

Ордена Ленина

ИАЭ-3189

Институт атомной энергии

им. И. В. Курчатова

SU8010537

В. И. Носов, Г. В. Компаниец,
Р. П. Петрушенко

**Комплекс программ РНК
для расчета гетерогенных реакторов
с блоками сложного состава**

Москва 1979

ОРДЕНА ЛЕНИНА
ИНСТИТУТ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ им. И. В. КУРЧАТОВА

**В. И. Носов, Г. В. Комлашев,
Р. П. Петрушенко**

**КОМПЛЕКС ПРОГРАММ РНК
ДЛЯ РАСЧЕТА ГЕТЕРОГЕННЫХ РЕАКТОРОВ
С БЛОКАМИ СЛОЖНОГО СОСТАВА**

М о с к в а
1979

Ключевые слова: расчет, две группы, гетерогенный реактор, блоки сложного состава, метод столкновений.

В двухгрупповом диффузионном приближении в двумерной геометрии рассчитываются эффективный коэффициент размножения, потоки нейтронов и сопряженные функции для цилиндрического реактора, состоящего из концентрических зон разного состава в любом сочетании, при этом в одной из зон произвольно по сечению могут располагаться цилиндрические блоки сложного состава с необходимым набором размножающих, поглощающих и рассеивающих слоев.

На поверхности выделенных цилиндрических блоков конечного размера задаются эффективные или альбедные граничные условия, которые в последнем случае могут быть непосредственно рассчитаны в программе в рамках метода вероятности первого столкновения (число поколений нейтронов практически неограничено). В интересующих случаях может быть получено распределение числа захватов, делений и средних потоков по слоям блоков.

В полученном алгоритме решения может учитываться до 40 высших членов разложения в угловой зависимости потока нейтронов по реактору.

АННОТАЦИЯ ПРОГРАММЫ

1. Название программы. Программа **РНК**.

2. Тип ЭВМ. БЭСМ-6.

3. Физическая постановка задачи. Для цилиндрического многозонного реактора (ячейки), в одной из зон которого могут находиться блоки конечного размера, производится расчет эффективного коэффициента размножения, потоков нейтронов и сопряженных функций. Граничные условия на поверхности цилиндрических блоков конечного размера задаются или рассчитываются в программе методом вероятности первого столкновения. В последнем случае могут быть получены распределения числа захватов, делений и средних потоков по слоям блоков и вычислены некоторые другие характеристики.

4. Метод решения. Перенос нейтронов в реакторе вне блоков описывается двухгрупповыми диффузионными уравнениями. Решение получено в матричной форме с учетом азимутальной зависимости потока по реактору (ряд Фурье). Наличие тонких поглощающих оболочек между зонами в реакторе учитывается экспоненциальным ослаблением плотности тока нейтронов.

5. Ограничение сложности задачи. Число геометрических зон в реакторе до 100, число блоков в выделенном элементе периодичности не более 75. Число типов блоков до 50, количество слоев в каждом блоке не более 50. Число высших гармоник в разложении в ряд Фурье до 40.

6. Время, затрачиваемое на решение типичной задачи. Определяется в основном числом блоков, задаваемым при расчете гетерогенной системы. Для двухзонной задачи, в которой рассматривается 10 блоков, счетное время составляет 6 с на один

шаг по $K_{эф}$; до 30 блоков - соответственно ~ 20 с. Число учитываемых высших членов разложения слабо влияет на время расчета $K_{эф}$.

7. Особенности программы. Класс задач, наиболее эффективно решаемых с ее помощью: расчет органов регулирования в активной зоне или боковом отражателе реактора; расчет гетерогенных систем с умеренным числом размножающих, поглощающих и рассеивающих блоков конечного размера; расчет гомогенных систем с произвольным сочетанием концентрических зон разного состава. Возможность проведения многовариантных вычислений, подробная диагностика ошибок в исходных данных.

8. Вспомогательные программы. Подпрограмма расчета функций Бесселя. Система операторов прямого доступа к внешней памяти (ОПД). *LINEQ1* - решение совместных линейных уравнений.

9. Состояние программы. Рабочее.

10. Ссылки. Препринт ИАЭ-2867, М., 1977.

11. Требования к вычислительной машине. Оперативная память 32К, магнитный барабан 31К, рабочая магнитная лента (диск) от 40К до 220К в зависимости от размерности задачи. Программа оттранслирована и записана на магнитную ленту, где занимает 30К.

12. Язык программирования. Фортран.

13. Операционная система. ОС Диспак и "Дубна"; мониторинговая система "Дубна".

14. Дополнительная информация о программе или операционной системе. Программа автономна и в процессе вычислений не обращается к общественным библиотекам.

15. Авторы и место работы. В.И. Носов, Г.В. Компанец, Р.П. Петрушенко, ИАЭ им. И.В. Курчатова.

16. Перечень имеющихся материалов. Магнитная лента с оттранслированной программой, описание программы с тестовой задачей.

1. ВВЕДЕНИЕ. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

Программа **PNK** предназначена для проведения многовариантных инженерных расчетов различного рода гетерогенных систем (**PNK** – начальные буквы фамилий авторов). В работе [1] авторами рассмотрен метод решения поставленной задачи и приведены некоторые общие характеристики программы. Данная работа является подробной инструкцией для пользователя и содержит совокупность сведений, необходимых для практического использования программы **PNK**.

1.1. Постановка задачи и возможности программы

Для цилиндрического многозонного реактора, в одной из зон которого могут находиться цилиндрические блоки конечного размера, производится расчет эффективного коэффициента размножения, потоков нейтронов и сопряженных функций. Предполагается при этом, что все блоки введены на эффективную высоту реактора (двумерная геометрия). Вне блоков во всех зонах реактора используется двухгрупповое диффузионное приближение, а на поверхности блоков задаются соответствующие альбедные или эффективные граничные условия (\hat{y} – матрицы). Альбедные характеристики цилиндрических блоков могут быть также рассчитаны непосредственно внутри программы в рамках метода вероятностей первого столкновения. Поскольку в программе наряду с расчетом альбедных матриц вычисляются и вероятности всех событий по зонам блоков, пользователь в случае необходимости может получить распределение числа захватов, делений и средних потоков по слоям блоков.

Решение задачи получено в матричной форме с учетом азимутальной зависимости потока по реактору и около каждого блока. При проведении инженерных расчетов в ряде случаев можно ограничиться только первым (монопольным) членом в разложении потока

по гармоникам около поверхности блоков, хотя, как было показано в работах [2-4], учет следующей гармоники приводит к более правильному описанию утечки нейтронов в реакторе (дипольные члены). Другие более высокие гармоники обычно вносят небольшой вклад, за исключением случаев тесно расположенных блоков [3], когда применение диффузионного приближения является не всегда оправданным. Следует также отметить, что учет в разложении дипольных членов увеличивает в три раза число неизвестных в исследуемом решении задачи. Это в конечном итоге приводит к существенному усложнению алгоритма решения и уменьшению в программе числа рассматриваемых блоков в системе.

Число высших гармоник в разложении, которое определяет угловую зависимость потока нейтронов по реактору, не более 40, при этом в алгоритме решения учитывается имеющаяся периодичность в расположении блоков (остаются гармоники, кратные элементу периодичности).

Основная отличительная особенность данной программы состоит в том, что в рамках единого комплекса в двухгрупповом приближении решаются как прямая, так и сопряженная задачи для реакторной системы с произвольным набором концентрических зон разного состава, в одной из которых произвольно по сечению могут быть расположены цилиндрические блоки конечного размера с необходимым сочетанием размножающих, поглощающих и рассеивающих слоев. Следует специально отметить, что программа *PNK* является, по существу, набором геометрических модулей, и поэтому вопросы, связанные с учетом резонансного поглощения, термализации и т.п. не рассматривались в данной работе.

С учетом вышесказанного можно указать класс задач, которые наиболее эффективно решаются с помощью данной программы:

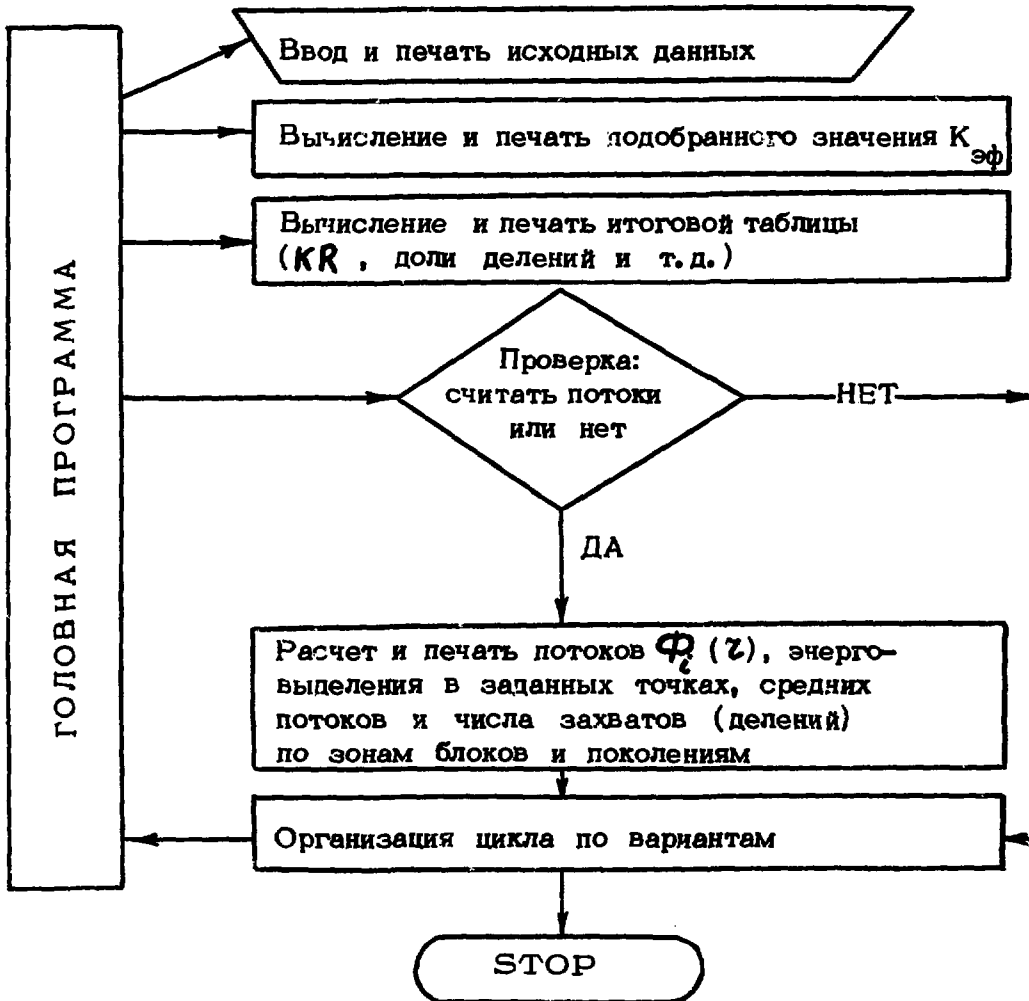
1. Расчет эффективности исполнительных органов регулирования, расположенных в активной зоне или боковом отражателе реактора.

2. Расчет гетерогенных систем (реактора или ячейки) с умеренным числом размножающих, поглощающих и рассеивающих блоков.

3. Расчет гомогенных реакторов с произвольным сочетанием концентрических зон разного состава.

И, наконец, можно отметить еще одну особенность программы **PNK**, которая связана с подробной диагностикой всевозможного рода ошибок, возникающих при задании исходных данных, и с последующей выдачей на листинге соответствующих рекомендаций по их устранению, что в значительной степени облегчает процесс освоения программы пользователем.

1.2. Принципиальная блок-схема



1.3. Требования к оборудованию ЭВМ

Программа **PNK** написана для БЭСМ-6 на алгоритмическом языке Фортран применительно к версии, принятой в мониторинной системе "Дубна". Во время работы используется оперативная память машины 32К, один магнитный барабан 31К и одна рабочая магнитная лента (диск) для хранения входной, промежуточной и выходной информации (в зависимости от размерности задачи от 40К до 220К). Программа оттранслирована и записана в персональную библиотеку, где занимает 30К; общественные библиотеки в процессе вычислений не используются.

1.4. Программы с одинаковой или подобного рода постановкой задачи

А. Барков С.Н. Программа **UPIRB**. Препринт ИАЭ-2930, М., 1978.

В двухгрупповом диффузионном приближении производится расчет $K_{эф}$, потоков нейтронов и энерговыделения, а также некоторых функционалов для цилиндрического четырехзонного реактора без торцевых отражателей, в центральной зоне которого находится P периодических по θ совокупностей цилиндрических блоков (θ - полярный угол). На внешней границе реактора и на границе с каждым из блоков в заданной совокупности ставятся альбедные граничные условия (в исходных данных задаются альбедные матрицы от нулевого до третьего поколения нейтронов). Число блоков в совокупности ~ 100 , число сортов блоков до 10. В угловой зависимости потока по реактору и на поверхности блоков учитывается только нулевая гармоника разложения нейтронного потока. Программа написана на алгоритмическом языке Фортран для БЭСМ-6.

Б. Для М-220 разработан ряд программ, посвященных расчету гетерогенных систем с использованием альбедных или эффективных граничных условий (в том числе В.И. Носовым). В каждой из этих

программ, учитывая возможности данных ЭВМ, могла быть рассмотрена только одна какая-нибудь задача: стержни в активной зоне, стержни в боковом отражателе, расчет граничных условий и т. д.

2. АЛГОРИТМ И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ

В данном разделе содержится необходимая для пользователя информация о физической и математической постановке задачи и способе реализации разработанного алгоритма на БЭСМ-6. Подробное изложение математического метода решения поставленной задачи (с промежуточными выкладками) дается в работах [7-9], в которых получены критические условия и распределение потоков нейтронов для двухзонного реактора с системой блоков, расположенных в активной зоне или боковом отражателе реактора.

2.1. Физическая постановка задачи

Цилиндрический реактор эффективной высоты разбивается на ряд концентрических зон разного состава в любом сочетании; в одной из зон произвольно по сечению могут располагаться цилиндрические блоки конечных размеров. Предполагается, что блоки введены на всю высоту реактора. На поверхности цилиндрических блоков задаются соответствующие альбедные граничные условия для односторонних токов нейтронов или эффективные граничные условия для вектора потока нейтронов ($\hat{\gamma}$ - матрицы). Между зонами реактора могут находиться тонкие поглощающие конструкционные оболочки, влияние которых учитывается экспоненциальным ослаблением плотностей токов на границах зон; при отсутствии оболочек имеют место обычные условия непрерывности для потоков и токов нейтронов.

На внешней поверхности реактора используются альбедные граничные условия для односторонних токов нейтронов \bar{j}^{\pm} ("+" - направление от центра реактора):

$$\bar{y}^- = \hat{\beta} \bar{y}^+, \quad (1)$$

где
$$\bar{y}^\pm = \frac{\bar{\Phi}}{4} \mp \frac{\hat{D}}{2} \nabla \bar{\Phi}.$$

Если реактор окружен пустотой, то все элементы матрицы $\hat{\beta}$ равны 0; в случае ячейки с зеркальным отражением нейтронов имеем $\beta_{11} = \beta_{22} = 1$ и $\beta_{12} = \beta_{21} = 0$ (в программе задается полная матрица $\|\hat{\beta}_{ij}\|$).

Как уже отмечалось в разд. 1.1, во всех зонах реактора (вне блоков) используется двухгрупповое диффузионное приближение для потоков нейтронов:

$$D_1 \Delta \Phi_1 - (\sum_{ng,1} + \sum_{nf,1} + \sum_{nnp}) \Phi_1 + \frac{\chi_1 (\nu_f \Sigma_f)_1}{K_{эф}} \Phi_1 + \frac{\chi_1 (\nu_f \Sigma_f)_2}{K_{эф}} \Phi_2 = 0;$$

(2)

$$D_2 \Delta \Phi_2 - (\sum_{ng,2} + \sum_{nf,2}) \Phi_2 + \psi \sum_{nnp} \Phi_1 + \frac{\chi_2 (\nu_f \Sigma_f)_1}{K_{эф}} \Phi_1 + \frac{\chi_2 (\nu_f \Sigma_f)_2}{K_{эф}} \Phi_2 = 0.$$

Здесь D_1, D_2 - коэффициенты диффузии в первой и второй группах нейтронов соответственно; $\sum_{ng,1}, \sum_{ng,2}$ и $\sum_{nf,1}$.

$\sum_{nf,2}$ - сечения радиационного захвата и деления в группах; ψ - вероятность избежать резонансного захвата в процессе замедления; $K_{эф}$ - эффективный коэффициент размножения; χ_1, χ_2 - доли нейтронов деления по группам (в зонах без делящегося материала

$$\chi_2 (\nu_f \Sigma_f)_{1,2} = \chi_2 (\nu_f \Sigma_f)_{1,2} = 0).$$

Решение уравнения (2) для любой зоны при наличии в ней блоков можно записать следующим образом в матричной форме:

$$\bar{\Phi} = \hat{S} \left\{ \sum_{n=-\infty}^{\infty} [\hat{I}_n(z) (\bar{A}_n \cos n\theta + \bar{E}_n \sin n\theta) + \hat{K}_n(z) (\bar{B}_n \cos n\theta + \bar{F}_n \sin n\theta)] + \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{p=1}^M \hat{K}_m(\rho_p) (\bar{D}_{pm} \cos m\omega_p + \bar{G}_{pm} \sin m\omega_p) \right\}. \quad (3)$$

Здесь $\bar{\Phi}$ - вектор, координаты которого $\Phi_1(z, \theta), \Phi_2(z, \theta)$ есть потоки нейтронов в первой и второй группах нейтронов; \hat{S} - квадратная матрица, элементами которой являются коэффициенты связи двухгрупповых уравнений; $\bar{A}_n, \bar{B}_n, \bar{E}_n, \bar{F}_n, \bar{D}_{pm}, \bar{G}_{pm}$ - векторы, координаты которых есть произвольные постоянные, определяемые физическими условиями задачи; z, θ - полярные координаты некоторой произвольной точки в гетерогенной зоне (полос - центр реактора); ρ_p, ω_p - полярные координаты той же точки, когда полос расположен в центре блока ρ ; $\hat{I}_n(z), \hat{K}_n(z)$ - диагональные матрицы, элементы которых есть функции Бесселя

n -го порядка первого или второго рода соответственно; $\hat{K}_m(\rho_p)$ - диагональные матрицы, элементами которых являются функции Бесселя второго рода; M - полное число блоков в гетерогенной зоне реактора.

Если в соотношении (3) положить последнюю сумму тождественно равной 0, то получим решение в любой гомогенной зоне реактора. Следует отметить, что форма записи решения для вектора потоков $\bar{\Phi}$ не зависит от свойств зоны (размножающая или рассеивающая), поскольку при переходе от одной зоны к другой может изменяться только вид элементов в матрицах $\hat{S}, \hat{I}_n(z), \hat{K}_n(z), \hat{K}_m(\rho_p)$.

Для сопряженных функций $\bar{\Phi}^*$ решение в матричной форме записывается аналогичным образом, при этом вместо матрицы \hat{S} вво-

дится матрица \hat{S}^* , составленная из соответствующих коэффициентов связи двухгрупповых сопряженных уравнений.

В общем случае расчета гетерогенной системы рассматриваются блоки сложного состава с произвольным набором по их сечению размножающих, поглощающих и рассеивающих слоев. На поверхности этих блоков задаются соответствующие граничные условия, расчет которых, как правило, ведется по более точным методикам, чем диффузионное приближение. Как было показано в работах [10, 11], для вычисления альбедных характеристик цилиндрических блоков может быть успешно использован метод вероятностей первого столкновения, учитывая его достаточную точность в сочетании с высоким быстродействием. В двухгрупповом исполнении полученный алгоритм реализован здесь в виде отдельной подпрограммы **MPFC**. Все зоны в блоках предполагаются бесконечными по высоте, каждая зона t характеризуется геометрическими радиусами R_{t-1} , R_t и обычным набором групповых макроскопических сечений ($i = 1, 2$):

$$\sum_{t_2, i}^{(s)}, \sum_{np, i}, \sum_{np, i}, (\nu_f \Sigma_f)_i, \Sigma_{nsp}, \chi_i \quad (4)$$

Анизотропия рассеяния в блоке учитывается использованием транспортного сечения.

При вычислении альбедных характеристик применен хорошо зарекомендовавший себя для блоков с размножением способ получения альбедных матриц по поколениям нейтронов [6]. В общем случае падающие на блок нейтроны претерпевают в нем рассеяние, поглощение и вызывают деление, давая начало новому поколению нейтронов, возникающих уже в блоке. Эти новые нейтроны в свою очередь могут вылететь из блока, поглотиться в нем или вызвать следующее деление. Совокупность нейтронов, возникающих в результате l -го последовательного деления, будем называть поколением l . Нейтроны, которые падают на блок и вылетают из него, не вызвав деления, относятся к поколению 0. В соответствии с этим подходом

альбедная матрица $\hat{\beta}_{БЛ}$ для рассматриваемой гетерогенной задачи может быть записана следующим образом:

$$\hat{\beta}_{БЛ} = \sum_{l=0}^{\infty} \frac{1}{K_{эф}^l} \hat{\beta}^{(l)} = \|\beta_{ji}^{(0)}\| + \frac{1}{K_{эф}} \|\beta_{ji}^{(1)}\| + \frac{1}{K_{эф}^2} \|\beta_{ji}^{(2)}\| + \dots \quad (5)$$

где элементы $\beta_{ji}^{(l)}$ - отношение числа нейтронов поколения l , выходящих из блока в j -й энергетической группе и имевших своими предшественниками падающие на блок нейтроны только i -й энергетической группы, к полному числу падающих на блок нейтронов i -й группы ($j = 1, 2; i = 1, 2$).

Поскольку вышеуказанные матрицы $\|\beta_{ji}^{(l)}\|$ определяются лишь свойствами блоков и не зависят от внешней задачи, они могут быть рассчитаны один раз в начале вычислений. Процесс получения альбедной матрицы блока $\hat{\beta}_{БЛ}$ сводится к расчету вероятностных характеристик отдельных зон и затем к последующему вычислению элементов матриц $\|\beta_{ji}^{(l)}\|$. Для неразмножающихся блоков вычисление альбедных характеристик является частным случаем, поскольку расчет альбедной матрицы $\hat{\beta}_{БЛ}$ сводится тогда к определению $\|\beta_{ji}^{(l)}\|$ для нейтронов нулевого поколения ($l = 0$).

В процессе расчета альбедных характеристик применяются принятые в используемом методе допущения: изотропность падающего равномерно на поверхность блока потока, постоянство плотности соударений рассеивающихся по зонам нейтронов, неизменность вероятностей при многократных рассеяниях и отражениях на границах зон. Отсюда вытекают некоторые ограничения на применение метода, исследованные в [11, 12]. В частности, предположение о постоянстве плотности соударений требует выбирать достаточно тонкие зоны в блоках, где нейтроны претерпевают многократные соударения:

$$(R_z - R_{z-1}) * \sum_{t \leq z, i} < 1, \quad (6)$$

где $\sum_{tot,i} = \sum_{t2,i}^{(s)} + \sum_{n\beta,i} + \sum_{n\beta,i} + \sum_{пер}$.

В случае размножающих блоков в программе производится также расчет энерговыделения в них Q_p , которое характеризуется как скалярное произведение некоторого вектора энерговыделения \bar{q}_p и одностороннего тока нейтронов \bar{J}_p^- , падающего на поверхность блока p :

$$Q_p = 2\pi a_p * (\bar{q}_p \bar{J}_p^-), \quad (7)$$

где a_p - геометрический радиус блока p ;

$$\bar{q}_p = \sum_{l=0}^{\infty} \frac{1}{K_{эф}^l} \hat{q}^{(l)} = \|\hat{q}_i^{(0)}\| + \frac{1}{K_{эф}} \|\hat{q}_i^{(1)}\| + \frac{1}{K_{эф}^2} \|\hat{q}_i^{(2)}\| + \dots \quad (8)$$

Компоненты векторов $\|\hat{q}_i^{(l)}\|$ рассчитываются непосредственно в программе параллельно с матрицами $\|\beta_{ji}^{(l)}\|$ или могут быть заданы в исходных данных вместе с альбедной матрицей $\hat{\beta}_{БЛ}$.

Затем производится вычисление коэффициента неравномерности энерговыделения KR по блокам:

$$KR = \frac{Q_p}{Q_{(средн)}} ; \quad Q_{(средн)} = \frac{\sum_{p=1}^{M^*} Q_p}{M^*}, \quad (9)$$

где M^* - число размножающих блоков в гетерогенной зоне.

В заключение этого раздела следует отметить, что в программе предусмотрена также возможность задания в исходных данных как альбедных, так и эффективных граничных условий ($\hat{Y}_{БЛ}$ - матрицы) на поверхности блоков, которые заранее вычисляются пользователем:

$$\bar{J}^+ = \hat{\beta}_{БЛ} \bar{J}^- \quad \text{или} \quad \nabla_n \bar{\Phi} = \hat{Y}_{БЛ} \bar{\Phi} . \quad (10)$$

Для удобства проведения расчетов в исходных данных всегда задаются граничные условия прямой задачи. При расчете сопряжен-

ных функций в программе автоматически осуществляется переход к граничным условиям сопряженной задачи [1, 13].

2.2. Метод решения

Рассмотрим в основных чертах процедуру получения алгоритма решения поставленной задачи. Первоначально на решение (3) для потоков нейтронов или сопряженных функций накладываются граничные условия на внешней поверхности реактора, а затем последовательно на всех границах раздела между зонами. В итоге получаем соотношения, устанавливающие связь между произвольными постоянными по зонам [1, 9]. Для получения вышеуказанных соотношений используются соответствующие теоремы сложения функций Бесселя [14] при переходе от систем координат, связанных с центром блоков, к системе координат с полюсом в центре реактора.

Далее, если использовать граничные условия на поверхности блоков, получим систему однородных линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных, являющихся координатами векторов \bar{D}_{pm} и \bar{G}_{pm} в решении (3). Равенство 0 определителя этой системы уравнений и будет условием критичности рассматриваемого реактора.

В ряде случаев при реализации алгоритма расчета на ЭВМ может произойти потеря точности решения или останов машины, обусловленные особенностями поведения функций Бесселя. Так, при больших значениях аргумента функции $I_n(x)$ возрастают, а $K_n(x)$ убывают по экспоненциальному закону. В области малого аргумента функции $K_n(x)$ и $|Y_n(x)|$ неограниченно возрастают при $x \rightarrow 0$ и с ростом порядка n . Функции Бесселя первого рода действительного аргумента $J_n(x)$ и мнимого аргумента $I_n(x)$ с ростом порядка n резко убывают при $n > x$. Как было показано в [15], в подобных случаях оказывается полезной специальная нормировка функций. В данной работе функции Бесселя мнимого аргумента были

нормированы на их максимальные значения на границах цилиндрического зон реактора, так что $I_n^{\text{норм}}(X_{\text{max}}) = 1$ на внешней границе в каждой из зон при любом n , а $K_n^{\text{норм}}(X_{\text{min}}) = 1$ на их внутренней границе. В случае функций действительного аргумента $Y_n(x), Y_n(x)$ нормировка проводилась с учетом характера их поведения в исследуемом диапазоне изменения аргумента, где они могут иметь корни. Более подробно этот вопрос будет рассмотрен в отдельной работе.

Решение поставленной задачи было получено с учетом всех высших членов разложения, определяющих азимутальную зависимость потока около каждого блока (сумма по m в (3)). Однако исходя из соображений, изложенных в разд. 1.1, при реализации разработанного алгоритма на ЭВМ в полученном решении была оставлена только первая гармоника, т.е. $m = 0$ (монопольный член). В разложении, которое определяет угловую зависимость потока нейтронов по реактору (сумма по n), может быть взято до 40 высших членов ряда, при этом в программе учитывается возможная периодичность в угловом расположении блоков в системе. В большинстве практических случаев для расчета $K_{\text{эф}}$ достаточно оставить два (три) члена ряда по n , однако потоки нейтронов в окрестности стержня при таком количестве гармоник в случае асимметричных задач могут принимать даже отрицательные значения (рис. 1). В подобной ситуации возникает необходимость учета последующих членов разложения при расчете распределения потоков нейтронов.

В процессе поиска главного собственного значения ($K_{\text{эф}}$) могут возникнуть некоторые сложности, вызванные тем, что при определенных значениях нейтронно-физических параметров зон реактора обратные матрицы в соотношениях, устанавливающих связь между произвольными постоянными, могут быть особенными. Наибольшие трудности возникают в тех случаях, когда корни находятся вблизи особых точек или когда они расположены близко друг к другу (реакторы с малой утечкой).

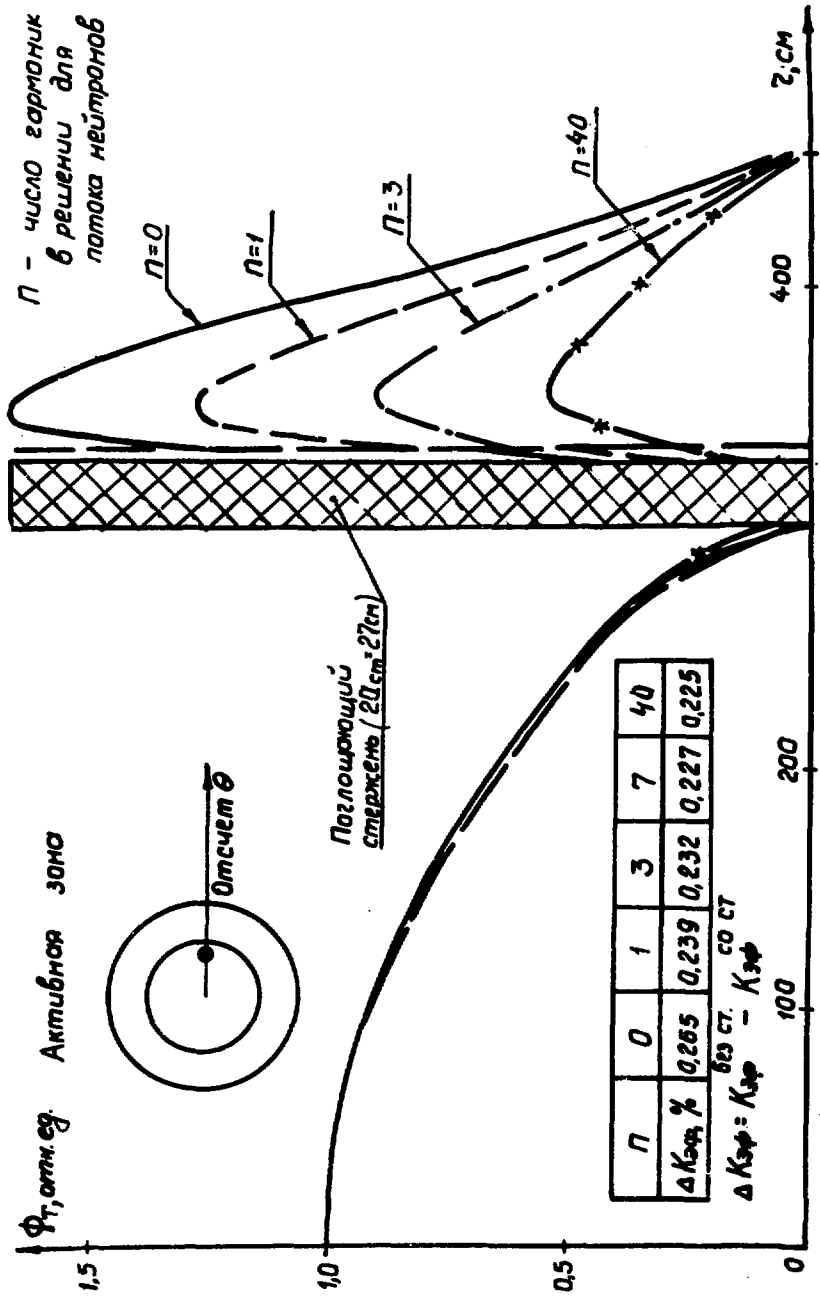


Рис. 1. Влияние на распределение потока нейтронов числа азимутальных гармоник n ($\theta = 0^\circ$)

2.3. Таблица использованных обозначений с пояснениями

В данном разделе поясняются обозначения, использованные в разд. 2.1 и 2.2, и соответствующие им идентификаторы, которые применяются в программе (табл. 1).

Таблица 1

Использованные обозначения с пояснениями

Физическое обозначение величины	Обозначение данной величины в программе	Наименование величины
1	2	3
$K_{эф}$	AKEF	Эффективный коэффициент размножения
$\hat{\beta}$	BETA(1), BETA(2), BETA(3), BETA(4)	Альбедная матрица, задаваемая на поверхности реактора или ячейки
$\Sigma_{ng,1}$	Элементы массивов S и SIGMA	Сечения радиационного захвата (без деления) в первой и второй группах нейтронов
$\Sigma_{ng,2}$	То же	
$\Sigma_{nf,1}$	"	Сечения деления по группам ($\Sigma_{nf,1} = \Sigma_{nf,2} = 0$ в неразмножающих зонах)
$\Sigma_{nf,2}$	"	
$\Sigma_{пер}$	"	Сечение перехода из первой группы во вторую
ψ	Элемент массива S	Вероятность избежать резонансного захвата в процессе замедления ($\psi = 1$, если резонансное поглощение учтено в $\Sigma_{ng,1}$)
$(\nu_f \Sigma_f)_1$	Элементы массивов S и SIGMA	Произведение сечения деления на число вторичных нейтронов по группам ($(\nu_f \Sigma_f)_1 = (\nu_f \Sigma_f)_2 = 0$ в неразмножающих зонах)
$(\nu_f \Sigma_f)_2$		

1	2	3
λ_1, λ_2	Элементы массивов S и $SIGMA$	Доли нейтронов деления по группам ($\lambda_1 + \lambda_2 = 1$ в размножающей зоне, $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$ в остальных)
D_1, D_2	Элементы массива S (константы зон реактора)	Коэффициенты диффузии в первой и второй группах нейтронов ($D_1 \neq 0, D_2 \neq 0$)
$(2\delta\Sigma_1)_{обол}$	То же	Удвоенное произведение геометрической толщины оболочки δ (см), окружающей данную зону, на соответствующее групповое сечение поглощения оболочки (при отсутствии оболочки нули)
$(2\delta\Sigma_2)_{обол}$	"	
$\sum_{tz,1}^{(S)}$ $\sum_{tz,2}^{(S)}$	Элементы массива $SIGMA$ (константы зон блоков)	Транспортные сечения рассеяния по группам нейтронов
n	$NVES$	Число членов разложения, учитываемых в угловой зависимости потока по реактору
l	$NPOK$	Число посылений нейтронов, учитываемых при расчете альбедных характеристик блоков

2.4. Апробирование программы

В процессе опытной эксплуатации программы PNK была произведена ее апробация на основе сравнения полученных результатов вычислений с экспериментальными данными и результатами расчета по другим программам. Для апробирования были выбраны критсборки

с графитовым замедлителем, данные по которым достаточно достоверны.

Критсборка **КАНТЕР** [5] представляет собой полый графитовый цилиндр диаметром 2,96 м и высотой 3 м; активная зона – свободная засыпка шаровых твэлов и шаров с поглотителем.

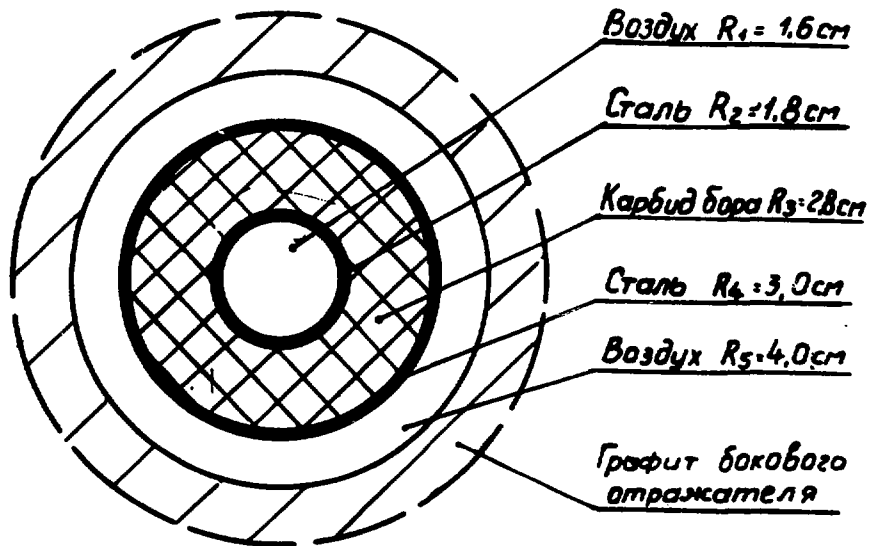
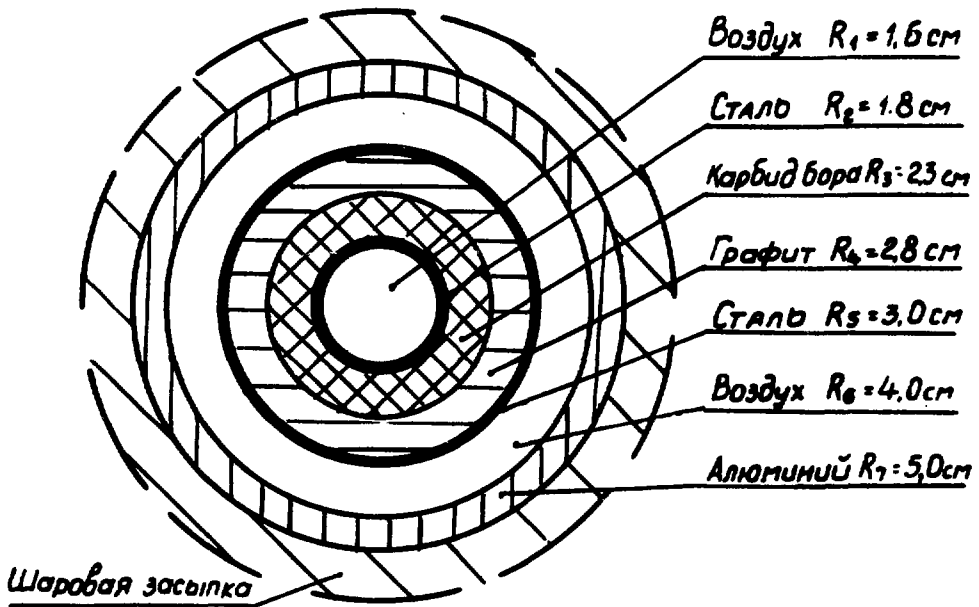
В центре активной зоны расположена алюминиевая труба ϕ 10/8 см для введения центрального поглощающего стержня. В сплошном боковом отражателе толщиной 40 см на диаметре 230 см симметрично расположены 8 цилиндрических каналов радиусом 4 см для размещения периферийных поглощающих стержней. На рис. 2 показан поперечный разрез конструкции поглощающих стержней и каналов в этой критсборке.

Измерения проводились для различных вариантов загрузки активной зоны, отличающихся долевым содержанием шаров с поглотителем в них. В табл. 2 представлены расчетные и экспериментальные величины эффективности стержней ρ для двух типов сборок **КАНТЕР** (IIA и IIIA).

Двухгрупповые макроскопические нейтронно-физические константы одной из сборок приведены в разд. 3.7, где в качестве тестовой задачи рассматривается сборка **КАНТЕР** -IIA со стержнями в боковом отражателе и в центре реактора. Там же даны макроскопические константы материалов, используемых в стержнях и центральном конструкционном канале.

Сравнение результатов расчета эффективности стержней, полученных по **PNK** и по программе на основе метода Монте-Карло [16], показывает их хорошее согласие друг с другом. Для сравнимости методов в последнем случае также использовалось двухгрупповое приближение (константы одни и те же). Из анализа приведенных в табл. 2 данных видно, что в исследуемых сборках величины эффективности стержней, полученные расчетным путем по программе **PNK**, согласуются в пределах 10% с экспериментальными данными ρ .

Центральный стержень



Стержни в боковом отражателе

Рис. 2. Конструкция поглощающих стержней и каналов в реакторе КАНТЕР

Таблица 2

Расчетные и экспериментальные значения эффективности поглощающих стержней
в реакторе КАНТЕР

Тип реактора	КАНТЕР-ПА				КАНТЕР-ША			
	Расчет ρ , %		Эксперимент $[\rho]^*$, %		Расчет ρ , %		Эксперимент $[\rho]^*$, %	
	PNK	Работа [5]	Монте-Карло [16]		PNK	Работа [5]	Монте-Карло [16]	
С центральным стержнем	3,20	3,24	-	3,26	5,30	5,08	-	5,04
8 стержней в боковом отражателе	5,30	5,64	-	5,51	7,00	7,18	-	7,70
Центральный стержень + 8 стержней в боковом отражателе	9,80	9,30	9,9	9,35	13,70	13,28	13,50	14,0
								15,01

* Разброс в экспериментальных данных определяется различным положением датчиков измерения (ионизационных камер).

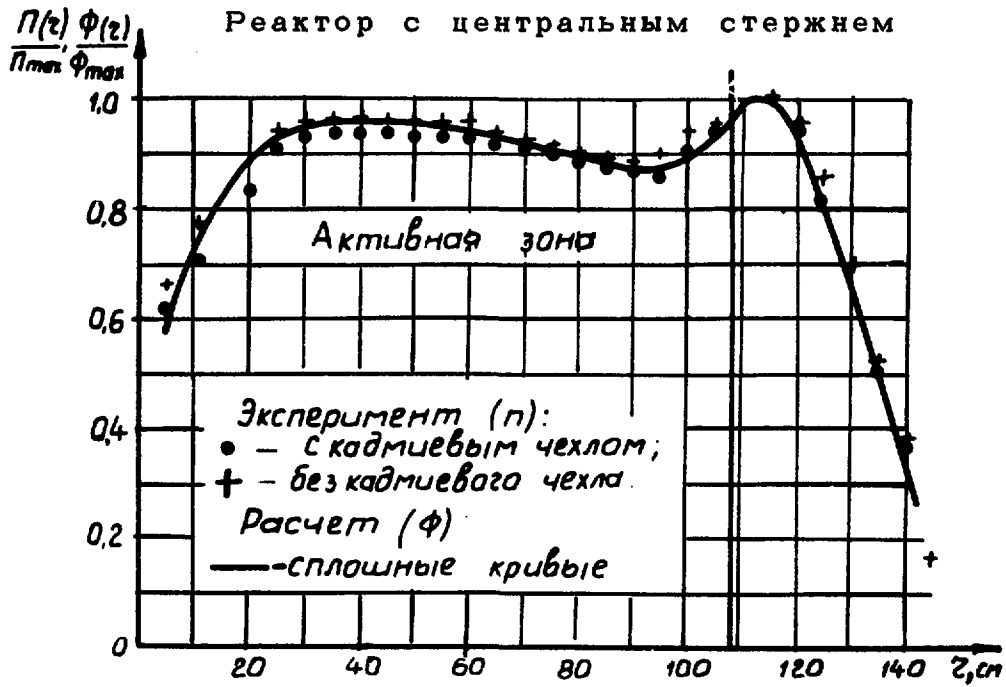
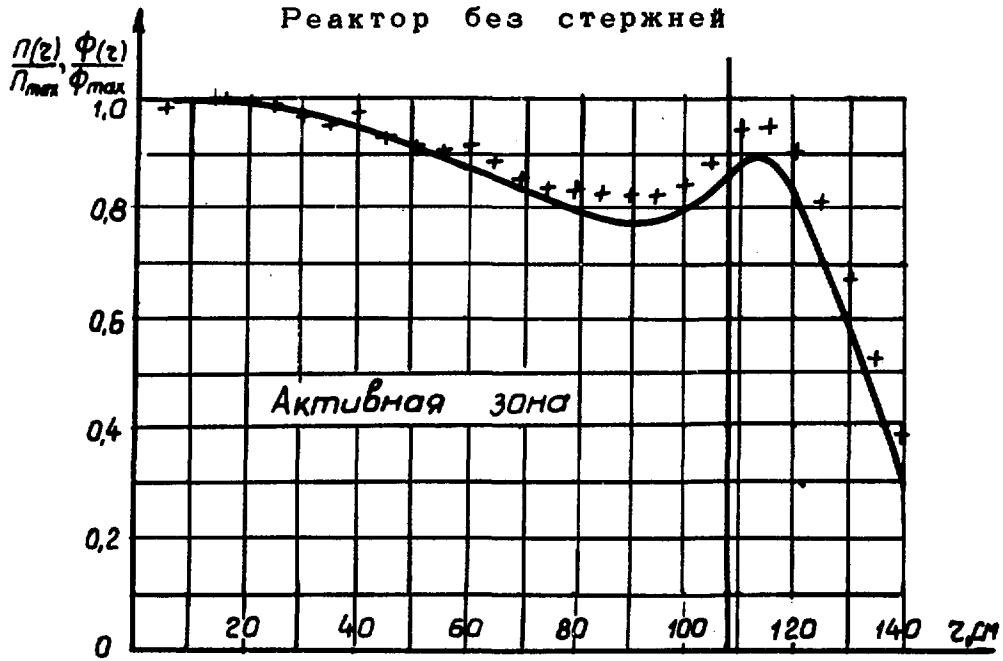


Рис. 3. Распределение потока тепловых нейтронов Φ и скорости реакции n Al-Dy - детектора по радиусу реактора КАНТЕР - II А

Во всех случаях величина ρ определялась [5] из соотношения

$$\rho = \frac{K_{эф}^{(0)} - K_{эф}}{K_{эф}^{(0)} * K_{эф}},$$

где $K_{эф}^{(0)}$ - эффективный коэффициент размножения в реакторе без стержней; $K_{эф}$ - эффективный коэффициент размножения в реакторе со стержнями.

Для иллюстрации на рис. 3 приводится расчетное распределение потока тепловых нейтронов по радиусу сборки **КАНТЕР** -ПА при наличии центрального стержня в активной зоне и при его отсутствии (стержни в боковом отражателе извлечены из реактора). На этих же графиках нанесены экспериментальные значения скорости реакций **AV - Dy** -детектора [5]. Результаты расчета и экспериментальные данные согласуются друг с другом.

3. ИНСТРУКЦИЯ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

В данном разделе содержится совокупность сведений, необходимых пользователю для практического использования программы. Подробно описываются весь процесс подготовки исходных данных и последовательность их задания при выполнении одновариантного и многовариантных расчетов.

Приводятся типичные примеры подготовки входной информации для расчета гомогенного и гетерогенного реакторов. Довольно подробно рассмотрен вопрос, связанный с выводом в печать выходной информации в различных комбинациях в зависимости от конкретной задачи, решаемой пользователем.

В одном из подразделов данного раздела изложен материал, связанный с диагностикой в программе типичных ошибок, которые могут возникнуть у пользователя при задании исходных данных на начальном этапе расчетов.

3.1. Список входной информации и строение носителей информации

Для проведения расчетов составляется функциональный пакет из управляющих перфокарт.

1. * NAME _
2. * PASS _
3. * ASSIGN TIME
4. * FILE: SCRATCH, < указатель МЛ >, W, < длина >
5. * ASSIGN TAPE _ < указатель МЛ > _ R(1)
6. * CHECK (1) _ < № кассеты > _ < имя ленты >
7. * PERSO: < указатель МЛ > < № зоны подвода >
8. * MAIN PNK
9. * NO LOAD LIST
10. * CALL FICMEMORY
11. * EXECUTE

Программа оттранслирована и занимает на магнитной ленте (диске) 30К. В процессе счета не происходит обращение к общественным библиотекам. Вся промежуточная и выходная информация хранится на рабочей ленте (диске), которая должна быть заказана пользователем. Объем внешней памяти определяется размерностью задачи и может быть найден из соотношения (максимальная оценка):

$40 + 2 * (IS + JN/2) * K$, где IS - используемое число типов блоков, а JN - число блоков в элементе периодичности. Если блоки в системе неразмножающиеся, переменная составляющая в вышеуказанном соотношении может быть уменьшена примерно вдвое. Во многих случаях можно ограничиться размером рабочей ленты (диска) в 200_г зон. В процессе работы программы требуется общая оперативная память машины 32К, поэтому в функциональном пакете необходимо присутствие управляющей карты *CALL FICMEMORY .

Далее излагается материал, связанный с подготовкой исходных данных и последовательностью их расположения в зависимости от кон-

кретной решаемой задачи. Для удобства изложения вся входная информация разбита на 19 пунктов, в каждом из которых для вводимой величины приводятся: идентификатор, его определение и размерность, область допустимых значений и т.д. Если количество вводимых величин, рассматриваемых в данном пункте, не превышает шести, то все они набиваются на одной перфокарте по указанному формату, начиная с первых десяти позиций. В противном случае составляется пакет перфокарт задаваемых исходных данных таким образом, как это описывается в соответствующем пункте.

1. *RPRINT, ISOPR, LHET* → *FORMAT (3I10)*

RPRINT =

- 0 - автоматический поиск главного собственного значения задачи $K_{эф}^{max}$ (первого корня); на листинге при этом отсутствует печать исходных данных.
- 1 - автоматический поиск $K_{эф}^{max}$; с выводом в печать исходных данных.
- 2 - автоматический поиск $K_{эф}^{max}$; с выводом в печать исходных данных, промежуточных значений $K_{эф}$ и соответствующих им величин определителей в процессе поиска корня.
- 3 - поиск корня в направлении уменьшения $K_{эф}$ от его начального значения; печать как при *RPRINT* -2.
- 4 - поиск корня в направлении возрастания $K_{эф}$ от его начального значения; печать как при *RPRINT* -2.

Вопрос о выборе метода поиска $K_{эф}^{max}$ (первого корня) будет подробно рассмотрен в отдельной работе. Здесь приводятся только некоторые рекомендации, необходимые в практической работе. Автоматический способ поиска первого корня целесообразно применять при расчете небольших возмущений, вносимых в некоторый базовый вариант изучаемой системы, для которой эффективный коэффициент размноже-

ния был определен из предыдущих вычислений. ($K_{эф}^{нач}$ задается вблизи этого значения, п. 6). Подбор $K_{эф}^{max}$ сверху наиболее эффективен на начальном этапе исследований, когда реакторная система изучена недостаточно хорошо. В этом случае начальное значение $K_{эф}$ задается с некоторым превышением по отношению к ожидаемой величине ($K_{эф}^{нач} \leq K_{\infty}$), а шаг разбиения не очень большим (п. 6). Поиск корня в направлении возрастания $K_{эф}$ от его начального значения предпочтительно применять в тех случаях, когда заранее известно, что возмущение, вносимое в реакторную систему, приводит к возрастанию $K_{эф}^{исх}$, величина которого была определена в предыдущих расчетах (например, эффект извлечения стержня из системы стержней).

ISOPR = { 0 - решается прямая задача.
1 - решается сопряженная задача (все остальные исходные данные как для прямой задачи).

LHET = { 0 - рассматривается гомогенная ячейка или реактор при наличии центрального блока или без него.
1 - рассматривается ячейка или реактор с центральной гетерогенной зоной (с центральным блоком или без него).
 $N = 2, 3, \dots$ - задается номер зоны в ячейке или реакторе, в которой расположены блоки; отсчет зон N идет от центра системы (расчет проводится как при наличии центрального блока, так и без него).

2.BH2, BETA (1), BETA (2), BETA (3), BETA (4)

→ **FORMAT(5E10.0)**

BH2 - осевой материальный параметр $(\pi/H_{эф})^2$, где $H_{эф}$ есть высота реактора с учетом эффективных добавок и длин экстраполяции (см).

$\left\{ \begin{array}{l} \text{BETA (1) - элементы альбедной матрицы } \beta^{\wedge}, \text{ зада-} \\ \text{ваемой на поверхности реактора или} \\ \text{..... ячейки.} \\ \text{BETA (4)} \end{array} \right.$

Для ячейки с зеркальным отражением: $\text{BETA(1)} = \text{BETA(4)} = 1$,
 $\text{BETA(2)} = \text{BETA(3)} = 0$; для реактора, окруженного пустотой,
 $\text{BETA(1)} = \text{BETA(2)} = \text{BETA(3)} = \text{BETA(4)} = 0$.

3. $\text{AMATR} \rightarrow \text{FORMAT (E10.0)}$

AMATR - нормировочный коэффициент, на который умножаются элементы определителя в процессе поиска эффективного коэффициента размножения.

В случае расчета гомогенной системы можно положить AMATR равным 1. Однако при расчете гетерогенного реактора (ячейки) целесообразно задать $\text{AMATR} = 0$. В этом случае в программе автоматически производится вычисление величины AMATR с последующим выводом в печать полученного значения (для экономии счетного времени эта величина может быть набита в исходных данных при проведении в дальнейшем идентичных расчетов).

4. $\text{HKZ} \rightarrow \text{FORMAT (E10.0)}$

$\text{HKZ} = H_{\text{A3}} / K_2$ - параметр, который используется в условии нормировки потоков нейтронов при мощности реактора $W_p = 1$ кВт ($E_f = 200$ МэВ);
 $K_2 = Q_{\text{max}} / \bar{Q}$ - коэффициент неравномерности энерговыделения Q по высоте активной зоны реактора H_{A3} (см).

Если числовое значение параметра HKZ точно неизвестно, его величина должна быть задана приближенно ($\sim 10-100$); в этом случае потоки нейтронов будут получены в произвольных единицах.

5. $\text{LKF} \rightarrow \text{FORMAT (I10)}$

LKF - идентификатор, определяющий вывод в печать

выходной информации, которая была получена в программе в процессе счета (помимо эффективного коэффициента размножения).

Так, при $LKF = 0$ выводится в печать итоговая таблица, содержащая основные результаты вычислений. При других значениях LKF (1, 2, ..., 8) пользователь, кроме итоговой таблицы, может также получить разнообразную информацию по реактору и блокам в различной комбинации (см. разд. 3.4). Необходимо отметить, что вывод информации при $LKF \leq 2$ производится в программе без дополнительного задания в исходных данных. Однако при $LKF > 3$ пользователь должен правильно ввести соответствующие параметры, необходимые для расчета требуемой выходной информации (см. п. 10, 13, 15 и разд. 3.4).

6. $AKEF, DKEF, EKEF \rightarrow FORMAT(3E10.0)$

$AKEF$ - начальное значение эффективного коэффициента размножения $K_{эф}^{нач}$ (не сохраняется в процессе расчета).

$DKEF$ - шаг подбора эффективного коэффициента размножения.

$EKEF$ - точность подбора $K_{эф}$.

Величина шага $DKEF$ и точность подбора $EKEF$ задаются из физических соображений применительно к конкретной задаче. Например, если предполагаемая величина эффективности органов СУЗ $\Delta K_{эф}$ может составлять несколько процентов и более, то шаг подбора $DKEF$ целесообразно принять равным $\sim 0,01$, а точность подбора $\sim 1 \cdot 10^{-4}$ (или грубее). Если ожидаемая величина эффекта может быть около одного процента или меньше, то шаг подбора следует задать $\sim 0,001$, а точность подбора $\sim 1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-5}$ и так далее. Выбор способа поиска максимального собственного значения $K_{эф}^{max}$ и задаваемое начальное значение $K_{эф}^{нач}$ зависят от конкретной рассматриваемой задачи (см. п. 1). Следует подчеркнуть,

что на начальном этапе расчетов целесообразно выводить в печать промежуточные значения $K_{эф}$, получаемые в процессе вычислений (в п. 1 $\rightarrow RPRINT \geq 2$), и шаг $DKEF$ задавать небольшим.

7. $S(14*N) \rightarrow FORMAT(6E10.0)$

$S(14*N)$ - массив, характеризующий нейтронно-физические константы по зонам реактора, начиная с центральной зоны ($N = 1$); далее описывается, как составляется пакет перфокарт массива S (обозначения в табл. 1).

Отметим, что соседство двух зон с одинаковыми свойствами может привести к вырожденному случаю в решении, что проявляется в потере точности при построении потоков (а также в величине определителя).

		Центральная зона ($N = 1$)					
1-я п/к		$D_1^{(I)}$	$D_2^{(I)}$	$\sum_{ng,1}^{(I)}$	$\sum_{ng,2}^{(I)}$	$\sum_{nf,1}^{(I)}$	$\sum_{nf,2}^{(I)}$
2-я п/к		$(\nu_f \sum_{f,1})^{(I)}$	$(\nu_f \sum_{f,2})^{(I)}$	$\chi_1^{(I)}$	$\chi_2^{(I)}$	$\sum_{пер}^{(I)}$	$\psi^{(I)}$
3-я п/к		$(2\delta \sum_1)^{(I)}$	$(2\delta \sum_2)^{(I)}$	<i>обол</i>			
		Следующая зона (при $N > 1$)					
4-я п/к		$D_1^{(II)}$	$D_2^{(II)}$	$\sum_{ng,1}^{(II)}$	$\sum_{ng,2}^{(II)}$	$\sum_{nf,1}^{(II)}$	$\sum_{nf,2}^{(II)}$
5-я п/к		$(\nu_f \sum_{f,1})^{(II)}$	$(\nu_f \sum_{f,2})^{(II)}$	$\chi_1^{(II)}$	$\chi_2^{(II)}$	$\sum_{пер}^{(II)}$	$\psi^{(II)}$
6-я п/к		$(2\delta \sum_1)^{(II)}$	$(2\delta \sum_2)^{(II)}$	<i>обол</i>			
							и т.д.

Общее число зон в гомогенном реакторе (ячейке) не может превышать 100; для гетерогенной системы, если число членов разложения в азимутальной зависимости по реактору **NBES** берется больше двух, число зон разбиения будет меньше 100 (см. п. 14). Если резонансное поглощение в реакторе учтено в сечении радиационного захвата $\Sigma_{ng,1}$, то вероятность избежать резонансного захвата при переходе из первой группы во вторую \mathcal{U} задается равной 1. Если между зонами отсутствует оболочка (например, между второй и третьей), то в константах второй зоны произведение геометрической толщины оболочки δ (см) на соответствующие сечения поглощения оболочки Σ_1 и Σ_2 задается равным 0, т.е. в 6-й перфокарте в этих позициях набиваются обязательно нули - $(2\delta\Sigma_1)_{обл}^{(n)} = (2\delta\Sigma_2)_{обл}^{(n)} = 0$; для внешней зоны реактора этот комплекс обычно равен 0.

Следует специально отметить, что при отсутствии осевой утечки ($BH2 \leq 10^{-10}$ в п. 2) пользователь не может положить во второй группе сечения радиационного захвата $\Sigma_{ng,2}$ и деления $\Sigma_{nf,2}$ равными 0 одновременно; это же замечание относится и к первой группе при $\Sigma_{пер} = 0$ (в вышеуказанных случаях соответствующие корни уравнения критичности будут равны 0 и произойдет останов машины при вычислении функций Бесселя).

8. * -1 → **FORMAT (E 10.0)**

* -1* - константа, характеризующая конец массива $S(N)$;
ставится в конце пакета перфокарт массива $S(N)$.

9. **RL (N + 1) → FORMAT (6E 10.0)**

RL (N + 1) - массив, характеризующий радиусы зон разбиения системы (см), начиная с центральной ($N = 1$).

1-я п/к $R_0, R_I, R_{II}, R_{III}, R_{IV}, R_V$

Если число зон разбиения N больше 5

2-я п/к R_{VI}, R_{VII} и т.д.

Размеры зон в системе могут быть, вообще говоря, произвольными, однако в случае неразмножающих зон их толщины по порядку величины не должны превосходить двух-трех длин миграции. В противном случае может иметь место потеря точности в связи с сильным ослаблением потока в таких зонах. Если в центре реактора (ячейки) отсутствует блок, то $R_0 = 0$; при наличии блока R_0 задается равным геометрическому радиусу блока (см). В случае однозонной системы задаются два значения: R_0, R_I , для двухзонной — R_0, R_I, R_{II} и т.д.; последнее значение в массиве RL — всегда внешний радиус реактора (ячейки).

10. $DR(N) \rightarrow \text{FORMAT}(6E10.0)$

$DR(N)$ — массив, характеризующий шаги разбиения (приращения) по радиусу зон реактора (см) при расчете потоков нейтронов (при этом величина LKF равняется 6, 7 или 8, п. 5).

1-я п/к $DR(1), DR(2), DR(3), DR(4), DR(5), DR(6)$

Если число зон разбиения в реакторе (ячейке) больше 6

2-я п/к $DR(7)$ и т.д.

В случае однозонной системы задается $DR(1)$, для двухзонной — $DR(1), DR(2)$ и т.д. Если потоки по радиусу реактора не рассчитываются, то массив $DR(N)$ не задается совсем. Необходимо иметь в виду, что ни в одной из зон системы шаг разбиения не может быть равным 0 (иначе произойдет "зацикливание" при вычислении потоков по радиусу).

Константы в п. 11-16 задаются только в случае расчета гетерогенной системы ($LHET \geq 1$)

11. $FJ(JN) \rightarrow \text{FORMAT}(6E10.0)$

$RJ(JN) \rightarrow \text{FORMAT}(6E10.0)$

$FJ(JN)$ — массив с угловыми координатами θ_j (рад) центров периферийных блоков в количестве JN в выделенном элементе периодичности гетерогенной системы.

$RJ(JN)$ – массив с радиусами расположения R_j (см) центров периферийных блоков в выделенном элементе периодичности (см. п. 14).

Схема составления пакета перфокарт массивов $FJ(JN)$ и $RJ(JN)$:

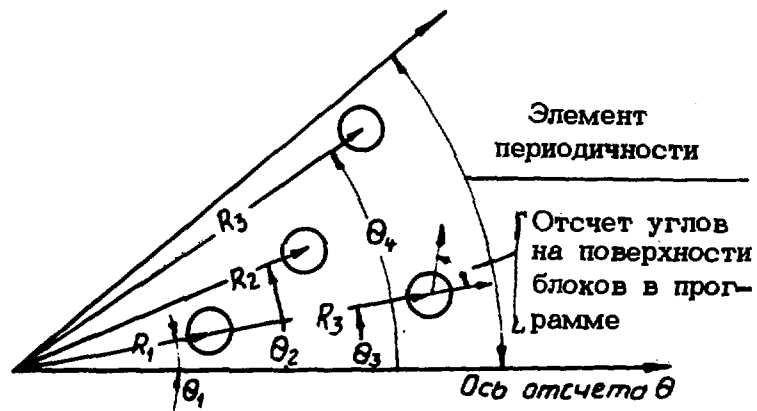
1-я п/к $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6$
 2-я п/к $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$

Если число блоков в элементе периодичности больше 6

3-я п/к $\theta_7, \theta_8, \theta_9, \theta_{10}, \theta_{11}, \theta_{12}$
 4-я п/к $R_7, R_8, R_9, R_{10}, R_{11}, R_{12}$ и т.д.

Если рассматривается один периферийный блок, то в первой перфокарте набивается θ_1 , а во второй – R_1 и т.д. Наличие центрального блока определяется заданием первого значения массива $RL(N)$ в п. 9 (при наличии блока $RL(1) = R_0 = a_{\text{бл}}$, при его отсутствии $RL(1) = R_0 = 0$). Число периферийных блоков JN в выделенном элементе периодичности не больше 75, так что общее количество блоков в системе не может превышать величину $75 * NR + 1$; NR – число периодических совокупностей блоков, которые можно выделить в системе. Если систему нельзя разбить на такие совокупности блоков так, чтобы при повороте любой из них на угол, кратный $2\pi/NR$, соответствующие идентичные блоки совмещались друг с другом, NR задается равным 1, а полярные координаты центров блоков θ_j, R_j – по всему сечению гетерогенной системы. Отсчет полярных углов θ_j ведется от произвольной полярной оси против часовой стрелки; для удобства отсчета углов целесообразно провести ось через центр какого-нибудь блока (рис. 4). Радиусы расположения центров R_j задаются в порядке естественного расположения блоков по сечению гетерогенной системы ($R_{j+1} \geq R_j$). Если некоторые блоки в выделенном элементе периодичности находятся на одном и том же радиусе расположения R_j , в массиве $RJ(JN)$ в соответствующих перфокартах набивается подряд одно и то же значе-

Первый вариант



Второй вариант

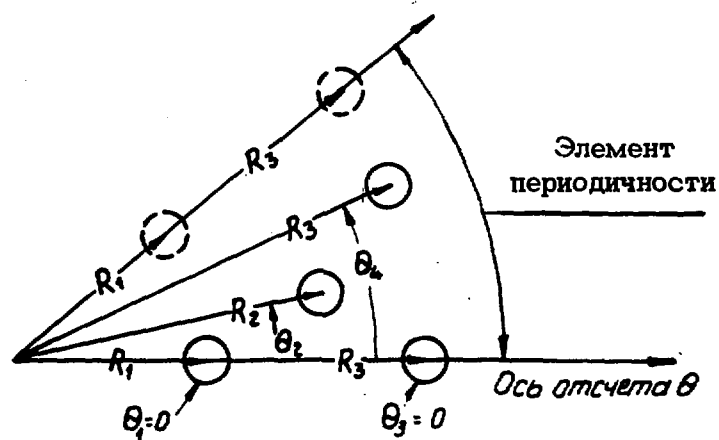


Рис. 4. Схема расположения блоков в выделенном элементе периодичности

1. Полярные координаты центров блоков, выделенных пунктирными окружностями, не задаются в исходных данных второго варианта.
2. Полярные координаты θ_j , R_j задаются по мере увеличения R_j , а при одинаковых R_j в порядке возрастания θ_j .

ние радиуса R_j для всех этих блоков, а в массиве FJ (JN) задаются полярные координаты их центров строго в порядке возрастания числовых значений ($\theta_{j+1} > \theta_j$) и т.д.

12. "-1" \rightarrow **FORMAT (E10.0)**

"-1" - константа, характеризующая конец пакета п/к массивов FJ (JN), RJ (JN).

13. $FN, FK, DF, BN \rightarrow$ **FORMAT (4E10.0)**

или

$BN \rightarrow$ **FORMAT (E10.0)**

FN - начальное значение величины полярного угла (рад), с которого начинается расчет распределения потоков и энерговыделения в интересующей области гетерогенной системы.

FK - конечное значение полярного угла (рад) выделенной области расчета.

DF - приращение по углу (рад) в процессе вычислений в заданной области ($FN + DF$, $FN + 2 * DF$ и т.д. до FK).

BN - число точек разбиения на поверхности блоков в случае проведения расчета потоков на их поверхности ($1 \leq BN \leq 360$).

Если возникает необходимость в получении распределения потоков нейтронов и энерговыделения в интересующей области гетерогенной системы, то задаются все четыре вышеуказанных параметра -

FN , FK , DF , BN (при $BN = 0$ расчет на поверхности блоков автоматически не производится); при этом в п. 5 $LKF = 6, 7, 8$ (см. также в разд. 3.4 табл. 9). В тех же случаях, когда пользователь интересуется распределением потоков нейтронов только на поверхности блоков, набивается карта с одним параметром $BN (\geq 1)$; при этом в п. 5 идентификатор LKF может принимать значения от 3 до 5. Различные числовые значения параметра LKF и величин FN ,

FK, DF, BN (или BN) позволяют получить всевозможные комбинации выходной информации по зонам реактора (ячейки) вне блоков, а также внутри них. На начальном этапе исследования разматриваемой системы целесообразно выводить распределение потоков нейтронов и энерговыделения по какому-нибудь характерному направлению, что дает возможность пользователю установить, какой корень решения найден в процессе подбора. Следует иметь в виду, что во избежание случайного останова машины в процессе расчета распределения потоков нейтронов и энерговыделения необходимо задавать значения полярных углов FN и FK , не выходящими за пределы выделенного элемента периодичности при выбранном направлении полярной оси, т.е. должно выполняться соотношение

$$0 \leq FN \leq FK \leq (2\pi/NR).$$

14. $NR, NBES \rightarrow \text{FORMAT (2I10)}$

NR - число элементов периодичности, которые можно выделить в гетерогенной системе.

$NBES$ - число членов разложения, учитываемых в угловой зависимости потока по реактору.

Произведение $NR * NBES$ изменяется от 0 до 40. Как уже отмечалось в п. 11, если в исследуемой гетерогенной системе нельзя выделить периодические совокупности блоков, то NR кладется равным 1; разбиение системы на периодические элементы всегда желательно, так как это приводит к ускорению счета и экономии памяти машины.

Если при проведении расчетов число членов разложения $NBES$ берется равным 0 или 1, то максимальное число зон разбиения в реакторе составляет 100. При $NBES \geq 2$ число зон разбиения в гетерогенной системе не должно превышать величины $200/(NBES + 1)$

В большинстве практических случаев при вычислении $K_{\text{эф}}^{\text{max}}$ можно ограничиться $NBES = 0$ или $NBES = 1$, и только при рас-

смотрении асимметричных задач необходимо учитывать следующие высшие гармоники, особенно при вычислении потоков нейтронов в области, примыкающей к блокам, или на границах раздела между зонами (см. рис. 1). Если число высших членов разложения превышает $NBES = 9$, количество периферийных блоков в элементе периодичности не может быть больше величины $750/(NBES + 1)$.

15. ISORT → FORMAT (6I 10)

ISORT - сортамент по блокам, задаваемый в выделенном элементе периодичности.

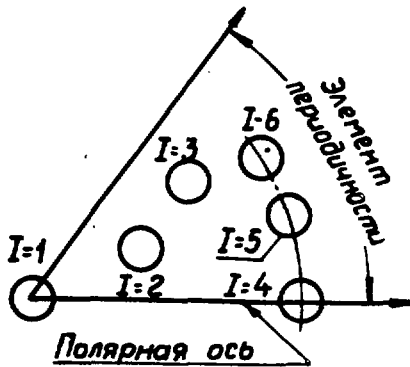
Образец составления пакета перфокарт данного массива **ISORT**

1-я п/к	Номер типа X	Число блоков типа X	Номер типа K	Число блоков типа K	Номер типа g	Число блоков типа g
2-я п/к	Номер типа Z	Число блоков типа Z	и т.д.			

Конкретные примеры задания массива **ISORT** приведены на рис. 5. Как видно, число блоков данного типа в соответствующей позиции массива **ISORT** зависит от конкретного разложения блоков в выделенном элементе периодичности исследуемой системы. Номер типа блока - порядковый номер альбедной матрицы в массиве **ALBI** блока интересующего состава и размера (п. 18). При расчете гомогенного реактора с центральным блоком последний всегда соответствует первому типу, поскольку сортамент в этом случае не задается. Максимальное число типов блоков **IS** не превышает 50 (см. также п. 17).

На рис. 5 также показано, как должен быть сформирован массив **ISORT**, если пользователю необходимо получить на листинге информацию по слоям внутри интересующих его блоков. Объем выводимой информации и ее строение зависят также от параметра **LKF**, задаваемого в п. 5 (см. также табл. 9).

Все блоки одного типа

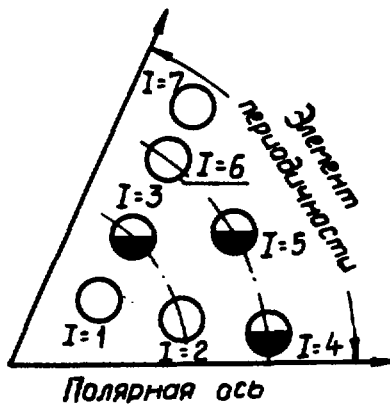


$ISORT = \{4, 6\}$ - информация по блокам не выводится

$ISORT = \{4, 2; 4, 1; 4, 3\}$ - может быть выведена для блока $I = 3$.

$ISORT = \{4, 1; 4, 2; 4, 1; 4, 2\}$ - может быть выведена для блоков с порядковыми номерами $I = 1$ (центр) и $I = 4$

Блоки двух типов



$ISORT = \{4, 2; 9, 3; 4, 2\}$ - информация по блокам не выводится.

$ISORT = \{4, 2; 9, 2; 9, 1; 4, 2\}$ - может быть выведена для блока $I = 5$.

$ISORT = \{4, 2; 9, 2; 9, 1; 4, 1; 4, 1\}$ - может быть выведена для блоков с порядковыми номерами

$I = 5, I = 6$ и $I = 7$.

Объем выводимой информации и ее строение зависят от параметра LKE (табл. 9)

Рис. 5. Примеры задания сортамента по блокам в массиве $ISORT$

- → 4 тип
 - → 9 тип
- В программе имеется банк матриц с граничными условиями для девяти типов блоков (используются ДВА)

16. "-1" → **FORMAT (I10)**

"-1" - константа, которая характеризует конец пакета перфокарт массива **ISORT** .

Граничные условия на блоках

17. **NPOK, IBET** → **FORMAT (2I10)**

NPOK - число поколений нейтронов, учитываемых при расчете альбедных характеристик блоков.

IBET - параметр, который характеризует способ задания граничных условий на поверхности блоков (или исходных данных для их расчета); различные способы задания изложены в п. 18.

Если значение **NPOK** берется равным 0, то при расчете альбедных характеристик блоков учитываются процессы, связанные с рассеянием и захватом; для поглощающих и рассеивающих блоков всегда **NPOK** = 0. Если **NPOK** положить равным 1 в случае размножающих блоков, то учитываются нейтроны, возникающие в блоке в результате первичного акта деления; при **NPOK** = 2 - нейтроны, возникающие во вторичном акте деления, и т.д. Для нетолстых размножающих блоков достаточно положить **NPOK** = 5. В программе предусмотрена возможность расчета с числом поколений большим 5, однако в этом случае число типов блоков **IS** не должно превышать величины $2040 / (6 * \mathbf{NPOK} + 7)$.

18. **ALBI** → **FORMAT (6E10.0)**

ALBI - массивы матриц, характеризующих граничные условия на поверхности блоков заданного числа типов (при **IBET** = 0 или **IBET** = 1).

А. Альбедные граничные условия $\hat{\beta}$ на поверхности блоков

Схема пакета перфокарт массива **ALBI** при **IBET = 0**

№ п/к	Задаваемая величина	Наименование величины	Тип блока
1	a_I (см)	Геометрический радиус блока	I
2	$\beta_{21}^{(0)} \beta_{12}^{(0)} \beta_{21}^{(1)} \beta_{12}^{(1)} \beta_{21}^{(2)} \beta_{12}^{(2)}$	Элементы альбедных матриц $\parallel \beta_{ji}^{(NPOK)} \parallel$	
3	$\beta_{21}^{(1)} \beta_{22}^{(1)} \beta_{11}^{(2)} \beta_{12}^{(2)} \beta_{21}^{(2)} \beta_{22}^{(2)}$ и т.д. для всех NPOK	по поколениям нейтронов NPOK	
4	$q_1^{(0)} q_2^{(0)} q_1^{(1)} q_2^{(1)} q_1^{(2)} q_2^{(2)}$ и т.д. для всех NPOK	Элементы вектора энерговыделения по группам и поколениям	
5	a_{II} (см)	Геометрический радиус блока	II
6	$\beta_{21}^{(0)} \beta_{12}^{(0)} \beta_{21}^{(1)} \beta_{12}^{(1)} \beta_{21}^{(2)} \beta_{12}^{(2)}$	Элементы альбедных матриц $\parallel \beta_{ji}^{(NPOK)} \parallel$	
7	$\beta_{21}^{(1)} \beta_{22}^{(1)} \beta_{11}^{(2)} \beta_{12}^{(2)} \beta_{21}^{(2)} \beta_{22}^{(2)}$ и т.д. для всех NPOK	по поколениям нейтронов NPOK	
8	$q_1^{(0)} q_2^{(0)} q_1^{(1)} q_2^{(1)} q_1^{(2)} q_2^{(2)}$ и т.д. для всех NPOK	Элементы вектора энерговыделения по группам и поколениям	
9	"-1"	Признак конца пакета п/к массива ALBI для всех типов IS	

Как уже отмечалось, при расчете поглощающих или рассеивающих блоков ($NPOK = 0$) задается только альбедная матрица $\|\beta_{ji}^{(0)}\|$, т.е. во второй перфокарте тогда набивается $\beta_{11}^{(0)}, \beta_{12}^{(0)}, \beta_{21}^{(0)}, \beta_{22}^{(0)}$. В следующей карте вместо $q_1^{(0)}, q_2^{(0)}$ набиваются обязательно нули и так для всех типов (по три карты для каждого типа). Если задается массив $ALVI$ для поглощающих и размножающих блоков, пользователь для поглощающих типов блоков должен задать нули вместо всех элементов альбедных матриц $\|\beta_{ji}^{(NPOK)}\|$ при $NPOK \geq 1$; вместо компонент векторов энерговыделения набиваются нули для всех $NPOK$ (начиная с нулевого значения). Если при расчете системы с размножающими блоками неизвестны числовые значения компонент векторов энерговыделения, в соответствующих перфокартах обязательно набивается необходимое количество нулей; в этом случае в программе энерговыделение в блоках естественно не вычисляется.

Б. Эффективные граничные условия $\hat{\gamma}$ на поверхности блоков

Таблица 4

Массив $ALVI$ при $IVET = 1$

№ п/к	Задаваемая величина	Наименование величины	Тип блока
1	2	3	4
1	a_I (см)	Геометрический радиус блока	I
2	$\gamma_{11} \gamma_{12} \gamma_{21} \gamma_{22}$	Элементы $\hat{\gamma}$ -матрицы	
3	$q_1 q_2$	Элементы вектора \bar{q} (обычно 0)	
4	a_{II} (см)	Геометрический радиус блока	II
5	$\gamma_{11} \gamma_{12} \gamma_{21} \gamma_{22}$	Элементы $\hat{\gamma}$ -матрицы	
6	$q_1 q_2$	Элементы вектора \bar{q} (обычно 0)	

1	2	3	4
7	"-1"	Признак конца пакета п/к массива ALBI для всех типов IS	

В. Альбедные граничные условия $\hat{\beta}$ на блоках, рассчитываемые в программе (**IBET** \geq 2)

В этом случае вместо массива **ALBI** пользователь должен правильно задать нейтронно-физические и геометрические характеристики для всех типов блоков, используемых при составлении сортамента **ISORT** в п. 15. Ниже приводится схема составления пакета перфокарт в случае расчета матрицы $\hat{\beta}_{BL}$ и вектора энерговыделения в блоках \bar{q} непосредственно в данной программе (подпрограмма **MPFC**).

Таблица 5

Пакет перфокарт при **IBET** = 2

№ п/к	Задаваемые величины и формат	Наименование величин	Примечания
1	2	3	4
1	$\sum_{t_{2,1}}^{(s)} \sum_{t_{2,2}}^{(s)} \sum_{n_{f,1}} \sum_{n_{f,2}} \sum_{n_{f,1}} \sum_{n_{f,2}}$	Массив SIGMA :	Состав 1
2	$(\nu_f \Sigma_f) (\nu_f \Sigma_f)_2 \chi_1 \chi_2 \sum_{пер} 1$	макроскопические	"
3	$\sum_{t_{2,1}}^{(s)} \sum_{t_{2,2}}^{(s)} \sum_{n_{f,1}} \sum_{n_{f,2}} \sum_{n_{f,1}} \sum_{n_{f,2}}$	нейтронно-физические	Состав 2
4	$(\nu_f \Sigma_f) (\nu_f \Sigma_f)_2 \chi_1 \chi_2 \sum_{пер} 1$ FORMAT (6E10.0)	константы зон для всех типов блоков	"

1	2	3	4
И так далее для всех составов LSORT (порядок произвольный)			
5	"-1" → FORMAT (E10.0)	Конец п/к массива SIGMA для всех составов LSORT	
6	FORMAT (6I10) Сост. к, сост. 3, сост. m, сост. 2, сост. 1, сост. 2	Массив NSORT(8) : сортамент по зонам	Тип 1
7	Сост. 1, "0" → последнее значение в NSORT(8)	блока (целые числа)	"
8	FORMAT (6E10.0) $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$	Массив R(7) ;	"
9	R_7 (блок разбит на 7 зон)	геометрические ради- усы зон (см)	"
10	Сост. LSORT , "0" → последнее зна- чение в NSORT(2)	Массив NSORT(2)	Тип 2
11	R_1 (блок целиком)	Массив R(1)	"
12	Сост. 3, сост. 2, сост. 1, сост. 1, сост. 1, сост. m	Массив NSORT(7)	Тип 3
13	"0" → последнее зна- чение в массиве NSORT(7)	" FORMAT (6I10)	"
14	$R_1, R_2, R_3, R_4,$ R_5, R_6 (блок разбит на 6 зон)	Массив R(6) FORMAT (6E10.0)	"
И так далее для всех типов блоков IS (порядок произвольный)			
15	"-1" → FORMAT (E10.0)	Конец пакета п/к, состав- ленного из массивов NSORT(L), R(L) для всех типов блоков IS	

При $IBET = 3$ сечения составов зон в массиве $SIGMA$ считываются из библиотеки сечений, куда они предварительно должны быть записаны; "-1" в конце массива $SIGMA$ не требуется.

При $IBET = 4$ из библиотеки первоначально считываются сечения тех составов, которые были туда записаны, а затем сечения, задаваемые на перфокартах; "-1" в конце пакета перфокарт последних составов обязательна.

Для $IBET = 5$ считываются с перфокарт только массивы $NSORT(L)$ и $R(L)$ для нового числа типов блоков. При этом предполагается, что сечения составов были введены уже раньше по одному из вышеуказанных признаков для $IBET = 2, 3, 4$. Этот способ ввода констант используется при вариантных расчетах. Необходимо иметь в виду, что в этом случае в программе не сохраняются ранее рассчитанные альбедные матрицы. Поэтому более целесообразно вычислить альбедные характеристики для всех необходимых типов блоков в самом начале вариантных расчетов.

Допустимое число типов блоков IS , из которых составляется сортамент по блокам в массиве $ISORT$, не превышает 50 при числе поколений $NPOK \leq 5$. Если пользователю необходимо задать $NPOK \geq 6$, то допустимое число типов блоков IS не может быть больше значения $2040/(6 * NPOK + 7)$.

Число составов $LSORT$, из которых составляется сортамент $NSORT(L)$ по зонам в блоках, не превышает 50. Максимальное число зон разбиения L в каждом из типов блоков не может быть больше 50 (при этом $NPOK \leq 15$). Если количество зон разбиения в блоках меньше 50, то пользователь может выполнить расчет для большего числа поколений $NPOK$:

$$NPOK \leq (2500 / (3 * L_1) - 1),$$

где L_1 - количество зон в блоке с наибольшим числом разбиения.

Пустота в процессе вычислений может рассматриваться как одна зона, при этом все двенадцать констант в массиве $SIGMA$ следует положить равными 0.

19. *IVAR* (9) → *FORMAT* (915)

IVAR(9) — массив условных чисел, характеризующих дальнейшее проведение или окончание вариантных расчетов (разд. 3.3).

Если пользователь ограничивается одновариантным расчетом, то в этой перфокарте по указанному формату набивается девять нулей; эта карта является последней в пакете с исходными данными.

3.2. Дополнительные замечания к входной информации (диагностика типичных ошибок)

В табл. 6 приводится выводимая в печать диагностика типичных ошибок, которые могут появиться при задании исходных данных; здесь же даются соответствующие рекомендации по их устранению.

Если пакет с исходными данными собран с соблюдением всего регламента, то никакой диагностики в печать не выводится.

3.3. Изменение входной информации

В программе *PNK* предусмотрена возможность проведения любого количества вариантных расчетов. С этой целью вся вводимая в программу входная информация разбита на определенные совокупности данных, как это показано в табл. 7.

Если пользователь ограничивается одновариантным расчетом, то в перфокарте массива *IVAR* набивается девять нулей (в позициях 1-5, 6-10 и т.д.); данная перфокарта является последней в пакете с исходными данными.

В случае расчета второго варианта в перфокарте массива *IVAR* в соответствующих позициях набиваются порядковые номера тех совокупностей, в которых происходит полное или частичное изменение данных (в остальных позициях массива *IVAR* задаются нули). Затем с учетом номеров указанных совокупностей составляется пакет перфокарт таким образом, чтобы соблюдалась последовательность их расположения в соответствии с пунктами разд. 3.1 (см. табл. 7).

Диагностика типичных ошибок

№ пп	Выдаваемая в печать диагностика	Рекомендации	№ пункта в разд. 3.1
1	2	3	4
1	Число зон разбиения в реакторе $LZ = \underline{\underline{L}}$ превышает максимальную величину $LZ_{MAX} = 100$	Уменьшить число зон в массиве S	7
2	Коэффициенты диффузии не могут быть равными 0 или отрицательными	Проверить массив S	7
3	В каждой зоне реактора сумма сечений по всем группам не может быть равной 0	Уточнить сечения по зонам в массиве S	7
4	При $BN2 = 1 \cdot 10^{-10}$ и меньше в любой из зон реактора сумма сечений в каждой из групп не может быть равной 0	Уточнить $BN2$; проверить сечения в массиве S	2 7
5	Номер гетерогенной зоны $LHET = \underline{\underline{L}}$ превышает число зон в реакторе $LZ = \underline{\underline{L}}$	Уточнить $LHET$; проверить массив S и наличие п/к конца	1 7 8
6	Радиусы зон RL реактора должны задаваться в порядке их возрастания	Проверить массив $RL(N + 1)$	9

1	2	3	4
7	<p>Приращение по радиусу DR в любой из зон реактора не может быть равным 0. В зоне \llcorner приращение берется равным 10</p>	<p>Проверить массив DR(N)</p>	10
8	<p>Число блоков $JN = \llcorner$ превышает допустимую величину 75</p>	<p>В массивах FJ(JN), RJ(JN) снизить JN до 75</p>	11
9	<p>Радиусы расположения центров блоков RJ не соответствуют размерам гетерогенной зоны</p>	<p>Уточнить \llcorner НЕТ; проверить пакет п/к с массивами FJ, RJ</p>	11
10	<p>Радиусы RJ центров блоков должны задеваться в порядке их возрастания</p>	<p>Проверить массив RJ(JN)</p>	11
11	<p>При одинаковых RJ в порядке возрастания задаются угловые координаты FJ центров блоков в выделенном элементе периодичности</p>	<p>Задавать правильно массив FJ(JN)</p>	11
12	<p>Величина прожведения NR*NBES не должна превышать 40. В дальнейшем расчете NBES берется равным \llcorner</p>	<p>Уменьшить NBES так, чтобы NR*NBES ≤ 40</p>	14
13	<p>При заданном числе гармоник NBES = \llcorner число блоков в выделенном элементе периодичности $JN = \llcorner$ превышает допустимую величину MAXJN = \llcorner</p>	<p>Уменьшить NBES так, чтобы $JN \leq \text{MAXJN} = 750 / (NBES + 1)$; ($JN \neq 75$), или JN в массивах FJ(JN), RJ(JN)</p>	14

1	2	3	4
14	<p>При заданном числе гармоник $NBES = \llcorner \llcorner \llcorner$ количество зон разбиения в реакторе $LZ = \llcorner \llcorner \llcorner$ превышает допустимую величину $MAXLZ = \llcorner \llcorner \llcorner$</p>	<p>Уменьшить $NBES$ так, чтобы $LZ \leq MAXLZ$ = $= 200 / (NBES + 1)$, или число зон в массиве S</p>	14
15	<p>Количество блоков $\llcorner \llcorner \llcorner$ в сортаменте $ISORT$ не соответствует числу блоков в выделенном элементе периодичности</p>	<p>Ошибка в сортаменте $ISORT$ при разбиении по типам (возможно, не учтен центральный)</p>	15
16	<p>При заданном поколении $NPDK = \llcorner \llcorner$ число типов блоков $IS = \llcorner \llcorner$ превышает допустимую величину $\llcorner \llcorner$</p>	<p>При $NPDK > 5$ должно быть $IS \leq 2040 / (6 * NPDK + 7)$ ($IS = 50$ при $NPDK \leq 5$)</p>	17
17	<p>Значение HKZ не может быть меньше 1. В дальнейших расчетах HKZ берется равным 10</p>	<p>Исправить значение HKZ</p>	1
18	<p>Значение FK не должно превышать 2.4 * π / NR. В дальнейших расчетах FK берется равным 2.4 * π / NR</p>	<p>Уточнить FK, так чтобы $FK \leq 2.4 * \pi / NR$</p>	5
19	<p>При расчете альбедных характеристик вводимое число составов $\llcorner \llcorner$ превышает допустимую величину 50</p>	<p>($IBET \geq 2$)</p> <p>Снизить число составов до 50</p>	18 (табл. 5)
20	<p>Число зон $L = \llcorner \llcorner \llcorner$ блока типа $\llcorner \llcorner$ превышает допустимую величину 50</p>	<p>Снизить число зон разбиения в блоках до 50</p>	18 (табл. 5)

1	2	3	4
21	<p>При числе зон разбиения $L = \lfloor L \rfloor$ для блока типа $\lfloor L \rfloor$ заданное число поколений $NRDK = \lfloor L \rfloor$ превышает допустимую величину $\lfloor L \rfloor$</p>	<p>Уменьшить $NRDK$ или число зон L так, чтобы $NRDK \leq \frac{2500}{3 * L} - 1$</p>	<p>17 18 (табл. 5)</p>
22	<p>Радиусы зон блока в типе $\lfloor L \rfloor$ должны задаваться в порядке их возрастания и не могут быть равными 0</p>	<p>Проверить массив $R(L)$</p>	<p>18 (табл. 5)</p>
23	<p>При задании сортамента $NSORT$ по зонам блока типа $\lfloor L \rfloor$ использован состав $\lfloor L \rfloor$, сечения для которого отсутствуют</p>	<p>Добавить требуемый состав в массив $SIGMA$; уточнить $NSORT(L)$ (набит ли 0 в конце)</p>	<p>18 (табл. 5)</p>
24	<p>Для типа $\lfloor L \rfloor$, задаваемого в сортаменте по блокам $ISORT$, нет данных для расчета альбедных характеристик</p>	<p>Проверить пакет п/к для всех типов блоков и признак его конца; уточнить массив $ISORT$</p>	<p>18 (табл. 5)</p>
25	<p>В конце пакета исходных данных для всех типов блоков отсутствует или не введена перфокарта с "1"</p>	<p>Проверить наличие п/к и поставить на счет</p>	

Схема составления пакета перфокарт

Порядковый номер совокупности	Вводимая информация		Формат
	№ пункта в разд. 3.1	Обозначение величины в программе	
1	2	3	4
1	1	RPRINT, ISOPR, LHET BH2, BETA(1), BETA(2), BETA(3), BETA(4) AMATR HKZ	3I10
	2		5E10.0
	3		E10.0
	4		E10.0
2	5	LKF AKEF, DKEF, EKEF	I10
	6		3E10.0
3	7	S(14*N) "-1" (признак конца массива S)	6E10.0
	8		E10.0
4	9	DR(N) → только при 6 ≤ LKF ≤ 8 RL(N+1)	6E10.0
	10		6E10.0

Гетерогенная система: **LHET** → 1 (совокупности 5-7)

Продолжение табл. 7

1	2	3	4
5	11 12 13	$FJ(JN)$ $RJ(JM)$ } '-1' (в конце пакета п/к массивов FJ, RJ) $FN, FK, DF, BN \rightarrow$ только при $6 \leq LKF \leq 8$ или $BN \rightarrow$ только при $3 \leq LKF \leq 5$	$6E10.0$ $6E10.0$ $E10.0$ $4E10.0$ $E10.0$
6	14	$NR, NBES$	$2I10$
7	15 16	$ISORT$ '-1' (признак конца массива $ISORT$)	$6I10$ $I10$
Граничные условия на блоках			
8	17	$NRDK, IBET$	$2I10$
9	18	При $IBET = 0; 1$ $ALBI$ '-1' (признак конца массива $ALBI$)	$6E10.0$ $E10.0$

1	2	3	4
9	18	<p>При $2 \leq IBET \leq 4$ SIGMA "-1" (признак конца массива SIGMA) для всех типов блоков: $\left\{ \begin{array}{l} NSORT(L+1) \rightarrow \text{последнее значение "0" в каждом типе;} \\ R(L) \end{array} \right.$ "-1" (в конце пакета п/к всех типов)</p>	6E10.0 E10.0 6E10.0 6E10.0 E10.0
9	18	<p>При $IBET = 5$ для всех типов блоков: $\left\{ \begin{array}{l} NSORT(L+1) \rightarrow \text{последнее значение "0" в каждом} \\ \text{типе;} \\ R(L) \end{array} \right.$ "-1" (в конце пакета п/к всех типов)</p>	6E10.0 6E10.0 E10.0
	19	IVAR (9) массив условных чисел при вариантных расчетах	915

Далее следует новая перфокарта массива **IVAR** третьего варианта с необходимым пакетом исходных данных и т.д. В конце последнего варианта подкладывается перфокарта массива **IVAR** с девятью нулями (конец вариантных расчетов). Далее приводится схема проведения одного из многовариантных расчетов (табл. 8).

Следует иметь в виду, что, если в какой-либо из совокупностей данных варьируется только часть величин, пользователь должен задать все величины, входящие в эту совокупность чисел (иначе нарушается порядок ввода п/к). В процессе проведения вариантных вычислений входная информация в машине последовательно трансформируется с учетом изменений, вносимых в каждом последующем варианте.

В массиве **IVAR** могут задаваться любые комбинации вышеуказанных условных чисел (от 1 до 9), которые охватывают широкий круг задач (гомогенный реактор \rightarrow система с гетерогенной зоной \rightarrow гомогенный реактор \rightarrow ячейка и т.д.). Необходимо только при переходе от одного варианта к другому строго соблюдать порядок составления пакета перфокарт с варьируемыми исходными данными в каждом рассматриваемом случае.

Целесообразно в отладочное время в функциональном пакете вместо 8-й карты (разд. 3.1) поставить следующую управляющую карту:

*** MAIN_L PNK1 .**

В этом случае программа производит только проверку исходных данных, выводит их в печать (при **RPRINT** ≥ 1) и выдает диагностику имеющихся ошибок в соответствии с перечнем, приведенным в табл. 6; проверка одного варианта составляет всего несколько секунд. После устранения замеченных погрешностей в функциональный пакет обратно вставляется управляющая карта: *** MAIN_L PNK .**

Таблица 8

Схема многовариантных расчетов

№ варианта	Условные числа в перфокарте массива IVAR FORMAT (9I5)	Варируемая информация	
		Номера совокупностей	Последовательность расположения п/к (№ пункта в табл. 7)
2	1, 0, 3, 0, 0, 0, 0, 0, 0	1, 3	1, 2, 3, 4, 7, 8
3	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	с 1 по 9	1-18
4	0, 0, 0, 0, 0, 6, 7, 0, 0	6, 7	14, 15, 16
	0, 0, 0, 0, 6, 0, 0, 0, 0	Конец вариантных расчетов	

3.4. Список выходной информации и строение носителей информации

Результаты расчета и значения входных параметров выводятся на АЦПУ. Все выводимые в печать числовые значения исходных данных снабжены идентификаторами (в точном соответствии с пунктами разд. 3.1) и поэтому не требуют дополнительного пояснения. Как уже отмечалось, печать входной информации происходит при **RPRINT** ≥ 1. Если же **RPRINT** = 2, 3, 4, на АЦПУ также выводятся промежуточные значения $K_{эф}$ и соответствующие им величины определителей, получаемые в процессе поиска корня задачи (после слова "Итерации"). Подбранное значение $K_{эф}$ и величина определителя обязательно печатаются с нижеследующим заголовком: "Собственное значение **KEF** и величина определителя **DET** в области предполагаемого корня". Как уже указывалось в разд. 2.2, в процессе поиска корня могут встретиться особые точки. В программе автоматически происходит обход встречающихся особенностей решения, при этом в печать выводятся значения $K_{эф}$ и величины определителей в области особой точки со следующим текстовым пояснением: "Значения **KEF** и определителей **DETERM** в области особой точки".

Выборка и последующая печать имеющейся выходной информации происходят в соответствии со списком, приведенным в табл. 9, и, как видно, зависят от значения идентификатора **LKF**, задаваемого пользователем в исходных данных.

При решении прямой задачи (**ISOPR** = 0 в п. 1) во всех случаях обязательно выдается итоговая таблица с текстовым материалом, не требующим дополнительного пояснения. Для сопряженной задачи (**ISOPR** = 1) итоговая таблица выводится только в случае гомогенной системы. Вывод информации по блокам может быть осуществлен только для прямой задачи и естественно в том случае, когда альбедные характеристики блоков рассчитываются непосред-

венно в программе ($IBET \geq 2$); в случае сопряженной задачи программа игнорирует указания пользователя о выводе информации по блокам. Следует отметить, что в текстовых пояснениях и заголовках сопряженные потоки нейтронов по группам (сопряженные функции) обозначаются как $\Phi 1^+$, $\Phi 2^+$; сечения деления в первой группе печатаются как **SIGMF1**, во второй - **SIGMF2**.

При расчете гетерогенной системы ($LKF = 6, 7, 8$) варьированием числовых значений параметров **FN**, **FK**, **DF**, **BN** (см. табл. 9) можно получить нижеследующую информацию при выбранном **LKF**:

а) при **DF** = 0 расчет потоков нейтронов и энерговыделения вне блоков производится по одному лучу при $\theta = FN$ (начальное значение) независимо от величины **FK**;

б) если **DF** \neq 0 и **FK** > **FN**, вычисление потоков нейтронов и энерговыделения производится по лучам в исследуемом угловом секторе **FN**, **FK** (**FN**, **FN** + **DF**, **FN** + 2 * **DF**, ..., **FK**);

в) при **BN** = 0 расчет потоков нейтронов на поверхности блоков не производится при любых значениях **FN**, **FK**, **DF**.

Вывод распределения потоков нейтронов и энерговыделения по лучу всегда начинается с центральной зоны, при этом в начале печатается номер зоны, а затем результаты вычислений в виде таблиц, в которых даются все необходимые текстовые пояснения. Если в исследуемой системе есть гетерогенная зона и луч пересекает в ней какой-нибудь блок, расчет потоков нейтронов и энерговыделения в диффузионном приближении производится точно на поверхности данного блока и далее опять во внеблочном пространстве зоны. Для наглядности величины потоков и энерговыделения на поверхности блоков выделяются в таблице соответствующим образом: несколько смещена печать и указывается порядковый номер этих блоков. Если пользователь выбрал исследуемый угловой сектор **FN**, **FK** в гете-

Таблица 9

Список выходной информации

Величина идентификатора LKf (п. 5 в разд. 3.1.)	Выводимая выходная информация (помимо исходных данных и $K_{эф}$)	Дополнительно вводимая информация (п. 10, 13 в разд. 3.1)	Тип системы
1	2	3	4
0	Итоговая таблица	-	Гомогенная, гетерогенная
1	Итоговая таблица. По зонам блоков: средние потоки, доли захватов и делений по группам нейтронов	-	То же
2	Итоговая таблица. По зонам блоков: полное число захватов и делений по группам и поколениям нейтронов; средние потоки, доли захватов и делений по группам нейтронов	-	,
3	Итоговая таблица. По зонам блоков: полное число захватов и делений по группам и поколениям нейтронов; средние потоки, доли захватов и делений по группам нейтронов. Потоки на поверхности блоков	ВМ в п. 13 (число точек разбиения на поверхности блоков)	Гетерогенная

1	2	3	4
4	<p>Итоговая таблица. По зонам блоков: средние потоки, доли захватов и делений по группам нейтронов. Потоки на поверхности блока</p>	<p>BN в п. 13</p>	<p>Гетерогенная</p>
5	<p>Итоговая таблица. Потоки на поверхности блоков</p>	<p>BN в п. 13</p>	<p>'</p>
6	<p>Итоговая таблица. По зонам блоков: полное число захватов и делений по группам и поколениям нейтронов; средние потоки, доли захватов и делений по группам нейтронов. Потоки нейтронов и энерговыделение (вне блоков) по зонам реактора. Потоки нейтронов на поверхности блоков при $BN \geq 1$ (гетерогенная система)</p>	<p>Массив DR (N) в п. 10 FN, FK, DF, BN в п. 13 (в случае гетерогенной системы)</p>	<p>Гомогенная, гетерогенная</p>
7	<p>Итоговая таблица. По зонам блоков: средние потоки, доли захватов и делений по группам нейтронов. Потоки нейтронов и энерговыделение (вне блоков) по зонам реактора. Потоки нейтронов на поверхности блоков при $BN \geq 1$ (гетерогенная система)</p>	<p>То же</p>	<p>То же</p>

Окончание табл. 9

1	2	3	4
8	<p>Итоговая таблица. Потoki нейтронов и энерговыделение (вне блоков) по зонам реактора.</p> <p>Потoki нейтронов на поверхности блоков при $BN \geq 1$ (гетерогенная система)</p>	<p>FN, FK, DF, BN в п. 1.3 (в случае гетерогенной системы)</p>	<p>Гомогенная, гетерогенная</p>

Примечания: 1. В итоговой таблице в случае гомогенной системы выводятся следующие расчетные величины: средние групповые потоки нейтронов по зонам и в реакторе, радиальный коэффициент неравномерности энерговыделения по зонам и в реакторе (KR), энерговыделение по зонам реактора (в относительных единицах).

2. В случае гетерогенной системы выводятся: порядковые номера блоков I в элементе периодичности, начиная с центрального, полярные координаты RI, FI центров блоков, полное число захватов нейтронов в блоках, коэффициент неравномерности энерговыделения $KR=QI/Q$ (сред.) по делящимся блокам, доли делений (захватов) в блоках по группам (%).

рогенной системе таким образом, что луч пересекает блоки, угловые координаты центров которых сдвинуты на угол $2\pi / NR$ относительно заданных в элементе периодичности, номера этих блоков указываются в скобках. При расчете потоков нейтронов только на поверхности блоков печатается заголовок с соответствующим номером блока, а затем расчетный материал в виде таблиц с необходимыми надписями. Отсчет угловых координат на поверхности блоков производится таким образом, как это принято в тригонометрии (начиная с первой четверти, см. рис. 4).

Так как на многих ЭВМ существует ограничение на длину листинга, пользователь должен принимать во внимание это обстоятельство при выводе в печать информации особенно при многовариантных вычислениях.

3.5. Рабочее состояние машины и ее периферийные устройства

Работа программы обеспечивается стандартным состоянием машины и ее периферийных устройств.

3.6. Рабочие указания

При возможном сбое машины пользователь может в исходной информации набить последнее значение $K_{эф}$, полученное в процессе шагового поиска, и продолжить дальнейший расчет.

3.7. Контрольная тестовая задача

В качестве тестовой задачи рассматривается расчет критической сборки **КАНТЕР-ПА** с центральным стержнем, в которой в боковом отражателе на радиусе 115 см симметрично по кругу размещены еще 8 поглощающих стержней; краткое описание сборки дается в разд. 2.4, конструкция стержней - на рис. 2.

Подробное описание пакета исходных данных для рассматриваемой задачи приводится в табл. 10. Для наглядности изложения в каждом пункте в верхней строке дается обозначение задаваемой величины с некоторыми комментариями, а в нижней – ее числовое значение. В конце этого раздела показан образец печати выходной информации с основными результатами для контрольного варианта. Следует отметить, что для удобства отладки контрольного варианта массив *SIGMA*, характеризующий микроскопические нейтронно-физические константы по зонам блоков, записан в программе в библиотеку сечений. Поэтому пользователь может считать этот массив из библиотеки сечений, для чего в 23-й п/к в табл. 10 параметр *IBET* задается равным 3. В этом случае после 23 п/к размещается пакет перфокарт с составами зон *NSORT* и радиусами зон для обоих типов блоков (исключаются с 24 по 38 п/к в табл. 10).

4. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

4.1. Основная программа (*PROGRAM _ PNK*)

Принципиальная блок-схема всей программы приведена в разд. 1.2.

В случае многовариантных расчетов при проверке исходных данных головной программой в функциональном пакете объявляется *PROGRAM _ PNK1* (см. разд. 3.1 и 3.3).

4.2. Подпрограммы

Ввиду того что объем оперативной памяти, необходимый для работы программы, существенно больший, чем 31К, программа разбивается на отдельные сегменты – подпрограммы, каждая из которых из основной (головной) программы вызывается оператором

CALL _ LOADGO (P₁, P₂, ..., P_n, 'SUB').

Пакет исходных данных для тестовой задачи

№ п/к	Наименование задаваемой величины и ее числовое значение					Формат
1	2					3
1	RPRINT 3	ISOPR 0	LHET 2			3I10
2	BH2 2.57E-04	БЕТА(1) 0	БЕТА(2) 0	БЕТА(3) 0	БЕТА(4) 0	5E10.0
3	AMATR 2					E10.0
4	HKZ 133					E10.0
5	LKF 7					I10
6	AKEF 0.98	DKEF 0.01	EKEF 0.00001			3E10.0
7	Массив S (28), начиная с центральной зоны реактора					
	$D_1^{(I)}$	$D_2^{(I)}$	$\sum_{n_{1,1}}^{(I)}$	$\sum_{n_{2,2}}^{(I)}$	$\sum_{n_{1,1}}^{(I)}$	$\sum_{n_{1,2}}^{(I)}$
	1.881	1.432	2.143E-04	1.042E-03	1E-04	2.954E-03
						6E10.0

Продолжение табл.10

		2				3
1						
8	$(\nu_f \Sigma_f)_1^{(I)}$ 2.42E-04	$(\nu_f \Sigma_f)_2^{(I)}$ 7.149E-03	$\chi_2^{(I)}$ 1	$\chi_2^{(I)}$ 0	$\Sigma_{\text{пер}}^{(I)}$ 1.729E-03	$\varphi^{(I)}$ 1
9	$(2\delta \Sigma_1)_{\text{обол}}$ 0	$(2\delta \Sigma_2)_{\text{обол}}$ 0				
Боковой отрагатель (зона 2)						
10	$D_2^{(II)}$ 1.106	$D_2^{(II)}$ 0.879	$\Sigma_{\text{нф},1}^{(II)}$ 4.57E-06	$\Sigma_{\text{нф},2}^{(II)}$ (3.122E-04)	$\Sigma_{\text{нф},1}^{(II)}$ 0	$\Sigma_{\text{нф},2}^{(II)}$ 0
11	$(\nu_f \Sigma_f)_1^{(II)}$ 0	$(\nu_f \Sigma_f)_2^{(II)}$ 0	$\chi_1^{(II)}$ 0	$\chi_2^{(II)}$ 0	$\Sigma_{\text{пер}}^{(II)}$ 4.385E-03	$\varphi^{(II)}$ 1
12	$(2\delta \Sigma_1)_{\text{обол}}$ 0	$(2\delta \Sigma_2)_{\text{обол}}$ 0				
13	"-1"					
RL(3) → радиусы зон реактора						
14	5	108	148			
DR(2) → приращеня по радиусу зон реактора						
15	20	10				

Продолжение табл. 10

1	2				3
16	0	$FJ(I)$	→ угловые координаты центров периферийных блоков		6E10.0
17	115	$RJ(I)$	→ радиусы центров периферийных блоков		6E10.0
18	"-1"				E10.0
19	FN 0	FK 0	DF 0	BN 0 расчет по одному лучу	4E10.0
20	NR 8	NBS 0			2I10
21	1	$ISORT(4)$ 1		→ 2 сортамент по блокам 1	6I10
22	"-1"				E10.0
23	$ПРОК$ 0	$ЛОБТ$ 2			2I10

Массив Σ (84) - макроконстанты зон в блоках

1		2					3	
24	$\sum^{(I)} t_{1,2,3,4,5}$ 0	$\sum^{(I)} t_{1,2,3,4,5}$ 0	$\sum^{(I)} n_{1,2}$ 0	Состав 1 (пустота) $\sum^{(I)} n_{1,2}$ 0	$\sum^{(I)} n_{1,2}$ 0	$\sum^{(I)} n_{1,2}$ 0	6E10.0	
25	$(\sqrt{p} \sum p)^{(I)}_1$ 0	$(\sqrt{p} \sum p)^{(I)}_2$ 0	χ^2_1 0	χ^2_2 0	$\sum^{(I)} n_{np}$ 0	— 0	6E10.0	
Состав 2 (сталь для центрального стержня)								
26	0.598	0.86	4.21E - 03	0.199	0	0	6E10.0	
27	0	0	0	0	1.25E - 03	1	6E10.0	
Состав 3 (карбид бора для центрального стержня)								
28	0.272	0.333	0.277	42.84	0	0	6E10.0	
29	0	0	0	0	2.35E - 03	1	6E10.0	
Состав 4 (графит)								
30	0.28	0.359	3E - 06	2.6E - 04	0	0	6E10.0	
31	0	0	0	0	3E - 03	1	6E10.0	
Состав 5 (алюминий)								
32	0.143	0.0814	5.4E - 04	1.12E - 02	0	0	6E10.0	
33	0	0	0	0	2.58E - 04	1	6E10.0	

1	2						3
	Состав 6 (сталь для стержней в отражателе)						
34	0.598	0.86	4.21E - 03	0.228	0	0	6E10.0
35	0	0	0	0	1.25E - 03	1	6E10.0
36	0.284	0.349	0.289	51.4	0	0	6E10.0
37	0	0	0	0	2.45E - 03	1	6E10.0
38	"-1"	Состав 7 (карбид бора для стержней в отражателе)					E10.0
Тип 1 (центральный стержень)							
Состав зон NSORT							
39	1	2	3	3	3	3	6I10
40	3	4	2	1	5	"0"	6I10
Радиусы зон блока							
41	1.6	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	6E10.0
42	2.2	2.8	3.0	4.0	5.0		6E10.0

Окончание табл. 10

1	2					3
		Тип 2 (стержни в ограждении)				
43	1	6	7	7	7	6I10
44	7	7	7	7	7	6I10
45	6	1	"0"			6I10
46	1.6	1.8	1.9	2.0	2.1	6E10.0
47	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	6E10.0
48	3.0	4.0			2.8	6E10.0
49	"-1"					E10.0
50	По формату 9 I 5 набивается п/к с 9 нулями (конец вариантного расчета)					

Образец печати контрольного варианта

Собственное значение KEF и величина определителя DET в области предполагаемого корня

~~-----~~

$KEF = 0.91462$ $DET = -1.82-11$ $KEF = 0.91462$ $DET = -1.82-11$

Коэффициент неравномерности энерговыделения (KR), доли делений (захватов) по группам

~~-----~~

нейтронов и число захватов (NC) в блоках

~~-----~~

Номер блока	Полярные координаты центра блока I		Полное число захватов в блоке I (АКТ/СЕК)	$KR = \frac{QI}{QS}$	Доли делений (захватов) в блоке I по группам (%)	
	RI	FI			1-я группа	2-я группа
1	0.000	0.000000	1.896 + 12	0.000	0.00(56.31)	0.00(43.69)
2	115.000	0.000000	8.805 + 11	0.000	0.00(47.23)	0.00(52.77)

Примечание. Данная таблица выводится в случае расчета альбедных характеристик непосредственно в программе ($IBET \geq 2$) и при $IBET = 0$ для делящихся блоков.

4.3. Описание использованной системы ввода - вывода

Ввод программы в память машины происходит с магнитной ленты (диска) из персональной библиотеки, где она находится в оттранслированном состоянии и занимает объем в 30К. Ввод исходных данных производится с перфокарт по соответствующим форматам (см. разд. 3.1). Как уже отмечалось в разд. 3.1 и 3.7, в случае расчета альбедных характеристик блоков непосредственно в программе сечения составов зон (массив **SIGMA**) могут быть считаны из библиотеки сечений, куда они предварительно должны быть записаны (подпрограмма **SIGCON**).

Вывод информации производится на широкоформатную печать (АЦПУ), а также внешние запоминающие устройства: барабан, рабочий диск или ленту. Для работы с внешними устройствами (диск или лента) используется система операторов прямого доступа (ОПД) [17], которая также записана в персональную библиотеку.

4.4. Текст программы (листинг)

Текст программы не приводится, поскольку ее объем составляет > 5000 перфокарт. Как уже указывалось, программа оттранслирована и записана на магнитную ленту (диск).

Литература

1. Носов В.И., Компанец Г.В., Петрушенко Р.П. Препринт ИАЭ-2867, М., 1977.
2. Шевелев Я.В. - "Атомная энергия", 1957, т. 2, с. 217.
3. Auerbach T. - Nucl. Sci. and Eng., 1967, v.29, p.317.
4. Галанин А.Д. Теория гетерогенного реактора. М., Атомиздат, 1971.

5. Scherer W., Gerwin H., Heef R.D. Theoretische Analyse des kritischen HTR-Experiment KANTER. Jü 1-1136-RG, November 1974.
6. Барков С.Н. - "Атомная энергия", 1969, т. 27, с. 335.
7. Носов В.И. - "Атомная энергия", 1963, т. 15, с. 71.
8. Носов В.И. - "Атомная энергия", 1966, т. 21, с. 410.
9. Носов В.И. - "Атомная энергия", 1967, т. 23, с. 25.
10. Носов В.И., Компаниец Г.В. Препринт ИАЭ-2308, М., 1973.
11. Компаниец Г.В., Носов В.И. Препринт ИАЭ-2447, М., 1974.
12. Stuart G.W. - Nucl. Sci. and Eng., 1957, v.2, p.617.
13. Лобынцев В.А., Носов В.И. - "Изв. АН БССР. Сер. физ.-энерг. наук", 1973, т. 1, с. 24.
14. Батсон Г.Н. Теория бесселевых функций. М., ИЛ, 1949.
15. Глушков Е.С., Пономарев-Степной Н.Н., Петушкова Н.А. Препринт ИАЭ-1938, М., 1969.
16. Франк-Каменецкий А.Д. и др. Препринт ИАЭ - 2777, с. 14, М., 1977.
17. Веретенев В.Ю. Информатор № 5. М., ИАЭ, 1974.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ	5
1.1. Постановка задачи и возможности программы	5
1.2. Принципиальная блок-схема	7
1.3. Требования к оборудованию ЭВМ	8
1.4. Программы с одинаковой или подобного рода постановкой задачи	8
2. АЛГОРИТМ И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ	9
2.1. Физическая постановка задачи	9
2.2. Метод решения	15
2.3. Таблица использованных обозначений с пояснениями	18
2.4. Апробирование программы	19
3. ИНСТРУКЦИЯ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ	24
3.1. Список входной информации и строение носителей информации	25
3.2. Дополнительные замечания к входной информации (диагностика типичных ошибок)	45
3.3. Изменение входной информации	45
3.4. Список выходной информации и строение носителей информации	55
3.5. Рабочее состояние машины и ее периферийные устройства	60
3.6. Рабочие указания	60
3.7. Контрольная тестовая задача	60
4. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ	61
4.1. Основная программа (<i>PROGRAM</i> \sqsubset <i>PNK</i>)	61
4.2. Подпрограммы	61
4.3. Описание использованной системы ввода - вывода	69
4.4. Текст программы (листинг)	69
Литература	69

Редактор Л. А. Кузьмина
Технический редактор Н. И. Мазаева
Корректор В. П. Горячева

Т-11934. 29.06.79. Формат 60х90/16. Уч.-изд. л. 4,00
Тираж 171. Заказ 1186. Цена 40 коп. Индекс 3624. ИАЭ

40 коп.

Индекс 3624