



Гуревич М.И., [Руссков А.А.](#),
[Волощенко А.М.](#)

BurnDat – утилита для подготовки начальных данных о источнике деления в формате программы MSU на основе потвэльных и покассетных данных о выгорании, рассчитанных программами ПЕРМАК-А и БИПР-7А. Инструкция для пользователя

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Гуревич М.И., Руссков А.А., Волощенко А.М. BurnDat – утилита для подготовки начальных данных о источнике деления в формате программы MSU на основе потвэльных и покассетных данных о выгорании, рассчитанных программами ПЕРМАК-А и БИПР-7А. Инструкция для пользователя // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2009. № 16. 24 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2009-16>

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ ИМ. М. В. КЕЛДЫША

М. И. Гуревич, А. А. Руссков, А. М. Волощенко

BurnDat – утилита для подготовки начальных данных о источнике деления в формате программы MSU на основе потвэльных и покассетных данных о выгорании, рассчитанных программами ПЕРМАК-А и БИПР-7А

Инструкция для пользователя

Москва – 2009 г.

BurnDat – утилита для подготовки начальных данных о источнике деления в формате программы MCU на основе потвэльных и покассетных данных о выгорании, рассчитанных программами ПЕРМАК-А и БИПР-7А. Препринт Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, № , 2009.

АННОТАЦИЯ

Утилита BurnDat предназначена для подготовки комбинаторного представления (потвэльного, покассетного или комбинированного потвэльно-покассетного) распределения плотности нейтронов деления, интегральной за время кампании, в формате программы MCU на основе данных о выгорании (плотности распределения осколков деления), содержащихся в выходных файлах программ ПЕРМАК-А и БИПР-7А выполняющих, соответственно, потвэльный и покассетный 3D расчет кампании РУ с ВВЭР. В данной версии утилиты BurnDat реализована подготовка комбинаторного задания источника для РУ с ВВЭР-440, ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200.

M. I. Gurevich, A. A. Russkov, A. M. Voloschenko

BurnDat – utility for preparing the neutron fission source in the MCU code format on the base of by pin and by assembly burnup data, calculated by PERMAK-A and BIPR-7A codes. Users guide. Preprint of the Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, No. , 2009.

ABSTRACT

BurnDat utility is designed for preparing in the MCU code format of the combinatorial geometry presentation (by pin, by assembly or mixed (combined by pin/by assembly)) of the fission neutron density, averaged over the given sequence of power station unit companies, based on the burnup data (the density of fission debris), available in the output files of PERMAK-A and BIPR-7A codes, which perform, respectively, by pin and by assembly 3D calculation of the VVER type nuclear reactor core company. In the presented version of the BurnDat utility the possibility of preparing the combinatorial geometry presentation of the source is implemented for the VVER-440, VVER-1000 and VVER-1200 type nuclear reactor cores.

¹ РИЦ «Курчатовский институт»

² Александр Руссков, E-mail: Russkov@inbox.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Постановка задачи	3
2. Учет изменения множественности в процессе выгорания топлива	9
3. Алгоритм формирования комбинаторного источника	9
4. Расчет плотности нейтронов деления, усредненной по нескольким кампаниям.....	15
5. Пакет начальных данных для программы sour_pe_bi_sum	16
ЛИТЕРАТУРА	22
Приложение 1. Пример пускового пакета для программы source_pe_bi_sum для РУ ВВЭР-1200.....	22
Приложение 2. Пример пускового пакета для программы source_pe_bi_sum для РУ ВВЭР-440.....	23

Введение

Утилита BurnDat предназначена для подготовки комбинаторного представления (потвэльного, покассетного или комбинированного потвэльного-покассетного) плотности нейтронов деления в формате программы MCU [1] на основе данных о выгорании (плотности распределения осколков деления), содержащихся в выходных файлах программ ПЕРМАК-А [2] и БИПР-7А [3] выполняющих, соответственно, потвэльный и покассетный 3D расчет кампании реакторных установок (РУ) с ВВЭР. Подготовленный источник может быть либо использован программой MCU для расчета радиационных полей в защиты ВВЭР методом Монте-Карло, либо, после конвертации на разностную сетку задачи посредством конвертера ConSource [4], использован в решении этой же задачи S_n методом с использованием 3D S_n программ КАТРИН и TORT, либо методом синтеза с использованием 2D S_n программ КАСКАД-С и DORT и 1D S_n программ РОЗ-6.6 и ANISN. Актуальность этой задачи связана с необходимостью построения достаточно точной аппроксимации интегрального за время кампании источника нейтронов деления, необходимого в расчетах флюенса, повреждающей дозы (СНА) и энерговыделения в корпусе РУ, а также внутрикорпусных устройствах РУ, что, в свою очередь, необходимо для обеспечения условий безопасной эксплуатации РУ с ВВЭР.

1. Постановка задачи

Equation Chapter 1 Section 1

Рассматриваемый интерфейс представляет собой продукт эволюционного развития. По мере его использования происходило уточнение алгоритма подготовки источника и расширение класса решаемых задач. В настоящее время реализованы два варианта утилиты BurnDat.

Первый предназначен для подготовки комбинаторного задания источника для реактора ВВЭР-440, содержащего 349 ТВС, расположенных с шагом

14.7 см. На Рис. 1 изображено поперечное сечение сектора поворотной симметрии 60° АЗ ВВЭР-440 с входящими в него ТВС. Каждая кассета содержит 126 топливных и 1 центральную ячейку (всего 127 ячеек) (см. Рис. 2). Информация об источнике деления (на основе данных о выгорании) для пронумерованных ТВС берется из выходных файлов программ ПЕРМАК-А или БИПР-7А. Данные об источнике для ТВС, находящихся на границе сектора симметрии $\vartheta = 60^\circ$ (на Рис. 1 эти ТВС изображены без номеров), берутся из данных для нижнего ряда ТВС, находящегося на границе сектора симметрии $\vartheta = 0^\circ$ в соответствии с предположением о наличии поворотной симметрии источника.

Следует отметить, что в реакторе ВВЭР-440 на сектор симметрии 60° приходится 3 ТВС, которые используются в качестве управляющих. В начале кампании эти ТВС находятся в заглубленном состоянии, когда часть топлива этих ТВС находится ниже низа АЗ. Для поддержания требуемого уровня реактивности реактора на определенном этапе кампании они начинают подниматься вверх. Таким образом, в случае РУ с ВВЭР-440 часть топлива может двигаться, что учитывается при подготовке источника.

Второй вариант утилиты BurnDat предназначен для подготовки комбинаторного источника для ВВЭР-1000 и проектируемой РУ с ВВЭР-1200 (АЭС-2006/В-392М). Последние два типа реактора содержат одинаковое число ТВС (183), расположенных с шагом 23.6 см (см. Рис. 3), отличающихся высотой топлива. На Рис. 4 изображено поперечное сечение сектора поворотной симметрии 60° АЗ ВВЭР-1000/1200 с входящими в него ТВС. Каждая ТВС содержит 331 ячейку различного назначения (см. Рис. 5). Нумерация твэлов аналогична, используемой в ТВС для ВВЭР-440 (Рис. 2). Информация об источнике деления (на основе данных о выгорании) для пронумерованных на Рис. 4 ТВС берется из выходных файлов программ ПЕРМАК-А или БИПР-7А. Данные об источнике для ТВС, находящихся на границе сектора симметрии $\vartheta = 60^\circ$ (на Рис. 4 эти ТВС изображены без номеров), берутся из данных для нижнего ряда ТВС, находящегося на границе сектора симметрии $\vartheta = 0^\circ$ в соответствии с предположением о наличии поворотной симметрии источника. В процессе кампании реактора ВВЭР-1000/1200 топливо остается неподвижным, а регулирование реактора производится за счет управляющих стержней.

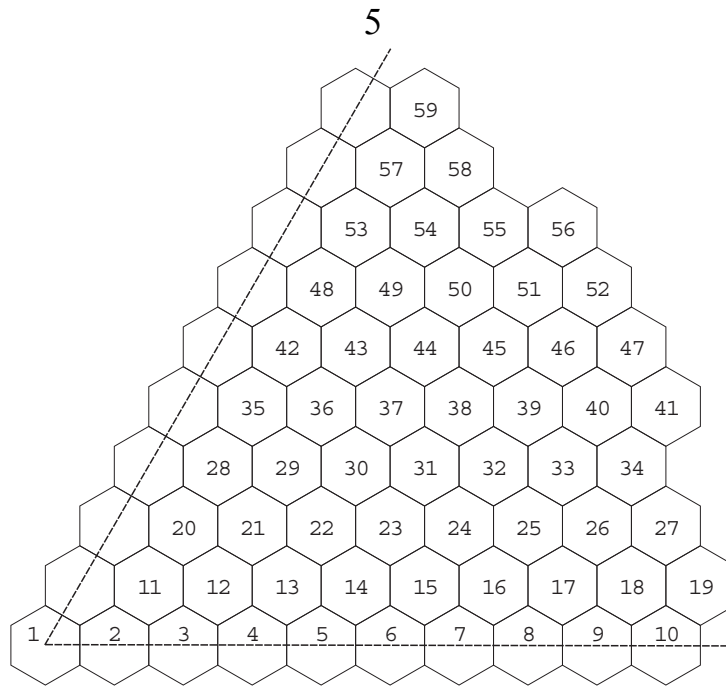
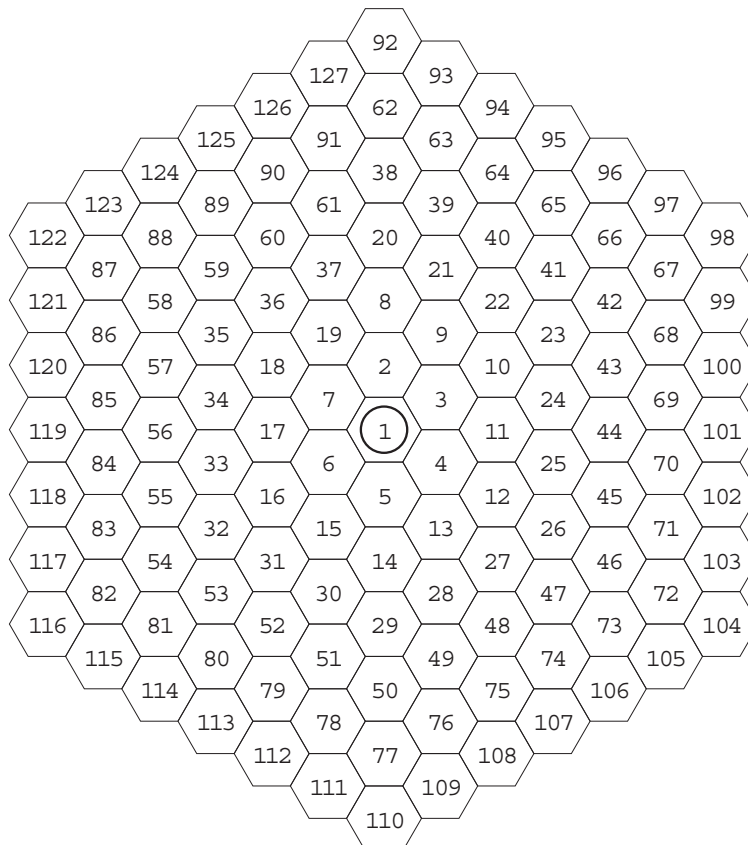


Рис. 1. Схема поперечного разреза сектора симметрии 60° АЗ реактора ВВЭР 440. Нумерация ТВС соответствует принятой в программе БИПР-7А для сектора симметрии 60° .



	- топливная ячейка;		- центральная ячейка.
--	---------------------	--	-----------------------

Рис. 2. Топливные и конструкционные элементы в кассете ВВЭР 440. Нумерация ячеек соответствует принятой в программе ПЕРМАК-А.

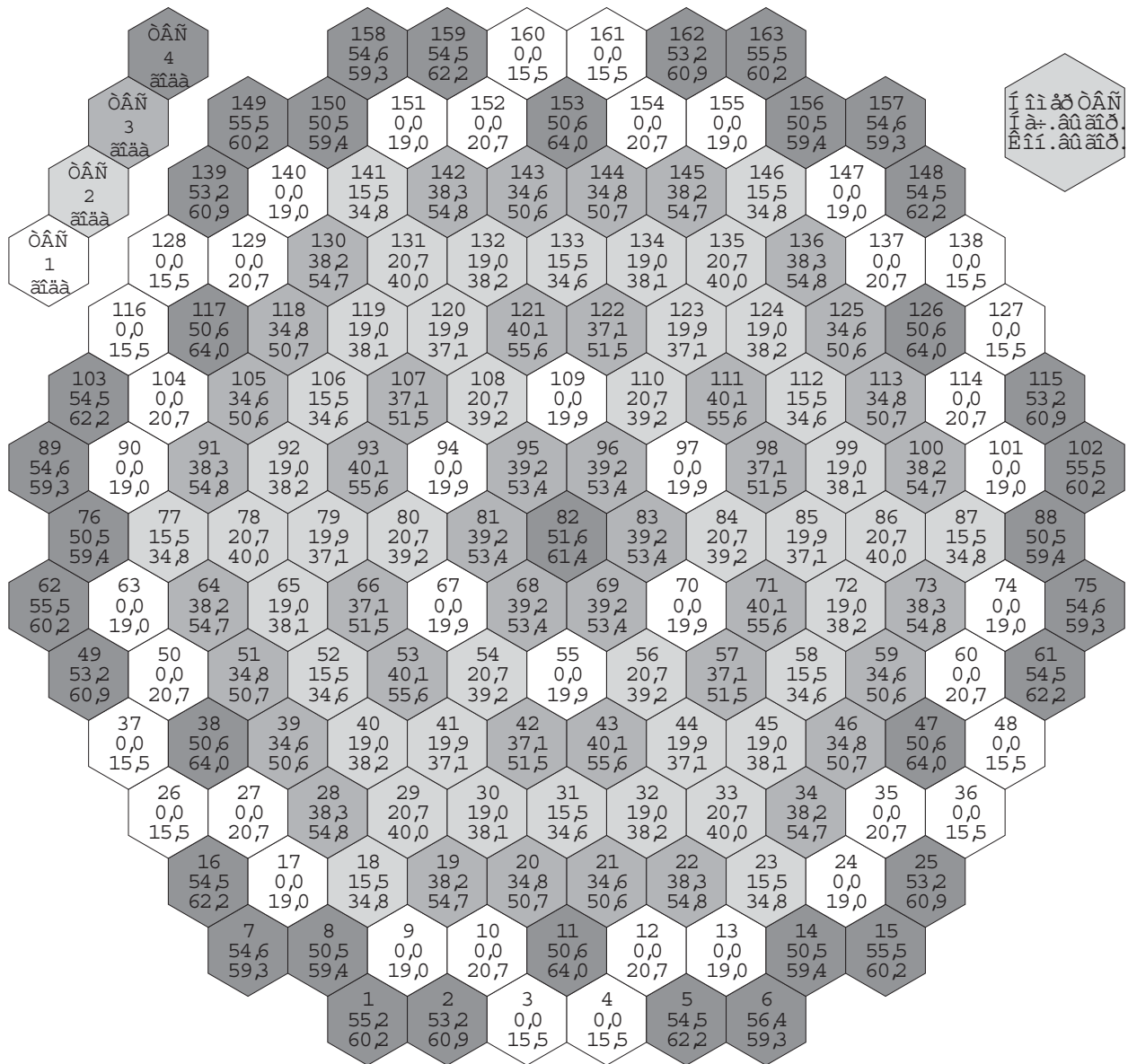


Рис. 3. Распределение выгорания (среднего по ТВС) в АЗ РУ АЭС 2006/В-392М для 8-ой топливной кампании. Нумерация ТВС соответствует принятой в программе БИПР-7А для 360° АЗ.

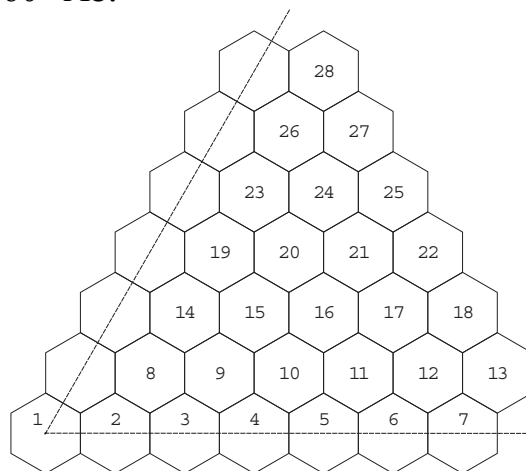
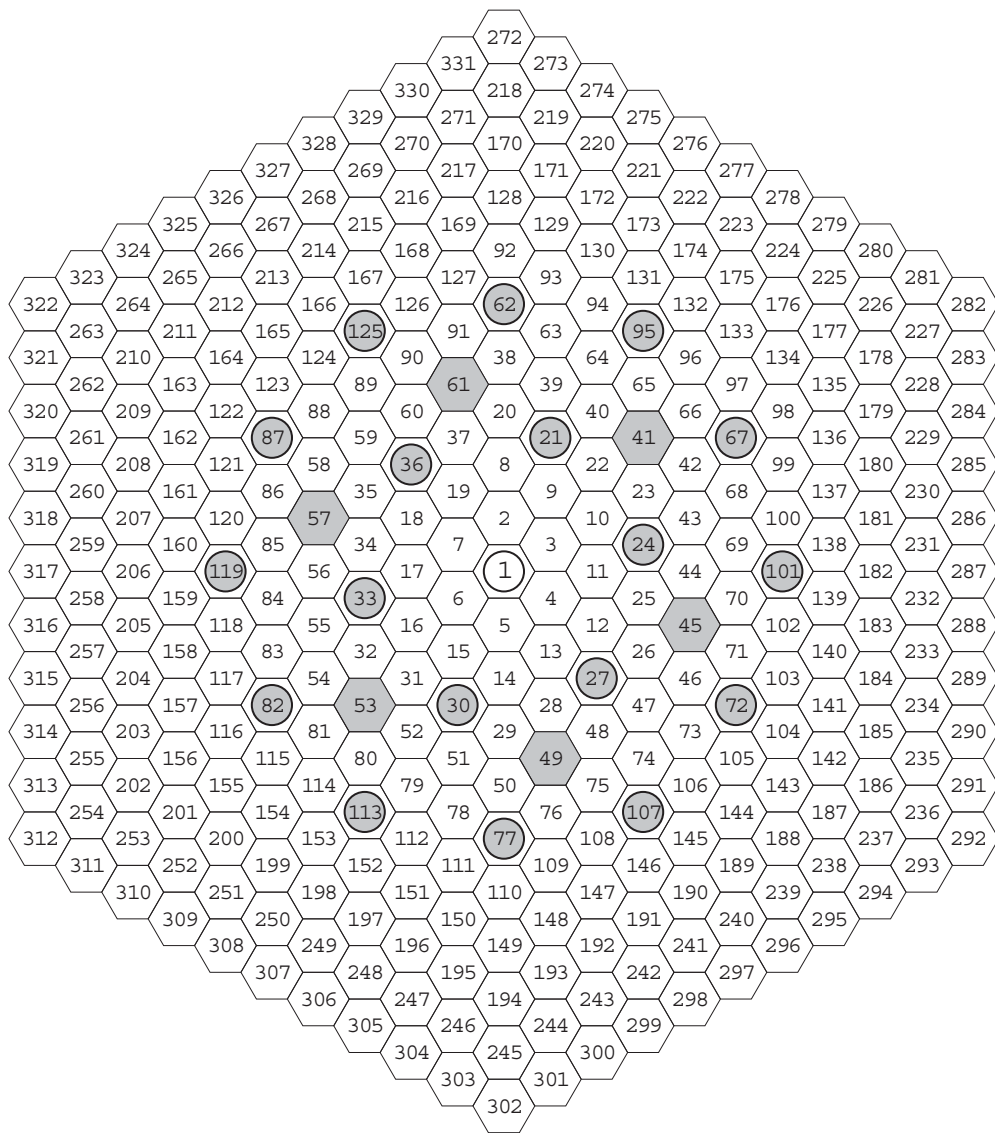


Рис. 4. Схема поперечного разреза сектора симметрии 60° АЗ реактора ВВЭР 1000/1200. Нумерация ТВС соответствует принятой в программе БИПР-7А для сектора симметрии 60° .



Твэл обогащения 4%



Твэг обогащения 3,3% (содержание оксида гадолиния 5%)



Направляющий канал

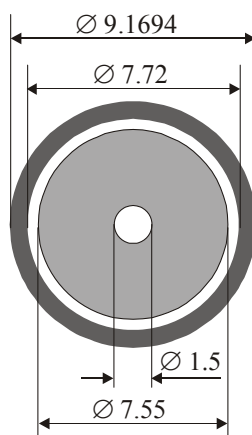


Центральная трубка

Рис. 5. Расположение топливных и конструктивных элементов в ТВС-2 для ВВЭР-1000. Используется нумерация ячеек, принятая в программе ПЕРМАК-А.

Реально каждая ячейка имеет внутреннюю структуру (см. Рис. 6), которая не учитывается в hex-z геометрии, используемой в потвэльном расчете АЗ по

программе ПЕРМАК-А. При комбинаторном представлении потвэльного источника используется аппроксимация источника, в которой он предполагается постоянным в пределах поперечного сечения цилиндрической ячейки заданного диаметра (обычно, совпадающего либо с диаметром твэла (9.1 мм), либо диаметром топливной таблетки (7.73 мм)). Существенным параметром является также задаваемый при подготовке потвэльного источника шаг между твэлами. Для аппроксимации аксиальной зависимости источника указанная ячейка разбивается на n ячеек (элементарных цилиндров) по высоте зоны с высотой, совпадающей с шагом аксиальной сетки Δz , используемой в расчете АЗ программой ПЕРМАК-А, в пределах которых источник предполагается постоянным.






-  Топливная таблетка с UO_2
-  Оболочка твэла (сплав циркония (Э110) плотностью 6.55 г/см^3 (98,97% Zr + 1% Nb + 0,03% Hf);
-  Зазор между оболочкой и топливной таблеткой и центральное отверстие таблетки заполнены гелием (He).

Рис. 6. Геометрия твэла, мм.

При комбинаторном представлении покассетного источника он считается постоянным в поперечном сечении ТВС, т. е. правильной шестиугольной призмы. Аксиальная зависимость источника учитывается путем разбиения призмы на n шестигранных ячеек (элементарных призм) по высоте зоны с высотой, совпадающей с шагом аксиальной сетки Δz , используемой в расчете АЗ программой БИПР, в пределах которых источник предполагается постоянным.

Утилита BurnDat позволяет подготовить также источник нейтронов деления, усредненный по нескольким заданным кампаниям. Исполняемой программой утилиты BurnDat является программа *sour_pe_bi_sum*.

2. Учет изменения множественности в процессе выгорания топлива

Число нейтронов ν , образующихся в акте деления зависит от глубины выгорания топлива ρ , Мвт*сут/кг U. Приблизительно эта зависимость может быть аппроксимирована квадратичным полиномом:

$$\nu(\rho) = a + b\rho + c\rho^2, \quad (1)$$

где коэффициенты a , b и c зависят от вида топлива в кассете и содержатся в файле сечений программы БИПР-7А.

Величина

$$\int_{t_0}^t \sum_p \sigma_f^p(r, \mathcal{G}, z, t') \varphi^p(r, \mathcal{G}, z, t') dt'$$

пропорциональна выгоранию топлива $\rho(r, \mathcal{G}, z, t) - \rho(r, \mathcal{G}, z, t_0)$ за интервал времени $[t_0, t]$. С учетом этого обстоятельства интегральная по кампании плотность нейтронов деления $N_{fis}^{neutr}(r, \mathcal{G}, z)$ может быть рассчитана по следующей формуле:

$$N_{fis}^{neutr}(r, \mathcal{G}, z) = A \sum_{s=1}^S \Delta \rho_s(r, \mathcal{G}, z) \nu(\bar{\rho}_s),$$

$$\Delta \rho_s = \rho_{s+1/2} - \rho_{s-1/2}, \quad \bar{\rho}_s = 0.5(\rho_{s-1/2} + \rho_{s+1/2}), \quad (2)$$

где s - номер временного шага по выгоранию, A - нормировочный коэффициент, определяемый из заданного уровня тепловой мощности АЗ при вводе источника расчетной программой.

Если же зависимость $\nu(\rho)$ не учитывается, то профиль интегральной по кампании плотности нейтронов деления $N_{fis}^{neutr}(r, \mathcal{G}, z)$ принимается пропорциональным выгоранию за кампанию:

$$N_{fis}^{neutr}(r, \mathcal{G}, z) = A(\rho_{S+1/2} - \rho_{1/2}). \quad (3)$$

Для задания правильной нормировки источника деления существенной информацией является среднее значение числа нейтронов в акте деления за кампанию, которое рассчитывается по следующей приближенной формуле:

$$\bar{\nu} = \frac{\int \sum_{s=1}^S \Delta \rho_s(r, \mathcal{G}, z) \nu(\bar{\rho}_s) dV}{\int (\rho_{S+1/2} - \rho_{1/2}) dV}. \quad (4)$$

Формирование интегральной за время кампании плотности нейтронов деления согласно двум вышеописанным алгоритмам (2) и (3) реализованы в программе *sour_pe_bi*. Расчитанное значение $\bar{\nu}$ (4) распечатывается в листинге программы *sour_pe_bi*.

3. Алгоритм формирования комбинаторного источника

Активная зона реактора типа ВВЭР обладает поворотной симметрией, при этом сектором симметрии является сектор в 60° . В процессе эксплуатации

РУ с ВВЭР в конце каждой кампании происходит перегрузка ТВС с удалением из АЗ отработавших ТВС и установки ТВС со свежим топливом. Существенно, что используемые алгоритмы перегрузки ТВС сохраняют вышеуказанную симметрию АЗ (см. Рис. 3). Исходя из симметрии, необязательно проводить расчёт для всей АЗ (полного угла в 360 градусов) - достаточно провести расчёт для сектора симметрии с использованием периодических граничных условий по азимутальной переменной ϑ .

В стандартно используемых режимах эксплуатации программы ПЕР-МАК-А и БИПР-7А проводят расчет выгорания, энерговыделения и других характеристик АЗ РУ либо для сектора симметрии 60° , либо для всей АЗ (360°). Для формирования комбинаторного источника деления утилиты BurnDat осуществляет выборку данных о выгорании из сектора ($0-60^\circ$).

Рассмотрим принцип вычисления источника для сектора 60° (см. Рис. 1 и 4). Источник в программе MSU записывается по зонам, при этом для каждой зоны задаётся интегральная объёмная интенсивность. Зоны могут быть записаны двумя способами:

- 1) с помощью элементарных тел
- 2) с помощью регистрационных зон геометрического модуля

В число элементарных тел входят шестиугольная призма, угол её симметрии, круговой цилиндр, сектор цилиндра. Элементарных тел достаточно для описания источника деления реактора типа ВВЭР, поэтому нет необходимости применять второй, более сложный способ.

При покассетном описании источника элементарным телом является шестиугольная призма или её угол.

При потвэльном описании источника для конкретной кассеты требуется записать информацию об интегральных интенсивностях всех твэлов, находящихся в пределах кассеты. Непосредственное независимое перечисление всех твэлов вносит технические трудности и усложняет процесс описания источника деления. Учитывая периодичность их расположения, а также то, что геометрически все твэлы с достаточной степенью точности одинаковы, источник для кассеты можно записать как решётку. Решётка для описания источника деления в программе MSU представляет средство для удобного описания периодически расположенных одинаковых элементарных источников. В этом случае задаются следующие величины:

- (а) суммарная по всем твэлам интенсивность, приходящаяся на кассету;
- (б) относительные интегральные интенсивности по объёму для твэлов;
- (в) описание элементарного источника твэла;
- (г) параметры решётки – положение начала координат, вектора трансляции, диапазон индексов.

Кассету с использованием решётки в программе MSU можно записать несколькими способами. Выбор способа с «горизонтальным» вектором трансляции сделан, исходя из универсальности записи как целых кассет, так и их частей.

Возможно как потвэльное описание источника в программе MSU, так и покассетное. Возможно также комбинированное описание. В этом случае, как

правило, распределение нейтронов деления на периферии активной зоны для двух внешних рядов ТВС задается потвэльно, а для остальных ТВС – покассетно.

При комбинированном задании источника существенным является согласование нормировки плотности нейтронов источника при потвэльном и покассетном представлениях. Пусть S_{ass} - это площадь поперечного сечения кассеты, а Δ_{ass} - величина кассеты под ключ. Эти величины связаны соотношением:

$$S_{ass} = \frac{\sqrt{3}}{2} \Delta_{ass}^2.$$

Пусть r_{pin} - радиус твэла. Тогда площадь поперечного сечения потвэльного источника в кассете равна:

$$S_{ass}^{pin} = N\pi r_{pin}^2,$$

где N - число топливных элементов в кассете, без учета направляющих каналов (127-1=126 для ВВЭР-440 и 331-19=312 для ВВЭР-1000/1200).

Пусть B_{ass}^k - выгорание за кампанию для k -ого аксиального слоя кассеты высотой h , $B_{ass}^{k,i}$ - выгорание для i -ого твэла кассеты. Среднее выгорание за кампанию из потвэльного расчета $\bar{B}_{ass}^k = \sum_i B_{ass}^{k,i} / N$. Для совпадения нормировок обоих источников (сохранения числа частиц источника) при $B_{ass}^k = \bar{B}_{ass}^k$ следует потребовать выполнения соотношения:

$$B_{ass}^k S_{ass} h = \lambda \sum_i B_{ass}^{k,i} \pi r_{pin}^2 h = \lambda \bar{B}_{ass}^k N \pi r_{pin}^2 h, \quad \lambda = \frac{S_{ass}}{N \pi r_{pin}^2},$$

где λ это коэффициент, на который следует дополнительно домножить потвэльное распределение плотности выгорания.

Следует отметить, что данные о выгорании, рассчитываемые программами БИПР-7А и ПЕРМАК-А, являются взаимно согласованными: среднее выгорание по каждому аксиальному слою ТВС \bar{B}_{ass}^k , совпадает с точностью не менее 0.4% с результатами расчета программы БИПР-7А (величиной B_{ass}^k). Вместе с тем, ПЕРМАК-А позволяет рассчитать дифференциальную информацию о выгорании топлива за кампанию в каждом топливном элементе кассеты. Так, для периферийных кассет выгорание для ближайших к центру АЗ и наиболее удаленных от центра АЗ твэлов может отличаться более чем в 3 раза.

На Рис. 7, 8 и 9 представлены поперечные сечения комбинаторного представления потвэльного, покассетного и комбинированного потвэльно-покассетного источников для сектора симметрии 60° АЗ ВВЭР-1000.

На Рис. 10, 11 и 12 аналогичные данные представлены для сектора симметрии 60° АЗ ВВЭР-440.

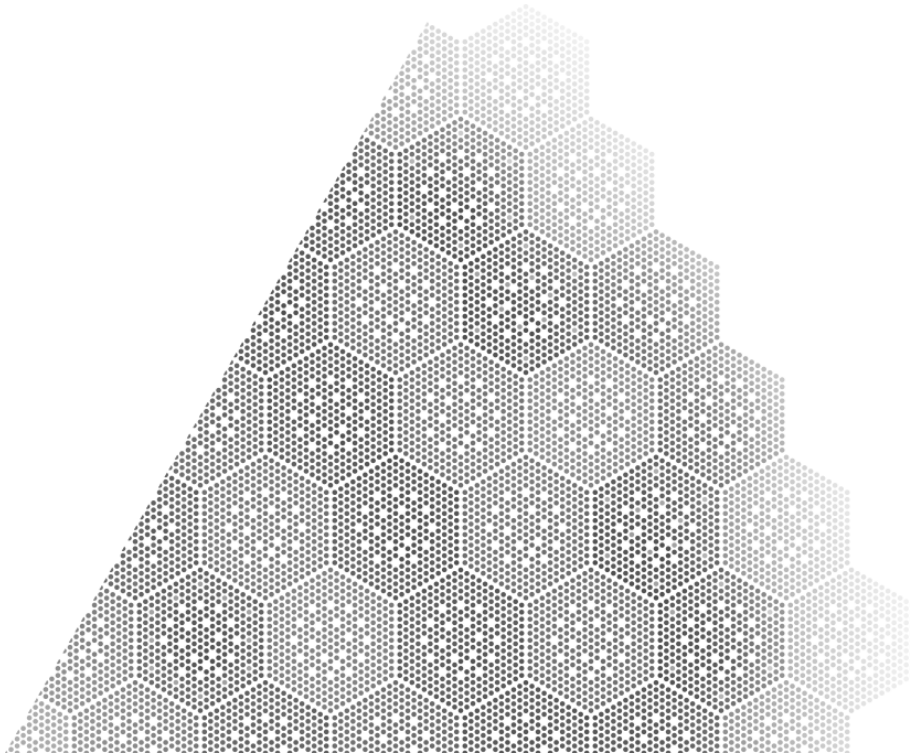


Рис. 7. Потвэльное распределение интегральной по времени плотности деления (выгорания) для 8-ой кампании РУ АЭС-2006 с подпиткой 42 ТВС для $z=95.33$ см (6.23 см от низа АЗ, 1-ый слой по высоте АЗ) для сектора симметрии 60° .

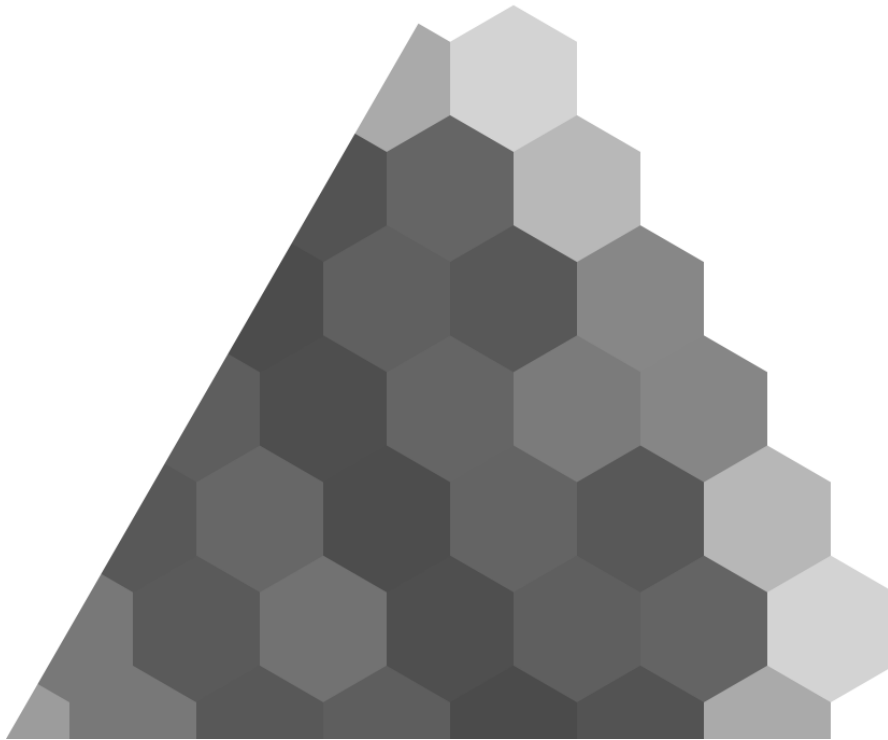


Рис. 8. Покасетное распределение интегральной по времени плотности деления (выгорания) для 8-ой кампании РУ АЭС-2006 с подпиткой 42 ТВС для $z=95.33$ см (6.23 см от низа АЗ, 1-ый слой по высоте АЗ) для сектора симметрии 60° .

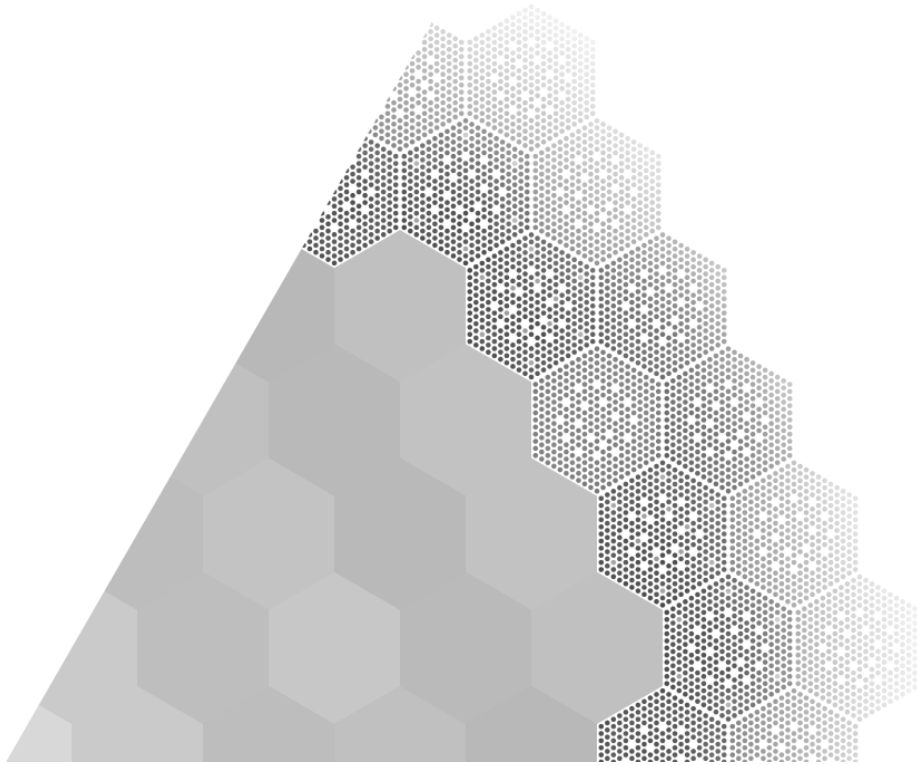


Рис. 9. Комбинированное распределение интегральной по времени плотности деления (выгорания) для 8-ой кампании РУ АЭС-2006 с подпиткой 42 ТВС: 2 внешних ряда кассет - потвзельное представление, остальные - покассетное.

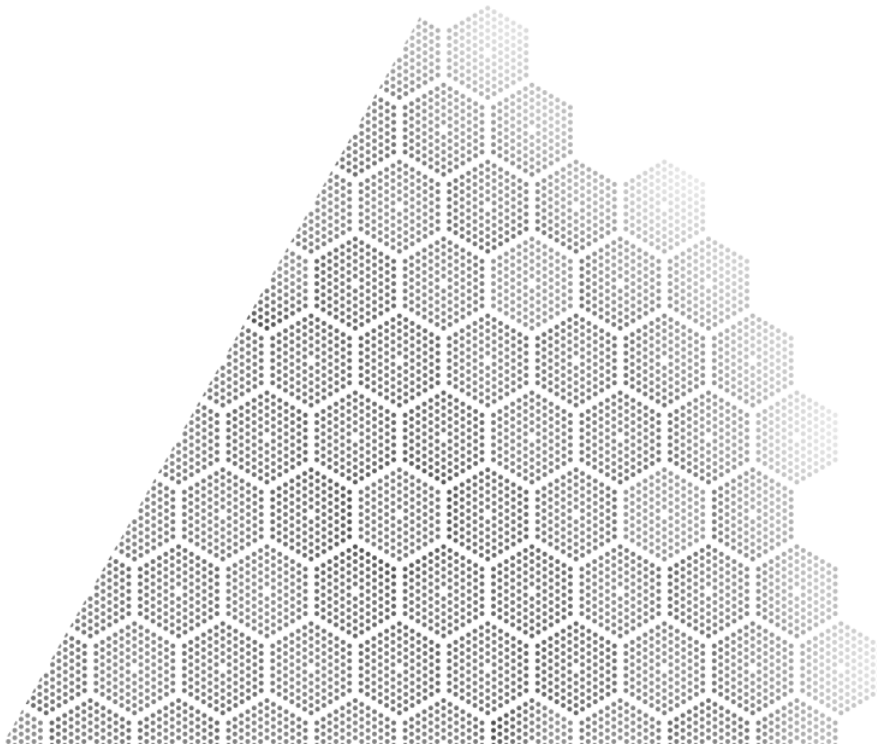


Рис. 10. Потвзельное распределение интегральной по времени плотности деления (выгорания) для 10-ой кампании РУ ВВЭР-440 Ровенской АЭС для сектора симметрии 60° .

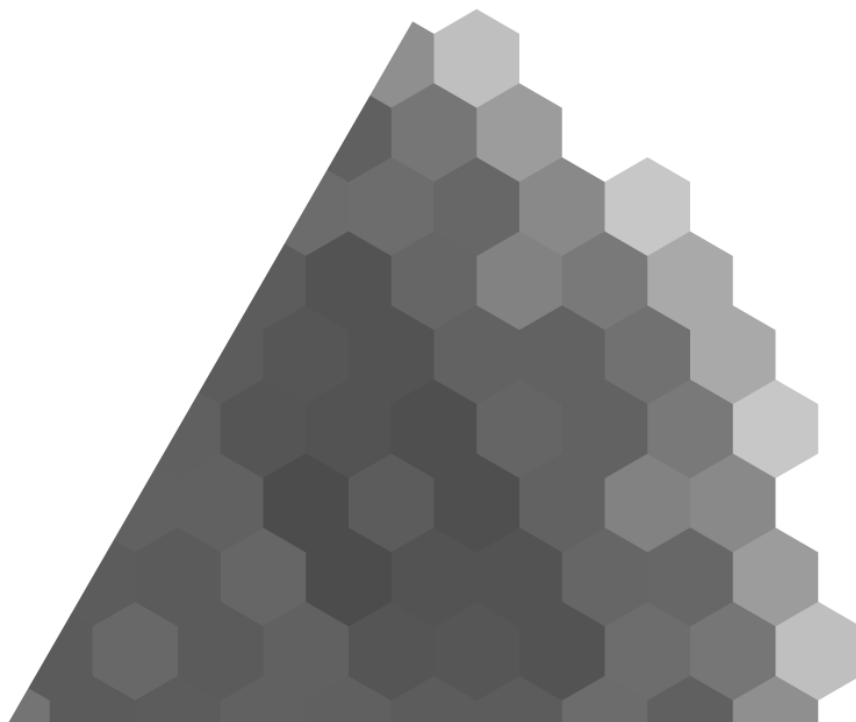


Рис. 11. Покассетное распределение интегральной по времени плотности деления (выгорания) для 10-ой кампании РУ ВВЭР-440 Ровенской АЭС для сектора симметрии 60° .



Рис. 9. Комбинированное распределение интегральной по времени плотности деления (выгорания) для 10-ой кампании РУ ВВЭР-440 Ровенской АЭС для сектора симметрии 60° ТВС: 2 внешних ряда кассет - потвэльное представление, остальные - покассетное.

Помимо интенсивности элементарных источников, в программе MCU задаются параметры, специфические для метода Монте-Карло. К этим параметрам относятся вероятности выработки нейтронов для элементарных источников. При практических расчётах, в случае когда требуется найти функцию распределения нейтронов на периферии активной зоны, требуется получить больше историй от нейтронов из периферийных кассет. Обычно, вероятность выработки нейтронов выше для двух внешних рядов кассет.

Ниже будет рассмотрен пакет начальных данных для исполняемого модуля программы *sour_pe_bi_sum.exe*, в котором реализован вышеописанный алгоритм подготовки комбинаторного источника.

4. Расчет плотности нейтронов деления, усредненной по нескольким кампаниям

Для определения интегральных дозовых нагрузок на корпус и внутрикорпусные устройства РУ с ВВЭР в процессе их эксплуатации, либо при принятии решения о продлении срока эксплуатации РУ сверх нормативно установленного срока службы, необходим расчет флюенса и повреждающей дозы за весь период эксплуатации энергоблока или за заданный период его эксплуатации, состоящий из нескольких последовательных кампаний. Конечно, указанные величины могут быть определены путем проведения соответствующих расчетов переноса излучения для каждой из кампаний рассматриваемого периода эксплуатации энергоблока. Однако, это достаточно трудоемкий процесс, предусматривающий, вообще говоря, проведение многочисленных 3D расчетов задачи.

Вместе с тем, в силу линейности уравнения переноса, если пренебречь изменением спектра источника от кампании к кампании достаточно рассчитать пространственное распределение плотности нейтронов деления, усредненное по рассматриваемому периоду эксплуатации энергоблока, и провести лишь 1 3D расчет для соответствующего источника. Утилита *sour_pe_bi_sum.exe* позволяет определить плотность нейтронов деления в формате программы MCU, усредненную по заданному периоду эксплуатации энергоблока, на основе данных о плотности нейтронов деления, усредненных по каждой из кампаний рассматриваемого периода эксплуатации, и продолжительности (числа эквивалентных суток) каждой кампании:

$$S = \frac{1}{T} \sum_{I_{start}}^{I_{fin}} S_i \Delta t_i, \quad T = \sum_{I_{start}}^{I_{fin}} \Delta t_i, \quad (5)$$

где S_i и Δt_i - соответственно, плотность нейтронов деления и продолжительность i -ой кампании из рассматриваемой последовательности кампаний $I_{start} \leq i \leq I_{fin}$.

5. Пакет начальных данных для программы *sour_pe_bi_sum*

Программа *sour_pe_bi_sum* читает и обрабатывает выходные бинарные файлы программы ПЕРМАК для заданной последовательности кампаний, содержащие потвэльные данные о выгорании на некоторой временной сетке, покрывающей весь временной интервал кампании, для всей зоны (360°), либо сектора симметрии 60° . Чтение указанных бинарных файлов, являющихся бинарными файлами прямого доступа, производится посредством программы *readsc*, разработанной авторами программы ПЕРМАК. Результат записывается в бинарный файл последовательного доступа *out_unf*.

Программа *sour_pe_bi_sum* также читает и обрабатывает выходные текстовые файлы программы БИПР для заданной последовательности кампаний, содержащие покассетные данные о выгорании на некоторой временной сетке, покрывающей весь временной интервал кампании, для всей зоны (360°), либо сектора симметрии 60° . Результат записывается в ASCII файл *bipr_out.txt*.

При совместном использовании файлов ПЕРМАК и БИПР предполагается, что данные о выгорании получены для одинаковой временной сетки. При подготовке источника для РУ ВВЭР-440 предполагается также, что подъем управляющих ТВС происходит в граничных точках временных интервалов на один слой аксиальной пространственной сетки.

Для учета изменения множественности в зависимости от степени выгорания топлива также используется файл с сечениями для программы БИПР.

Запуск программы *sour_pe_bi_sum* осуществляется командой:

```
sour_pe_bi_sum < sour_pe_bi_sum.inp
```

Здесь *sour_pe_bi_sum.inp* - файл с начальными данными для программы *sour_pe_bi_sum*.

Файл начальных данных для программы *sour_pe_bi_sum* содержит информацию о числе кампаний, именах вводимых файлов результатов программ ПЕРМАК и БИПР, файла констант для программы БИПР, типе реактора, его геометрических параметрах, параметрах подготовки комбинаторного источника, формируемых выходных файлах. Следует подчеркнуть, что настоящая версия программы *sour_pe_bi_sum* на выходе всегда имеет комбинаторный источник для сектора поворотной симметрии 60° . При наличии дополнительной симметрии 30° это обстоятельство может быть учтено на уровне 3D S_n программы КАТРИН (или на уровне утилиты ConSource при подготовке источника для 3D S_n программы TORT). Файл начальных данных состоит из следующих частей.

<Описание входных файлов – выходных файлов программ ПЕРМАК и БИПР>

<Описание выходного файла и вспомогательных файлов в формате программы MCU>

<Описание параметров сектора симметрии АЗ РУ>

<Описание параметров генерации комбинаторного источника>

Строки в файле, имеющие в первой позиции знак “!”, не учитываются, после этого знака можно писать комментарии. Длина каждой строки должна быть не более 80 символов. Символы, начиная с 81, игнорируются. Действительные и целые числа записываются в свободном формате. Целые числа обозначаются буквой I, действительные – E. Формат строк соответствует стандартным обозначениям языка FORTRAN.

Описание входных файлов – выходных файлов программ ПЕРМАК и БИПР включает в себя признаки ввода выходных файлов программ ПЕРМАК и БИПР, а также их имена. Первая вводимая карта задает число кампаний, для которых производится подготовка усредненного значения источника по формуле (5).

NumCom

I

NumCom - число кампаний, для которых производится подготовка источника.

Вторая вводимая карта служит для задания признаков ввода и вывода файлов.

M1, M2, M3, M4

4×I

M1 - признак ввода имен (0/>0 – файлы не используется/файлы открываются)) выходных бинарных файлов программы ПЕРМАК;

M2 - признак ввода имен (0/>0 – файлы не используется/файлы открываются)) выходных ASCII файлов программы БИПР;

M3 - признак ввода ASCII файла констант для программы БИПР;

M4 - признак вывода файла листинга для контроля вводимой информации.

Замечание. Выходные файлы программ ПЕРМАК и БИПР могут быть как для угла поворотной симметрии 60°, так и для всей зоны 360°. Временная сетка, на которой рассчитывается выгорание, в файлах ПЕРМАК и БИПР должна быть идентичной. В противном случае происходит останов с выдачей соответствующей диагностики.

Затем следует NUNIT карт по числу вводимых имен файлов (NUNIT=NumCom×(M1+M2)+M3+M4) с именами вводимых/выводимых файлов.

(NAMEUN(I), I=1,NUNIT)

A72

NAMEUN(I) - имя I-ого вводимого/выводимого файла из последовательности M1, ..., M4

При M3>0 формирование интегральной за время кампании плотности нейтронов деления производится с учетом зависимости числа нейтронов ν , образующихся в акте деления, от глубины выгорания топлива ρ согласно уравнению (2).

Если же $M3=0$, то зависимость $\nu(\rho)$ не учитывается и профиль интегральной по кампаниям плотности нейтронов деления $N_{fis}^{neutr}(r, \mathcal{G}, z)$ рассчитывается согласно уравнению (3).

Описание выходного файла и вспомогательных файлов в формате программы MCU. Для упрощения алгоритма вставки данных о комбинаторном источнике в файл начальных данных программы MCU, исходный файл MCU для сектора симметрии 60° разбивается на 3 файла. Описываемый ниже ввод данных содержит имена используемых файлов в формате программы MCU. Задание этих имен обязательно.

NAMEOUT, NAMEINP1, NAMEINP2, NAMEINP3

A72

NAMEOUT – имя выходного ASCII файла в формате программы MCU для сектора симметрии 60° ;

NAMEINP1 – имя первой части исходного ASCII файла в формате программы MCU;

NAMEINP2 – имя второй части исходного ASCII файла в формате программы MCU;

NAMEINP3 – имя третьей части исходного ASCII файла в формате программы MCU

Выходной ASCII файл NAMEOUT в формате программы MCU имеет следующую структуру:

- 1) данные из файла NAMEINP1
- 2) данные об интенсивностях и вероятностях источников в угле симметрии 60°
- 3) данные из файла NAMEINP2
- 4) данные об источниках из пункта 2)
- 5) данные из файла NAMEINP3

Файл NAMEINP1 содержит данные для физического и геометрического модулей, а также заголовок сложного источника [1]:

*³ Physical module input

FZONE* 1

....

FINISH MAT

* Geometry module input

HEAD 1 0 0

CONT B B B S60

* Reper (reference) vector parameters, officially required but not really used

* for isotropic source

EQU DX⁴=144.8

³ Символ (*) в начале строки обозначает строку с комментариями.

EQU DY=83.6

EQU DZ=400

*

.....

FINISH SCG

UNIT MeV

* VVER 1200, 60 degrees sector

NPS 1020 BIAS M

PROB

Файл NAMEINP2 содержит шапку описания решетки, составленной из примитивных источников (высота и радиус цилиндра должны быть выбраны в соответствии со значениями шага сетки по аксиальной переменной и радиуса топливного элемента (ТВЭЛ)):

NORM OFF

ANGLEN URAN

MDIS S

EDIS F U235

ANGLEN PLU

MDIS S

EDIS F PU39

ANGLEN UP CMPLX 2

URAN 0.95

PLU 0.05

* EMES

* EPRO

* Section of primitive sources

ELEM T N

* height of primitive source = hcore/numlev

RCZ 0,0,0 12.5 0.455000013

REPER /P DX,DY,DZ

SNAM UP

NOBJ 0

Файл NAMEINP3 содержит заключительную (закрывающую) часть файла исходных данных программы MCU, которая может выглядеть, например, следующим образом:

FINISH SP

ENGR 1.0 0.0

FINISH US

NAMVAR NAV8

FINISH REG

NAMVAR ADS

⁴ Для изотропного источника значение параметров DX, DY и DZ безразлично, но формально их значение должно быть определено в данных для геометрического модуля.

MAXSER 5000
 NPRINT 0
 DTZML 200
 NRAND 10000
 FULL
 REGZ -1
 REGO -1
 FINISH

Описание параметров сектора симметрии АЗ РУ. Состоит из описания сектора симметрии 60° (количества рядов ТВС и количества ТВС в каждом ряду), число слоёв задания источника по аксиальной переменной, параметров ТВС и твэлов. Число твэлов в ТВС равно 127 для ВВЭР-440 и 331 для ВВЭР-1000/1200.

NUMROW, NUMLEV

2×I

NUMROW – число рядов шестигранных кассет в секторе симметрии 60°:
 10 - для ВВЭР-440, 7 - для ВВЭР-1000/1200;

NUMLEV – число слоёв задания источника по аксиальной переменной (должно совпадать с числом интервалов равномерной сетки по аксиальной переменной, используемой программами ПЕРМАК и БИПР).

Далее вводятся следующие действительные параметры.

ХТК, DTV, HAZ, ZBOT

4E

ХТК – размер кассеты под ключ, см⁵;

DTV - расстояние между соседними твэлами в кассете, см⁶;

HAZ – высота АЗ РУ⁷, см;

ZBOT – координата низа АЗ, см

Далее вводится массив, задающий число кассет по рядам в секторе симметрии 60°.

(NUMCAS(j), j=1, NUMROW)

NUMROW×I

NUMCAS(j) – число кассет в j-ом ряде кассет по переменной y в секторе симметрии 60°⁸: 10 9 8 7 7 6 5 4 2 1 - для ВВЭР-440;

⁵ Для ВВЭР 440 и ВВЭР 1000 параметр ХТК равен 14.7 и 23.6 см, соответственно.

⁶ 1.275 см в ТВС для ВВЭР 1000; 1.23/1.22 см для нового/старого варианта ТВС для ВВЭР-440.

⁷ Высота АЗ (за счет учета теплового расширения) может несколько превосходить высоту АЗ, принятую в расчетах по программам БИПР и ПЕРМАК.

Описание параметров вывода источника состоит из двух групп признаков, задающих: (а) тип источника (покассетный или потвэльный) для каждой кассеты для сектора симметрии; (б) необходимость выполнения корректировки вероятности срабатывания для каждой кассеты (используется только в расчете задачи по программе MCU). Опишем 1-ую группу признаков.

CASTV

I

CASTV = 0/1/2 – источник выводится покассетно/потвэльно/используется комбинированное (потвэльно-покассетное) задание источника.

При CASTV=2 дополнительно вводится информация о структуре комбинированного источника, которая состоит из NUMROW записей, задающих покассетно информацию о виде комбинаторного источника в каждой кассете. j-ая запись имеет следующий вид:

(CASMAS(i,j), i=1, NUMCAS(j))

NUMCAS(j)×I

CASMAS(i,j) = 0/1 – используется покассетное/потвэльное задание источника i-ой кассеты из j-ого ряда

2-ая группа признаков.

CASPROB

I

CASPROB = 0/>0 – все вероятности считаются равными 1. (корректировка не производится)/корректировка производится для выделенных кассет

При CASPROB>0 вводится следующая информация, состоящая из NUMROW записей, задающих наличие корректировка вероятности срабатывания источника в каждой кассете. j-ая запись имеет следующий вид:

(CASMASP(i,j), i=1, NUMCAS(j))

NUMCAS(j)×I

CASMASP(i,j) = 0/1 – нет/есть корректировка вероятности срабатывания источника для i-ой кассеты из j-ого ряда

При CASPROB>0 завершает группу карта с вероятностью срабатывания источника для выделенных кассет.

⁸ Ряды кассет нумеруются по возрастанию y .

W

E

W – вероятность срабатывания источника для выделенных кассет (с $CASMASP(i,j)=1$)

Запуск программы *sour_pe_bi_sum* осуществляется командой:

sour_pe_bi_sum <sour_pe_bi_sum.inp

где *sour_pe_bi_sum.inp* – файл начальных данных для программы *sour_pe_bi_sum*.

ЛИТЕРАТУРА

1. “Программа MCU-REA/2 с библиотекой констант DLC/MCUDAT-2.2. Описание применения и инструкция для пользователя,” *Отчет ИЯР РНЦ “Курчатовский институт”*, инв. № 36/2004, М., 2004.
2. С. С. Алешин, С. Н. Большагин, М. Ю. Томилов, “Программа ПЕРМАК-А. Описание алгоритма. Описание применения,” *Отчет ИЯР РНЦ “Курчатовский институт”*, инв. № 32/1-24-107, М., 2007.
3. М. Ю. Томилов, С. Н. Большагин, “Программа БИПР7-А. Инструкция пользователя,” *Отчет ИЯР РНЦ “Курчатовский институт”*, М., 2007.
4. М. И. Гуревич, А. А. Руссков, А. М. Волощенко, “ConSource – программа для конвертации источника деления, заданного средствами комбинаторной геометрии в формате программы MCU, на разностную сетку задачи с использованием алгоритма лучевого трассирования. Инструкция для пользователя,” *Препринт ИПМ им. М. В. Келдыша РАН*, № , 2009.

Приложение 1. Пример пускового пакета для программы *source_pe_bi_sum* для РУ ВВЭР-1200

! NumCom, number of companies

2

! key of PERMAK files input

1

! key of BIPR files input

1

! key of BIPR cross-section file input (the same for all companies)

1

! key of listing file output

1

! PERMAK binary files by companies

out01.sc

out01.sc

! BIPR ASCII files by companies

BURNUP_SBURNUP-POW01

```

BURNUP_SBURNUP-POW01
! ASCII file with BIPR cross-section data
constanti
! output file with listing
test_pe_bi.out
! output MCU file with included combinatorial geometry source
result_mcu.txt
! the first part of MCU input file
m1.txt
! the second part of MCU input file
m2.txt
! the third part of MCU input file
m3.txt
! NUMROW, NUMLEV
7 30
! key assembly dimension
23.6
! pin to pin distance
1.275
! core height
! VVER-1000 core height
!355.
! VVER-1200 core height
375.
! core bottom
89.1
! (NUMCAS(j), j=1, NUMROW)
7 6 5 4 3 2 1
! CASTV - 0/1/2 - by assembly/by pin/mixed source approximation
1
! CASPROB
0

```

Приложение 2. Пример пускового пакета для программы source_pe_bi_sum для РУ ВВЭР-440

```

! NumCom, number of companies
2
! key of PERMAK files input
1
! key of BIPR files input
1
! key of BIPR cross-section file input (the same for all companies)
0
! key of listing file output

```



```

1
! PERMAK binary files by companies
k01.fl
k01.fl
! BIPR ASCII files by companies
VIG_400OUTK01
VIG_400OUTK01
! BIPR cross-section file
!constanti
! listing file
sour_pe_bi_sum_2.out
! output MCU file with combinatorial source included
result_mcu.txt
! the first part of MCU input file
m1.txt
! the second part of MCU input file
m2.txt
! the third part of MCU input file
m3.txt
! NUMROW, NUMLEV
10 42
! key assembly dimension
14.7
! pin to pin distance
1.23
! core height
250.
! core bottom
51.0
! (NUMCAS(j), j=1, NUMROW)
10 9 8 7 7 6 5 4 2 1
! CASTV - 0/1/2 - by assembly/by pin/mixed source approximation
2
0 0 0 0 0 0 0 1 1
0 0 0 0 0 0 0 1 1
0 0 0 0 0 0 1 1
0 0 0 0 0 1 1
0 0 0 0 0 1 1
0 0 0 0 1 1
0 0 0 1 1
0 0 1 1
1 1
1
! CASPROB
0

```