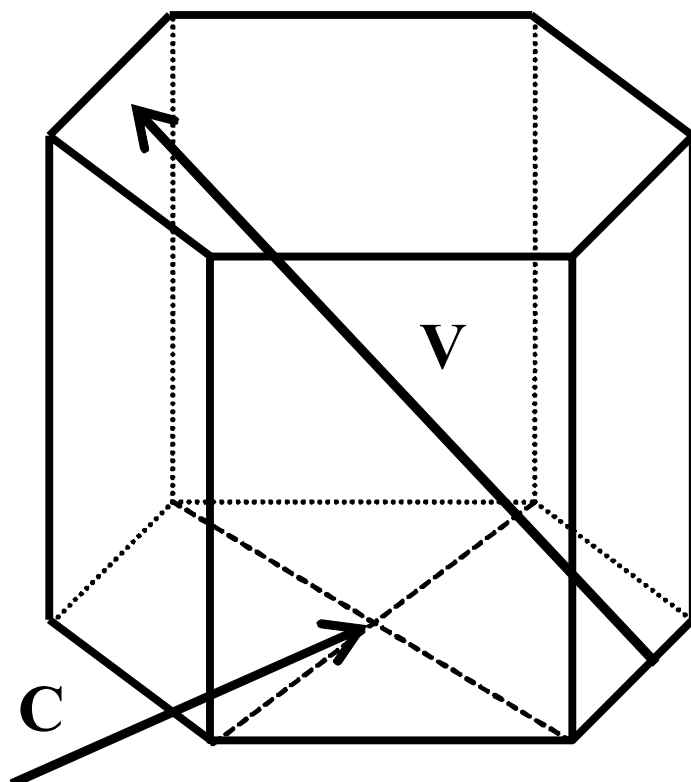


Рисунок 10 – Правильная шестиугольная призма с образующей, параллельной оси OZ: HEX (H)

Параметры: C, V . C – радиус-вектор центра нижнего основания; V – вектор, соединяющий середину ребра нижнего основания с серединой противоположного ребра верхнего основания. Первые две координаты V задают размер шестиугольника "под ключ" и его поворот в плоскости OXY , а третья координата V – это высота призмы.

Поверхностями служат 8 граней тела, перечисляемые по порядку: нижнее основание; верхнее основание; боковая грань, из которой выходит вектор V ; далее идут последовательно грани, полученные из третьей поворотами против часовой стрелки вокруг оси OZ соответственно на 60, 120, 180, 240 и 300 градусов.

Имеется ещё два альтернативных способа задания шестигранника.

Первая альтернативная форма, HEXX

Параметры: $C, H, D, [f]$. C – радиус-вектор центра нижнего основания; H – высота; D – размер под ключ; f – угол поворота относительно оси OX в градусах, то есть параметрам H, D, f соответствует вектор V с координатами $(D\cos(f), D\sin(f), H)$. Параметр f не обязателен. Его значение по умолчанию равно 0.

Нумерация поверхностей определяется так же, как в случае HEX.

Вторая альтернативная форма, HEXY

Параметры те же, что и в предыдущем случае, но тело повернуто на 90 градусов против часовой стрелки. Угол f отсчитывается от оси OY . Вектор V имеет координаты $(-D\sin(f), D\cos(f), H)$.

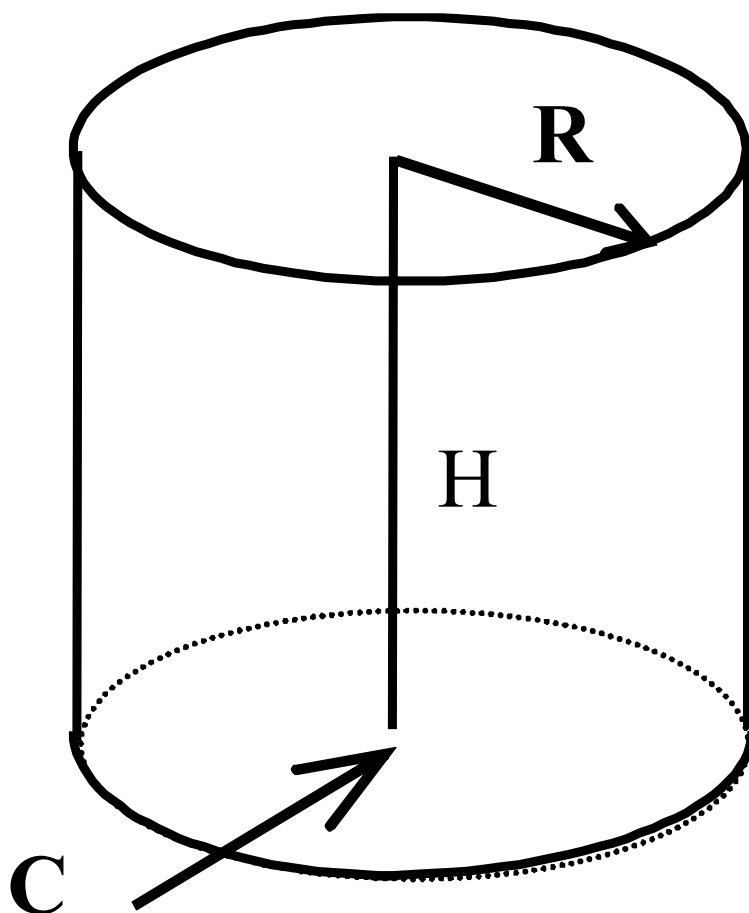


Рисунок 11 – Прямой круговой цилиндр с образующей, параллельной оси OZ : $RCZ(Z)$

Параметры: C, H, R . C – радиус-вектор центра нижнего основания, $H > 0$ – высота, R – радиус цилиндра.

Поверхности: нижнее основание, верхнее основание, боковая поверхность.

Бесконечный цилиндр, ориентированный по оси X , Y или Z , соответственно, $UCX(x)$, $UCY(y)$, $UCZ(z)$.

Параметры для UCX : Y, Z, R . Y, Z – координаты пересечения оси с плоскостью OYZ , R – радиус.

Параметры для UCY : X, Z, R , а для UCZ – X, Y, R , где первые два параметра задают координаты оси цилиндра.

Поверхность одна.

Произвольно ориентируемое полупространство, $PLG(d)$

Параметры: \mathbf{P} , Q . \mathbf{P} – вектор, Q – скаляр. Полупространство задано неравенством: $(\mathbf{P}, \mathbf{x}) \geq Q$.

Поверхность одна.

Полупространства, заданные плоскостями, перпендикулярными осям координат, $PLX(A)$, $PLY(B)$, $PLZ(C)$

Параметр PLX : скаляр X_0 . Полупространство определено неравенством $X \geq X_0$. Аналогично, единственный параметр PLY – скаляр Y_0 , а PLZ – Z_0 .

Поверхность одна.

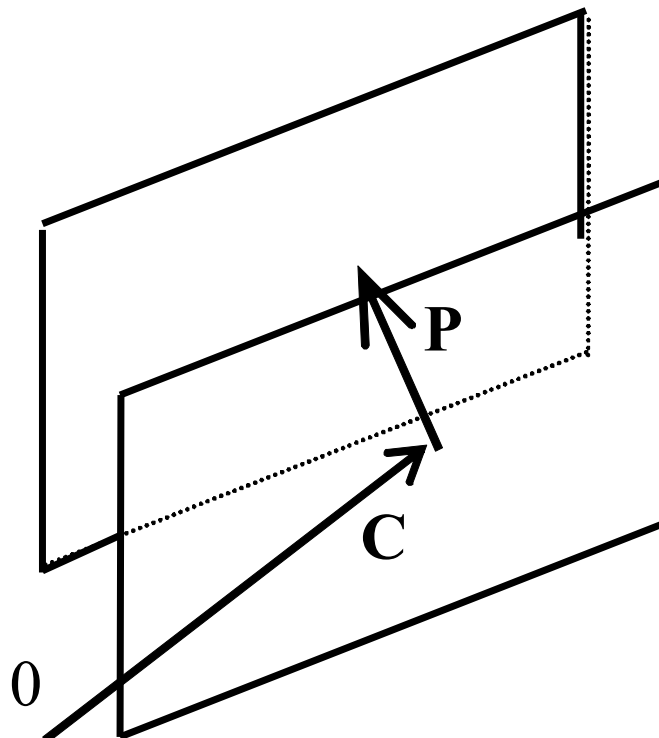


Рисунок 12 – Слой между двумя параллельными плоскостями: $SLA(V)$

Параметры: \mathbf{C} , \mathbf{P} . \mathbf{C} – радиус-вектор произвольной точки одной из плоскостей; \mathbf{P} – вектор, соединяющий \mathbf{C} с близлежащей точкой второй плоскости. Вектор \mathbf{P} перпендикулярен плоскостям.

Поверхности: плоскость, из которой выходит \mathbf{P} ; противоположная плоскость.

Слой может быть также задан как тело, $SLB(L)$

Параметры: \mathbf{V} , A , B . \mathbf{V} – вектор, перпендикулярный слою; $A < B$. A , B – расстояния от начала координат до плоскостей слоя, взятые со знаком так,

чтобы направление перпендикуляра к слою задавал \mathbf{V} . Таким образом, если \mathbf{V} имеет единичную длину, слой определён неравенством $A < (\mathbf{V}, \mathbf{x}) < B$.

Поверхности: плоскости $\{(\mathbf{V}, \mathbf{X}) = A|\mathbf{V}|\}$ и $\{(\mathbf{V}, \mathbf{X}) = B|\mathbf{V}|\}$

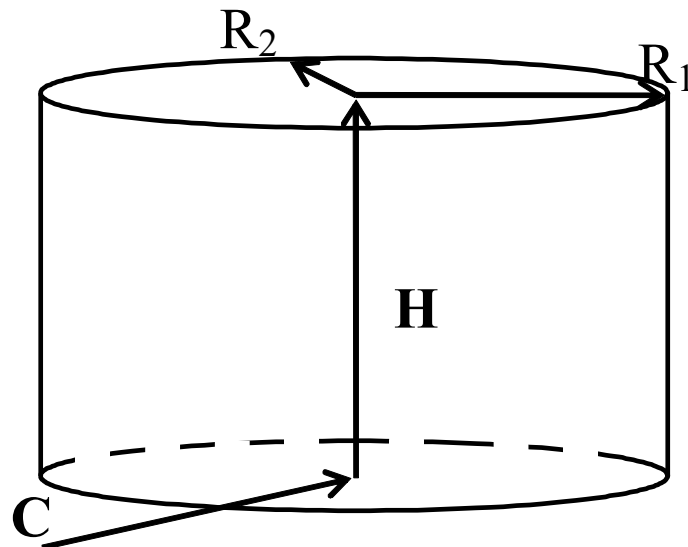


Рисунок 13 – Правильный эллиптический цилиндр: REC (O)

Параметры: $\mathbf{C}, \mathbf{H}, \mathbf{R}_1, \mathbf{R}_2$. $\mathbf{H}, \mathbf{R}_1, \mathbf{R}_2$ попарно ортогональны и $|\mathbf{R}_1| > |\mathbf{R}_2|$.

\mathbf{C} – радиус-вектор центра нижнего основания; \mathbf{H} – вектор высоты, определённый так же, как для RCC; $\mathbf{R}_1, \mathbf{R}_2$ – большая и малая полуоси эллипса.

Поверхности определены так же, как для RCC.

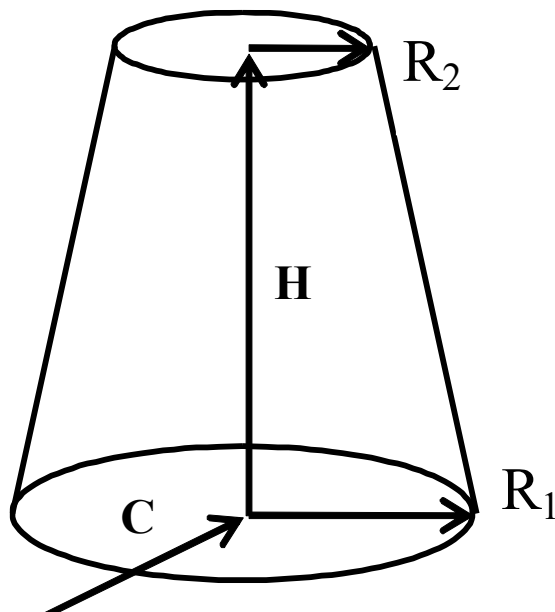


Рисунок 14 – Правильный круговой усечённый конус: TRC (T)

Параметры: \mathbf{C} , \mathbf{H} , R_1 , R_2 . \mathbf{C} – радиус-вектор центра нижнего основания; \mathbf{H} – вектор высоты противоположного основания; R_1 – радиус нижнего основания; R_2 – радиус верхнего основания.

Поверхности определены так же, как для RCC.

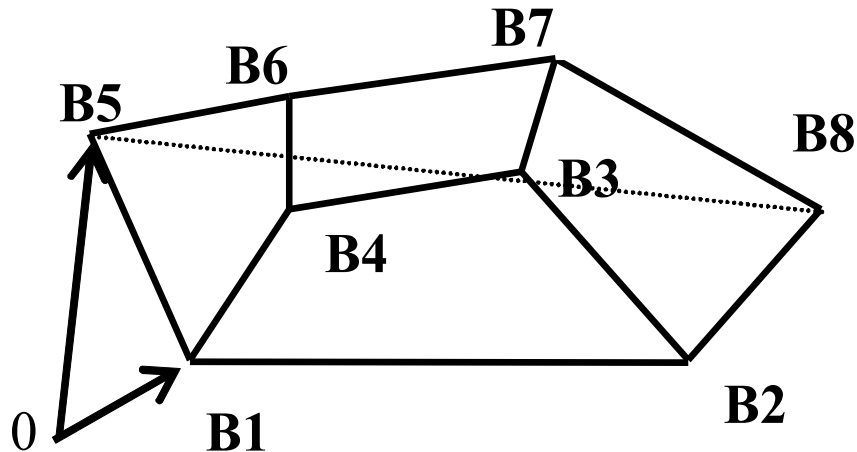


Рисунок 15 – Произвольный выпуклый многогранник, имеющий не более 6 граней: ARB (N)

Параметры: $\mathbf{B}_1, \mathbf{B}_2, \mathbf{B}_3, \dots, \mathbf{B}_m / M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$. \mathbf{B}_k – радиус-вектор k -ой вершины многогранника, что $4 \leq m \leq 8$. M_j – целое число, описывающее j -ю грань, $4 \leq n \leq 6$. Цифры числа M_j есть номера вершин, принадлежащих j -ой грани, которые перечисляются по или против часовой стрелки. Поверхностями служат грани. Первой служит грань, соответствующая M_1 ; второй – M_2 т.д. При описании между последней координатой \mathbf{B}_m и M_1 должен стоять символ '/'.
 Пример (египетская пирамида):
 ARB $-1, -1, 0 \ 1, -1, 0 \ 1, 1, 0 \ -1, 1, 0 \ 0, 0, 4$ / 1234, 125, 235, 345, 415

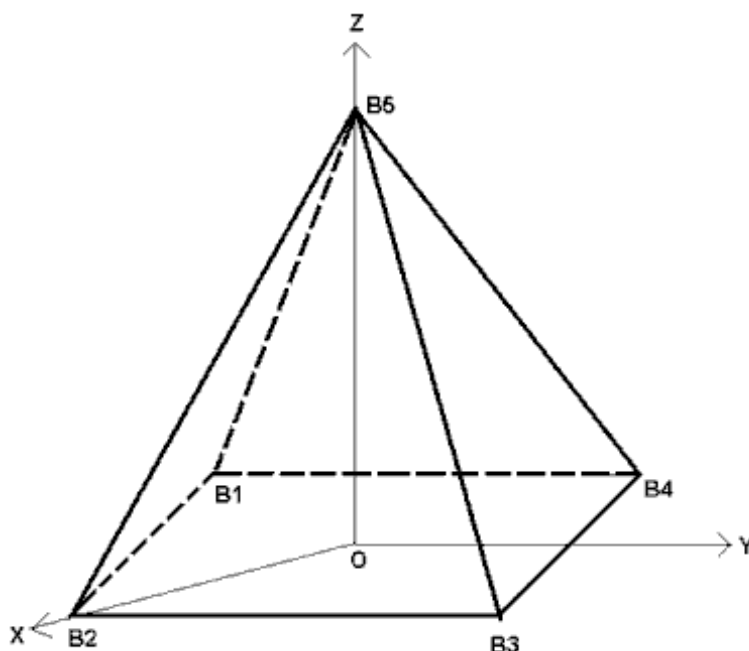


Рисунок 16 – Египетская пирамида

Кроме того, имеются два специальных тела, смысл которых будет разъяснён при описании сложных систем.

Параллелепипед с вершиной в начале координат, $SBOX(X)$

Параметры: P_1 , P_2 , P_3 – векторы рёбер тела, исходящие из начала координат.

Поверхности нумеруются так же, как в теле BOX .

Правильная шестигранная призма с осью, совпадающей с OZ , центрами нижнего основания в начале координат, $SHEX(I)$

Параметры: S , H , $[f]$. S – размер под ключ, H – высота, f – угол поворота относительно оси OX в градусах, то есть параметрам H , D , f соответствует вектор V с координатами $(D\cos(f), D\sin(f), H)$. Если необязательный параметр f опущен, то две боковые грани параллельны плоскости OYZ .

Нумерация граней такая же, как и в теле HEX .

Отметим отличие тела $SBOX$ от тела $SHEX$ помимо формы: начало координат у тела $SHEX$ находится в центре шестигранника, а у тела $SBOX$ – в углу параллелепипеда.

Пример задания секции тел:

```

RPP KOP1 -10,10 -10,10 0,h
RCZ * 0,0,0 h dout*0.5
RCZ tws 0,0,0 h din/2
END

```

Отметим, что первый цилиндр получил имя N2.

Кроме прямого описания тела, его можно задать в виде результата ортогонального преобразования (сдвига, поворота, отражения) ранее описанного тела. Для такого описания служит предложение вида:

TRANSF <имя нового тела> <имя тела-прототипа>

<тип преобразования> <параметры преобразования>

<имя нового тела> – имя вновь образуемого тела, которое имеет ту же структуру, что и в прямом описании.

<имя тела-прототипа> – имя тела, из которого будет образовано новое. Оно должно задаваться идентификатором из букв и цифр в явном виде.

<тип преобразования> – буква М или R.

<параметры преобразования> – три действительных числа (обозначим их А, В и f), смысл которых определяется типом преобразования.

<тип преобразования> М означает отражение от вертикальной плоскости, проходящей через точку (А, В, 0), причём её пересечение с плоскостью *ОХУ* образует с осью *ОХ* угол в f градусов. Угол отсчитывается от оси *ОХ* против часовой стрелки. Очевидно, что одну и ту же плоскость можно задать разными способами. Рекомендуется брать угол в диапазоне [–90, 90].

<тип преобразования> R означает поворот тела против часовой стрелки на f градусов вокруг вертикальной оси, проходящей через точку с координатами (А, В, 0).

Тип тела при преобразовании не меняется. Тела RPP, SBOX, SHEX, PLX, PLY, UCX, UCY не могут служить телами-прототипами.

Пример:

```
TRANSF CYLFT CYLRG M 10.5, 0 90
```


7.3. Описание зон

Для построения зон используются три известные операции теории множеств: дополнение, пересечение и объединение. Аргументами этих операций служат тела, которые являются трёхмерными областями.

Дополнение области определено как совокупность точек, не принадлежащих этой области. Считается, что все рассматриваемые области замкнуты, то есть содержат свои граничные точки, поэтому под дополнением понимается совокупность точек, не принадлежащих области, и её граничные точки. Таким образом, граничные точки относятся как к области, так и к её дополнению. Дополнение обозначается знаком минус без пробела после него.

Пересечение двух и более областей определено как совокупность точек, одновременно принадлежащих этим областям. Особого знака для обозначения операции пересечения нет, символы областей просто разделяются пробелами.

Объединение двух и более областей определено как совокупность точек, любая из которых принадлежит хотя бы одной из этих областей. Объединение обозначается знаком U (заглавная латинская буква), окружённым пробелами.

Операция дополнения считается старше операции пересечения. Это означает, что выражения $A - B$ и $-B \ A$ понимаются одинаково как пересечение A с дополнением области B . Операция пересечения старше операции объединения, то есть $A \ U \ C \ D$ понимается как объединение A с пересечением C и D , что видно на рисунке 17.

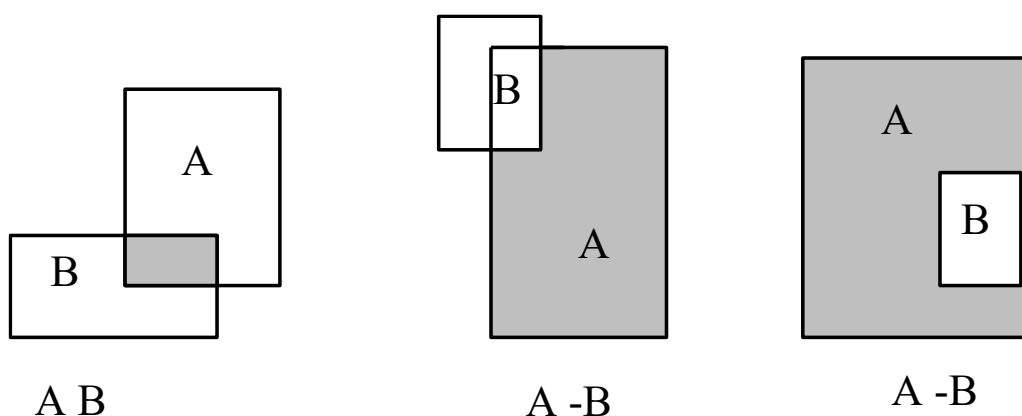


Рисунок 17 – Пересечение тел

На рисунке 18 серым цветом закрашены области $A \cup B$ и $A - B$, соответственно. Выражение $A - B$ можно трактовать как разность: совокупность точек A , не входящих в B .

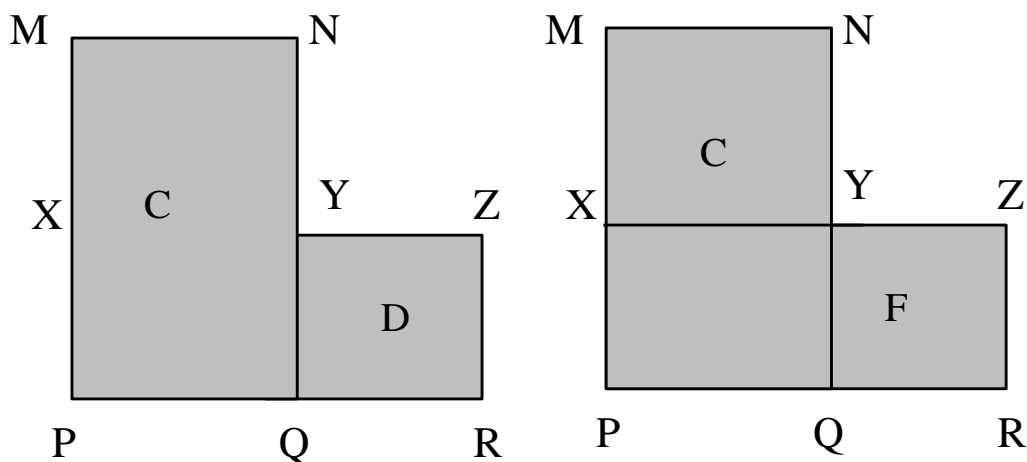


Рисунок 18 – Объединение тел

На рисунке серым цветом закрашены области $C \cup D$ и $C \cup F$.

Отметим, что $C \cup D = C \cup F$, хотя D и F различны: D есть прямоугольник $YZRQ$, а F – $XZRP$. Вариант $C \cup D$ более предпочтителен, так как объединение областей, имеющих общие внутренние точки, приводит к потере быстродействия геометрического модуля.

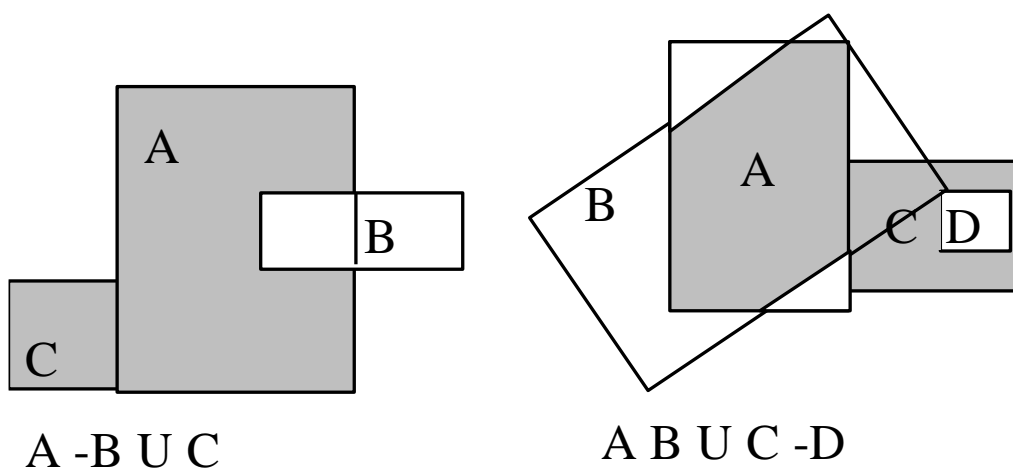


Рисунок 19 – Примеры использования всех трёх операций

На рисунке 19 приведены примеры использования всех трёх операций. Серым цветом закрашены результаты.

Комбинаторное описание позволяет строить достаточно сложные формы. При этом некоторые распространённые геометрические объекты приходится задавать не совсем привычным способом, например, труба задаётся как пересечение цилиндра с внешним радиусом и дополнения цилиндра с внутренним радиусом.

Часто оказывается удобным объединить в одну зону несколько областей, не имеющих общих точек, даже учитывая граничные точки.

Каждая зона описывается одним предложением следующего вида:

<имя зоны> [<тип поиска>]<имя тела>[<знак операции> <имя тела>[<знак операции><имя тела >[...]]]<конечный фрагмент>

Раздел описания зон заканчивается предложением END.

<имя зоны> – метка предложения, которая служит для ссылки на данную зону. Этим именем может быть любой идентификатор, начинающийся с буквы и являющийся последовательностью, которая содержит не более 6 латинских букв и цифр. Все имена зон должны быть различными.

<тип поиска> может принимать следующие значения:

- буква Т означает табличный алгоритм поиска соседних тел для всех тел или их дополнений для данной зоны;
- конструкция вида /<положительное целое число> означает списковый алгоритм с дополнительным увеличением массива списков на указанное число элементов;
- отсутствие параметра означает списковый алгоритм без дополнительного увеличения массива списков.
- Начинаящему пользователю рекомендуется не использовать этот параметр.
- <имя тела> – имя-идентификатор тела, описанного в секции тел, или дополнение к этому телу, если <имя тела> содержит в первой позиции

знак минус. Если тело имеет имя N<натуральное число>, то можно использовать просто это число.

Пример:

труба, образованная двумя цилиндрами (см. пример из раздела описания тел), может быть описана двумя способами:

N2 –twS

или

2 –twS

В качестве первой ссылки на тело допускается 0 (ноль), означающий всё пространство как область.

Пример: описание дополнения к параллелепипеду KOP1 (см. пример из раздела описания тел)

0 –KOP1

<знак операции> определяет операцию объединения или пересечения.

<конечный фрагмент> может определяться двумя альтернативными способами. Разные зоны можно описывать разными способами.

При использовании первого способа <конечный фрагмент> имеет одну из следующих форм:

- /<натуральное число 1>:<натуральное число 2>[/<натуральное число 3>]. <натуральное число 1> означает регистрационный номер данной зоны,
<натуральное число 2> означает материальный номер данной зоны,
<натуральное число 3> означает объектный номер данной зоны. Если <натуральное число 3> на вводе отсутствует, то объектный номер этой зоны принимает умалчиваемое значение, равное единице.
- /<натуральное число 1>[/<натуральное число 3>]

Такая форма употребляется, если данный регистрационный номер уже встречался, и, следовательно, соответствующий материальный номер уже определён. Если регистрационный номер встречался с разными материальными номерами, то выбирается последний из них.

- <натуральное число 2>

Такая форма употребляется, если для зоны не требуется задания регистрационного и объектного номеров. В этом случае их значения будут приняты равными единице.

- /<идентификатор>

Служит для обозначения специальной зоны, задающей краевые условия. Идентификатор означает тип условия, соответствующего пересечению прослеживаемой частицей границы этой зоны. Допускаются следующие типы: *B* – поглощение, *W* – белое отражение, *M* – зеркальное отражение, *C* – цилиндрическое белое отражение. Кроме этого, допускаются поворотные симметрии вокруг оси *OZ*. Они кодируются одним из следующих символов: *R45*, *R60*, *R90*, *R120*, *R135*, *R180*, *R225*, *R240*, *R270*, *R300*, *R315*. Число после символа *R* означает угол поворота в градусах против часовой стрелки.

При задании граничных условий с помощью специальных зон в процессе ввода не осуществляется проверка корректности их задания, например, согласованности поворотов на разных границах. Поэтому начинающему пользователю лучше определять граничные условия с помощью контейнера или плоской зеркальной симметрии (см. описание секции граничных условий).

Пример:

ZON1 1 –5 U 6 U 10 11 /2:2

ZON2 7 –8 15 /2/3

ZON3 T C1 SL2 U C1 SL4 /4:1/2

ZON4 /8 RCII /4

BLAK 0 –1 /B

ROTH 0 –1 2 /R300

Второй способ задания параметра <конечный фрагмент> обеспечивает больше возможностей по работе с геометрическими зонами.

В этом случае <конечный фрагмент> начинается символом «#». Для задания материального, регистрационного и объектного номеров данной зоны и её других атрибутов используются поименованные параметры. Общий вид задания значения параметра:

параметр = значение

Возможно использование следующих параметров:

- M или m – для задания материального номера;
- Z или z – для задания регистрационного номера;
- IZ или iz – для задания условного регистрационного указателя (см. раздел Описание прототипа ячейки сети). В этом случае должно использоваться положительное целое число;
- или o – для задания объектного номера;
- IO или io – для задания условного объектного указателя (см. раздел Описание прототипа ячейки сети). В этом случае, в отличие от первого способа, используется положительное целое число;
- G или g – для задания символьного имени группы, к которой относится заданный с помощью переменной M материальный номер. При наличии этого параметра материальный номер будет присвоен соответствующей геометрической зоне следующим образом. В исходных данных для физического модуля выполняется поиск материала с таким же символьным именем группы и номером, после чего определяется его порядковый номер в списке материалов. Этот номер и присваивается соответствующей геометрической зоне. Значением параметра является константа символьного типа. При отсутствии параметра номер материала присваивается геометрической зоне обычным образом без дополнительной обработки.

Материальный номер должен быть задан обязательно, остальные номера и атрибуты могут отсутствовать. В случае отсутствия номера зоны или объекта его значение принимается равным единице.

Специальные зоны для задания граничных условий задаются так же, как и в первом способе.

Пример:

ZON1 1 -5 U 6 U 10 11 # m=2 z =2

ZON2 7 -8 15 # z=2 m = 2 o= 3

ZON3 T C1 SL2 U C1 SL4 #M=1 O=2 Z=4

ZON4 /8 RCII # Z=4 m=1

BLAK 0 -1 /B

ROTH 0 -1 2 /R300

При наличии в файле исходных данных строки

C=C RGMM

в конце работы компилятора выдаётся список номеров регистрационных зон, содержащих более одного материала, и для каждой из них – список этих материалов.

Ниже даётся два примера описания очень простых систем.

Пример 1.

Описана двумерная (бесконечная по высоте) модель ячейки. Ячейка – правильная шестигранная призма с замедлителем. В центре расположен цилиндрический стержень, состоящий из топлива и оболочки, между которыми есть тонкий зазор. Бесконечность вдоль оси *OZ* задаётся с помощью граничных условий трансляции на торцах призмы. Условие бесконечности решётки шестигранных ячеек задаётся с помощью условия зеркального отражения на боковых поверхностях призмы.

```

HEAD 3 0
CONT T T M M M M M M
*      секция тел, первое тело – контейнер.
HEX  C  0,0,0  1.806,0,100
RCZ  FU 0,0,0  100  0.4915
RCZ  ZA 0,0,0  100  0.5042
RCZ  CL 0,0,0  100  0.5753
END
*      секция зон.
FUEL  FU      /1:1
SPACE ZA -FU  /2:4
CLAD  CL -ZA  /3:3
WATR  C  -CL  /4:2
END
*      таблица объёмов.
V01  0.7589  0.0397  0.2411  1.7724
FINISH

```

Материальные номера имеют следующий смысл: 1 – топливо; 2 – замедлитель; 3 – материал оболочки; 4 – воздух. В качестве объёмов здесь взяты площади поперечных сечений.

Пример 2.

Описывает ту же самую геометрию, но при условии, что придётся часто менять следующие параметры: *rt* – радиус топливной таблетки, *dz* – толщина воздушного зазора, *rc* – радиус покрытия, *step* – шаг решётки.


```

HEAD 3 0
CONT T T M M M M M M
EQU rt=0.4915
EQU dz=0.0127
EQU rc=0.5753
EQU step=1.806
*      вычисления объёмов.
EQU VF=3.1416*rt*rt
EQU VZ=3.1416*(rt+rt+dz)*dz
EQU VC=3.1416*(rc-rt-dz)*(rc+rt+dz)
EQU VW=step*step*cos(30)-3.1416*rc*rc
*      тела.
HEX C 0,0,0 step,0,100
RCZ FU 0,0,0 100 rt
RCZ ZA 0,0,0 100 rt+dz
RCZ CL 0,0,0 100 rc
END
*      зоны.
FUEL FU /1:1
SPACE ZA -FU /2:4
CLAD CL -ZA /3:3
WATR C -CL /4:2
END
V01 VF,VZ,VC,VW
FINISH

```

7.4. Сложные системы

Существует возможность упростить задание геометрических объектов, имеющих повторяющиеся элементы. Такие объекты можно задавать с помощью сетей и решёток (Приложение Б и В).

Сети позволяют заполнить плотно (или почти плотно) часть пространства ячейками, имеющими одинаковую внешнюю форму.

Решётки позволяют поместить любое количество экземпляров своих элементов в любую точку пространства объекта.

Сеть может быть использована для задания внутренней структуры элемента решётки.

Описание сложной системы состоит из последовательности предложений. Некоторые предложения объединены в секции. Порядок следования секций, следующий:

<заголовок>

<раздел граничных условий>

<секция тел>

<секция зон>

[<описание прототипов ячеек сетей>]

[<описание сетей основной геометрии>]

[<описание прототипов элементов решёток>]

[<описание решёток>]

[<таблица объёмов регистрационных зон>]

FINISH

Описание прототипов ячеек сетей, прототипов элементов решёток и собственно описания сетей и решёток не обязательно должны следовать в указанном порядке. Должно лишь быть соблюдено следующее правило: при описании сети и/или решётки все используемые в ней прототипы должны быть уже описаны.

<заголовок>, <раздел граничных условий>, <секция тел>, <секция зон>, <таблица объёмов регистрационных зон> задаются практически так же, как для простой системы. Отличия перечислены ниже.

Для сложной системы введена конструкция, определяющая, что зона является зоной-носителем сети. Каждая зона-носитель сети описывается одним предложением следующего вида:

<имя зоны> (<имя сети>) [<тип поиска>]<имя тела>...

[<знак операции> <имя тела> [<знак операции> <имя тела> [...]]]<конечный фрагмент>

Все фрагменты, кроме ранее не использованного (<имя сети>), имеют тот же смысл, что и в случае зоны, описанной для простых систем. Для фрагмента <тип поиска> запрещён тип Т – табличный поиск соседей.

Новый фрагмент, отличающий зону-носитель сети, есть:

(<имя сети>) – идентификатор, который начинается с буквы и содержит не более 6 латинских букв и цифр; определён при описании сети и здесь приводится для ссылки на неё.

Запрещается использовать одну зону в качестве зоны-носителя нескольких сетей.

Пример:

Z1 (LTH) A1 –A2 /5:1

При описании тел им можно присвоить так называемые дополнительные имена. Тело-контейнер по умолчанию имеет дополнительное имя С. Для остальных тел они могут задаваться в скобках после основного имени тела. Эти дополнительные имена используются при задании решёток в списках дополнительных ограничений (см. описание решётки).

Пример:

RPP BR0(CT0) –100,100 0,200, 0,1000

Здесь тело имеет дополнительное имя CT0.

Дополнительные имена не могут быть использованы при описании зон. Они могут совпадать с обычными именами зон, именами констант и т.д., так как по контексту всегда ясно, что имя трактуется как дополнительное имя тела.

В разделе <таблица объёмов регистрационных зон> задавать объёмы нужно с учётом размножения при генерации решёток, а также их наложения на зоны-носители.

7.5. Описание сложных систем при помощи сетей.

Структура геометрических данных, связанных с системой координат, имеет два уровня.

Конструкции в целом описываются в глобальной системе координат. Это – верхний уровень. Сети описываются в системах координат нижнего уровня. Сетью называются двумерные или трёхмерные массивы ячеек одинаковой формы, плотно примыкающие друг к другу.

Системы координат нижнего уровня – это локальные системы координат ячеек, которые не зависят от сдвига, понятие которого описано ниже. Каждая сеть порождает набор систем координат нижнего уровня, по числу составляющих сеть ячеек.

Ячейки сети могут быть трёх типов:

- произвольный параллелепипед;
- параллелепипед, рёбра которого параллельны осям системы координат;
- правильная шестигранная призма с осью, параллельной оси OZ .

Сеть может быть двумерной или трёхмерной.

Двумерная сеть.

$C + P(i-1) + Q(j-1)$, где i, j – целые числа. Вектор C , называемый корневым вектором, задаёт положение в пространстве ячейки с индексами (1,1), как видно из рисунка 20.

Двумерная сеть образуется из ячеек с помощью сдвигов вида:

- Для параллелепипеда: векторы P и Q являются векторами его первых двух рёбер.

- Для призмы: вектор P лежит в плоскости OXY , имеет длину, равную размеру под ключ, а поворот этого вектора соответствует ориентации призмы; вектор Q получается из вектора P поворотом на 120 градусов против часовой стрелки.

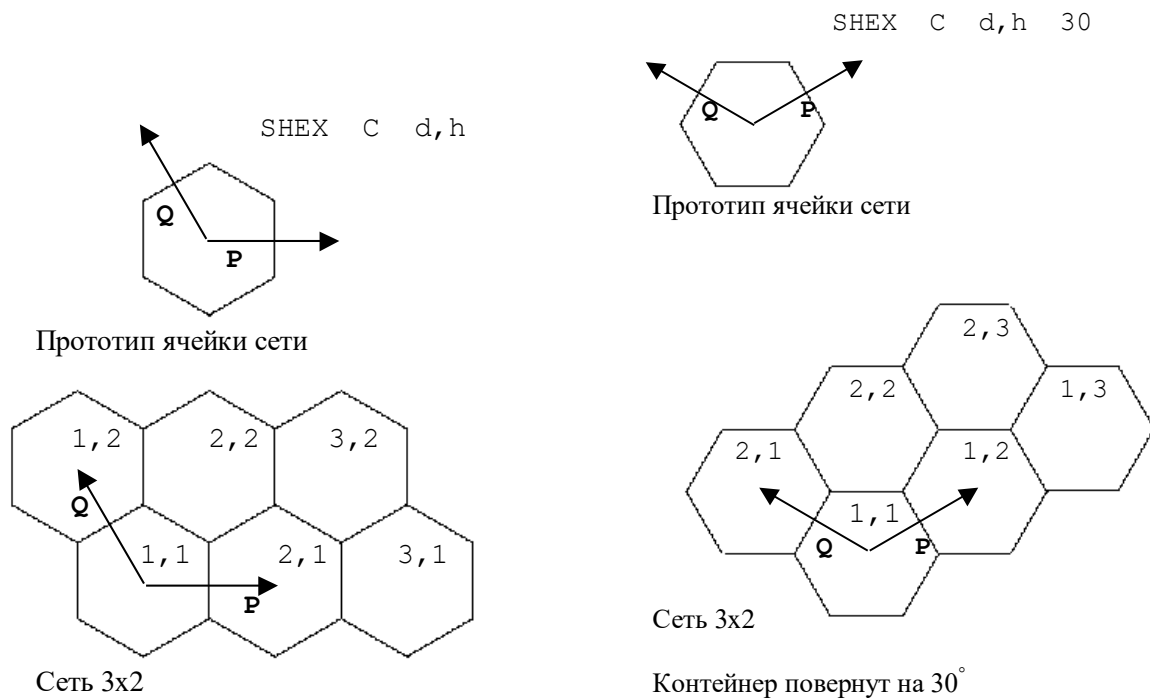


Рисунок 20 – Двумерная сеть

Пример:

Две боковые поверхности призмы параллельны плоскости OYZ , $P=rl_x$ и $Q = -0.5rl_x + 0.5\sqrt{3}rl_y$, где l_x , l_y , l_z – базисные векторы, а r – размер шестигранника под ключ.

Трёхмерная сеть.

На рисунке 21 представлен пример трёхмерной сети.

Трёхмерная сеть образуется из ячеек с помощью сдвигов вида:

$C+P(i-1)+Q(j-1)+R(k-1)$, где i, j, k – целые числа. Векторы C, P определяются так же, как в двумерном случае.

Для параллелепипеда вектор R соответствует его третьему ребру.

Для призмы вектор R определён как hl_z , где h – высота призмы.

Индексы i, j, k принимают значения: $1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq M, 1 \leq k \leq L$.

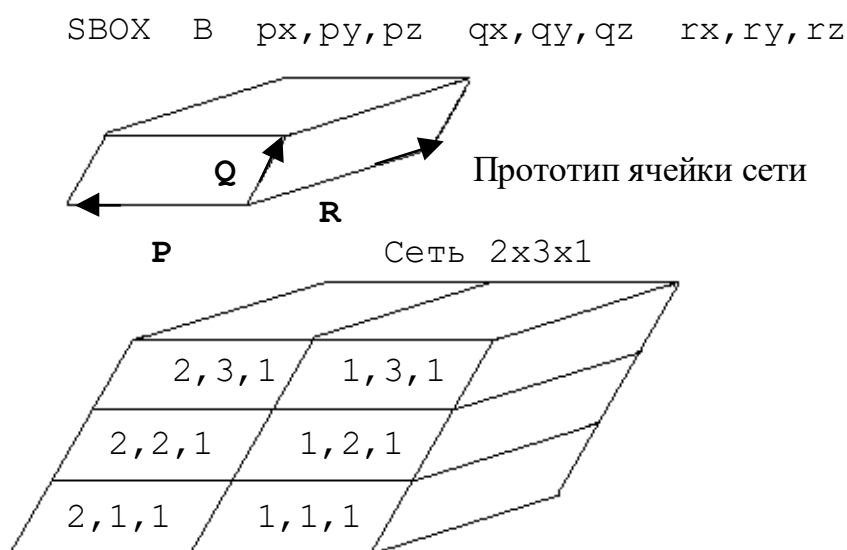


Рисунок 21 – Трёхмерная сеть

Каждая сеть вкладывается в одну или несколько зон, описанных в глобальной системе координат, называемых зонами-носителями сети.

Моделируемая частица всегда покидает сеть при пересечении границы зоны-носителя, при этом происходит переход в глобальную систему координат.

Если сеть не заполняет всю свою зону-носитель, то она автоматически дополняется фиктивными ячейками, заполненными гомогенной средой с атрибутами зоны-носителя.

Для двумерной сети все верхние и нижние грани ячеек (торцы) должны совпадать с границей или выходить за пределы зоны-носителя (по этой оси не происходит дополнение сети фиктивными ячейками).

Зона-носитель может содержать не все ячейки сети или неполные ячейки, то есть может иметь "обрезанные" границы зоны.

Все ячейки одной сети должны иметь одинаковую внешнюю форму, но их внутренняя геометрия совершенно независима.

При использовании сетей уменьшение быстродействия невелико, а затраты памяти существенно меньше, чем при прямом описании.

Описание прототипа ячейки сети имеет следующую структуру:

CELL <имя прототипа ячейки сети>

<раздел тел>

<раздел зон>

Первым телом, которое является контейнером, обязано быть тело SBOX, либо тело SHEX, либо тело RPP.

<имя прототипа ячейки сети> – произвольный начинающийся с буквы идентификатор, который может содержать не более 6 латинских букв и цифр. Оно служит для ссылки на данный прототип при задании картограммы сети.

Это имя должно быть уникальным среди имён прототипов ячеек сетей и имён прототипов элементов решёток. Имена констант или имена тел могут совпадать с именами прототипов ячеек сетей и прототипов элементов решёток.

При описании прототипа ячеек сети могут использоваться константы, определённые ранее. Могут быть определены новые константы, но их имена будут доступны лишь в пределах описания данного прототипа. Если определяемая константа имеет имя, уже использованное при описании глобальной геометрии, то новое значение будет сохраняться только при описании данного прототипа ячейки сети.

Раздел тел ничем не отличается от соответствующего раздела в описании глобальной геометрии (см. раздел Описание простых систем).

Нумерация тел ведётся от единицы. В разделе зон необходимо ссылаться только на тела данного описания прототипа. Это относится не только к телам в описаниях зон, но и к телам в конструкциях TRANSF.

Для определения регистрационных и объектных номеров, которые зависят не только от зоны прототипа ячейки сети, но и от положения ячейки в зоне-носителе, могут быть использованы условные регистрационные

указатели (УРУ) и условные объектные указатели (УОУ). Каждый УРУ или УОУ кодируется отрицательным целым числом.

Перекодировка условных указателей в номера для разных сетей и для разных прототипов ячеек происходит независимо, поэтому рекомендуется для каждого прототипа ячейки кодировать эти указатели, начиная с -1 .

Пример:

зона в описании прототипа ячейки сети.

ZPE A5 A6 -C /-6:1/-2

имеет условный регистрационный указатель 6, условный объектный указатель -2 , а материальный номер -1 .

Пример (описание прототипа ячейки сети):

CELL NC

SBOX S 10.,0.,0. 5.,5.,0. 0.,0.,3.

EQU RS = REM*0.5

SPH H 7.5,2.5,1.5 RS

END

ZN1 S -H /4:2/5

ZNTE H /-1:1/-1

END

Предполагается, что константа REM определена в основном блоке. Здесь зона ZN1 имеет "безусловные" регистрационный и объектный номера. Они равны 4 и 5 независимо от положения ячейки в сети.

Описание сети основной геометрии имеет следующую структуру:

<заголовок>

<картограмма имён прототипов ячеек, заполняющих ячейки сети>

[<картограммы регистрационных номеров>]

[<картограммы объектных номеров>]

END

Заголовок состоит из одного предложения вида
NET <имя сети> <корневой вектор> <число столбцов>
<число строк>[<число слоёв>]

NET – метка предложения.

<имя сети> – начинающийся с буквы идентификатор, содержащий не более 6 латинских букв и цифр. Оно служит для ссылки на данную сеть при описании её зоны-носителя.

<корневой вектор> – параметр, определённый тремя координатами корневого вектора C_x , C_y , C_z , каждая из которых может быть задана действительным числом, ранее определённым именем константы или выражением, содержащим числа и константы. Координаты должны быть разделены запятыми или пробелами.

<число столбцов > – натуральное число, равное числу сдвигов по первому вектору прототипа ячейки (N).

<число строк > – то же по второму вектору (M).

<число слоёв> – то же по третьему вектору (L).

Первый, второй и третий векторы определяются телом-контейнером ячеек сети. Это тело должно быть одним и тем же для всех прототипов ячеек одной сети.

Если параметр <число слоёв> отсутствует, то сеть определена как двумерная.

Картограмма имён прототипов ячеек сети для двумерного случая задаётся как M предложений, содержащих по N фрагментов каждый, где N – число сдвигов по первому вектору, а M – число сдвигов по второму вектору. Если сеть трёхмерная, то картограмма задаётся послойно, то есть совокупность из M предложений по N фрагментов каждый задаётся L раз, где L – число сдвигов по третьему вектору.

Метками M предложений должны быть идентификаторы, состоящие из латинской буквы T и номера строки, то есть T01, T02, T03,..., T09, T10, T11,... и т.д.

Каждое предложение отвечает одной строке, то есть набору индексов (1,j),..., (N,j), и содержит N фрагментов. Один фрагмент имеет вид:

[–]<имя прототипа ячейки сети>

Знак минус [–] означает, что ячейка не пересекается с границей зоны-носителя сети. Указание, что ячейка не пересекается с границей зоны-носителя сети, несколько увеличивает быстродействие, но требует большой аккуратности при задании исходных данных. Начинающему пользователю не рекомендуется пользоваться знаком минус.

<имя прототипа ячейки сети> даёт ссылку на прототип, который соответствует данной ячейке и задан при описании прототипа.

Если подряд идут несколько ячеек, имеющих один и тот же прототип, то возможна сокращённая запись с помощью коэффициента размножения <k>.

[<k>*][–]<имя прототипа ячейки сети>

<k> – целое число, равное числу повторений следующего за ним фрагмента.

Пример (предложение):

TO1 –C4 3*–CC 2*TW –C4

эквивалентно предложению

TO1 –C4 –CC –CC –CC TW TW –C4

Гомогенная ячейка с атрибутами зоны-носителя, которой при необходимости дополняется сеть, кодируется в картограмме символом 0 (ноль).

Порядок предложений в картограмме имён может быть произвольным, поскольку метка предложения содержит номер строки.

Для трёхмерной сети картограмма задаётся послойно. Задаётся L двумерных картограмм размерности NxM, каждая из которых начинается строкой вида:

TLAYER <номер слоя>

<номер слоя> – натуральные числа от 1 до L по порядку.

После этой строки следует М предложений с метками T01, T02, T03,..., T09, T10, T11,.. (Метки повторяются для каждого слоя).

Условные регистрационные указатели (УРУ) должны вводиться по порядку, желательно без пропусков, начиная с единицы. Для каждого регистрационного указателя должна вводиться своя картограмма. Значения условных регистрационных указателей локальны в каждом прототипе ячейки. Значения регистрационных номеров помеченных таким образом зон ячеек сети присваиваются в соответствии с картограммой. Это означает, что в разных ячейках в зависимости от их положения в сети одному и тому же УРУ могут соответствовать разные регистрационные номера зон.

Все регистрационные номера, заданные в прототипах ячеек без использования условных указателей, сохраняются во всех ячейках независимо от того, что указано в картограммах. Их перекодировка никогда не производится.

Если число $N_{ур}$ означает максимальное значение условного регистрационного указателя во всех прототипах ячеек, составляющих сеть, то описание двумерной сети должно включать $N_{ур}$ картограмм значений регистрационных номеров.

Каждая картограмма регистрационных номеров состоит из М предложений, содержащих N номеров:

$P\langle k\rangle\langle j\rangle$ <регистрационный номер> <регистрационный номер>...

$P\langle k\rangle\langle j\rangle$ – метка предложения для k-ой картограммы и j-ой строки;

$\langle k\rangle$ – натуральное число от 1 до 99; для однозначных чисел слева записывается 0; значение УРУ;

$\langle j\rangle$ – натуральное число от 1 до 99; для однозначных чисел слева записывается 0; номер строки ячеек сети; меняется от 1 до М.

Пример:

если $j=5$, а $k=11$, то метка будет P1105

<регистрационный номер> – натуральное число, имеющее значение регистрационного номера, который будет присвоен зоне с условным

регистрационным указателем k в ячейке, которая будет помещена в сети путём сдвига на j позиций по второму вектору и на число позиций, соответствующих положению в строке, по первому вектору.

Допустимы коэффициенты повторения отдельных чисел и групп чисел.

Использование имён констант не разрешается.

Пример:

Строка картограммы регистрационных номеров

P0301 3*2 7 2*(5,6,9)

аналогична строке

P0301 2,2,2 7 5,6,9 5,6,9

Эта строка означает, что зоны с третьим условным указателем в ячейках с индексами по векторам сдвигов (1,1), (2,1), (3,1) получают регистрационный номер 2, в ячейке (4,1) – номер 7, (5,1) – номер 5 и так далее.

Если вся k -ая картограмма состоит из одного и того же значения, то вместо M предложений можно написать одно предложение вида:

P< k >ALL <регистрационный номер>

< k > – натуральное число от 1 до 99; для однозначных чисел слева записывается 0; значение УРУ.

Пример (строка картограммы регистрационных номеров):

P02ALL 23

Строка означает, что второй условный указатель в помеченных этим условным указателем зонах всех ячеек получит значение 23.

Если сеть трёхмерная, то картограммы регистрационных номеров задаются послойно.

Задаётся $L \times N_{\text{ур}}$ картограмм размерности $M \times N$. Перед каждой картограммой вводится строка вида:

P< k >LAY <номер слоя>

< k > – натуральное число от 1 до 99; для однозначных чисел слева записывается 0; значение УРУ.

<номер слоя> – натуральные числа от 1 до L по порядку, имеющий значение номера слоя.

Пример:

P05LAY 11

Затем вводятся M предложений, построенных аналогично двумерному случаю.

Картограммы объектных номеров устроены полностью аналогично картограммам регистрационных номеров, но в метках предложений латинская буква 'P' должна быть заменена латинской буквой 'O'.

7.6. Описание сложных систем при помощи решёток

Решётка состоит из набора элементов. Элемент решётки – это некоторое тело, разбитое на геометрические зоны с приписанными им регистрационными, объектными и материальными номерами. Элементы решётки размещаются в зонах глобальной геометрии. Обычно прототипом элемента решётки служит какой-либо технический элемент конструкции, например, тепловыделяющий элемент или поглотитель в ядерном реакторе. Можно выделить в системе какой-то другой повторяющийся объём, границы которого могут не являться поверхностями деталей, например, шестигранная ячейка в кассетах реактора МБИР.

Контейнером прототипа элемента решётки может быть любой тип тела (см. раздел Описание тел).

Прототип элемента решётки описывается в локальной системе координат.

Прототип элемента решётки может содержать в себе зоны-носители сетей и описания этих сетей. Зоны прототипа элемента решётки могут быть носителями только тех сетей, которые принадлежат данному прототипу элемента решётки. Корневые векторы этих сетей даются в локальной системе координат прототипа.

Прототипы ячеек этих сетей описываются отдельно от прототипа элемента решётки и от самой решётки. Одна и та же ячейка может

использоваться в сетях нескольких прототипов элементов решёток и одновременно в сетях глобальной геометрии.

Прототип элемента решётки накладывается на зоны основной геометрии с помощью сдвигов. Сдвиг можно трактовать как вектор переноса прототипа на конкретное место или как точку в глобальных координатах, в которой помещается начало локальной системы координат для данного элемента решётки.

Различные элементы не должны иметь общих точек, не считая граничных, которые могут быть и общими. Наложение понимается в том смысле, что области, занятые элементами, изымаются из зон. То есть, зоны модифицируются путём пересечения с дополнением контейнеров всех элементов.

Сдвиги вырабатываются подпрограммами генерации сдвигов, которых в настоящее время имеется две. При описании решётки необходимо указать, какая из этих подпрограмм будет использоваться, и задать для неё строку параметров.

Пример:

На рисунке 22 изображена решётка из трёх квадратов. S_1, S_2, S_3 – векторы сдвигов для элементов решётки, I – прототип элемента решётки.

Зона B преобразуется в $B - S_1(I) - S_2(I) - S_3(I)$, где $S_i(I)$ – i -тый элемент I .

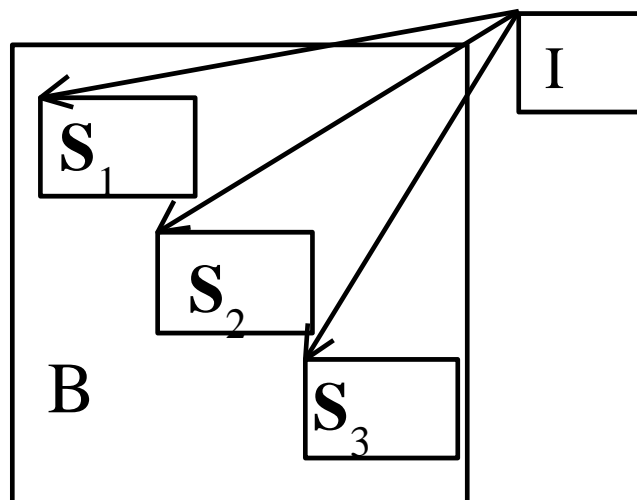


Рисунок 22 – Решётка из трёх квадратов

Контейнер прототипа решётки может быть расположен произвольно относительно начала локальной системы координат.

Одна решётка может быть наложена на несколько зон, а на одну зону может быть наложено несколько решёток. Элементы всех наложенных решёток не должны иметь общих точек за исключением граничных.

При описании прототипов элементов решёток кроме обычных регистрационных и объектных номеров можно задавать условные указатели. Зоне с условным указателем настоящий регистрационный или объектный номер будет приписан только после генерации решётки.

Решётка может состоять из элементов нескольких прототипов. Генератор сдвигов помимо положения элемента задаёт его тип.

Пример.

На рисунке 23 изображена решётка, образованная элементами различных прототипов.

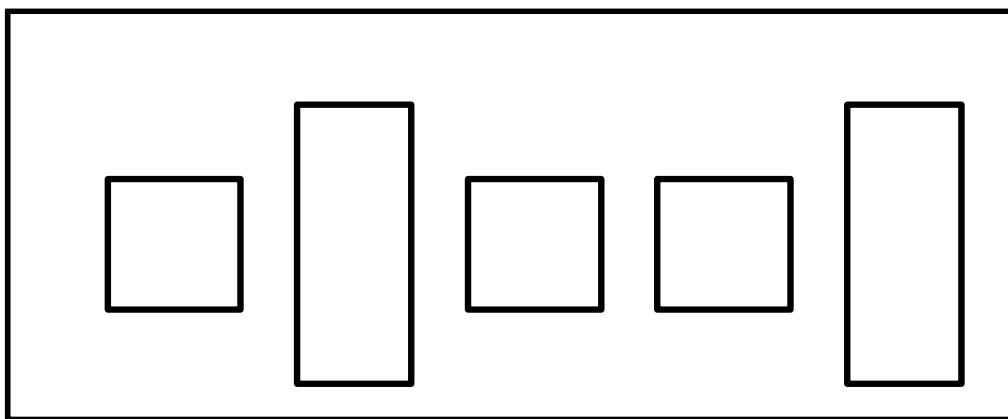


Рисунок 23 – Решётка

Имена зон, на которые накладывается решётка, указываются при описании этой решётки.

Число элементов в решётке обычно значительно меньше, чем в сети, а их расположение в пространстве менее регулярно.

Допускается наложение решётки на зону-носитель сети. Если точка одновременно лежит в ячейке сети и элементе решётки, то приоритет отдаётся решётке.

Пометки граничных ячеек сети следует делать, учитывая обрезание ячеек элементами решётки. В этом случае рекомендуется все ячейки описать как граничные.

Описание прототипа элемента решётки имеет следующую структуру:

```
LCELL <имя прототипа элемента решётки>
```

```
<описание тел>
```

```
<описание зон>
```

```
[<описание сетей>]
```

```
ENDL
```

Описание прототипа элемента решётки подобно описанию прототипа ячейки сети.

<имя прототипа элемента решётки> – произвольный начинающийся с буквы идентификатор, содержащий не более 6 латинских букв и цифр. Оно служит для ссылки на данный прототип при задании решётки.

Это имя должно быть уникальным среди имён прототипов ячеек сетей и имён прототипов элементов решёток. Имена, использованные для констант или тел, могут совпадать с именами прототипов ячеек сетей и прототипов элементов решёток.

Контейнером служит тело, описанное первым. Оно может быть любым. Не рекомендуется использовать для этого тела SBOX и SHEX, а также неограниченные тела, то есть SLA, SLB, UCX, UCY, UCZ, PLG, PLX, PLY, PLZ.

При описании прототипа элемента решётки могут использоваться константы, определённые ранее. Могут быть определены новые константы, но их имена будут доступны лишь в пределах описания данного прототипа. Если определяемая константа имеет имя, уже использованное при описании глобальной геометрии, то новое значение будет сохраняться только для описания данного прототипа элемента решётки.

Раздел тел ничем не отличается от соответствующего раздела в описании глобальной геометрии.

В разделе зон необходимо ссылаться только на тела данного раздела описания прототипа. Это относится не только к телам в описаниях зон, но и к телам в конструкциях TRANSF.

Для определения регистрационных и объектных номеров могут быть использованы UPU и UOU, алгоритм образования которых объяснён ранее. Они кодируются отрицательными числами. Абсолютные значения этих чисел являются значениями указателей.

Для преобразования условного указателя в регистрационный или объектный номер применяется следующий алгоритм.

Обозначим через N_{pt} максимальный регистрационный номер, использованный к моменту генерации решётки. Пусть в первом элементе решётки имеются условные регистрационные указатели со значениями до k включительно. Тогда зоны с первым условным указателем получают регистрационный номер $N_{pt}+1$, со вторым – $N_{pt}+2$ и так далее до $N_{pt}+k$. После

этого N_{pm} будет увеличен на k , и начнётся размещение второго элемента решётки. Если набор используемых условных указателей имеет пропуски (например, 1,2,5,6), то и набор регистрационных номеров также будет иметь пропуски.

Алгоритм замены условных объектных указателей точно такой же, только вместо N_{pm} используется N_{om} – максимальный объектный номер, использованный к моменту генерации решётки.

Описание сети внутри прототипа элемента решётки подобно описанию сети в глобальной геометрии.

Имя такой сети также должно быть уникальным во всем описании геометрии.

В картограммах регистрационных и объектных номеров сети могут использоваться отрицательные целые числа. Они трактуются как условные регистрационные и объектные указатели элементов решётки и будут получать истинные значения при генерации решётки по приведённым выше правилам.

Пример:

HEAD 1 0 0

CONT W

EQU RT = 1.8

SPH * 0,0,0 200

END

QQ 1 /1:1

END

* описание прототипов ячеек сетей

CELL CE1

SBOX A1 1,0,0 0,-1,0 0,0,2

RCZ A2 0.5,-0.5,0 2 0.25

END

```

ZA1  A1  -A2  /2:2/1
ZA2  A2      /-1:6/2
END
CELL  CE2
SBOX B1 1,0,0  0,-1,0  0,0,2
RCZ  B2 0.5,-0.5,0  2  0.4
END
ZB1  B1  -B2  /3:3/3
ZB2  B2      /-1:5/-1
END

```

* описание прототипа элемента решётки

```

LCELL  EXAMP
RCZ  *  0,0,0  10  RT
EQU   R1 = 1.5
RCZ  *  0,0,0  10  R1
END
Z1   (EN1) 2    /-1:1/1
Z2      1 -2  /31:4/-1
END

```

* константа RT определена в глобальной геометрии

NET EN1 -1,1,0 2 2

T01 CE1 CE2

T02 CE2 CE1

P0101 2*23

P0102 -2,-3

O01ALL 9

END

ENDL

LATT GLTL QQ

LISTEL EXAMP

PARM 0,0,0

FINISH

Приведено описание прототипа элемента решётки, зона Z1 которого содержит сеть EN1, состоящую из ячеек типа CE1 и CE2. В ячейках CE1 и CE2 использовано по одному УРУ и УОУ в соответствии с числом заданных картограмм. Отрицательные числа в картограмме регистрационных зон сети являются УРУ элемента решётки и при генерации решётки заменяются положительными регистрационными номерами. На рисунке 24 ниже в скобках даны индексы элементов сети, после символа “/” приведены регистрационные и объектные номера.

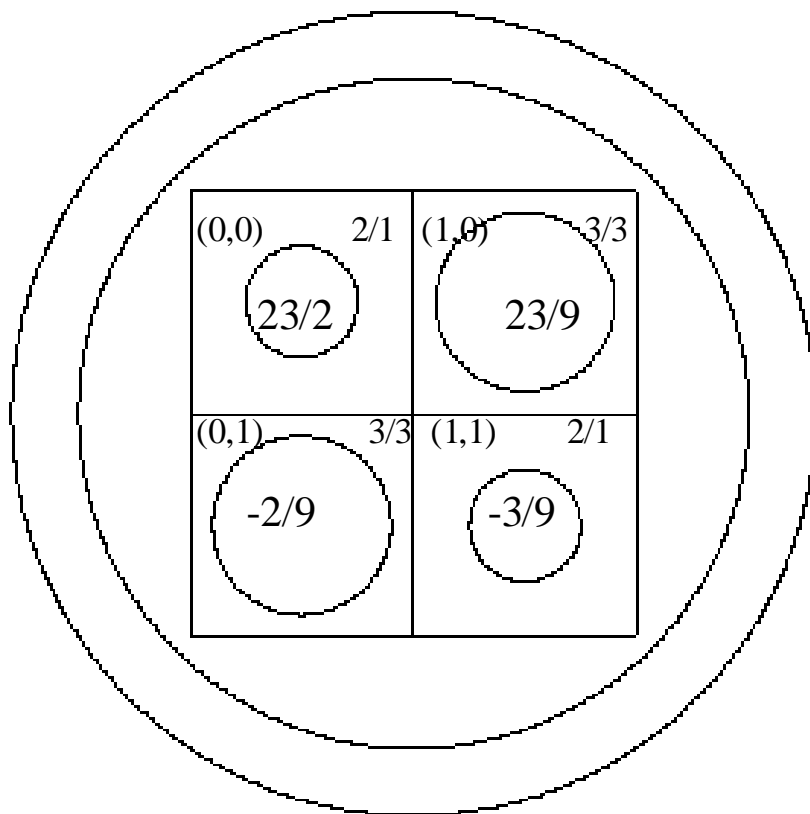


Рисунок 24 – Сеть

Описание решётки имеет вид:

LATT <имя генератора сдвигов> <имя зоны> [<имя зоны>

[<имя зоны>]... [<имя зоны>]]

LISTEL <имя ПЭР>[(список ограничений)]

[<имя ПЭР>[(список ограничений)]

[<имя ПЭР>[(список ограничений)]]

...

[<имя ПЭР>[(список ограничений)]]]

PARM <строка параметров>

<имя генератора сдвигов> – имя подпрограммы, которая размещает элементы решётки. Используются две стандартные подпрограммы GLTL и G2AR. Параметры для них задаются строкой PARM.

<имя зоны> – имя зоны, на которую накладываются элементы решётки. Должны быть приведены имена всех зон, на которые накладывается данная решётка. Имена могут быть разделены пробелами или запятыми. Все эти зоны должны быть описаны ранее в глобальной геометрии.

<имя ПЭР> – имя прототипа элемента решётки, описанного выше. Должны быть приведены имена всех использованных прототипов, они могут встречаться более одного раза. В процессе ввода каждому имени прототипа присваивается номер по порядку его размещения в строках: 1,2,... и т.д. Этот номер используется при задании параметров программы генератора сдвигов. Какой-либо элемент списка может быть не использован в расчёте, но нумерация ведётся по списку.

(<список ограничений>) – имя или несколько имён тел, описанных в глобальной геометрии. Имена могут быть разделены пробелами или запятыми. Если имя приведено со знаком минус, то оно трактуется как дополнение данного тела. В списке ограничений могут использоваться только дополнительные имена тел, приведённые в описании тел после основного имени в скобках.

Наличие списка ограничения позволяет описывать элементы решётки, обрезанные за счёт пересечения с одной или несколькими граничными поверхностями тел, образующих зоны глобальной геометрии. Проверяется пересечение каждого элемента, после которого приведён такой список, со всеми указанными в списке телами, поэтому для увеличения быстродействия рекомендуется заведомо не обрезанные граничными поверхностями элементы указывать без списка ограничения, а затем, в случае необходимости, повторно привести их имя со списком высечения.

Тело–контейнер основной геометрии всегда по умолчанию имеет глобальное имя С и может в таком виде использоваться в списках ограничений. Дополнительное имя тела-контейнера С оказывается полезным, если часть экземпляров элементов решётки выходит за пределы тела-

контейнера. Такая конфигурация часто встречается при расчёте полячеек ядерных реакторов.

Пример:

LISTEL TVEL(C) PELA PELB

Все экземпляры элемента TVEL могут иметь пересечение с границей контейнера, тело TVEL будет иметь номер один в списке, PELA – номер 2, PELB – номер 3 для параметров программы генератора сдвигов.

Пример (контейнер и поворотная симметрия на 90 градусов):

HEAD 1 0 400

CONT T T W

RCZ CNT 0, 0, 0 H RGL ; контейнер имеет номер1

PLY P0(C0) 0 ; тело имеет номер 2

PLX P1(C1) 0 ; тело имеет номер 3

Далее пусть имеется описание поворотной симметрии

ROTP CNT -P0 /R90

ROTM CNT -P1 P0 /R270

В описании решётки применена конструкция

LISTEL KAC(C,C0,C1)

В этом случае к каждой зоне любого экземпляра элемента KAC будет добавлено пересечение с телами 1, 2, 3, т.е. четвёртой частью цилиндра. Частое употребление такой конструкции несколько уменьшает быстродействие, но значительно упрощает задание входных данных.

Структура <строки параметров> зависит от того, какая подпрограмма использована для генерации сдвигов.

Генератор сдвигов – подпрограмма GLTL задаёт радиус–векторы положения экземпляров элементов решётки путём прямого перечисления их координат.

<строка параметров> состоит из последовательности фрагментов следующего вида:

[<целое число>]<радиус-вектор положения>

<целое число> – это номер прототипа элемента по его порядку в строке LISTEL. По умолчанию он равен 1.

<радиус-вектор положения> – параметр, определённый тремя координатами радиус-вектора, каждая из которых может быть задана действительным числом, ранее определённым именем константы или выражением, содержащим числа и константы. Параметры должны быть разделены запятыми или пробелами.

Указание номера прототипа распространяется только на один следующий за ним фрагмент, в отличие от генератора G2AR, который описан ниже.

Пример:

```
LATT    GLTL  ZN1 , FUT
LISTEL  TPIC  TP2D
PARAM   X1,Y1,0.5  X2,Y2,0.5  X3,Y3,0.5
        /2 X4,Y4,0.5  X5,Y5,0.5  X6,Y6,0.5
```

Описание решётки содержит 2 прототипа элементов: первый и второй, поскольку наибольший номер в строке параметров равен 2. Элемент второго типа имеется только один с координатами радиус-вектора $X_4, Y_4, 0.5$, остальным по умолчанию даётся тип 1. Если бы в строке параметров вместо цифры 2 была бы цифра 3, то при описании решётки в строке LISTEL должно было бы быть три имени, хотя происходило бы размещение только прототипов один и три.

Генератор сдвигов – подпрограмма G2AR используется в том случае, когда решётка получается из регулярного двумерного массива исключением некоторых элементов. Регулярный двумерный массив образуется как набор сдвигов вида: $\{A+iB+jC: I_i \leq i \leq I_s, J_j \leq j \leq J_s\}$

<строка параметров> имеет следующую структуру:

<размерность массива> <векторы A, B, C> <список исключений>[/2<список положений элементов типа 2>]

[/3<список положений элементов типа 3>]...

<размерность массива> – целые числа, которые задают пределы изменения индекса i и пределы изменения индекса j в форме:

$[I_i:]I_s$ $[J_i:]J_s$

I_i , I_s , J_i , J_s – нижняя и верхняя границы изменения индексов. По умолчанию нижняя граница полагается равной нулю.

<векторы A, B, C> – параметр определён тремя координатами корневого радиус-вектора A, тремя координатами вектора сдвига B и тремя координатами вектора сдвига C. Каждая из координат может быть задана действительным числом, ранее определённым именем константы или выражением, содержащим числа и константы. Параметры должны быть разделены запятыми или пробелами.

<список исключений> задаёт те положения в массиве сдвигов, которые не входят в решётку, то есть на эти места не накладывается никакого элемента. Положения в списке задаются в виде:

[<целое число 3>:]<целое число 1>, [<целое число 4>:]<целое число 2>

<целое число 1>,<целое число 2> задают значения пары индексов i , j массива сдвигов по векторам B и C соответственно. Последовательность пар вида $a, j, a+1, j, \dots, b, j$ может быть сокращённо записана в виде $a:b, j$. Аналогично $i, a:b$ означает $i, a, i, a+1, \dots, i, b$. Можно также использовать конструкцию $a:b,c:d$.

Порядок перечисления исключаемых положений произволен.

[/2<список положений элементов типа 2>] задаёт положения элементов, прототип которых задан вторым в строке LISTEL. Положения в списке задаются в виде пары индексов i, j по тем же правилам, что и в списке исключений.

[/3<список положений элементов типа 3>]... – аналогичен списку для второго прототипа и так далее.

Положения, не входящие ни в какой список, заполняются элементами, прототип которых указан первым в строке LISTEL.

Номера должны идти по порядку возрастания, допустимы пропуски (см. рисунок 25).

Если одно положение попадает в два списка и более, то даётся предупредительная диагностика, и считается действительным вхождение в тот список, в который положение попало в первый раз. Список исключений является самым приоритетным.

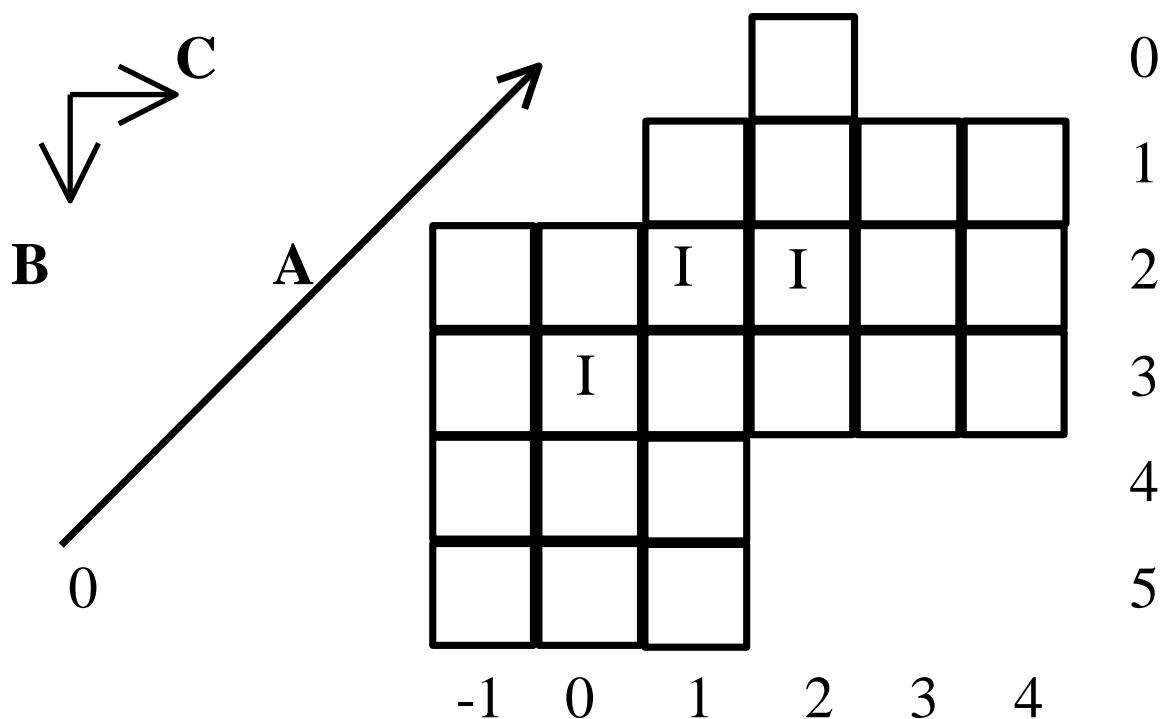


Рисунок 25 – Решётка G2AR

В куб вкладывается решётка прямоугольных каналов. Рисунок задан в глобальной системе координат. Изображён радиус-вектор **A** – положение "нулевой" точки решётки и векторы **B** и **C**. Решётка состоит из двух типов элементов, второй тип отмечен вертикальной чертой. Описание решётки есть:

```

LATT   G2AR  CUB
LISTEL  TW1  TW2
PARM   0:5 -1:4 A1,A2,A3 B1,B2,B3 C1,C2,C3
        0:1,-1 0:1,0 0,1 0,3:4 4:5,2:4
        /2 3,0 2,1:2

```

Вместо 0:5 можно записать просто 5.

Пример (используются все конструкции многоуровневой геометрии):

```

HEAD   7  0 100
CONT   W
*      глобальная геометрия
EQU    d=6.
EQU    r1 = 12
SPH    CNTR  0,0,0 r1
RPP    HOCL  -d,d -d,d 2.0,6.0
RPP    HOCN  -d,d -d,d -2.0,2.0
END
ZB      CNTR -HOCL -HOCN /1:3
ZL      HOCL          /2:2 ;зона-носитель решётки
ZN (NT) HOCN          /4:2 ;зона-носитель сети
END

```

* первый прототип ячейки сети, используемой в сети NT

CELL CN1

EQU DR=4

SBOX B1 3,0,0 0,DR,0 0,0,DR

RCZ CI 1.5 DR/2. 0. DR DR*0.3

END

ZC1 B1 -CI /3:12

ZC2 CI /4:2

END

* второй прототип ячейки сети, используемой в сети NT

CELL CN2

SBOX B1 3,0,0 0,4,0 0,0,4

RPP P2 0.6,2.4 0.5,3.5 0,4

END

ZC1 B1 -P2 /-1:11

ZP2 P2 /-2:10

END

* сеть, лежащая в зоне глобальной геометрии

NET NT -6,-6,-2 4,3

T01 4*CN1

T02 CN2 CN1 CN2 CN1

T03 CN1 CN2 CN1 CN1

* картограмма условных регистрационных указателей

P0101 4*0

P0102 5 0 6 0

P0103 0 7 0 0

P0201 4*0

P0202 9 0 9 0

P0203 0 10 0 0

END

* прототип ячейки сети, используемой в сети решётки

CELL CLN

EQU DP=0.8

EQU DQ=0.7

EQU DR=3.0

SBOX BXL DP,0,0 0,DQ,0 0,0,DR

END

CD2 BXL /-1:14

END

* первый прототип элемента решётки; он не содержит сетей

LCELL BUU

EQU R1=1

EQU R2=0.2

EQU X=0.1

EQU Y=0.

EQU Z=0

RCZ BL 0,0,0 3 R1

RCZ C1 -X,Y,Z 3 R2

RCZ C2 X,Y,Z 3 R2

C=C SHOW

END

LZZ BL -C1 -C2 /-1:1

C12 C1 U C2 /-2:5

END

ENDL

* второй прототип элемента решётки; он содержит сеть

LCELL BVV

RPP BL -0.8,0.8 -0.7,0.7 0,3

END

CC3 (VNT) BL /2:2

END

* внутренняя сеть

NET VNT -0.8,-0.7,0 2,2

T01 CLN CLN

T02 CLN CLN

P0101 -1 3

P0102 4 -1

END

ENDL

* описание решётки

EQU POXY = 2

LATT GLTL ZL

LISTEL BUU BVV

PARM -POXY,-POXY,2.5 /2 -POXY,POXY,2.5 POXY,POXY,2.5
 /2 POXY,1.5-POXY,2.5

*

C=C SHOW

* C=C RGMM

V01 4.1888 0.1 3612.8 0.2

FINISH

8. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ МОДУЛЯ ИСТОЧНИКА

Модуль Радиационного Реакторного Источника (RRS) моделирует фазовые координаты частиц источника, в том числе для начального пакета нейтронов при решении стационарной (на $K_{эфф}$) и нестационарной (нейтронная кинетика и неоднородная задача с внешним источником) задач.

Источник частиц RRS написан на языке программирования FORTRAN стандарта 2008 [16]. Разработка кода проводилась с использованием современной методологии объектно-ориентированного программирования. Исходные данные внешнего источника усовершенствованы и представлены в виде набора шаблонов исходных данных. Источник частиц помог существенно расширить области применения программы КИР для решения разнообразных задач.

8.1. Создание внешнего источника

Компоновка данных для внешнего источника начинается с формирования заголовка и ключевого слова «RRS», а заканчивается ключевым словом «FINISH». Далее следует указание общего *количества источников* после ключевого слова «SOURCE». *Список вероятностей* с указанием вероятности вылета частицы из каждого источника указывается в явном виде после ключевого слова «PROBABILITY». Количество указанных вероятностей должно строго соответствовать количеству указанных источников. Вероятности задаются неотрицательными значениями и могут быть не нормированы. Указание нулевой вероятности для источника не будет вызывать ошибку, но такой источник не будет моделироваться. Нормировка вероятностей произойдёт после считывания исходных данных. Если же вероятности для источников не указываются в явном виде, т.е. строка с ключевым словом «PROBABILITY» отсутствует, то источники считаются равновероятностными. После указания *списка источников* необходимо закрыть секцию ключевым словом «END».

Шаблон заголовка RRS:

RRS

SOURCE <количество_источников>

PROBABILITY <список_вероятностей_источников>

<список_источников>

END

<количество_источников> – общее количество источников RRS;

<список_вероятностей_источников> – список вероятностей испускания частицы для каждого источника;

<список_источников> – перечисление всех источников по заданным шаблонам.

Список источников содержит описание каждого из источников через соответствующий шаблон. Количество описаний источников должно совпадать с параметром *количество источников*. Каждый источник начинается с ключевого символа «S» и обязательно должен содержать Имя («Name»), Спектр («Spectrum», см. п. 8.3) и Форму (см. п. 8.2). Данный вариант источника можно считать стандартным и его шаблон представлен далее.

Стандартный шаблон источника со спектром:

...

S NAME=<имя> Spectrum=<имя_спектра> <форма>

...

<имя> – название источника;

<имя_спектра> – название секции спектра для источника (см. п. 8.3);

<форма> – указание формы источника (см. п. 8.2).

Также шаблон источника может содержать дополнительный параметр «ANGLE», с помощью которого задаётся направление частиц

источника (см. п. 8.4). Этот вариант источника служит для создания источника с независимыми моделированиями энергии и угла частицы и представлен ниже.

Шаблон источника с независимыми энерго-угловыми составляющими:

...

S NAME=<имя> ANGLE=<имя_направления> Spectrum=<имя_спектра> <форма>

...

<имя> – название источника;

<имя_ направления> – название секции направления для источника (см. п. 8.4);

<имя_спектра> – название секции спектра для источника (см. п. 8.3);

<форма> – указание формы источника (см. п. 8.2).

Существует возможность задать сложный энерго-угловой источник, но в этом случае дальнейшее описание секции «ANGLE» должно обязательно содержать подсекцию «ANGULAR» (для подробного описания см. п. 8.4). Такой вариант не может считаться стандартным, т.к. для его указания в шаблоне источника достаточно указать только ключевое слово «ANGLE» без указания «Spectrum». Шаблон представлен далее.

Шаблон источника со сложным энерго-угловым спектром:

...

S NAME=<имя> ANGLE=<имя_направления> <форма>

...

<имя> – название источника;

<имя_ направления> – название секции направления для источника (см. п. 8.4);

<форма> – указание формы источника (см. п. 8.2).

Примеры задания источников приведены в Приложениях А и Б.

8.2. Форма источника

Формирование источника начинается с определения его формы. Существует пять разновидностей форм, которые реализованы в классе блока источника:

1. Точечная – Point (PNT);
2. Цилиндрическая – Cylinder (RCX, RCY, RCZ);
3. Шестиугольная – Hexagonal (HEXX, HEXY, HEXZ);
4. Трубовидная – Tubular (TCX, TCY, TCZ);
5. Параллелепипедная – Parallelepiped (RPP).

Параметры для каждой формы задаются соответственно в таблице 3.

Таблица 3. Формы и параметры источника

№	Название		Обозначение	Параметры
1	Точечная	Point	PNT	X0, Y0, Z0
2	Цилиндрическая	Cylinder	RCZ	X0, Y0, Z0, H, R
3	Шестиугольная	Hexagonal	HEX	X0, Y0, Z0, ΔX, ΔY, ΔZ
4	Трубовидная	Tubular	TCZ	X0, Y0, Z0, H, R1, R2
5	Параллелепипедная	Parallelepiped	RPP	X0, X1, Y0, Y1, Z0, Z1

Шаблон формы источника:

...

<Обозначение> <Параметры>

...

<Обозначение> – обозначение-сокращение из таблицы 3;

<Параметры> – набор параметров из таблицы 3.

Параметры источника для соответствующих форм расшифровываются следующим образом.

Точечная. X0, Y0, Z0 – координаты (радиус-вектор $\mathbf{C} = (X0, Y0, Z0)$) точки в трёхмерном пространстве.

Цилиндрическая. Ось цилиндра параллельна координатной оси OZ – RCZ. X0, Y0, Z0 – координаты (радиус-вектор $\mathbf{C} = (X0, Y0, Z0)$)

центра нижнего основания цилиндра в трёхмерном пространстве. H – высота, R – радиус (см. рис. 26).

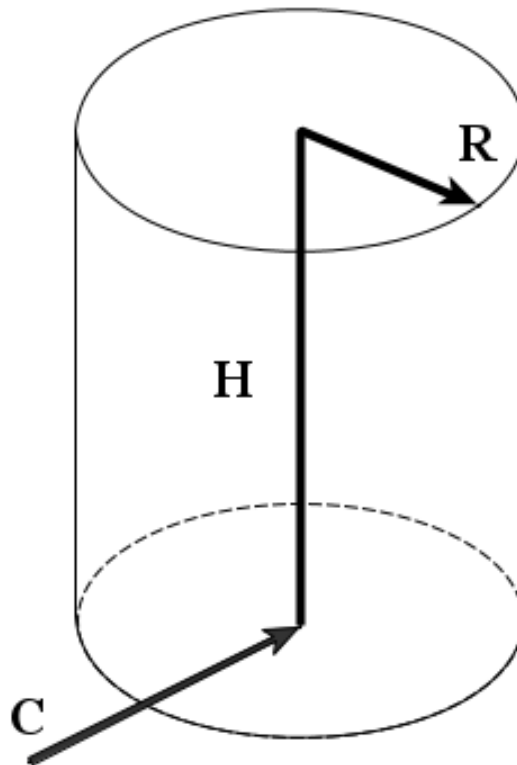


Рисунок 26 – Цилиндрическая форма источника

Шестиугольная. Ось шестигранника параллельна координатной оси OZ – HEX . X_0, Y_0, Z_0 – координаты (радиус-вектор $\mathbf{C} = (X_0, Y_0, Z_0)$) центра нижнего основания шестигранной призмы в трёхмерном пространстве. $\mathbf{V} = (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ – вектор приращения для центра противоположного ребра боковой верхней грани от центра ребра нижней грани. ΔX – ширина под ключ, ΔY – поворот призмы в плоскости (X, Y) , ΔZ – высота призмы (см. рис. 27).

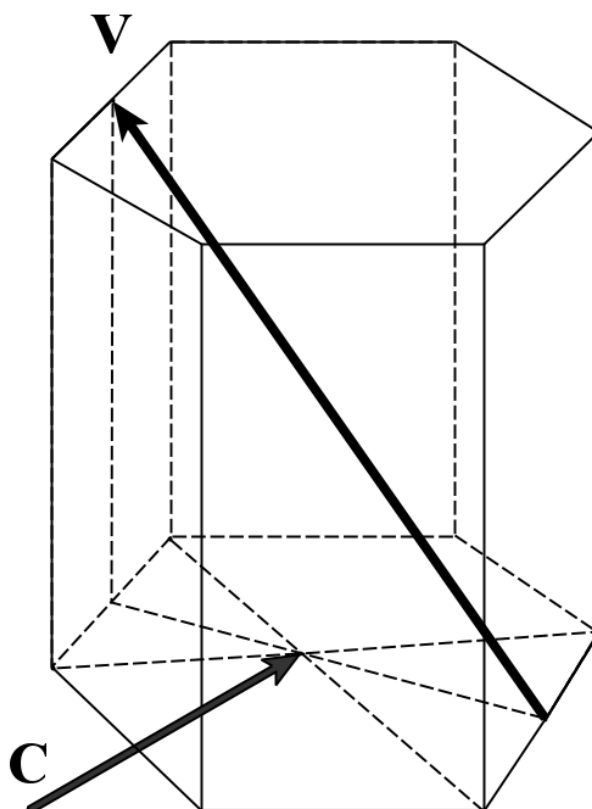


Рисунок 27 – Шестиугольная форма источника

Трубовидная. Ось цилиндра параллельна координатной оси OZ – TCZ . X_0, Y_0, Z_0 – координаты (радиус-вектор $\mathbf{C} = (X_0, Y_0, Z_0)$) центра нижнего основания цилиндра в трёхмерном пространстве. H – высота, R_1 – внутренний радиус или радиус круга первого цилиндра, R_2 – внешний радиус или радиус круга второго цилиндра (см. рис. 28). Радиусы R_1 и R_2 могут быть заданы в любом порядке, т.е. не строго обязательно по возрастанию.

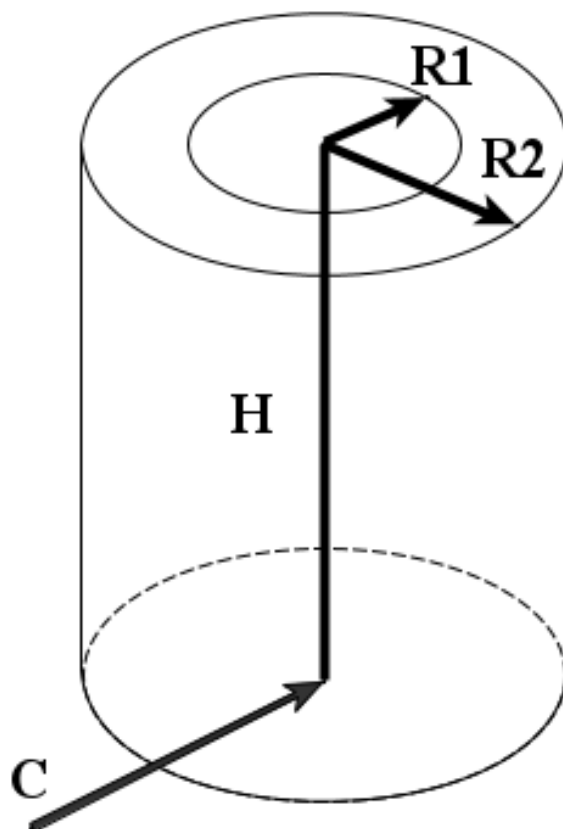


Рисунок 28 – Трубовидная форма источника

Параллелепипедная. Рёбра параллелепипеда параллельны координатным осям. X_0, Y_0, Z_0 – координаты (радиус-вектор $\mathbf{C}_0 = (X_0, Y_0, Z_0)$) нижнего левого угла параллелепипеда в трёхмерном пространстве. X_1, Y_1, Z_1 – координаты (радиус-вектор $\mathbf{C}_1 = (X_1, Y_1, Z_1)$) противоположного ему верхнего правого угла параллелепипеда в трёхмерном пространстве соответственно. Координаты задаются таким образом, что $X_0 \leq X_1, Y_0 \leq Y_1$ и $Z_0 \leq Z_1$ (см. рис. 30).

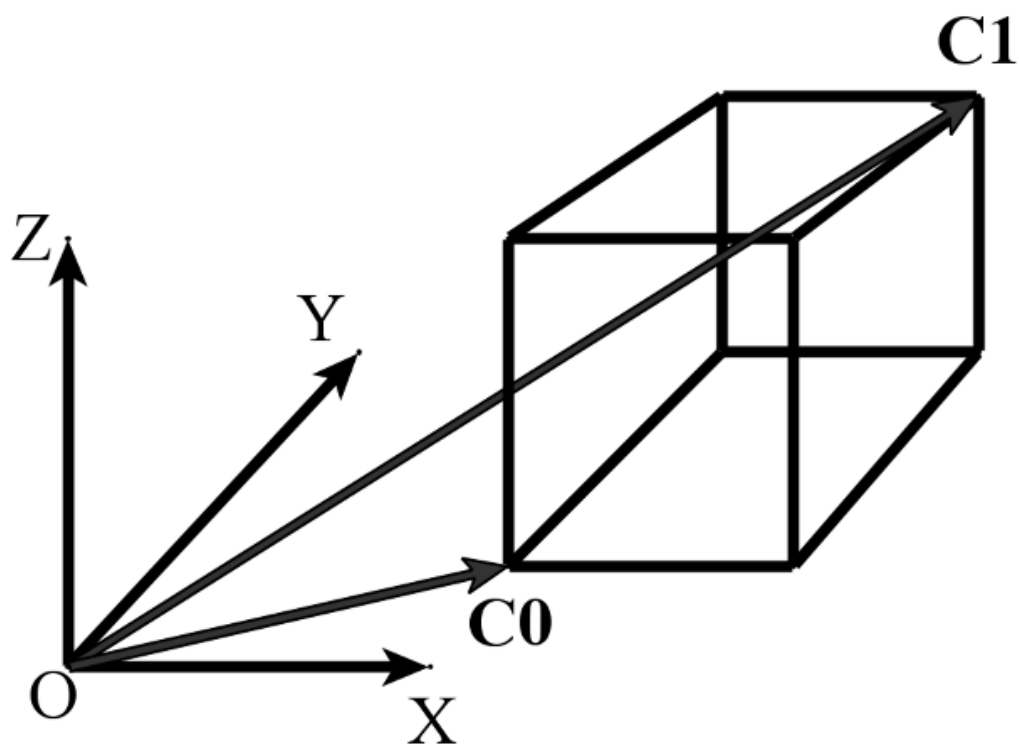


Рисунок 29 – Параллелепipedная форма источника

Примеры задания источников с разными формами приведены в Приложении А.

8.3. Спектр источника

Энергетическая составляющая источника определяет энергию испускаемой частицы. Энергия может быть не постоянной, но и задана некоторым спектром. *Имя спектра* присваивается пользователем после ключевого слова «Spectrum». Спектры источника могут быть достаточно разнообразны, однако все они должны быть представимы в виде табличной функции неотрицательной «условной» вероятности от энергии $P(E)$. Причём вначале задаются все энергии в единицах «эВ», а потом соответственно все вероятности. Нормировку вероятностей производить не обязательно, она производится автоматически после считывания данных.

Секция энергетического спектра начинается с ключевого слова «Spectrum» и соответствующего *имени спектра*. Далее следуют последовательно подсекции «Energy» и «Probability» для указания значений

энергий и соответствующих им *вероятностей*. Завершается секция указания энергетического спектра ключевым словом «END».

Шаблон секции энергетического спектра:

SPECTRUM <имя_спектра>

ENERGY

<список_энергий>

PROBABILITY

<список_вероятностей>

END SPECTRUM <имя_спектра>

<имя_спектра> – название спектра (должно совпадать с именем, указанным для источника после ключевого слова «Spectrum»);

<список_энергий> – список энергий в эВ (первый символ обязательно должен быть пробелом);

<список_вероятностей> – список вероятностей (первый символ обязательно должен быть пробелом).

Существует также возможность создавать моноэнергетический источник частиц с постоянной энергией. Спектр такого источника должен содержать одну энергию и одну положительную условную вероятность. По умолчанию есть моноэнергетический источник «Default», в котором постоянная энергия принята равной 2 МэВ. Указание секции спектра с именем «Default» не будет являться ошибкой, однако, не будет учитываться при моделировании. Вместо этого будет моделироваться моноэнергетический источник «Default», в котором постоянная энергия принята равной 2 МэВ.

Примеры задания источников со спектрами приведены в Приложении Г.

8.4. Направление источника

Угловая составляющая источника определяет направление испускаемой частицы. Указание направления определяется изотропно или анизотропно.

Источники анизотропного вида могут быть достаточно разнообразны. По умолчанию источник формируется в изотропном виде. Формирование анизотропного источника начинается с указания ключевого слова «ANGLE» и присвоения имени углового спектра в строке с ключевым символом «S», формирующей источник.

Секция углового спектра начинается с ключевого слова «Angle» и соответствующего имени. Далее следует либо подсекция «Degrees», либо «Cosines» (по желанию пользователя) для указания значения *направления* в виде *градусов углов*, которые образуются с координатными осями, или же в виде *направляющих косинусов* соответственно. Завершается секция указания углового спектра ключевым словом «END».

Шаблон секции углового спектра «Angle»:

ANGLE <имя_направления>

<направление>

END ANGLE <имя_направления>

<имя_направления> – название направления (должно совпадать с именем, указанным для источника после ключевого слова «Angle»);

<направление> – одна из подсекций, задающих направление («Degrees» или «Cosines»).

Далее представлены шаблоны подсекций, задающие *направление* для источника.

Шаблон подсекции «Degrees» углового спектра «Angle»:

...

Degrees

<список_углов>

...

<список_углов> – три угла, которые образует вектор направления источника с координатными осями (первый символ обязательно должен быть пробелом).

Шаблон подсекции «Cosines» углового спектра «Angle»:

...

Cosines

<список_косинусов>

...

<список_косинусов> – три направляющих косинуса (первый символ обязательно должен быть пробелом).

Если требуется задать только некоторое *направление* частиц независимо от энергетического спектра, то вышеуказанный вариант в полной мере предоставляет эту возможность. Необходимо заметить, что если пользователь укажет обе подсекции «Degrees» и «Cosines» одновременно, то моделироваться будет только последнее из указанных направлений.

Сложный энерго-угловой спектр может быть сформирован через указание подсекции «Angular» после задания *направления* источника.

Шаблон секции углового спектра «Angle» с подсекцией «Angular»:

ANGLE <имя_направления>

<направление>

ANGULAR

<угловая_часть>

<энергетическая_часть>

END ANGULAR

END ANGLE <имя_направления>

<имя_направления> – название направления (должно совпадать с именем, указанным для источника после ключевого слова «Angle»);

<направление> – одна из подсекций, задающих направление («Degrees», или «Cosines»);

<угловая_часть> – угловая часть энерго-углового спектра;

<энергетическая_часть> – энергетическая часть энерго-углового спектра.

Подсекция «Angular» состоит из двух последовательных частей: *угловой* и *энергетической*. Каждая часть начинается с ключевого слова «ASpectrum» и произвольного имени, а завершается ключевым словом «END».

Угловая часть содержит границы интервалов направляющего косинуса по оси Z с вероятностями, которые задаются последовательно через подсекции «Cosine» и «Probability». Количество вероятностей должно соответствовать количеству указанных интервалов косинусов, поэтому последнее значение вероятности должно быть задано равным нулю. Нормировка вероятностей может быть произвольной, т.к. она будет произведена автоматически после считывания.

Шаблон угловой части:

ASPECTRUM <имя_спектра>

COSINE

<список_косинусов>

PROBABILITY

<список_вероятностей>

END ASPECTRUM <имя_спектра>

<имя_спектра> – произвольное название спектра;

<список_косинусов> – список интервалов направляющего косинуса для оси OZ (первый символ обязательно должен быть пробелом);

<список_вероятностей> – список вероятностей (первый символ обязательно должен быть пробелом).

Энергетическая часть содержит энергетические спектры для всех соответствующих интервалов направляющего косинуса из *угловой части*. Энергетические спектры задаются последовательно через ключевое слово «ASpectrum» для каждого интервала и формируются аналогично правилам создания секции «Spectrum», описанным в п. 8.3.

Шаблон одного из спектров для энергетической части:

ASPECTRUM <имя_спектра>

ENERGY

<список_энергий>

PROBABILITY

<список_вероятностей>

END ASPECTRUM <имя_спектра>

<имя_спектра> – произвольное название спектра;

<список_энергий> – список энергий в эВ (первый символ обязательно должен быть пробелом);

<список_вероятностей> – список вероятностей (первый символ обязательно должен быть пробелом).

Направление частицы вдоль оси OZ может быть изменено с помощью угла или направляющего косинуса для оси OZ подсекции «Degrees» или «Cosines», на который умножается полученный направляющий косинус для оси OZ порождаемой частицы.

Примеры анизотропных источников представлены в Приложении Д.

9. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ МОДУЛЯ РЕГИСТРАЦИИ

Регистрационный модуль (REGISTRATION) программы КИР предназначен для выполнения следующих задач:

1. обеспечение возможности задания на счёт необходимых функционалов на этапе ввода исходных данных для решения конкретной задачи;
2. переработка введённой информации в вид, удобный для использования в программе и запись этой информации в файл библиотеки задачи формата HDF;
3. передача информации о регистрируемых функционалах в другие модули программы через управляющий модуль;
4. оценка функционалов потока моделируемых частиц и оценка статистических погрешностей этих функционалов, постобработка и выдача на печать вычисленных функционалов;
5. периодическое сбрасывание накопленных в течение счёта данных на диск в формате HDF с компрессией;
6. переработка вычисленных функционалов в вид, удобный для пользования сторонними модулями или программами, и запись этой информации на диск.

Регистрационный модуль (REGISTRATION) обеспечивает расчёт следующих групп функционалов, которые представлены в исходном коде в виде подклассов:

- 1) GENERAL – общие функционалы, такие как интегральные параметры $K_{эфф}$, $\beta_{эфф}$, $L_{эфф}$ и т.д.;
- 2) STD – стандартные функционалы для расчёта стационарных и нестационарных процессов (усреднённые характеристики по интервалам следующих типов: временные, энергетические, пространственные и т.д.), можно задавать несколько блоков расчёта с разными разбиениями фазового пространства.

Исходные данные регистрационного модуля задаются после данных модуля источника RRS.

Схема задания данных регистрационного модуля:

RUGA – обязательный заголовок

KEFF – решается задача на регистрацию *Кэф* по следующим типам оценок: пробегам, столкновениям, поглощениям и делениям

LIFE – решается задача вычисления среднего времени жизни нейтронов деления, оцененного по столкновениям, поглощениям и делениям.

REGTYPE STD – заголовок для блока регистрации группы функционалов (окончание блока – END). Блоков может быть введено сколько угодно много.

ESTIMATION – тип оценки, задается в следующем формате:

ESTIMATION <список оценок на счет> **out** <список оценок на вывод>

<список оценок на счет> - в списке задается список оценок, которые будут рассчитаны в данной задаче. Оценки задаются буквенными символами: “t” – по пробегам, “c” – по столкновениям, “a” – по поглощениям, “f” – по делениям. Также в этом списке возможно задание all - считаться будут все оценки и combo - вычисляется комбинированная оценка по введенному ранее списку. По умолчанию используется только оценка по столкновениям.

<список оценок на вывод> – в списке задаются оценки, которые будут выведены в файле результатов. Здесь возможны задания: “t”; “c”; “a”; “f” (смыслы символов t c a f аналогичны вышеперечисленным), комбинаций этих оценок с чередованием символов (“tc”, “ta”, “ca”, “tca”, “tf”, “cf”, “tcf”, “af”, “taf”, “caf” и “tcaf”), min – результат с минимальной дисперсией, max – результат с максимальной дисперсией, all – будут использоваться оценки перечисленные в <список оценок на счет>. Последние два вывода работают только когда $\sigma/\text{value} > 10\%$.

Пример:

ESTIMATION t c a combo out all min

TIME – временная сетка регистрации функционалов. Может быть использована в стационарном режиме, в котором время отсчитывается от рождения нейтрона ($t=0$ с) до его исчезновения. По умолчанию задаётся интервал $[0; 1E200]$.

Пример:

TIME 10 1E-9 9 1E-8 9 1E-7 9 1E-6 9 1E-5 9 1E-4 9 1E-3 9 1E-2 9 1E-1 9 1E0 9 1E1 9 1E2 9 1E3

REACTION – тип функционала: 0 – поток, 1 – скорость реакции столкновения (CStot), 3 – скорость реакции поглощения (CSabs), 18 – скорость реакции деления (CSfis), 918 – скорость генерации нейтронов (Nu CSFis) ... остальные реакции аналогичны ENDFB формату. По умолчанию REACTION имеет значение 0.

Пример:

REACTION 0 18 918 103 102 16

ENERGY – энергетическая сетка (для физического модуля MAGMA задаются номера групп, а для PHM модуля нижние границы энергетических интервалов). 0.0 - по всему энергетическому интервалу или по всем группам. Пример “**ENERGY** 0.0 0.632” задает две энергетические группы – $[0.0, 0.632]$ и $[0.632, \infty]$. По умолчанию ENERGY имеет значение 0.0.

REGION – перечень зон в которых проводится регистрация. 0 – перечисляются все зоны. Задание проводится в виде перечисленных зон или интервалов.

Интервалы задаются на основе выражения: $L<\text{число}>R<\text{число}>$. После литеры “L” задается начальное число, с которого перечисляются зоны. После литеры “R” задается конечный номер перечисления. Например, L3R100 – означает, что перечисляются зоны с 3 по 100 ($[3;100]$).

Пример:

REGION 1 L3R100

Аналогично возможны карты: **MATERIAL** – для материалов, заданных в физмодуле; **OBJECT** – для объектов, размеченных на этапе ввода исходных данных геомодуля, **INTEGRALVOLUME** – расчет функционалов интегрально по объему (должно иметь значение 0).

ISOTOPE – перечень изотопов, для которых вычисляются реакции.

Примеры:

ISOTOPE MIXED Al27 Pu239

Здесь параметр MIXED, означает суммарный параметр по всем изотопам. Также вычисляются реакции для изотопов Al-27 и Pu-239. По умолчанию параметр ISOTOPE имеет значение MIXED.

SORT – порядок пробега по типам функционалов. Должно быть введено 6 значений: TIME – пробег по временной сетке, ISOTOPE – пробег по изотопам, REACTION – пробег по списку реакций, ENERGY – пробег по энергетической сетке, ESTIMATION – пробег по типам оценок, DOMAIN – пробег по областям, заданными картами REGION, MATERIAL, OBJECT, INTEGRALVOLUME. В выводе используется конструктор таблиц, в котором последние две позиции в карте «SORT» формируют названия столбцов (предпоследняя) и строк (последняя). По умолчанию SORT имеет значение TIME ISOTOPE REACTION ENERGY ESTIMATION DOMAIN.

Пример другого ввода:

SORT TIME ESTIMATION ISOTOPE DOMAIN REACTION ENERGY

DETECTOR – задаёт тип функционала реакций. Значения: 1 – реакции вычисляются на основе макросечений – $\int \Sigma_{reaction} \Phi$; 2 – реакции вычисляются на основе микросечений – $\int \sigma_{reaction} \Phi$. По умолчанию карта имеет значение 1.

Пример:

DETECTOR 2

END – окончание блока регистрации функционалов.

REGTYPE STD – ввод следующего блока регистрации функционалов (аналогично предыдущему).

...

END – окончание блока регистрации функционалов.

FINISH – окончание модуля регистрации.

Примеры заданий исходных данного регистрационного модуля приведены в тестовых вариантах scherzo, godiva, vver (без бора), vverb (с бором), generic, расположенных в директории:

<директория установки>/kir/examples/phm/

10. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ МОДУЛЯ ТРАЕКТОРИЙ

Транспортный модуль (TRAJECTORY) осуществляет организацию моделирования отдельных траекторий нейтронов в случае решения стационарной задачи.

В процессе счёта КИР модуль вызывает подпрограммы (методы) и обеспечивает перенос данных у следующих модулей: геометрический, физический, банк частиц, модуль источников, модуль регистрации. Сам транспортный модуль вызывается из управляющего модуля.

Исходные данные транспортного модуля делятся на два типа. В исходных данных первого типа задаются неизменяемые параметры счёта в течение всего процесса моделирования, а для второго типа определяются данные, которые можно изменить в течение счёта. Изменение данных можно провести в отдельном файле после сброса данных программы на диск и останова задачи.

Исходные данные транспортного модуля задаются после модуля регистрации (RUGA).

Схема задания данных транспортного модуля следующая. Без заголовка список карт задаются параметры, которые нельзя поменять в течение счёта:

NTOT – число частиц (нейтронов) в пакете;

NBATCH – число пакетов частиц (нейтронов);

NSKI – число поколений, которое будет смоделировано без регистрации функционалов;

WGTRR – с этой картой процесс моделирования истории нейтрона будет неаналоговым (весовое моделирование + русская рулетка);

FINISH – окончание этого блока.

Далее вводятся данные, которые можно поменять в течение счёта в файле <название варианта>.DAT, кроме карты REGIME:

REGIME 0 или 2. 0 – стационарная задача; 2 – кинетическая задача или задача с источником;

DTZM – число серий после которых проводится запись на диск;

MXSR – число серий.

11. СИСТЕМНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Для работы комплекса требуется 64-разрядная ОС WINDOWS 7 (или выше). Кроме того, ПС «КИР» может быть задействован на рабочих станциях с многоядерными процессорами и 64-разрядной ОС LINUX.

Для записи комплекса программ и библиотек требуется около 35 Гб свободного пространства накопителя. При работе для записи задания (HDF-файлы) и результатов работы (текстовые файлы) одного типичного задания потребуется приблизительно 5-10 Мб свободного пространства накопителя на один используемый процессор (в зависимости от сложности задания объём временных файлов расчёта будет вирироваться в разумных пределах). В случае даже успешного завершения расчёта, временные файлы не уничтожаются. Выполнение расчёта моделирования нуклидной кинетики (выгорание) может потребовать дополнительного свободного пространства накопителя, т.к. в этом случае будут записываться предварительные результаты по каждому шагу «выгорания».

Типичные времена счёта для нескольких примеров заданий на персональном компьютере с установленной ОС Windows 10 с процессором 2.90 ГГц (Intel(R) Core(TM) i7-10700 CPU) представлены в каталоге TEST (см. раздел 3 «СОДЕРЖАНИЕ КОМПЛЕКСА»).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. В.Д. Давиденко, А.С. Зинченко, И.К. Харченко. Интегральные нестационарные уравнения переноса нейтронов для расчётов кинетики ядерных реакторов методом Монте-Карло. ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов. 2015, вып. 1, с. 11-16.
2. Е.А. Гомин, В.Д. Давиденко, А.С. Зинченко, И.К. Харченко. Расчёт функции ценности и эффективной доли запаздывающих нейтронов методом Монте-Карло. ВАНТ. Серия: Физика ядерных реакторов. 2016. № 3. С. 22-30.
3. Е.А. Гомин, В.Д. Давиденко, А.С. Зинченко, И.К. Харченко. К определению времени жизни мгновенных нейтронов деления методом Монте-Карло. ВАНТ. Серия: Физика ядерных реакторов. 2016. № 3. С. 16-21.
4. Е.А. Гомин, В.Д. Давиденко, А.С. Зинченко, И.К. Харченко. Моделирование кинетики ядерного реактора методом Монте-Карло // ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов. 2016, вып. 5, стр. 4-16.
5. Белл Д., Глесстон С. Теория ядерных реакторов. М.: Атомиздат, 1974. с. 19-20.
6. Михайлов Г.А., Медведев И.Н. Оптимизация весовых алгоритмов статистического моделирования – Новосибирск: Омега Принт, 2011. – 304 с.
7. Стандарт языка программирования Фортран 2008. Электронный ресурс: <https://wg5-fortran.org/f2008.html> (дата обращения 31.05.2023).
8. M.I. Gurevich, A.V. Pryanichnikov. Algorithms of NCG geometrical module. Physics of Atomic Nuclei; ISSN 1063-7788; Worldcat; CODEN PANUEO; v.75(14); p. 1661 1668. 2012.
9. THE HDF5® LIBRARY & FILE FORMAT. Электронный ресурс: <https://www.hdfgroup.org/solutions/hdf5> (дата обращения 31.05.2023).

10. Evaluated Nuclear Data File (ENDF), Database Version of 2021-05-14, Software Version of 2021-09-17. Электронный ресурс: <https://www-nds.iaea.org/exfor/endl.htm> (дата обращения 31.05.2023).
11. F.B. Brown, J.T. Goorley, & J.E. Sweezy, "MCNP5 Parallel Processing Workshop", Workshop on parallel processing with MCNP5, presented at the ANS Mathematics & Computation Topical Meeting, Gatlinburg TN, April 11, 2003. Covers parallel Monte Carlo on Unix, Linux, & Windows systems, LA-UR-03-2228 (April, 2003).
12. R.E. MacFarlane, D.W. Muir, R.M. Boicourt, A.C. Kahler. The NJOY Nuclear Data Processing System, Version 2012. Theoretical Division Los Alamos National Laboratory. LA-UR-12-27079 (2012).
13. В.В. Сеница. Пакет Процессинговых Программ GRUON-D, версия 2019-12, свидетельство о государственной регистрации № 2014663246. Электронный ресурс: <https://www-nds.iaea.org/gruon> (дата обращения 31.05.2023).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Рассматриваемая модель (шестигранная ячейка типа ВВЭР с тепловыделяющим элементом (ТВЭЛ), в котором присутствует оболочка и зазор).

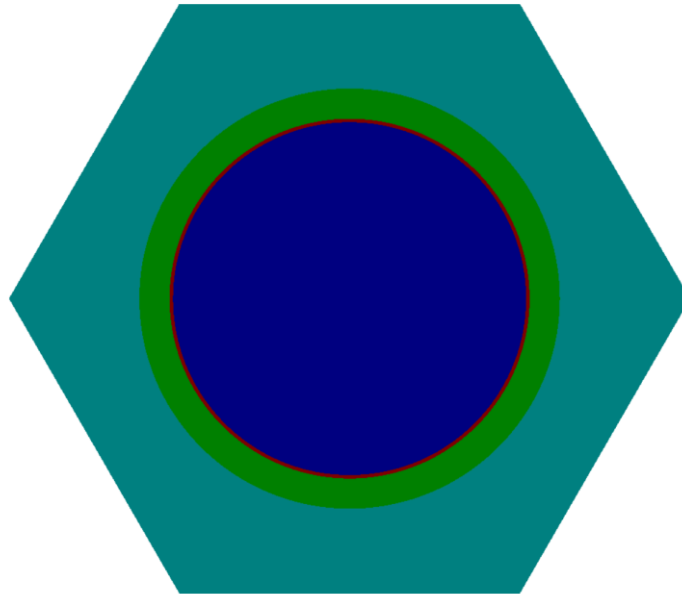


Рисунок А.1. Модель ячейки ВВЭР

Входные файлы:

vver
physics.dat
KIR.INI

Входной файл модели «vver»:

```
HEAD 1 0 500
CONT В В Т Т Т Т Т Т
EQU HZ=373.0
HEX N1 0. 0. 0. 1.099852 0.635 HZ
C= TELA TVELA
RCZ N2 0. 0. 0. HZ 0.4525
RCZ N3 0. 0. 0. HZ 0.3875
RCZ N4 0. 0. 0. HZ 0.3800
*ТОЛЩИНА СЛОЯ ПО ТОПЛИВУ
EQU DZ=HZ/2
EQU POGR=DZ*1
SLA T1 0. 0. 0. 0. 0. DZ
SLA T2 0. 0. 1*DZ 0. 0. DZ
SLA BOR 0. 0. HZ 0. 0. -POGR
END
R001 4 T1 /1:1/1
R001 4 T2 /2:1/2
R002 3 -4 /3:4/3
```



```

R003  2 -3      /3:2/3
R004  1 -2  BOR  /3:3/3
R004  1 -2  -BOR  /3:3/3 *BOR MATERIAL, TO SET BOR - "/3:5/3"
END
FINISH
RRS
SOURCE 2
PROBABILITY 0.5 0.5
S NAME=S1 SPECTRUM=SP1 PNT 0.0 0.0 150.0
S NAME=S2 SPECTRUM=SP2 PNT 0.0 0.0 323.0
END
SPECTRUM SP1
ENERGY
  2E6
PROBABILITY
  1.0
END
SPECTRUM SP2
ENERGY
  2E6
PROBABILITY
  1.0
END
FINISH
RUGA
KEFF
END
FINISH
NTOT 1000
NSKI 50
FINISH
MXSR 1000
FINISH

```

Содержание файла «*physics.dat*»

d:/kir_library/e-71.njoy.tpc.hdf/

MATR 1

2.1907022E-04 U235

2.2975370E-02 U238

4.6388E-02 O16

MATR 2

2.1984585E-02 Zr90

4.7943060E-03 Zr91

7.3281950E-03 Zr92

7.4264740E-03 Zr94

1.1964400E-03 Zr96

4.3200000E-04 Nb93

1.0692000E-08 Hf174

3.4359600E-07 Hf176

1.2279960E-06 Hf177

1.8016020E-06 Hf178

8.9951400E-07 Hf179
2.3166000E-06 Hf180

MATR 3
6.6714000E-02 H1
3.3357000E-02 O16

MATR 4
1.0000000E-06 Al27

MATR 5
6.6714000E-02 H1
3.3357000E-02 O16
5.0000000E-06 B10

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Рассматривается легководный реактор типа PWR. Модель представляет собой $\frac{1}{4}$ активной зоны. Данная модель задаётся с использованием сложной геометрии (сетей). Также, для описания органов регулирования используется решётка, что позволяет изменять положение органов регулирования независимо от основной модели.

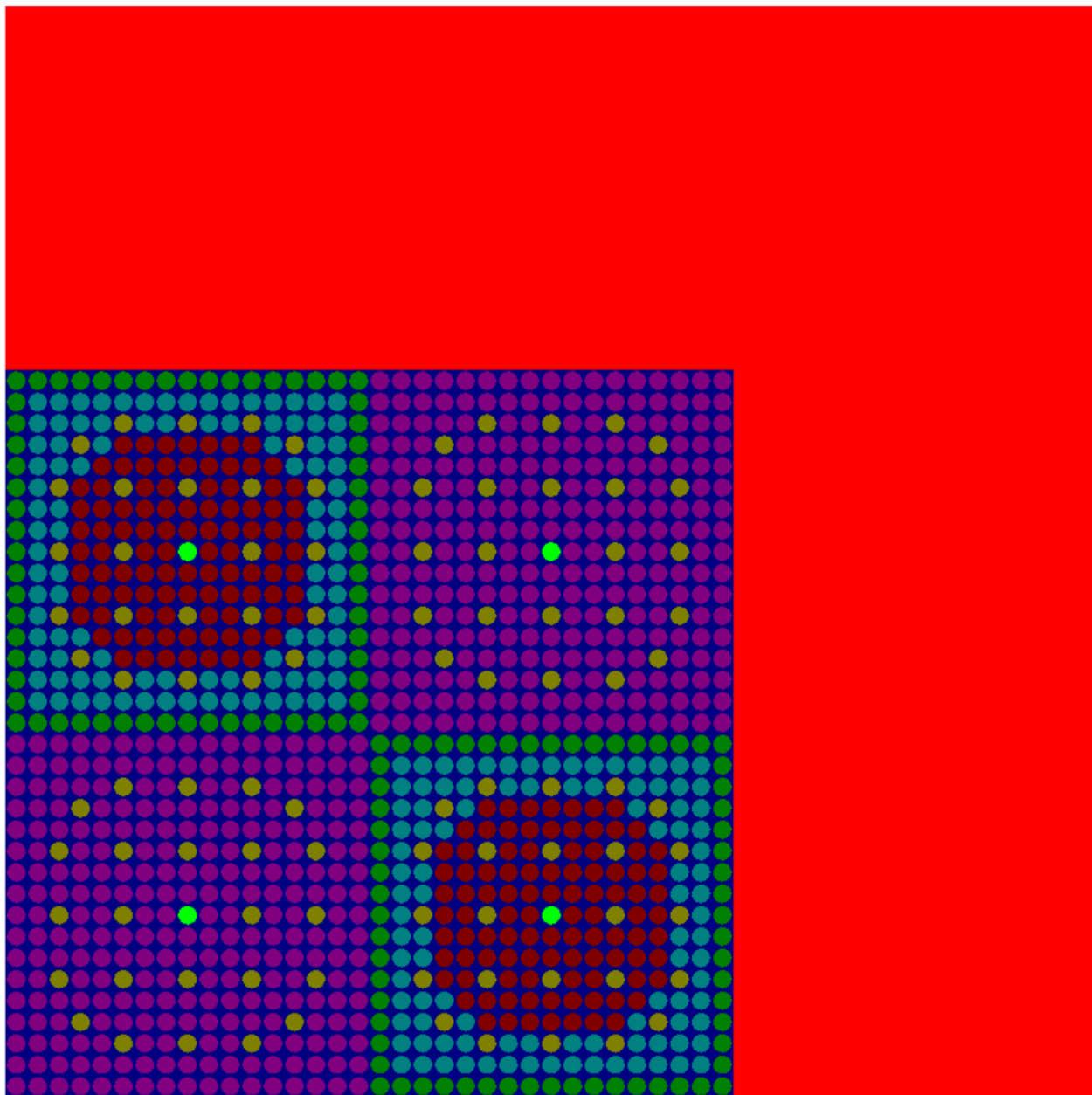


Рисунок Б.1. Схема активной зоны PWR

HEAD 1 0 200000

***Параметры констант**

EQU HZ=128.52

EQU HZA=149.94

EQU XNet=-21.42

EQU YNet=-42.84

EQU Step=1.26

***Граничные условия**

CONT T T B B B B

*----- ACtive Zone -----

***Основной контейнер**

***Описание тел**

RPP K2 -21.42 42.84 -42.84 21.42 -21.42 HZA

RPP K1 -21.42 21.42 -42.84 0.0 0.0 HZA

END

***Описание Зон**

Z1 K2 -K1 /2:12/2

Z2 (UW) K1 /1:12/1

END

***Описание ячеек (для каждого типа тепловыделяющего элемента используется свой прототип ячейки, который состоит из названия прототипа и стандартного описание тел и зон)**

* -----MOX fuel with enrichment 4.3% -----

CELL M43

SBOX N1 1.26 0. 0. 0. 1.26 0. 0. 0. HZA

RCZ N2 0.63 0.63 0.0 HZ 0.54

END

z6 1 -2 /1:1/1

z7 2 /1:2/1

END

* -----MOX fuel with enrichment 7.0% -----

CELL M70

SBOX N1 1.26 0. 0. 0. 1.26 0. 0. 0. HZA

RCZ N2 0.63 0.63 0.0 HZ 0.54

END

z6 1 -2 /1:1/1

z7 2 /1:3/1

END

* -----MOX fuel with enrichment 8.7% -----

CELL M87

SBOX N1 1.26 0. 0. 0. 1.26 0. 0. 0. HZA

RCZ N2 0.63 0.63 0.0 HZ 0.54

END

z6 1 -2 /1:1/1

z7 2 /1:4/1

END

* -----UO2 fuel-----

CELL UO2

SBOX N1 1.26 0. 0. 0. 1.26 0. 0. 0. HZA

RCZ N2 0.63 0.63 0.0 HZ 0.54

END

z6 1 -2 /1:1/1

z7 2 /1:5/1

END

* -----Guide Tube for FUEL ASSEMBLIES 1-----

CELL GT0

SBOX N1 1.26 0. 0. 0. 1.26 0. 0. 0. HZA

RCZ N2 0.63 0.63 0.0 HZA 0.54

END

z6 1 -2 /1:1/1

z7 2 /1:6/1

END

* -----Guide Tube for FUEL ASSEMBLIES 1-----

CELL GT1

SBOX N1 1.26 0. 0. 0. 1.26 0. 0. 0. HZA
RCZ N2 0.63 0.63 0.0 HZ 0.54
END

z6 1 -2 /1:1/1
z7 2 /1:6/1

END

* -----Guide Tube for FUEL ASSEMBLIES 2-----

CELL GT2

SBOX N1 1.26 0. 0. 0. 1.26 0. 0. 0. HZA
RCZ N2 0.63 0.63 0.0 HZ 0.54
END

z6 1 -2 /1:1/1
z7 2 /1:7/1

END

* -----Guide Tube for FUEL ASSEMBLIES 3-----

CELL GT3

SBOX N1 1.26 0. 0. 0. 1.26 0. 0. 0. HZA
RCZ N2 0.63 0.63 0.0 HZ 0.54
END

z6 1 -2 /1:1/1
z7 2 /1:8/1

END

* -----Guide Tube for FUEL ASSEMBLIES 4-----

CELL GT4

SBOX N1 1.26 0. 0. 0. 1.26 0. 0. 0. HZA
RCZ N2 0.63 0.63 0.0 HZ 0.54
END

z6 1 -2 /1:1/1
z7 2 /1:9/1

END

* -----Fission Chamber rod-----

CELL FCH

SBOX N1 1.26 0. 0. 0. 1.26 0. 0. 0. HZA
RCZ N2 0.63 0.63 0.0 HZ 0.54
END

z6 1 -2 /1:1/1
z7 2 /1:10/1

END

***Формирование сети**

*** Название сети и начала координат относительно глобальной геометрии**

NET UW -21.42, -42.84, 0.0, 34, 34

* 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 *24 25 26 27 28 29
30 31 32 33 34

*** Заполнение расстановки прототипов ячеек**

T01 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 M43
M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43

T02 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 M43
M70 M70 M70 M70 M70 M70 M70 M70 M70 M70 M70 M70 M70 M70 M70 M70

T03 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 GT0 UO2 UO2 GT0 UO2 UO2 GT0 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 M43 M70
M70 M70 M70 GT0 M70 M70 GT0 M70 M70 GT0 M70 M70 M70 M70 M43

T04 UO2 UO2 UO2 GT0 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 GT0 UO2 UO2 UO2 M43 M70
M70 GT0 M70 M87 M87 M87 M87 M87 M87 M87 M70 GT0 M70 M70 M43

T05 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 M43
M70 M70 M70 M87 M87 M87 M87 M87 M87 M87 M87 M70 M70 M70 M43

T06 UO2 UO2 GT0 UO2 UO2 GT0 UO2 UO2 GT0 UO2 UO2 GT0 UO2 UO2 GT0 UO2 UO2 M43 M70
GT0 M87 M87 GT0 M87 M87 GT0 M87 M87 GT0 M87 M87 GT0 M70 M43

T34 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 M43 UO2 UO2
 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2 UO2
 END
***Прототипы органов регулирования для решётки**
*** Для каждой ТВС введена собственная решётка, для независимости групп органов**
регулирования друг от друга при изменении положения
 CELL CR
 SBOX N1 1.26 0. 0. 0. 1.26 0. 0. 0. 2*HZ
 RCZ N2 0.63 0.63 HZ HZ 0.54
 RCZ N3 0.63 0.63 0. HZ 0.54
 END
 gz01 1 -2 -3 /3:1/1
 gz02 2 /4:11/1
 gz 03 3 /5:6/1
 END
 LCELL CR1
 RCZ N1 0.63 0.63 0.0 HZA 0.54
 END
 crz1 (NT1) 1 /3:11/1
 END
 *
*** Описание решётки**
 NET NT1 0.0, 0.0, 0.0, 1, 1
 T01 CR
 END
 ENDL
 LATT GLTL Z1 Z2
 LISTEL CR1
 *
*** Расположение решётки**
 PARM 2*Step-21.42 5*Step-42.84 0.0
 2*Step-21.42 8*Step-42.84 0.0
 2*Step-21.42 11*Step-42.84 0.0
 *
 3*Step-21.42 3*Step-42.84 0.0
 3*Step-21.42 13*Step-42.84 0.0
 *
 5*Step-21.42 2*Step-42.84 0.0
 5*Step-21.42 5*Step-42.84 0.0
 5*Step-21.42 8*Step-42.84 0.0
 5*Step-21.42 11*Step-42.84 0.0
 5*Step-21.42 14*Step-42.84 0.0
 *
 8*Step-21.42 2*Step-42.84 0.0
 8*Step-21.42 5*Step-42.84 0.0
 8*Step-21.42 11*Step-42.84 0.0
 8*Step-21.42 14*Step-42.84 0.0
 *
 11*Step-21.42 2*Step-42.84 0.0
 11*Step-21.42 5*Step-42.84 0.0
 11*Step-21.42 8*Step-42.84 0.0
 11*Step-21.42 11*Step-42.84 0.0
 11*Step-21.42 14*Step-42.84 0.0
 *
 13*Step-21.42 3*Step-42.84 0.0
 13*Step-21.42 13*Step-42.84 0.0
 *

```

14*Step-21.42  5*Step-42.84  0.0
14*Step-21.42  8*Step-42.84  0.0
14*Step-21.42  11*Step-42.84  0.0
*
LCELL CR2
RCZ N1 0.63 0.63 0.0 HZA  0.54
END
crz1 (NT2) 1 /3:11/1
END
*
NET NT2 0.0, 0.0, 0.0, 1, 1
T01 CR
END
ENDL
LATT GLTL Z1 Z2
LISTEL CR2
*
PARM  2*Step-21.42  22*Step-42.84  0.0
      2*Step-21.42  25*Step-42.84  0.0
      2*Step-21.42  28*Step-42.84  0.0
*
      3*Step-21.42  20*Step-42.84  0.0
      3*Step-21.42  30*Step-42.84  0.0
*
      5*Step-21.42  19*Step-42.84  0.0
      5*Step-21.42  22*Step-42.84  0.0
      5*Step-21.42  25*Step-42.84  0.0
      5*Step-21.42  28*Step-42.84  0.0
      5*Step-21.42  31*Step-42.84  0.0
*
      8*Step-21.42  19*Step-42.84  0.0
      8*Step-21.42  22*Step-42.84  0.0
      8*Step-21.42  28*Step-42.84  0.0
      8*Step-21.42  31*Step-42.84  0.0
*
      11*Step-21.42  19*Step-42.84  0.0
      11*Step-21.42  22*Step-42.84  0.0
      11*Step-21.42  25*Step-42.84  0.0
      11*Step-21.42  28*Step-42.84  0.0
      11*Step-21.42  31*Step-42.84  0.0
*
      13*Step-21.42  20*Step-42.84  0.0
      13*Step-21.42  30*Step-42.84  0.0
*
      14*Step-21.42  22*Step-42.84  0.0
      14*Step-21.42  25*Step-42.84  0.0
      14*Step-21.42  28*Step-42.84  0.0
*
LCELL CR3
RCZ N1 0.63 0.63 0.0 HZA  0.54
END
crz1 (NT3) 1 /3:11/1
END
*
NET NT3 0.0, 0.0, 0.0, 1, 1
T01 CR
END

```



```

ENDL
LATT GLTL Z1 Z2
LISTEL CR3
*
PARM 19*Step-21.42 5*Step-42.84 0.0
      19*Step-21.42 8*Step-42.84 0.0
      19*Step-21.42 11*Step-42.84 0.0
*
      20*Step-21.42 3*Step-42.84 0.0
      20*Step-21.42 13*Step-42.84 0.0
*
      22*Step-21.42 2*Step-42.84 0.0
      22*Step-21.42 5*Step-42.84 0.0
      22*Step-21.42 8*Step-42.84 0.0
      22*Step-21.42 11*Step-42.84 0.0
      22*Step-21.42 14*Step-42.84 0.0
*
      25*Step-21.42 2*Step-42.84 0.0
      25*Step-21.42 5*Step-42.84 0.0
      25*Step-21.42 11*Step-42.84 0.0
      25*Step-21.42 14*Step-42.84 0.0
*
      28*Step-21.42 2*Step-42.84 0.0
      28*Step-21.42 5*Step-42.84 0.0
      28*Step-21.42 8*Step-42.84 0.0
      28*Step-21.42 11*Step-42.84 0.0
      28*Step-21.42 14*Step-42.84 0.0
*
      30*Step-21.42 3*Step-42.84 0.0
      30*Step-21.42 13*Step-42.84 0.0
*
      31*Step-21.42 5*Step-42.84 0.0
      31*Step-21.42 8*Step-42.84 0.0
      31*Step-21.42 11*Step-42.84 0.0
*
LCELL CR4
RCZ N1 0.63 0.63 0.0 HZA 0.54
END
crz1 (NT4) 1 /3:11/1
END
*
NET NT4 0.0, 0.0, 0.0, 1, 1
T01 CR
END
ENDL
LATT GLTL Z1 Z2
LISTEL CR4
*
PARM 19*Step-21.42 22*Step-42.84 0.0
      19*Step-21.42 25*Step-42.84 0.0
      19*Step-21.42 28*Step-42.84 0.0
*
      20*Step-21.42 20*Step-42.84 0.0
      20*Step-21.42 30*Step-42.84 0.0
*
      22*Step-21.42 19*Step-42.84 0.0
      22*Step-21.42 22*Step-42.84 0.0

```

22*Step-21.42	25*Step-42.84	0.0
22*Step-21.42	28*Step-42.84	0.0
22*Step-21.42	31*Step-42.84	0.0
*		
25*Step-21.42	19*Step-42.84	0.0
25*Step-21.42	22*Step-42.84	0.0
25*Step-21.42	28*Step-42.84	0.0
25*Step-21.42	31*Step-42.84	0.0
*		
28*Step-21.42	19*Step-42.84	0.0
28*Step-21.42	22*Step-42.84	0.0
28*Step-21.42	25*Step-42.84	0.0
28*Step-21.42	28*Step-42.84	0.0
28*Step-21.42	31*Step-42.84	0.0
*		
30*Step-21.42	20*Step-42.84	0.0
30*Step-21.42	30*Step-42.84	0.0
*		
31*Step-21.42	22*Step-42.84	0.0
31*Step-21.42	25*Step-42.84	0.0
31*Step-21.42	28*Step-42.84	0.0

***Окончание ввода данных геометрического модуля**
FINISH GM
*===== SOURCE =====

***Модуль источника**
RRS
SOURCE 1
S NAME=S1 SPECTRUM=SP1 PNT 0.64 -22.07 500
END
SPECTRUM SP1
ENERGY
1E6
PROBABILITY
1.0
END
FINISH
*===== PARAMETERS =====

***Модуль регистрации**
RUGA
KEFF
END
FINISH
*

***Транспортный модуль**
NTOT 10000
NBAT 1
NSKI 100
FINISH
*

NAMV c5g7
MXSR 2000
DTZM 100
FINISH

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Рассматривается АкЗ реактора ВВЭР, которая формируется через гексагональную решётку ТВС.

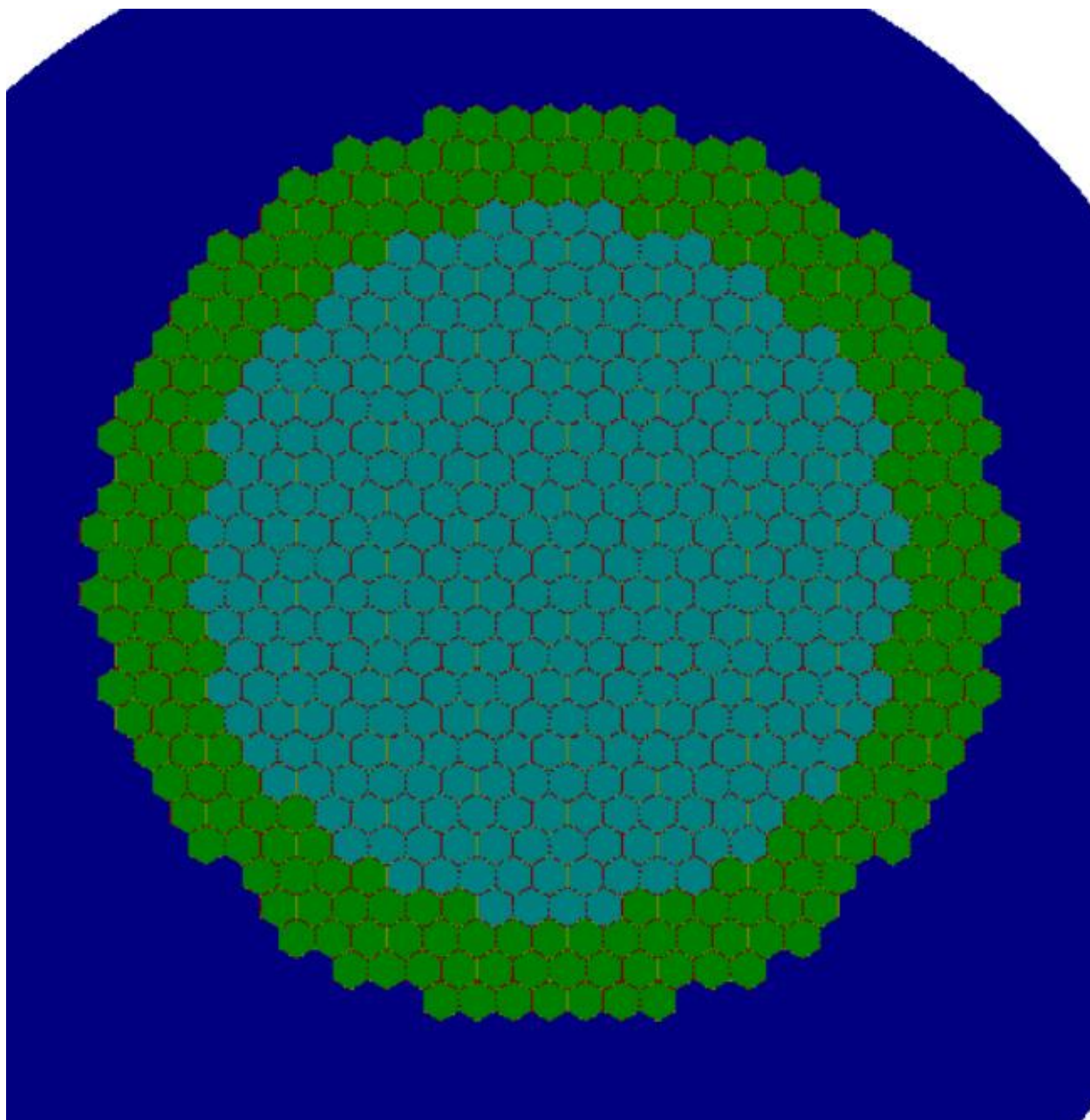


Рисунок В.1. Схема активной зоны ВВЭР

В каждой ТВС располагается гексагональная сетка тепловыделяющих элементов.

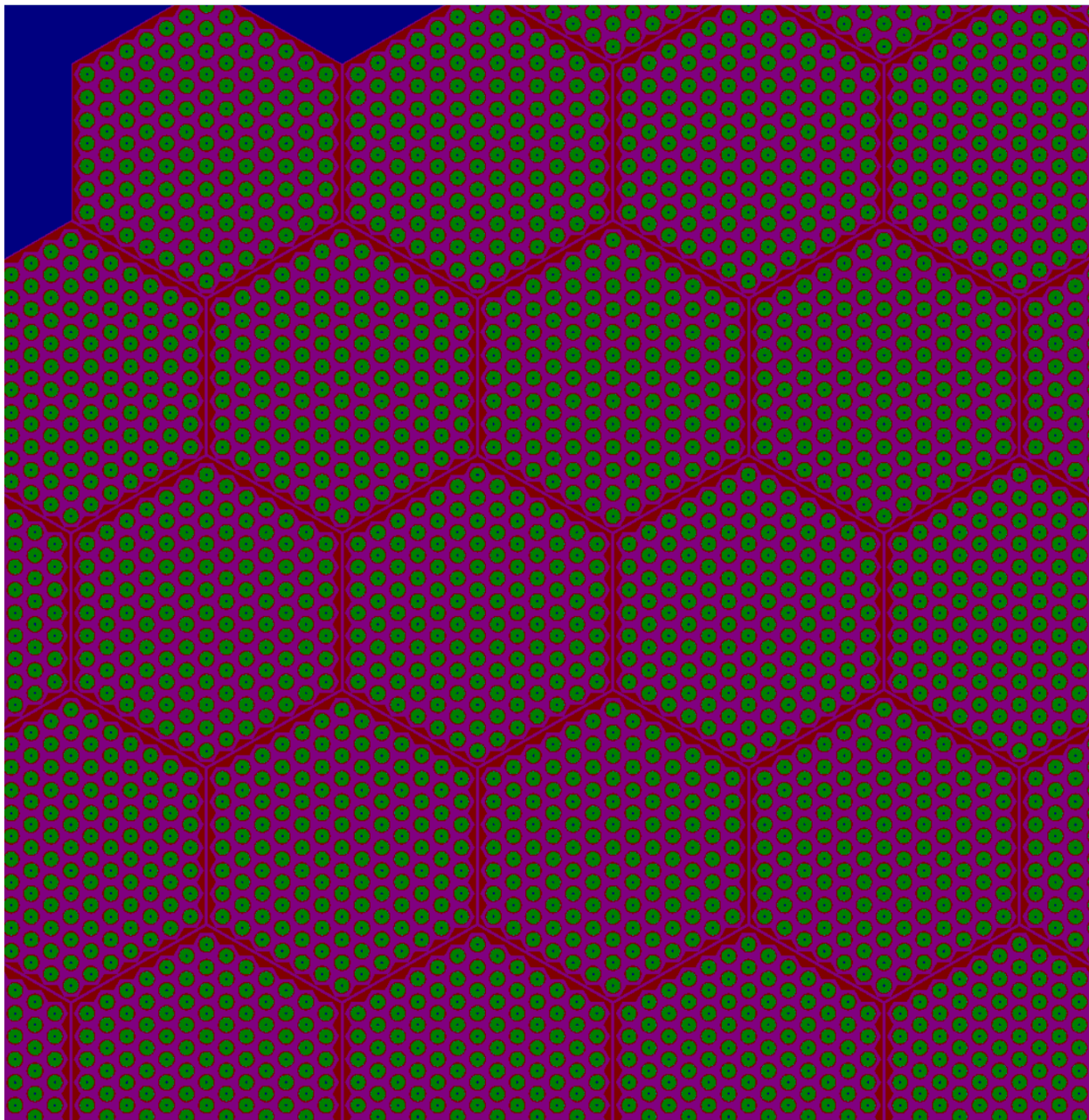


Рисунок В.2. Схема расстановки ТВЭЛОВ

HEAD 1 0 2000

CONT B B B

*

*-----*Parameters TWS M487UG*-----*

EQU HZ7G=236

EQU HKR=18.

EQU HZ7=236

EQU Key=14.5

EQU Wall=0.15

EQU Angle=30

*-----*TVEL, TVEG, Central tube*-----*

EQU Step2=1.23

EQU Rhole=0.06
 EQU Rfuel=0.388
 EQU Rshel=0.455
 EQU HZtv1=10
 EQU Rctex=0.515
 EQU Rctin=0.45
 *-----*END Parameters*-----*

RCZ AZ 0 0 -50. 400 300.
 END
 B1 AZ /1:1/3
 END

CELL CEL1
 SHEX A1 1.230 236.00 30
 RCZ A2 0.00 0.00 0.000 236.00 0.455
 RCZ A3 0.00 0.00 0.000 236.00 0.387
 RCZ A4 0.00 0.00 0.000 236.00 0.380
 RCZ A5 0.00 0.00 0.000 236.00 0.060
 END
 z1 A5 / 1: 2/1
 z2 A4 -A5 / 2: 2/1
 z3 A3 -A4 / 3: 2/1
 z4 A2 -A3 / 4: 2/1
 z5 A1 -A2 / 5: 2/1
 END

CELL CEL2
 SHEX A1 1.230 236.00 30
 RCZ A2 0.00 0.00 0.000 236.00 0.455
 RCZ A3 0.00 0.00 0.000 236.00 0.387
 RCZ A4 0.00 0.00 0.000 236.00 0.380
 RCZ A5 0.00 0.00 0.000 236.00 0.060
 END
 z1 A5 / 1: 3/1
 z2 A4 -A5 / 2: 3/1
 z3 A3 -A4 / 3: 3/1
 z4 A2 -A3 / 4: 3/1
 z5 A1 -A2 / 5: 3/1
 END

CELL CEL3
 SHEX A1 1.230 18.000 30
 RCZ A2 0.00 0.00 0.000 18.000 0.455
 RCZ A3 0.00 0.00 0.000 18.000 0.387
 RCZ A4 0.00 0.00 0.000 18.000 0.380
 RCZ A5 0.00 0.00 0.000 18.000 0.060
 END
 z1 A5 / 1: 2/1
 z2 A4 -A5 / 2: 2/1
 z3 A3 -A4 / 3: 2/1
 z4 A2 -A3 / 4: 2/1
 z5 A1 -A2 / 5: 2/1
 END

* TWS 214 =====
 * 49W
 LCELL C1

```

HEX CLAD 0.0 0.0 0.0 Key 0 HZ7
HEX AZ 0.0 0.0 0.0 Key-Wall 0 HZ7
END
z1 (NT) AZ /19:19/2
z2 CLAD -AZ /20:21/1
END
NET NT 0.*Step2 -7.0*COS(30)*Step2 0 13 13
T01 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 0 0 0 0 0 0
T02 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 0 0 0 0 0
T03 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 0 0 0 0
T04 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 0 0 0
T05 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 0 0
T06 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 0
T07 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1
T08 0 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1
T09 0 0 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1
T10 0 0 0 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1
T11 0 0 0 0 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1
T12 0 0 0 0 0 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1
T13 0 0 0 0 0 0 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1 CEL1
END
ENDL

```

```

* TWS 214 =====
* 49W

```

```

LCELL C2
HEX CLAD 0.0 0.0 0.0 Key 0 HZ7
HEX AZ 0.0 0.0 0.0 Key-Wall 0 HZ7
END
z1 (NT) AZ /19:19/2
z2 CLAD -AZ /20:21/1
END
NET NT 0.*Step2 -7.0*COS(30)*Step2 0 13 13
T01 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 0 0 0 0 0 0
T02 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 0 0 0 0 0
T03 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 0 0 0 0
T04 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 0 0 0
T05 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 0 0
T06 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 0
T07 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2
T08 0 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2
T09 0 0 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2
T10 0 0 0 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2
T11 0 0 0 0 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2
T12 0 0 0 0 0 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2
T13 0 0 0 0 0 0 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2 CEL2
END
ENDL

```

```

EQU STEP5=14.5
EQU NETLX=-5.5*STEP5
EQU NETLY=-11*STEP5*SQRT(3)/2
LATT G2MP B1
LISTEL C1 C2
PARM 29 29 NETLX NETLY 0. STEP5 0. 0. -STEP5*SIN(30) STEP5*COS(30) -0.

```

L29 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 0 0 0 0
 L28 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 0 0
 L27 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 0
 L26 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 C1 C1 0
 L25 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 C1 C1 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 C1 C1
 L24 0 0 0 0 0 0 0 0 0 C1 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 C1
 L23 0 0 0 0 0 0 0 0 C1 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 C1
 L22 0 0 0 0 0 0 0 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1
 L21 0 0 0 0 0 0 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1
 L20 0 0 0 0 0 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1
 L19 0 0 0 0 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1
 L18 0 0 0 0 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 0
 L17 0 0 0 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 0
 L16 0 0 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 0
 L15 0 0 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 0
 L14 0 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 0 0
 L13 0 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 0 0 0
 L12 0 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 0 0 0 0
 L11 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 0 0 0 0
 L10 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 0 0 0 0 0
 L09 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 0 0 0 0 0 0
 L08 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 0 0 0 0 0 0
 L07 C1 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 0 0 0 0 0 0 0
 L06 C1 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 0 0 0 0 0 0 0
 L05 0 C1 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 0 0 0 0 0 0 0
 L04 0 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C2 C2 C2 C2 C1 C1 C1 C1 C1 C1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 L03 0 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 L02 0 0 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 L01 0 0 0 0 C1 C1 C1 C1 C1 C1 C1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

* TWS 214 =====

* 49W

LCELL C3

HEX CLAD 0.0 0.0 0.0 Key 0 HKR

HEX AZ 0.0 0.0 0.0 Key-Wall 0 HKR

END

z1 (NT) AZ /19:19/2

z2 CLAD -AZ /20:21/1

END

NET NT 0.*Step2 -7.0*COS(30)*Step2 0 13 13

T01 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 0 0 0 0 0 0

T02 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 0 0 0 0 0

T03 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 0 0 0 0

T04 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 0 0 0

T05 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 0 0

T06 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 0

T07 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3

T08 0 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3

T09 0 0 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3

T10 0 0 0 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3

T11 0 0 0 0 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3

T12 0 0 0 0 0 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3

T13 0 0 0 0 0 0 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3 CEL3

END

ENDL

LATT G2MP B1

[illegible][illegible]

L07 C3 0 0 0 0 0 0 0 0
L06 C3 0 0 0 0 0 0 0 0
L05 0 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
L04 0 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
L03 0 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
L02 0 0 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
L01 0 0 0 0 C3 C3 C3 C3 C3 C3 C3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
FINISH

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Пример 1. Точечный моноэнергетический источник со спектром, принятым по умолчанию.

```
RRS
SOURCE 1
PROBABILITY 1
S Name=U0 Spectrum=Default PNT 9., 9., 117.
END SOURCE
FINISH RRS
```

Пример 2. Точечный моноэнергетический источника с заданным в явном виде спектром, который совпадает с принятым по умолчанию.

```
RRS
SOURCE 1
S NAME=S1 SPECTRUM=SP1 PNT 0.0 0.0 24.5
END SOURCE
SPECTRUM SP1
ENERGY
2E6
PROBABILITY
1.0
END SPECTRUM SP1
FINISH RRS
```

Пример 3. Шестиугольный источник с заданным в явном виде спектром.

```
RRS
SOURCE 1
PROBABILITY 1
*S NAME=S1 SPECTRUM=SP1 PNT -1.732*SH 4.*SH 90
S NAME=S1 SPECTRUM=SP1 HEX 0. 0. 50 14.0607 0. 160.
END SOURCE
SPECTRUM SP1
ENERGY
1 2 3 4 5
PROBABILITY
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
END SPECTRUM SP1
FINISH RRS
```

Пример 4. Цилиндрический источник с заданным в явном виде спектром.

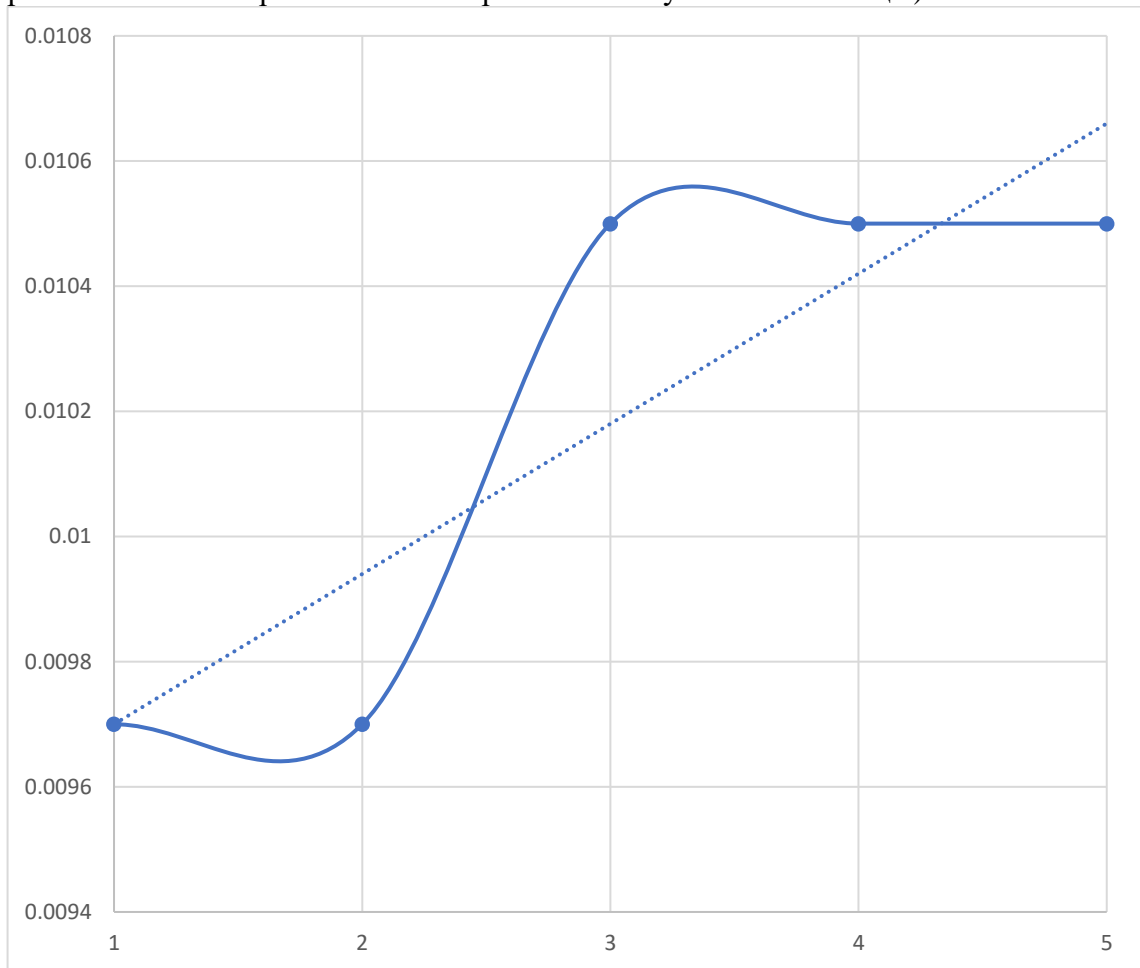
```
RRS
SOURCE 1
PROBABILITY 1
S NAME=S1 SPECTRUM=SP1 RCZ 0. 0. 50 14.0607 160.
END SOURCE
SPECTRUM SP1
ENERGY
1 2 3 4 5
PROBABILITY
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
END SPECTRUM SP1
FINISH RRS
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

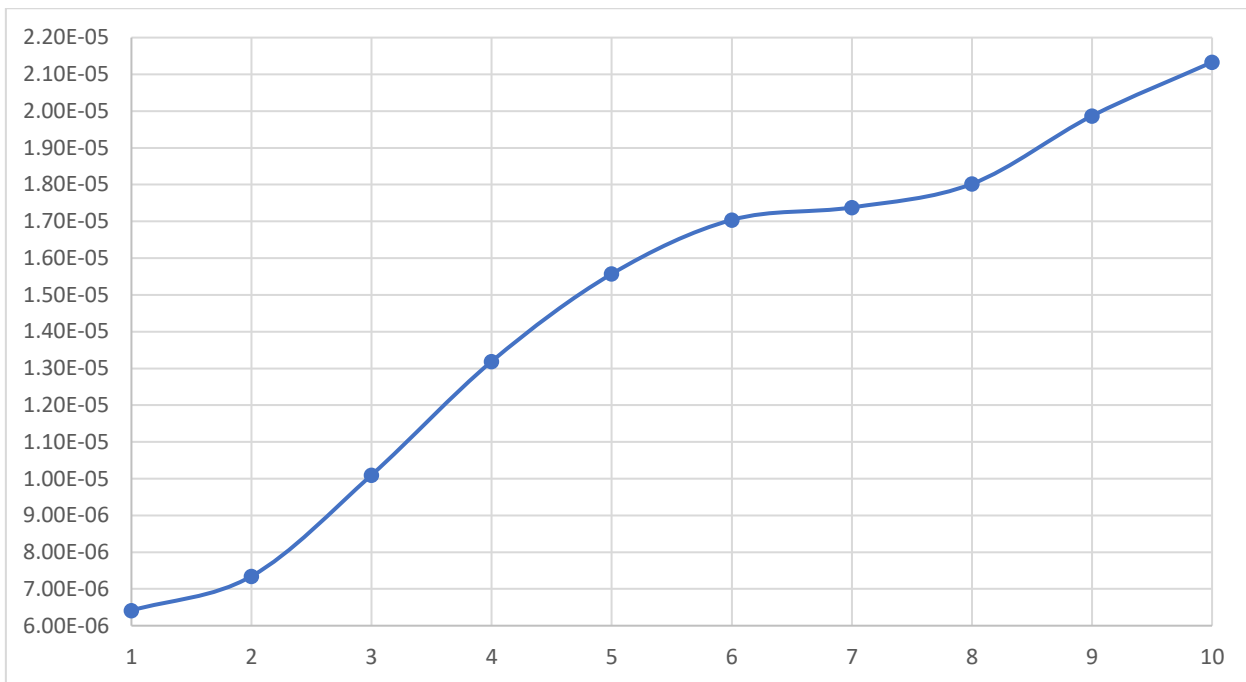
Пример точечного источника с постоянным направлением
(энергетический спектр не зависит от направления испускаемой частицы).

```
RRS
SOURCE 1
PROBABILITY 1
S NAME=S1 ANGLE=ANG0 SPECTRUM=SP1 PNT 1.0 1.0 2.0
END SOURCE
ANGLE ANG0
Degrees
90 90 0
Cosines
0.0 0.0 1.0
END ANGLE ANG0
SPECTRUM SP1
ENERGY
1 2 3 4 5
PROBABILITY
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
END SPECTRUM SP1
FINISH RRS
```

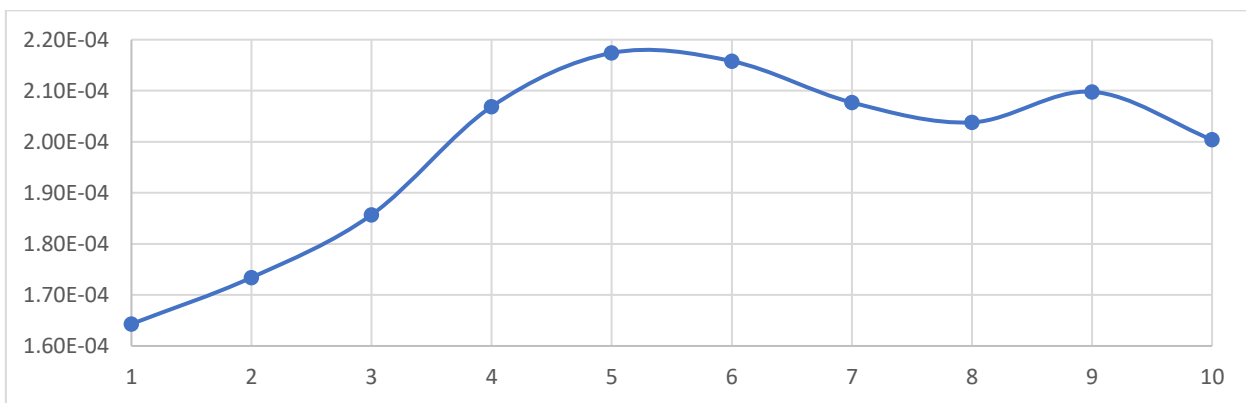
Пример точечного источника с энерго-угловым спектром
(энергетический спектр зависит от направления испускаемой частицы).



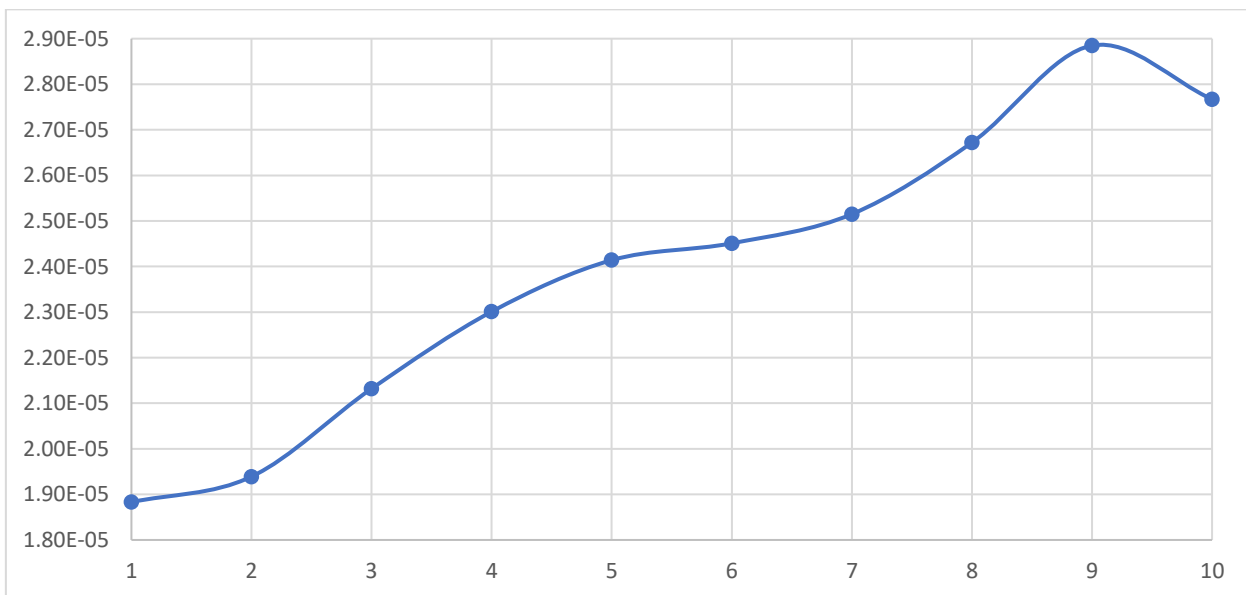
Интервальный угловой спектр



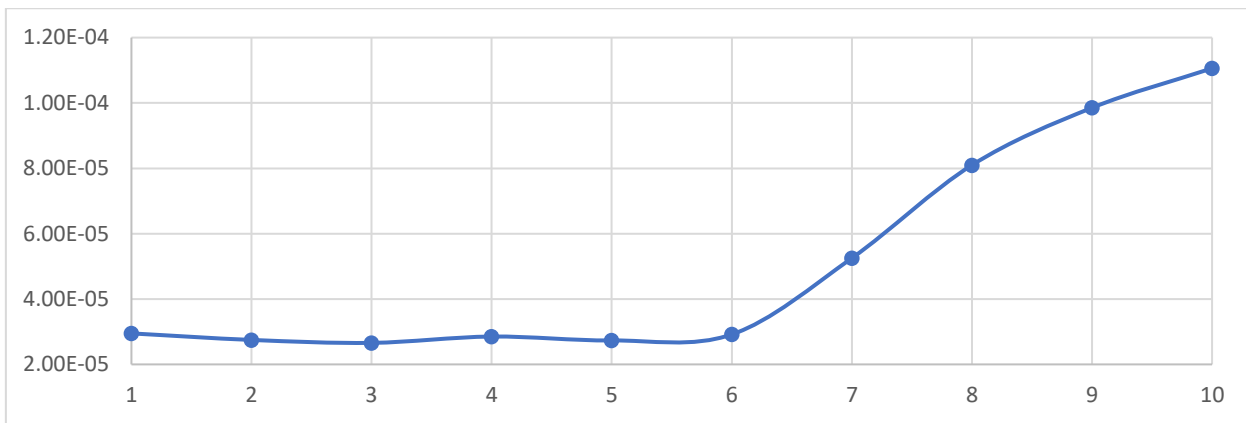
Спектр AS3



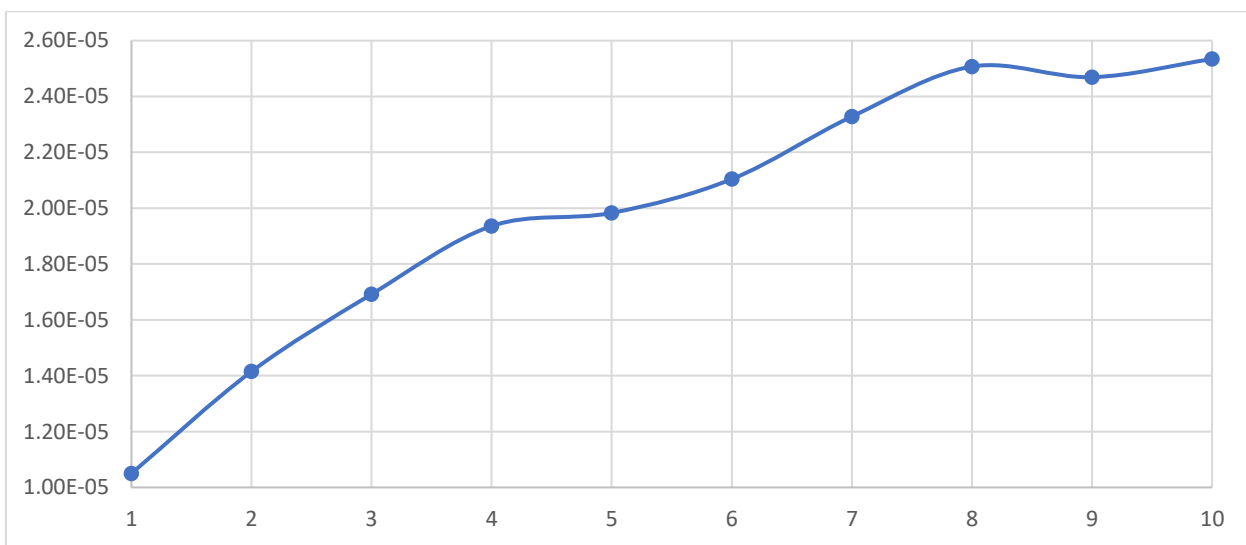
Спектр AS4



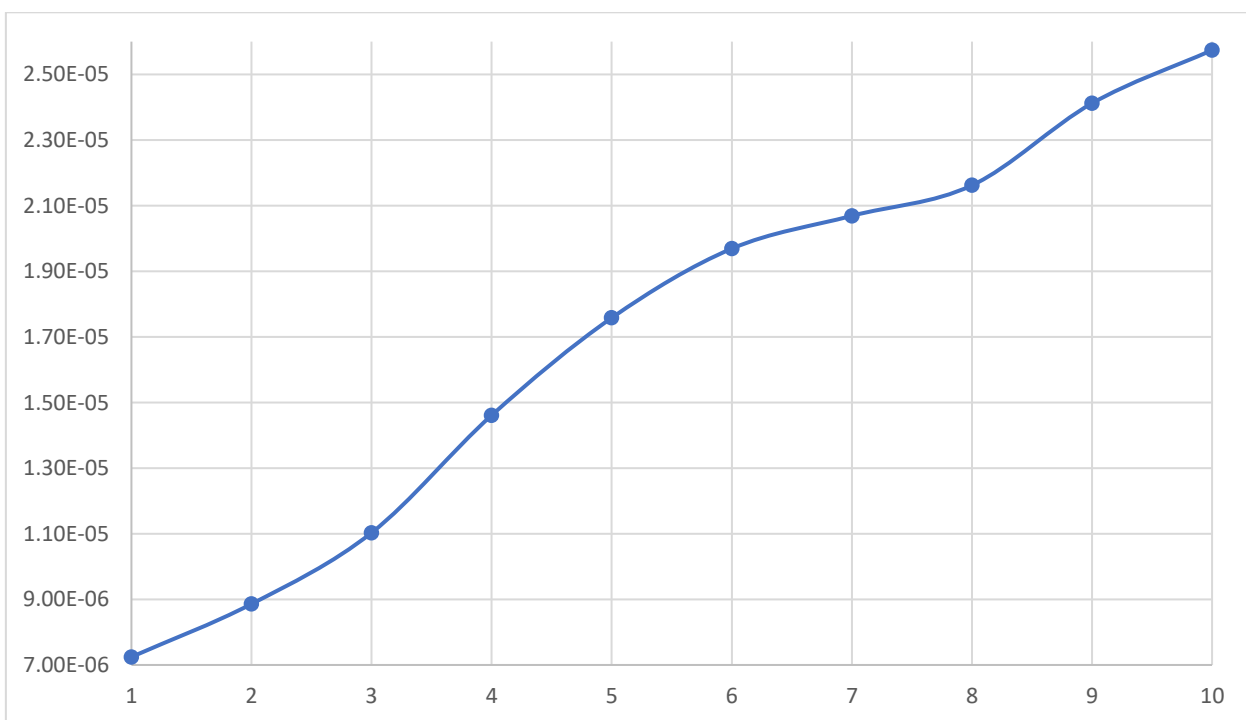
Спектр AS5



Спектр AS6



Спектр AS7



Спектр AS8

```

RRS
SOURCE 1
PROBABILITY 1
S NAME=S1 ANGLE=ANGO PNT 302.0 325.0 135.375
END SOURCE
ANGLE ANGO
*Degrees
* 90 90 -180
Cosines
0.0 0.0 -1.0
ANGULAR
* title
* pos = 0 0 0.375 dir=d1 erg=fdir d2 vec = 0 0 -1
ASPECTRUM A
COSINE
-1.0000 -0.9596 -0.8788 0.8586 0.8990 0.9394 1.0000
PROBABILITY
0.0096 0.0097 0.0097 0.0105 0.0105 0.0105 0.0
END ASPECTRUM A
ASPECTRUM AS3
ENERGY
12.0000E06 12.0100E06 12.0200E06 12.0301E06 12.0401E06 12.0501E06 12.0601E06 12.0701E06 12.0802E06 12.0902E06
PROBABILITY
6.414e-06 7.346e-06 1.010e-05 1.319e-05 1.557e-05 1.704e-05 1.738e-05 1.802e-05 1.987e-05 2.133e-05
END ASPECTRUM AS3
ASPECTRUM AS4
ENERGY
16.9098E06 16.9198E06 16.9299E06 16.9399E06 16.9499E06 16.9599E06 16.9699E06 16.9800E06 16.9900E06 17.0000E06
PROBABILITY
1.643e-04 1.734e-04 1.857e-04 2.069e-04 2.174e-04 2.158e-04 2.077e-04 2.038e-04 2.098e-04 2.004e-04
END ASPECTRUM AS4
ASPECTRUM AS5
ENERGY
16.7094E06 16.7194E06 16.7295E06 16.7395E06 16.7495E06 16.7595E06 16.7695E06 16.7796E06 16.7896E06 16.7996E06
PROBABILITY
1.883e-05 1.939e-05 2.132e-05 2.301e-05 2.414e-05 2.451e-05 2.515e-05 2.672e-05 2.885e-05 2.767e-05
END ASPECTRUM AS5
ASPECTRUM AS6
ENERGY
15.1062E06 15.1162E06 15.1263E06 15.1363E06 15.1463E06 15.1563E06 15.1663E06 15.1764E06 15.1864E06 15.1964E06
PROBABILITY
2.949e-05 2.749e-05 2.659e-05 2.852e-05 2.733e-05 2.917e-05 5.252e-05 8.098e-05 9.852e-05 1.106e-04
END ASPECTRUM AS6
ASPECTRUM AS7
ENERGY
12.7014E06 12.7114E06 12.7214E06 12.7315E06 12.7415E06 12.7515E06 12.7615E06 12.7715E06 12.7816E06 12.7916E06
PROBABILITY
1.050e-05 1.415e-05 1.692e-05 1.936e-05 1.983e-05 2.104e-05 2.328e-05 2.507e-05 2.469e-05 2.534e-05
END ASPECTRUM AS7
ASPECTRUM AS8
ENERGY
16.7094E06 16.7194E06 16.7295E06 16.7395E06 16.7495E06 16.7595E06 16.7695E06 16.7796E06 16.7896E06 16.7996E06
PROBABILITY
7.244e-06 8.859e-06 1.103e-05 1.461e-05 1.758e-05 1.969e-05 2.069e-05 2.162e-05 2.412e-05 2.574e-05
END ASPECTRUM AS8
END ANGULAR
END ANGLE
FINISH RRS

```