



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

ConSource – программа для конвертации источника деления, заданного средствами комбинаторной геометрии в формате программы MSU, на разностную сетку задачи с использованием алгоритма лучевого трассирования.

Инструкция для  
пользователя

**Рекомендуемая форма библиографической ссылки:** Гуревич М.И., Руссков А.А., Волощенко А.М. ConSource – программа для конвертации источника деления, заданного средствами комбинаторной геометрии в формате программы MSU, на разностную сетку задачи с использованием алгоритма лучевого трассирования. Инструкция для пользователя // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2009. № 17. 23 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2009-17>

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

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

ConSource – программа для конвертации источника деления, заданного средствами комбинаторной геометрии в формате программы MSU, на разностную сетку задачи с использованием алгоритма лучевого трассирования

Инструкция для пользователя

Москва – 2009 г.

ConSource – программа для конвертации источника деления, заданного средствами комбинаторной геометрии в формате программы MCU, на разностную сетку задачи с использованием алгоритма лучевого трассирования. Препринт Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, № , 2009.

### АННОТАЦИЯ

Конвертер ConSource осуществляет с использованием алгоритма лучевого трассирования (или трейсинга (tracing)) конвертацию потвэльно или покасетно заданного источника нейтронов деления, представленного в формате программы MCU с помощью средств комбинаторной геометрии, на разностную сетку задачи с поддержанием локального баланса нейтронов источника в каждой пространственной ячейке сетки. Программа ConSource является развитием на случай задачи конвертации источника деления программы ConDat, осуществляющей конвертацию комбинаторной геометрии задачи на разностную сетку, покрывающую расчетную область, с поддержанием локального баланса масс за счет введения, при необходимости, дополнительных смесей исходных материалов.

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

ConSource – code for converting the fission source, defined by combinatorial geometry tools in the MCU code format, on the problem spatial mesh by the tracing algorithm. Users guide. Preprint of the Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, No. , 2009.

### ABSTRACT

ConSource converter is designed for converting by the tracing algorithm of the by pin or by assembly defined neutron fission source, given in the MCU code format with the use of combinatorial geometry approach, on the spatial mesh that overlays problem geometry with local conservation of the source yield for every spatial cell of the mesh. ConSource code is an expansion for the combinatorial source case of the ConDat code that was designed for converting of the combinatorial presentation of problem geometry on the spatial mesh with local conservation of the mass of original materials, by introducing, if required, additional mixtures.

---

<sup>1</sup> РИЦ «Курчатовский институт»

<sup>2</sup> Александр Руссков, E-mail: Russkov@inbox.ru

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение и постановка задачи .....	3
Метод решения .....	5
Пакет начальных данных для конвертера ConSource .....	9
ЛИТЕРАТУРА .....	15
Приложение 1. Пример пакета начальных данных для программы ConSource .....	16
Приложение 2. Аппроксимация источника по аксиальной переменной $z$ ..	21

**Введение и постановка задачи**

Конвертер ConSource осуществляет с использованием алгоритма лучевого трассирования (или трейсинга) конвертацию источника нейтронов деления, заданного в формате программы MCU [1] с помощью средств комбинаторной геометрии, на разностную сетку задачи с поддержанием баланса нейтронов источника в каждой пространственной ячейке сетки. Источник на сетке может быть записан программой ConSource в текстовом (т. е. в формате представления начальных данных об источнике в пусковом пакете) и бинарном форматах внутреннего изотропного источника для 1D/2D/3D  $S_n$  программ РОЗ-6.6/КАСКАД-С/КАТРИН [2, 3, 4] из пакета CNCSN [5], а также в текстовом формате (пакета начальных данных) 1D/2D/3D  $S_n$  программ ANISN/DORT/TORT из пакета DOORS [6]. Актуальность этой задачи связана с необходимостью построения достаточно точной аппроксимации интегрального за время кампании источника нейтронов деления, используемого в 3D  $S_n$  расчетах флюенса, повреждающей дозы (СНА) и энерговыделения в корпусе и внутрикорпусных устройствах реакторных установок (РУ) с ВВЭР. Полученные расчетные значения вышеуказанных величин используются для обоснования условий безопасной эксплуатации РУ с ВВЭР.

Подготовка комбинаторного представления источника на основе информации из бинарного файла программы ПЕРМАК-А [7], содержащего потвальные данные о выгорании в процессе кампании, и ASCII файла программы БИПР-7А [8], содержащие покассетные данные о выгорании по кампании, в формате программы MCU может быть осуществлена как с использованием программных средств, разработанных для этой цели Д. Шкаровским, так и посредством утилиты BurnDat [9], в которой реализован более общий алгоритм расчета источника деления, интегрального по времени кампании, учитывающий изменение множественности нейтронов деления в процессе выгорания топлива.

На Рис. 1 и 2 представлено поперечное сечение источника деления для сектора поворотной симметрии  $60^\circ$  при, соответственно, потвальном и покассетном комбинаторном представлении источника.

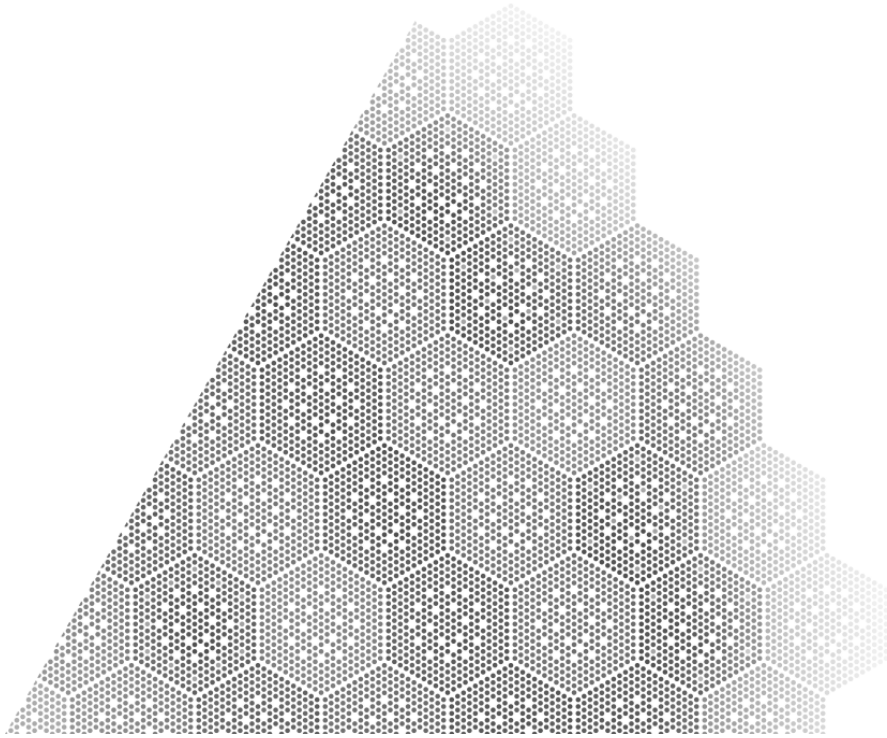


Рис. 1. Потвэльное распределение для сектора симметрии  $60^\circ$  интегральной по времени плотности нейтронов деления для 8-ой кампании РУ АЭС-2006 с подпиткой 42 ТВС для  $z=6.23$  см от низа АЗ (1-ый слой по высоте АЗ).

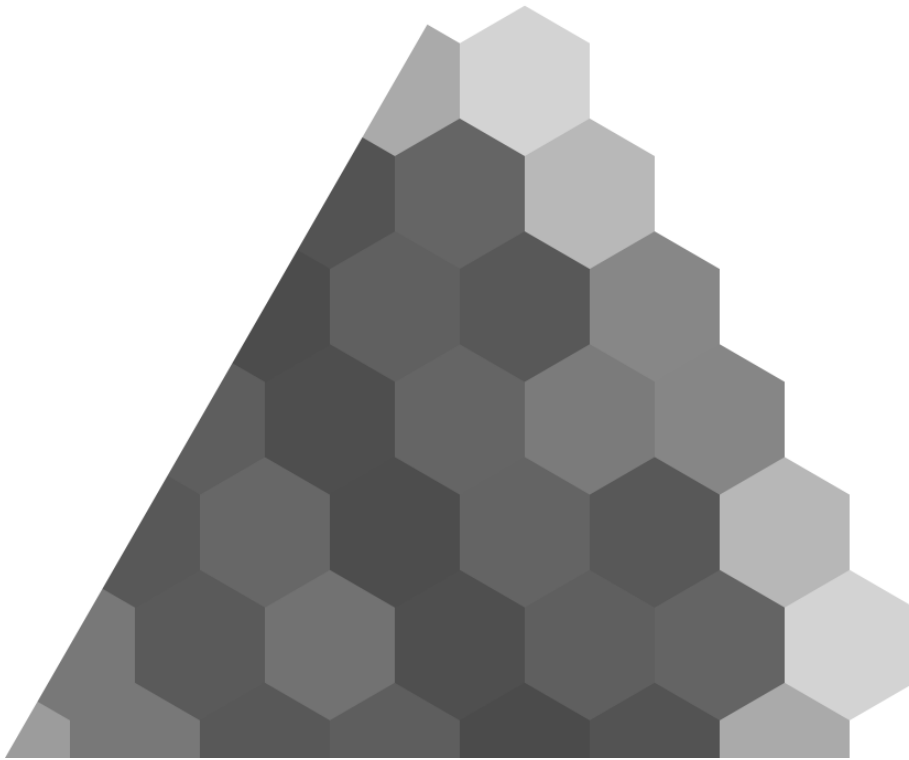


Рис. 2. Покасетное распределение интегральной по времени плотности деления (выгорания) для 8-ой кампании РУ АЭС-2006 с подпиткой 42 ТВС для  $z=95.33$  см (6.23 см от низа АЗ, 1-ый слой по высоте АЗ) для сектора симметрии  $60^\circ$ .

Программа ConSource производит конвертацию данного вида источника, представляющего набор прямых круговых цилиндров и (или) правильных шестигранных призм с образующими, параллельными оси OZ, на разностную сетку задачи. ConSource является развитием на случай задачи конвертации источника программы ConDat [10], осуществляющей конвертацию комбинаторной геометрии задачи на сетку задачи. Использование метода трэйсинга для расчета количества нейтронов деления, попадающих в разностную ячейку сетки (вместо простейшего алгоритма интегрирования, связанного с разбиением ячеек пространственной сетки, на которой должен быть представлен источник, на достаточное количество более мелких ячеек), позволяет получить решение задачи с необходимой точностью за приемлемые расчетные времена.

## 1. Метод решения

Рассмотрим общую задачу преобразования источника из формата программы MCU на пространственную сетку, используемую в 3D  $S_n$  программе КАТРИН. В формате MCU функция плотности интенсивности задаётся для областей, которые описываются либо как элементарные тела, либо как регистрационные зоны. В обоих случаях функция плотности интенсивности является ступенчатой функцией, при этом области постоянства, то есть области «ступенек» есть либо элементарные тела, либо регистрационные зоны. Задача преобразования источника эквивалентна задаче интегрирования функции плотности интенсивности по отдельным пространственным ячейкам. Для ступенчатой функции эта задача может быть решена методом трэйсинга (tracing) аналогично задаче определения составного материала в конкретной ячейке, с принципиальным отличием. Отличие заключается в принципе сохранения полной (интегральной по объёму) интенсивности источника. В задаче преобразования геометрических данных функция сопоставления материала также является ступенчатой функцией, при этом в программе MCU задан конкретный материал для каждой зоны.

Преобразование методом трэйсинга обладает локальным свойством сохранения материала, при этом точность сохранения определяется числом лучей, проводимых через пространственную ячейку. В случае источника деления задаётся область постоянства функции плотности интенсивности и полная (интегральная по объёму) интенсивность источника. Чтобы применить метод, непосредственно аналогичный определению составного материала, необходимо вместо интегральной интенсивности определить плотность интенсивности. Для этого нужно знать объём элементарного тела (или регистрационной зоны). Объём элементарного тела может быть легко вычислен по аналитической формуле, если тело целиком лежит в расчётной области. В случае регистрационной зоны в общем случае, а также для общего случая, когда элементарное тело может лежать на границе расчётной области, объём зоны может быть определён с помощью численного интегрирования. При дальнейшем преобразовании источника на растровую сеть точность сохранения интегрального источника бу-

дет определяться, как и в случае определения составных материалов, числом лучей, проводимых через пространственную ячейку.

Для источника деления может быть применён другой подход, с точным сохранением интегрального источника (точность определяется точностью вычислений с действительными числами). В этом подходе для каждой ячейки методом трэйсинга определяется объём зоны источника, после чего вычисляется суммарный объём источника и производится вычисление плотности интенсивности источника, а также интегральной интенсивности источника, приходящегося на каждую ячейку. В конвертере ConSource используется этот подход, обеспечивающий сохранение интегральной по объёму интенсивности.

По сути, этот подход совпадает с аналогичным для определения составного материала с дополнительной нормировкой интегральной интенсивности. Есть ещё одно отличие, являющееся менее важным, чем первое. Оно состоит в заполнении областями с постоянной функцией расчётной области. На геометрическое описание накладывается ограничение заполнения расчётной области, то есть для каждой точки расчётной области должен быть задан конкретный материал, при этом области с разными материалами, естественно, не могут перекрываться. В случае источника областью постоянства функции может быть задана произвольная область из расчётной области, при этом нет никаких ограничений на заполнение области. Области постоянства функции могут пересекаться, в этом случае плотность интенсивности в области пересечения равна сумме плотностей для элементарных областей. Подчеркнём, что в предположении постоянства спектра деления в пределах ТВС для реактора типа ВВЭР возможно непосредственно суммировать функции плотности интенсивности.

Мы указали принцип решения для наиболее общего случая, для формального преобразования источника из формата программы MCU в растровый. В преобразовании источника реактора типа ВВЭР есть существенное отличие. Оно состоит в том, что функция плотности интенсивности является плавно меняющейся функцией по аксиальной переменной  $z$ . Функция от переменных  $r, \vartheta$ , то есть в плоскости сечения при фиксированной аксиальной переменной, является ступенчатой функцией. Учитывая гладкость функции по аксиальной переменной, можно произвести интерполяцию функции по этой переменной для фиксированных значений  $r, \vartheta$ . Следовательно, преобразование источника состоит из двух последовательных преобразований:

- 1) формальное преобразование источника как ступенчатой функции на сеть, совпадающую в  $r, \vartheta$  плоскости с разностной сеткой расчётной  $S_n$  программы, а по аксиальной переменной с сетью задания источника в программах ПЕР-МАК и БИПР;
- 2) интерполяция источника по аксиальной переменной.

Рассмотрим оба преобразования по порядку. Формальное преобразование источника как ступенчатой функции в общем случае может быть осуществлено непосредственно, в этом случае для каждой пространственной ячейки и каждой области постоянства плотности интенсивности определяется объём пересечения с помощью численного интегрирования. Самый общий алгоритм предполагает определение объёма пересечения для пар, состоящих из всех пространств-

венных ячеек и всех областей постоянства плотности интенсивности. Быстродействие алгоритма может быть увеличено путём отбрасывания пар ячеек и зон, пересечение которых заведомо пусто, то есть для каждой зоны определяется набор ячеек, которые не имеют пересечения с данной зоной, после чего диапазон перебираемых элементов сокращается.

Применительно к реактору типа ВВЭР алгоритм допускает дальнейшее упрощение. Структура источника реактора типа ВВЭР является «слоистой», то есть в пределах каждого отрезка по аксиальной переменной функция плотности интенсивности не зависит от аксиальной переменной. Поэтому в пределах каждого слоя – отрезка по аксиальной переменной – источник является двумерной структурой. Следовательно, для определения объёмов пересечения ячеек и элементарных источников нет необходимости проводить более одного луча в одном отрезке по аксиальной переменной (см. Рис.3).

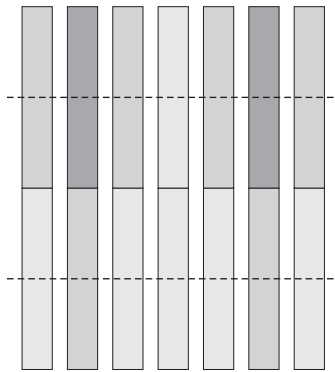


Рис. 3. Фрагмент продольного сечения потвэльного источника.

Задача преобразования трёхмерного источника сводится к задаче преобразования двумерного источника по слоям. Задача преобразования трёхмерного «слоистого» источника в общем случае может быть сведена к послойному преобразованию двумерного источника. В этом случае для каждого слоя выполняется независимое преобразование источника. Этот алгоритм используется в разработанном преобразователе источника. Он выбран как обладающий достаточной общностью с приемлемым быстродействием.

В реакторе типа ВВЭР все слои идентичны, то есть геометрически все элементарные источники совпадают (все элементарные источники одного слоя получаются из источников другого слоя преобразованием сдвига по аксиальной переменной). Это позволяет провести однократное преобразование двумерного источника, при этом необходимо сохранить информацию о вкладе каждого источника в каждую ячейку, после этого преобразование для остальных слоёв автоматически получается изменением интегральных интенсивностей элементарных источников.

Данный подход не применим, когда источник обладает свойством «слоистости», но по-разному записан для разных слоёв. Например, источник для од-



ной кассеты может быть записан для отдельных слоёв покассетно, а для отдельных – потвэльно (см. Рис. 4).

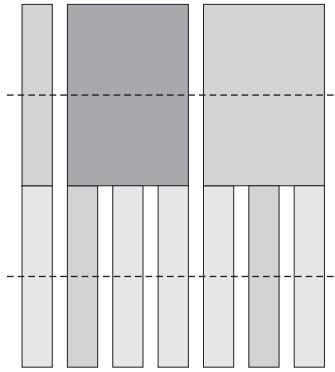


Рис. 4. Фрагмент продольного сечения комбинированного по высоте источника.

В этом случае необходимо выполнять двумерное преобразование источника для каждого слоя, если заранее известно лишь свойство «слоистости» источника. Рассмотрим конкретную реализацию алгоритма преобразования трёхмерного источника. Для каждого элементарного источника выполняются следующие действия: 1) определяется номер слоя, в котором он находится, то есть диапазон номеров отрезков по аксиальной переменной 2) определяется диапазон номеров отрезков по переменным  $r, \vartheta$  3) для каждой ячейки из выбранного диапазона определяется интегральный вклад от данного элементарного источника с использованием метода трэйсинга. В реакторе типа ВВЭР области независимого описания постоянства области интенсивности не имеют пересечений как в случае потвэльного, так и в случае покассетного описания. Данное ограничение не является существенным для работы программы, поскольку при работе программы ограничение учитывается автоматически. Постоянство спектра нейтронов для всех элементарных источников ТВС позволяет суммировать вклады от различных элементарных источников.

Интерполяция гладкой функции распределения источника по аксиальной переменной представляет собой более простую задачу. В программе КАТРИН [4] для интерполяции источника по аксиальной переменной может быть использован встроенный алгоритм кусочно-линейной интерполяции вводимого источника деления на разностную сетку задачи. При этом предпочтительно, чтобы вводимый источник был дополнен значениями на границах области задания источника, так как используемый алгоритм полагает источник равным нулю вне области его задания.

Программа TORT [6] требует предоставления источника на разностной сетке задачи. Для интерполяции источника по аксиальной переменной в ConSource применительно к TORT реализовано 2 алгоритма интерполяции: 1-ый вариант идентичен используемому в программе КАТРИН, 2-ой описан в Приложении 2.

Мы рассмотрели задачу преобразования источника на разностную сетку. Результатом работы преобразователя является сопоставление каждой ячейке сети плотности нейтронов деления. Важной задачей является задача контроля полученного результата. Непосредственное чтение массива плотности нейтронов деления является затруднительным. Чтобы облегчить задачу контроля, была введена возможность визуализации полученного результата. Визуализация состоит в построении изображений двумерного источника для каждого слоя. Отдельное изображение строится следующим образом: для каждой точки определяется плотность интенсивности и цвет данной точки выбирается пропорциональным плотности интенсивности в ней. За абсолютно чёрный цвет (RGB = 0,0,0) выбирается максимальная плотность интенсивности данного слоя, то есть цвет варьируется от белого до чёрного, пропорционально плотности интенсивности. В случае достаточно мелкой сети (размер ячейки меньше поперечного размера элементарного источника) программа может использоваться для контроля записи источника в формате программы MCU, в этом случае может использоваться как цилиндрическая, так и декартова система координат.

## **2. Пакет начальных данных для конвертера ConSource**

Файл начальных данных для конвертера ConSource задаёт информацию о параметрах преобразования источника на разностную сетку задачи, а также информацию о параметрах изображений, служащих для контроля как файла источника программы MCU, так и полученного результата. Он состоит из следующих частей:

**<Описание входных/выходных файлов и форматов>**

**<Описание локальной системы координат>**

**<Описание типа системы координат, в которой задаётся сеть>**

**<Описание параметров сети>**

**<Описание параметров точности определения интенсивности источника в ячейке сети>**

**<Описание параметров изображений>**

**<Дополнительный ввод параметров источника, формируемого для программ из пакета DOORS>**

**<Описание фиксированных значений координат для определения одномерного и двумерного источников>**

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/выходных файлов и форматов** включает в себя признаки наличия входных/выходных файлов, их имена и формат текстовых файлов.

Имя переменной	Тип	Описание переменной
M1, M2, ..., M15	11I	<p>Признаки ввода/вывода файлов (0/&gt;0 – файл не используется и не открывается/ файл открывается):</p> <p>M1 – признак записи ASCII файла 3D источника в формате программы КАТРИН;</p> <p>M2 - признак записи ASCII файла 3D источника в формате программы TORT;</p> <p>M3 – признак ввода текстового входного файла MCU;</p> <p>M4 – признак вывода файла листинга для контроля вводимой информации;</p> <p>M5 – признак записи изображений;</p> <p>M6 – признак записи ASCII файла 2D <math>r, z</math> источника в формате программы КАСКАД-С для фиксированного значения <math>\vartheta</math> (или <math>y</math>);</p> <p>M7 – признак записи ASCII файла 2D <math>r, \vartheta</math> источника в формате программы КАСКАД-С для фиксированного значения <math>z</math>;</p> <p>M8 – признак записи ASCII файла 1D источника в формате программы РОЗ-6.6 для фиксированных значений <math>\vartheta</math> (или <math>y</math>) и <math>z</math>;</p> <p>M9 – признак записи ASCII файла 2D <math>r, z</math> источника в формате программы DORT для фиксированного значения <math>\vartheta</math> (или <math>y</math>);</p> <p>M10 – признак записи ASCII файла 2D <math>r, \vartheta</math> источника в формате программы DORT для фиксированного значения <math>z</math>;</p> <p>M11 – признак записи ASCII файла 1D источника в формате программы ANISN для фиксированных значений <math>\vartheta</math> (или <math>y</math>) и <math>z</math></p> <p>M12 – признак записи бинарного файла 3D источника в формате программы КАТРИН;</p> <p>M13 – признак записи бинарного файла 2D <math>r, z</math> источника в формате программы КАСКАД-С для фиксированного значения <math>\vartheta</math> (или <math>y</math>);</p> <p>M14 – признак записи бинарного файла 2D <math>r, \vartheta</math> источника в формате программы КАСКАД-С для фиксированного значения <math>z</math>;</p> <p>M15 – признак записи бинарного файла 1D источника в формате программы РОЗ-6.6 для фиксированных</p>

		значений $\vartheta$ (или $y$ ) и $z$ .
(NAMEUN(I), I=1,NUNIT)	A72	NAMEUN(I) – имя <sup>3</sup> I-ого вводимого/выводимого файла из последовательности M1, M2,..., M11; NUNIT – полное число вводимых/выводимых файлов.
Title	A72	Название варианта
STYLE	A6	Формат текстовых файлов, создаваемых конвертером ConSource в каналах M1, M6, M7 и M8. Параметр STYLE может принимать значения “FORMAT” и “LIST-D”, что соответствует использованию соответствующих опций в пакетах начальных данных расчетных программ.

*Замечание.* Конвертер ConSource требует присутствия в файле MSU в канале M3 начальных данных для геометрического модуля и модуля источника.

**Описание локальной системы координат** включает координаты начала локальной системы, а также координаты базисных векторов. Ввод данных в данном и последующем подразделах идентичен вводу данных для аналогичных подразделов 3D версии конвертера ConDat [10].

Имя переменной	Тип	Описание переменной
(C(I), I=1,3)	3E	Начало системы координат в пространстве, в которой задаются параметры сети
Etype	A1	Переменная, которая может принимать значения: G, X, Y или Z; определяет способ задания базиса системы координат, в которой задаются параметры сети
(E1(I), I=1,3), (E2(J), J=1,3)	6E	Координаты векторов векторы E1 и E2. Вводятся при Etype = G. Базисные векторы вычисляются по формулам: $\mathbf{e1}=\mathbf{E1}/E1$ , $\mathbf{e2}=\mathbf{E2}-\mathbf{e1}*(\mathbf{e1},\mathbf{E2})$ , $\mathbf{e2}=\mathbf{e2}/e2$ , $\mathbf{e3}=[\mathbf{e1},\mathbf{e2}]$
$\alpha$	E	Угол поворота (в градусах) базисных векторов вокруг оси OX, OY или OZ соответственно. Задается при Etype = X, Y или Z. Базисные векторы вычисляются по формулам, согласно значению переменной Etype: $\mathbf{e1}=\mathbf{ey}*\cos(\alpha)+\mathbf{ez}*\sin(\alpha)$ , $\mathbf{e2}=-\mathbf{ey}*\sin(\alpha)+\mathbf{ez}*\cos(\alpha)$ ; $\mathbf{e1}=\mathbf{ez}*\cos(\alpha)+\mathbf{ex}*\sin(\alpha)$ , $\mathbf{e2}=-\mathbf{ez}*\sin(\alpha)+\mathbf{ex}*\cos(\alpha)$ ; $\mathbf{e1}=\mathbf{ex}*\cos(\alpha)+\mathbf{ey}*\sin(\alpha)$ , $\mathbf{e2}=-\mathbf{ex}*\sin(\alpha)+\mathbf{ey}*\cos(\alpha)$ ; $\mathbf{e3}=[\mathbf{e1},\mathbf{e2}]$

<sup>3</sup> Имя NAMEUN, соответствующее признаку M5>0 используется для формирования имен файлов NAMEUNnum.bmp с рисунками поперечных сечений источника, где num - номер слоя по аксиальной переменной z. Полное количество указанных рисунков совпадает с числом шагов |NUM3| по переменной z.

**Описание типа системы координат, в которой задаётся сеть** содержит информацию о типе 3D системы координат, которая может быть декартова  $(x, y, z)$  либо цилиндрическая  $(r, \vartheta, z)$ .

Имя переменной	Тип	Описание переменной
Geom	I	Переменная описывает тип системы координат, в которой задаются параметры сети. Она может принимать значения 1, 2, что обозначает декартову $x, y, z$ или цилиндрическую $r, \vartheta, z$ геометрию. Преобразование в цилиндрическую систему осуществляется стандартным образом, причём угол $\vartheta$ отсчитывается от $e_1$ к $e_2$

**Описание параметров сети** содержит описание параметры разбиения по первой, второй и третьей координатам. Параметры сети по первой и второй координатам, во избежание дополнительных переинтерполяций источника в расчетной программе на разностную сетку задачи, рекомендуется задавать идентичными используемым в конвертере ConDat для конвертации геометрии задачи.

Что касается аксиальной переменной, то настоящая версия программы ориентирована на использование послойного преставление источника на равномерной разностной сетке по аксиальной переменной, используемой программами БИПР и ПЕРМАК. Каждому слою по аксиальной переменной соответствует геометрическая зона в начальных данных для конвертера. Таким образом, число геометрических зон по аксиальной переменной должно быть равно числу слоев источника. Каждый слой может быть дополнительно разделён на равные интервалы (в каждом из которых будет задан источник одинаковой интенсивности).

Рекомендуется задавать по одному интервалу сетки на одну геометрическую зону по аксиальной переменной. В расчетных 2D и 3D  $S_n$  программах КАСКАД-С и КАТРИН производится линейная переинтерполяция источника с разностной сетки источника по аксиальной переменной на разностную сетку задачи.

Аксиальные размеры источника должны соответствовать размеру активной зоны, используемому в геометрическом описании задачи. Эти размеры могут несколько отличаться от принятых в программах БИПР и ПЕРМАК. В этом случае происходит соответствующая трансформация источника в соответствии с размерами геометрических зон (совпадающими со слоями источника), задаваемыми в программе ConSource.

Имя переменной	Тип	Описание переменной
Num1, Num2, Num3	3I	Абсолютные значения параметров определяют число геометрических зон с равномерным шагом по первой, второй и третьей про-

		пространственным переменным. Знаки параметров описывают тип задания сети: в случае положительного значения вводятся границы зон, в случае отрицательного - толщины зон
(Mau1(I), I=1, ( Num1 +1))	( Num1 +1)E	При Num1 >0/<0 - границы / левая граница и толщины геометрических зон по первой пространственной переменной
(Mau2(J), J=1, ( Num2 +1))	( Num2 +1)E	При Num2 >0/<0 - границы / левая граница и толщины геометрических зон по второй пространственной переменной, см/радианы для $x, y, z / r, \vartheta, z$ геометрий, соответственно
(Mau3(K), K=1, ( Num3 +1))	( Num3 +1)E	При Num3 >0/<0 - границы / левая граница и толщины геометрических зон по третьей пространственной переменной <sup>4</sup>
(Ma1(I), I=1,  Num1 )	Num1 I	Число пространственных интервалов по  Num1  геометрическим зонам для первой пространственной переменной
(Ma2(J), J=1,  Num2 )	Num2 I	Число пространственных интервалов по  Num2  геометрическим зонам для второй пространственной переменной
(Ma3(K), K=1,  Num3 )	Num3 I	Число пространственных интервалов по  Num3  геометрическим зонам для третьей пространственной переменной

**Описание параметров точности определения интенсивности источника в ячейке сети** содержит целую переменную, равную числу интервалов разбиения по второй координате, проводимых через каждую ячейку (числу лучей), а также действительные переменные для контроля точности вычисления координат границ зон. Действительные переменные необязательны, в случае их отсутствия их значения принимаются равными значениям по умолчанию. Действительные переменные имеют значение только при комбинаторном описании источника.

Имя переменной	Тип	Описание переменной
Prсc	I	Переменная определяет количество лучей, проводимых через одну пространственную ячейку для определения объема элементарного источника, попадающего в ячейку. Принцип подсчета напоминает

<sup>4</sup> За счет учета теплового расширения границы пространственных зон по аксиальной переменной, вообще говоря, могут несколько отличаться от границ пространственных интервалов аксиальной сетки, используемой в программах ПЕРМАК и БИПР. Однако, корректировка высоты АЗ не должна превышать  $\frac{1}{2}$  шага сетки по аксиальной переменной.

		интегрирование по формуле прямоугольников
F1	I	Признак ввода параметров EpsO и EpsI: $0 > 0$ - параметры не вводятся, их значения принимаются равными: EpsO=.01, EpsI=.00001/производится ввод значений параметров EpsO и EpsI
EpsO, EpsI	2E	Запись, определяющая параметры EpsO и EpsI. Эти параметры влияют на процесс определения координат границ зон

**Описание параметров изображений** включает описание отрезков координат по переменным  $X$  и  $Y$ , а также размеры изображения в пикселах. Данный раздел вводится при  $M5 > 0$ .

Имя переменной	Тип	Описание переменной
DIMX, DIMY	2I	Размеры изображения в пикселах
XMIN, XMAX	2E	Отрезок по координате $X$
YMIN, YMAX	2E	Отрезок по координате $Y$

В результате получаются изображения источника для каждого слоя в формате .raw. Стандартными средствами возможно преобразование изображения в форматы .bmp, .jpg

**Дополнительный ввод параметров источника, формируемого для программ из пакета DOORS.** В данном разделе вводятся границы сектора симметрии источника (для выборки части источника, используемого программами из пакета DOORS) и пространственной сетки по аксиальной переменной, на которую интерполируется источник для DOORS. Раздел вводится при  $M2+M9+M10+M11 > 0$ .

Имя переменной	Тип	Описание переменной
Thmin, Thmax	2E	Левая и правая границы сектора симметрии источника (в пределах сектора подготовки источника), см/радианы для $x, y, z / r, \vartheta, z$ геометрий, соответственно
TuAp	I	Алгоритм интерполяции с аксиальной сетки задания источника на сетку решения DOORS: 1 – линейная интерполяция с учетом границ задания источника; 2 – квадратичная сплайн-интерполяция (см. Приложение 2).
NumZ	I	$ \text{NumZ} $ = число геометрических зон с равномерным шагом по аксиальной переменной сетки источника для DOORS. При $\text{NumZ} > 0$ вводятся границы зон, при

		NumZ<0 - толщины зон.
(MauZ(K), K=1, ( NumZ +1))	( NumZ +1)E	При NumZ >0/<0 - границы / левая граница и толщины геометрических зон по аксиальной переменной
(MaZ(K), K=1,  NumZ )	NumZ I	Число пространственных интервалов по  NumZ  геометрическим зонам для аксиальной переменной

**Описание фиксированных значений координат для определения одномерного и двумерного источников.** Предназначен для ввода значения координат для которых происходит выборка одномерного и двумерного источников. Раздел вводится при  $M6+M7+M8+M9+M10+M11>0$ .

Имя переменной	Тип	Описание переменной
FIX2, FIX3	2E	Фиксированные значения второй и третьей координат для записи одномерного и двумерного источников

Для запуска программы необходимо в командной строке набрать следующую строку:

$$vtn < inp\_file$$

где *vtn* – имя исполняемого файла программы ConSource, *inp\_file* – имя файла начальных данных программы.

Для запуска программы также можно воспользоваться также bat файлом, содержащим дополнительно к вызову исполняемого файла программы ConSource и обращение к программе convert.exe из пакета ImageMagik, осуществляющей преобразование изображения источника для каждого слоя в формате .raw в формат .bmp. При этом разрешение изображения в обращении к программе convert.exe должно соответствовать разрешению, задаваемому параметрами DIMX и DIMY в начальных данных для исполняемого модуля *vtn.exe*.

## 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. А. М. Волощенко, А. А. Дубинин, “РОЗ-6.6 – программа для решения уравнения переноса нейтронов, фотонов и заряженного излучения методом дискретных ординат в одномерных геометриях,” *Инструкция для пользователя, Отчет ИПМ им. М. В. Келдыша РАН*, инв. № 7-25-2004, М., 2004.
3. А. М. Волощенко и А. В. Швецов. “КАСКАД-С-2.5 - программа для решения уравнения переноса нейтронов, фотонов и заряженного излучения методом дискретных ординат в двумерных геометриях,” *Инструкция для пользователя, Отчет ИПМ им. М. В. Келдыша РАН*, инв. № 7-26-2004, М., 2004.



4. А. М. Волощенко, В. П. Крючков, “КАТРИН-2.0 – программа для решения уравнения переноса нейтронов, фотонов и заряженного излучения методом дискретных ординат в трёхмерной геометрии,” Инструкция для пользователя, *Отчет ИПМ им. М. В. Келдыша РАН*, инв. № 7-27-2004, М., 2004.
5. A. M. Voloschenko, S. V. Gukov, A. A. Russkov, M. I. Gurevich, D. A. Shkarovsky, V. P. Kryuchkov, O. V. Sumaneev, A. A. Dubinin, “The CNCSN-2: One, Two- and Three-Dimensional Coupled Neutral and Charged Particle Discrete Ordinates Code System,” *Proc. of International Conference on Advances in Mathematics, Computational Methods, and Reactor Physics*, Saratoga Springs, USA, May 3-7, 2009, on CD ROM.
6. DOORS3.2 – One, Two- and Three Dimensional Discrete Ordinates Neutron/Photon Transport Code System, RSICC Computer Code Collection, CCC-650, ORNL, 1998.
7. 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.
8. М. Ю. Томилов, С. Н. Большагин, “Программа БИПР7-А. Инструкция пользователя,” *Отчет ИЯР РНЦ “Курчатовский институт”*, М., 2007.
9. М. И. Гуревич, А. А. Руссков, А. М. Волощенко, “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, Инструкция для пользователя,” *Препринт ИПМ им. М. В. Келдыша РАН*, № , 2009.
10. М. И. Гуревич, А. А. Руссков, А. М. Волощенко, “ConDat 1.0 – программа преобразования исходных данных из комбинаторной геометрии в растровую с использованием алгоритма трейсинга (tracing). Инструкция для пользователя,” *Препринт ИПМ им. М. В. Келдыша РАН*, № 12, 2007.

## Приложение 1. Пример пакета начальных данных для программы ConSource

Ниже приводится пример пакета начальных данных для конвертера ConSource, использованный для конвертации потвэльно заданного источника на разностную сетку задачи. При этом, источник готовится одновременно для расчета задачи в 3D геометрии с использованием 3D  $S_n$  программ КАТРИН и TORT, а также решения задачи методом синтеза с привлечением 2D и 1D  $S_n$  программ КАСКАД-С и РОЗ-6.6 либо DORT и ANISN.

```
! M1 , M2 , M3 , M4 , M5 , M6 , M7 , M8 , M9 , M10 , M11 keys
  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1
! KATRIN source ASCII file
inp_katrin_v1200my8_fin.txt
! TORT source ASCII file
inp_tort_v1200my8_fin.txt
```

```

! MCU input file
v1200my8_fin
! Listing file
v1200_v1200my8_fin.out
pic_v1200_v1200my8_fin
! KASKAD-S r-z geometry source ASCII file
out_v1200my8_fin_fix2.txt
! KASKAD-S r-theta geometry source ASCII file
out_v1200my8_fin_fix3.txt
! ROZ-6.6 1D cylindrical geometry source ASCII file
out_v1200my8_fin_fix23.txt
! DORT r-z geometry source ASCII file
out_v1200my8_fin_fix2_dort.txt
! DORT r-theta geometry source ASCII file
out_v1200my8_fin_fix3_dort.txt
! ANISN 1D cylindrical geometry source ASCII file
out_v1200my8_fin_fix23_anisn.txt
! Title card
VVER 1200
! Output format
!LIST-D
FORMAT
! origin of coordinates
0. 0. 0.
! frame of reference
Z
! \alpha, degrees
0.
! geometry
2
! number of radial spatial zones
44
! number of circular spatial zones
1
! number of axial spatial zones
30
! radial variable zone boundaries
  0.0          140.0          148.0    158.0
 166.9         169.1         170.25   173.5
 174.5         181.0         204.6     205.25
 205.5         206.05        207.05   207.45
 207.6         207.8         208.0     208.25
 209.25        209.45        209.65   209.8
 210.2         211.15
 211.6         212.5         228.5     232.25
 235.5         264.0         264.3     275.0

```

```

18
276.0      278.0      279.0      288.0
292.25     303.9      314.5      334.5
335.5      339.5      365.5
! circular variable zone boundaries
0.0000E+00 1.047197551197
! axial variable zone boundaries
8.9100E+01 1.0160E+02 1.1410E+02 1.2660E+02 1.3910E+02
1.5160E+02 1.6410E+02 1.7660E+02 1.8910E+02 2.0160E+02
2.1410E+02 2.2660E+02 2.3910E+02 2.5160E+02 2.6410E+02
2.7660E+02 2.8910E+02 3.0160E+02 3.1410E+02 3.2660E+02
3.3910E+02 3.5160E+02 3.6410E+02 3.7660E+02 3.8910E+02
4.0160E+02 4.1410E+02 4.2660E+02 4.3910E+02 4.5160E+02
4.6410E+02
! number of spatial meshes by radial spatial zones
20  5  15  13
 3  2  4  2
 9 25  1  1
 1  2  1  1
 1  1  1  2
 1  1  1  1
 2  1
 1 18  4  2
12  1  6  1
 1  1  5  3
 8  8 14  1
 2 13
! number of spatial meshes by circular spatial zones
120
! number of spatial meshes by axial spatial zones
!30
1  1  1  1  1  1  1  1  1  1
1  1  1  1  1  1  1  1  1  1
1  1  1  1  1  1  1  1  1  1
! Prec1
60
! Prec2
!20
!Eps0 & EpsI are defaults
0
!0.01
!0.000001
1000 1000
0. 200.
0. 200.
! Thmin, Thmax
! 0.0000E+00 1.04719755

```

```

0.0000E+00 .523598775598
! Interpolation algorithm key: 1/2 - linear/spline
1
! number of axial spatial zones
32
! axial variable zone boundaries
  0.0          34.6          71.4          76.2          85.7
  87.1         89.1         212.1         212.6         213.6
  226.6        252.6        253.6        254.1
  336.45       338.45       342.45
  361.95       363.95       425.95       461.95       464.1
  472.45       483.4        488.4        492.9        504.4
  507.1        516.45       516.8        518.95       544.9
  572.4
! number of spatial meshes by axial spatial zones
12 13  2  4  1
  1 27  1  1  4
  8  1  1 18
  1  2  8
  1 18 10  1  4
  4  2  2  4  1
  4  1  1  9  8
! FIX2, FIX3
0.16144 201.7

```

Запуск конвертера ConSource целесообразно осуществить посредством \*.bat файла, следующего содержания, обеспечивающего одновременно и визуализацию конвертированного источника по аксиальным слоям источника для программы КАТРИН.

```

vnm.exe < v1200my8_fin_rtz_source.inp
for /R %%i in (*.raw) do convert.exe -size 1000x1000 -depth 8 rgb:%%~nxi
%%~ni.bmp
del *.raw

```

На Рис. 5 и 6 представлено поперечное сечение плотности нейтронов деления, конвертированной на разностную сетку задачи при, соответственно, потальном и покассетном задании источника деления.

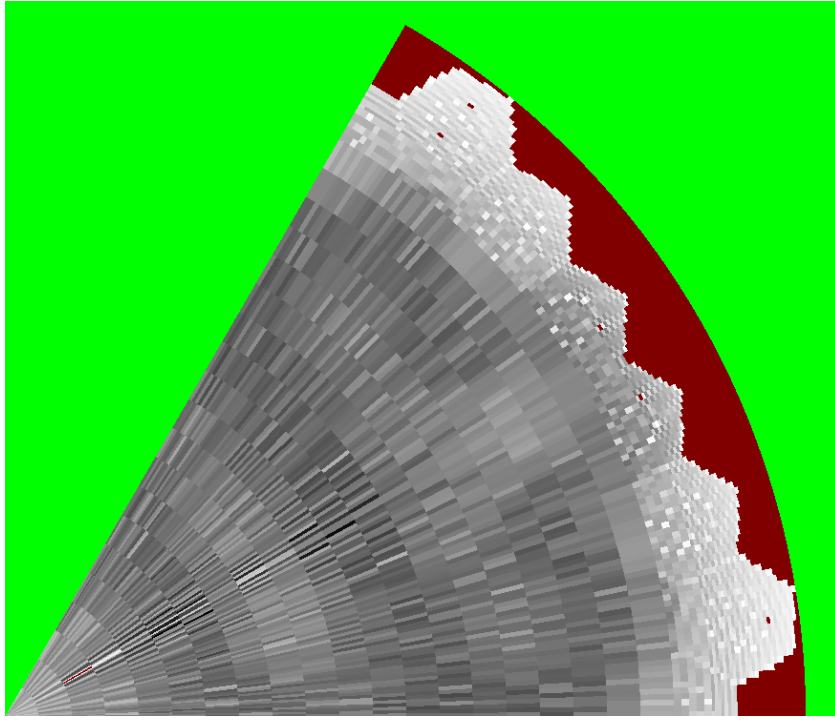


Рис. 5. Конвертированное на разностную сетку задачи потвэльное распределение интегральной по времени плотности нейтронов деления для 8-ой кампании РУ АЭС-2006 с подпиткой 42 ТВС для  $z=6.23$  см от низа АЗ (1-ый слой по высоте АЗ).

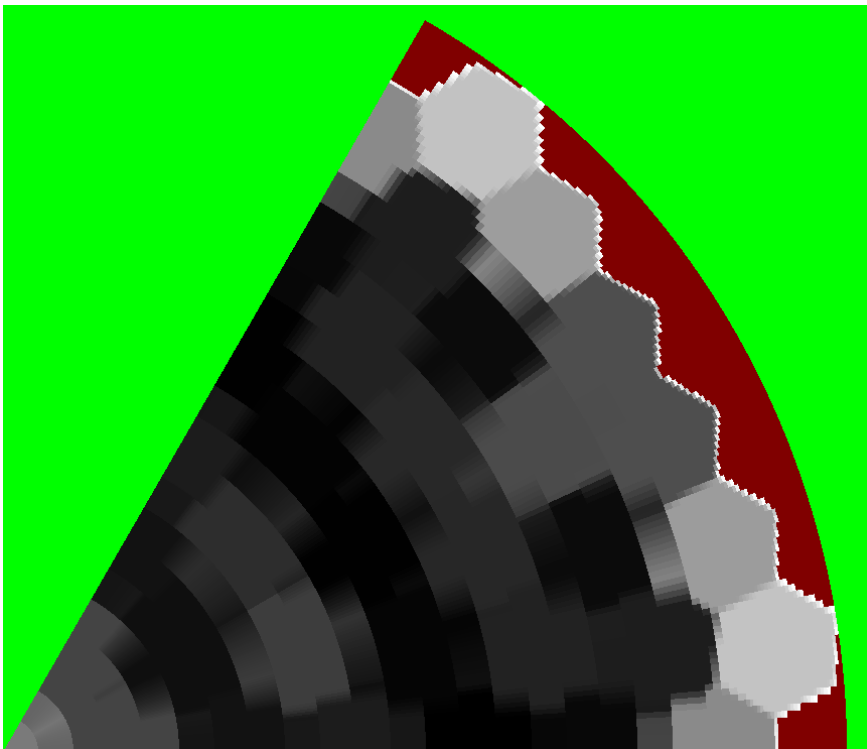


Рис. 6. Конвертированное на разностную сетку задачи покассетное распределение интегральной по времени плотности деления (выгорания) для 8-ой кампании с подпиткой 42 ТВС для  $z=6.23$  см от низа АЗ (1-ый слой по высоте АЗ) для сектора симметрии  $60^\circ$ .

## Приложение 2. Аппроксимация источника по аксиальной переменной $z$

В формате программы MSU объёмная плотность интенсивности предполагается постоянной в пределах каждого элементарного тела (элементарными телами для реакторов типа ВВЭР являются цилиндры (потвэльное описание) или шестиугольные призмы (покасетное описание)).

В плоскости  $x, y / r, \vartheta$  распределение источника деления соответствует реальной геометрии активной зоны и конвертация источника происходит на заданную пользователем разностную сетку задачи в указанной плоскости. Во избежание переинтерполяции в расчетной программе сильноменяющейся функции с сетки задания источника на разностную сетку задачи рекомендуется использовать в этой плоскости пространственную сетку, идентичную, использованной при конвертации геометрии задачи.

По аксиальной переменной  $z$  функция плотности интенсивности представляет собой слабоменяющуюся по  $z$  функцию, которая при комбинаторном задании источника, используемом программой MSU, представляется в виде ступенчатой (т. е. постоянной в пределах аксиальной ячейки) функцией. Расчётная сеть по аксиальной переменной  $z$  может не совпадать с равномерной сетью, используемой программами БИПР и ПЕРМАК, при расчете выгорания топлива. В программах КАСКАД-С и КАТРИН происходит пересчет источника с сетки задания на разностную сетку задачи. Это позволяет производить запись источника на аксиальной сетке, используемой программами БИПР и ПЕРМАК.

В случае, когда предполагается также использовать конвертированный источник в программах DORT и TORT из пакета DOORS, необходимо произвести пересчет плотности интенсивности источника на расчётную сеть по аксиальной переменной. Этот пересчет является по сути интерполяцией аксиальной зависимости источника на заданную расчетную сетку. Настоящая версия Con-Source предоставляет пользователю два алгоритма такой переинтерполяции:

- 1) Использовать алгоритм линейной интерполяции кусочно-непрерывной функции (с разрывами на границах задания источника), аналогичный, реализованному в программах КАСКАД-С и КАТРИН.
- 2) Использовать сплайн второго порядка. В этом случае функция плотности интенсивности на  $k$ -ом слое по аксиальной переменной  $z$  аппроксимируется квадратичным полиномом:  $F(z) = a_k z^2 + b_k z + c_k, z \in I_k, k = 1, \dots, K$ . Для определения  $3K$  коэффициентов  $a_k, b_k, c_k$ , где  $K$  - число слоёв по  $z$ , наложим на функцию  $F(z)$  следующие условия:

- условие непрерывности функции и производной на границах смежных отрезков ( $2(K - 1)$  условий):

$$\begin{aligned} a_k z_{k+1/2}^2 + b_k z_{k+1/2} + c_k &= a_{k+1} z_{k+1/2}^2 + b_{k+1} z_{k+1/2} + c_{k+1}, \\ 2a_k z_{k+1/2} + b_k &= 2a_{k+1} z_{k+1/2} + b_{k+1}, \end{aligned}$$

где  $z_{k+1/2}$  - граница  $k$ -ого и  $k + 1$ -ого слоёв;

- Условия на сохранение полной интенсивности для каждого слоя ( $K$  условий):

$$\int_{I_k} F(z) dz = \int_{I_k} F_k dz .$$

- Дополнительные условия линейности функции на крайних отрезках:  
 $a_1 = a_K = 0$ .

После этого нахождение искомых коэффициентов представляет собой решение системы линейных уравнений.

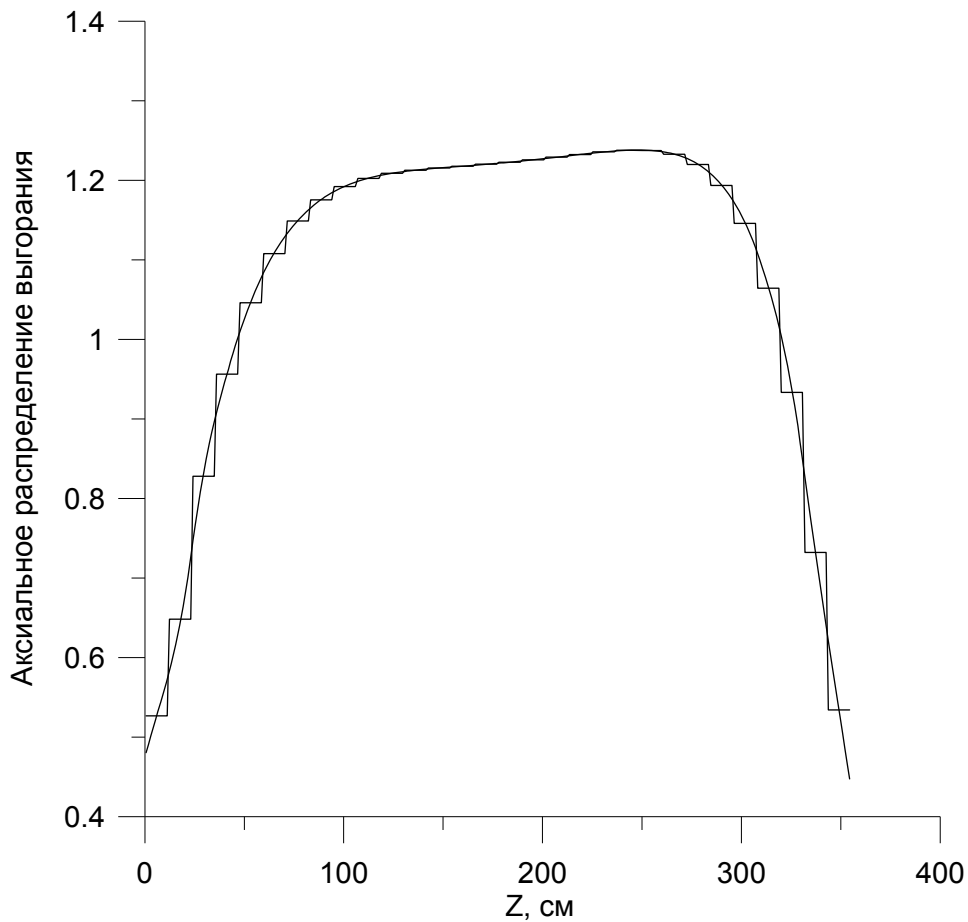


Рис. 7. Аппроксимация аксиального распределения выгорания в реакторе ВВЭР-1000, рассчитанное с использованием равномерной аксиальной сетки из 30 шагов, сплайном 2-ого порядка.