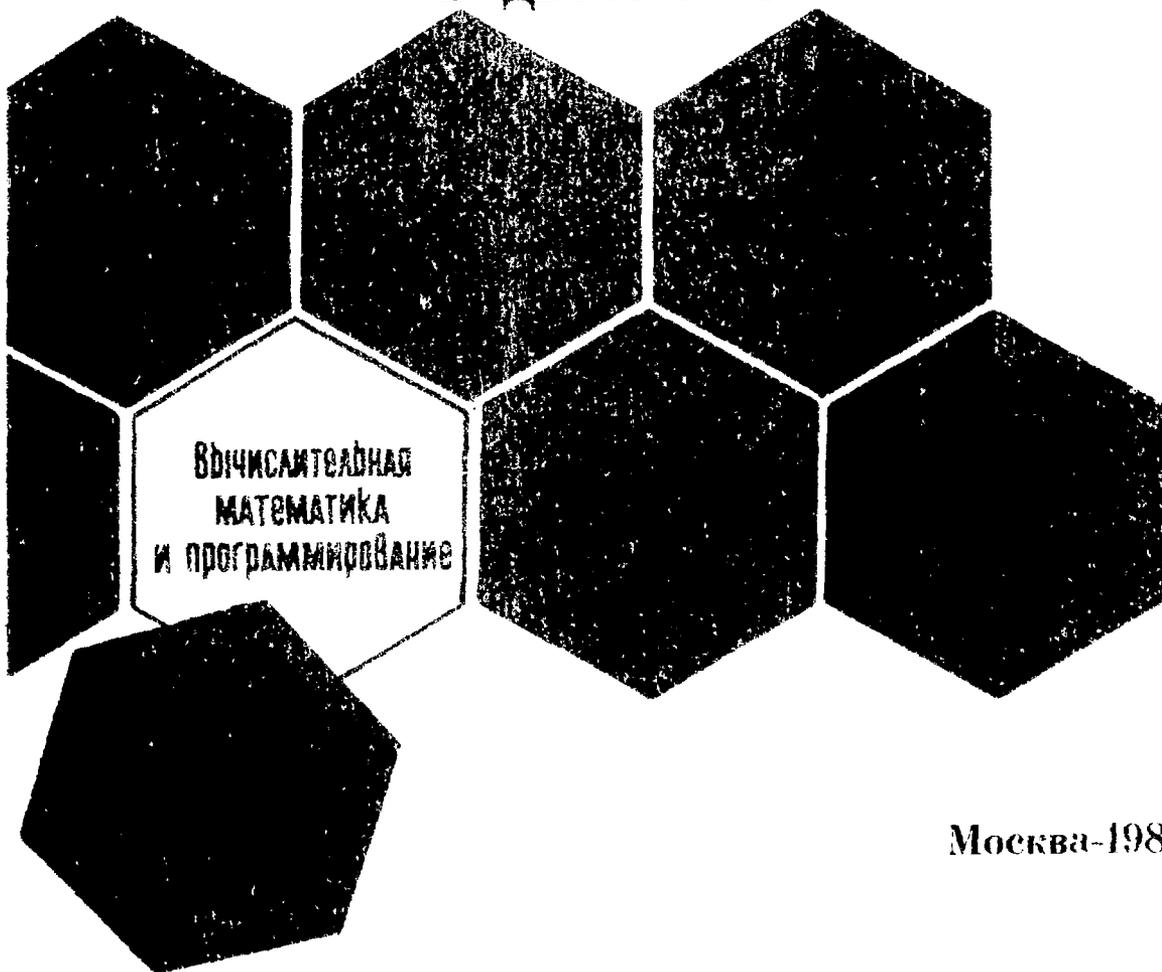


НИИАР-21(667)

Центральный научно-исследовательский институт  
информации и технико-экономических исследований  
по атомной науке и технике

П.Н. Алексеев, С.А. Бикинеева

**МОДУЛИ КОМПЛЕКСА НФ-6 РАСЧЁТА  
ИНТЕГРАЛОВ ТЕОРИИ ВОЗМУЩЕНИЙ  
И ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОВЕДЕНИЯ  
КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕАКТИВНОСТИ  
В ДВУМЕРНОЙ ГЕОМЕТРИИ**



Москва-1985

УДК 621.039.51

Алексеев П.Н., Бикинеева С.А. МОДУЛИ КОМПЛЕКСА НФ-6 РАСЧЕТА ИНТЕГРАЛОВ ТЕОРИИ ВОЗМУЩЕНИЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОВЕДЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕАКТИВНОСТИ В ДВУМЕРНОЙ ГЕОМЕТРИИ: Препринт. НИИАР-21(667). - М.: ЦНИИАтоминформ, 1985. - 23 с.

### Р е ф е р а т

Описаны модули, позволяющие проводить многогрупповой диффузионный конечно-разностный расчет интегралов теории возмущений и реактивности в узлах расчетной сетки для двумерной  $XU$ - и  $RZ$ -геометрии. Приведено сравнение прямых расчетов с расчетами по теории возмущений. Модули написаны на языке Алгол-ГДР для ЭВМ БЭСМ-6 и включены в комплекс НФ-6 расчета основных нейтронно-физических характеристик атомных реакторов.

Рис. 2, табл. 3, список лит. - 9 назв.

Научный редактор - канд. техн. наук В.А. Качален



Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по атомной науке и технике (ЦНИИАтоминформ), 1985

## ВВЕДЕНИЕ

Теория возмущений (ТВ) устанавливает достаточно простые и наглядные соотношения между различными параметрами расчетных моделей реакторов и довольно широко используется в реакторной физике.

В своей первоначальной формулировке ТВ предназначалась только для расчета возмущений критических параметров реактора. После разработки так называемой обобщенной теории возмущений (ОТВ) [1], которая позволяет вычислять возмущения других характеристик реактора, являющихся функционалами плотности потока и ценности нейтронов, методы с ТВ стали применяться особенно широко.

Наиболее широко ОТВ используются в физике быстрых реакторов при анализе чувствительности расчетных характеристик реакторов к изменениям ядерных и технологических констант для оценки точности расчетных предсказаний параметров реактора, для разнообразных оптимизационных расчетов. Обобщенную теорию возмущений используют также при планировании и анализе (оценке) макроскопических и дифференциальных экспериментов.

На основе программ INTRZ и INTXU, входящих в комплекс ТВК-2D [2], предназначенный для разнообразных расчетов двумерных моделей реакторов в многогрупповом конечно-разностном диффузионном приближении, в том числе для расчетов с использованием классической и обобщенной теории возмущений, были разработаны и включены в состав комплекса НЭ-6 [3] модули расчета интегралов теории возмущений

WINTRZ, WINTXU. Кроме того, были разработаны алгоритмы и модули для расчета реактивности в заданных узлах расчетной сетки: WRZLN, ROL. Ранее были включены в комплекс КВ-6 программы PENRZ, PENXU для расчета плотности потока и ценности нейтронов из комплекса ТЕК-2D [4].

## I. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

### I.1. ФОРМУЛЫ ТЕОРИИ ВОЗМУЩЕНИЙ В МНОГОГРУППОВОМ КОНЕЧНО-РАЗНОСТНОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

В многогрупповом диффузионном конечно-разностном приближении уравнения для возмущенной плотности потока  $\bar{\varphi}'$  и невозмущенной ценности нейтронов  $\bar{\varphi}^+$  имеют следующий вид [4]:

$$\left(\hat{\mathcal{L}}' - \hat{K}'_s - \frac{1}{K_{ef}} \hat{K}'_f\right) \bar{\varphi}' = 0; \quad (1)$$

$$\left(\hat{\mathcal{L}}^+ - \hat{K}^+_s - \frac{1}{K_{ef}^+} \hat{K}^+_f\right) \bar{\varphi}^+ = 0, \quad (2)$$

где

$K_{ef}$  - эффективный коэффициент размножения.

Размерность  $\bar{\varphi}'$  и  $\bar{\varphi}^+$  равна произведению числа энергетических групп на число узлов конечно-разностной сетки. Вид матриц  $\hat{\mathcal{L}}'$ ,  $\hat{\mathcal{L}}^+$ ,  $\hat{K}'_s$ ,  $\hat{K}^+_s$ ,  $\hat{K}'_f$  и  $\hat{K}^+_f$  приведен в работе [3].

Используя стандартную процедуру получения формул ТВ, умножим уравнение (2) на  $\bar{\varphi}'$ , а уравнение (1) на  $\bar{\varphi}^+$ , затем вычтем одно из другого и, учитывая, что  $K_{ef} = K_{ef}^+$ , получим точную формулу ТВ:

$$\Delta\left(\frac{1}{K_{ef}}\right) = \frac{1}{\text{ЦНД}'} \hat{\lambda}(\Delta\Sigma, \bar{\varphi}', \bar{\varphi}^+), \quad (3)$$

где

$$\Delta\left(\frac{1}{K_{ef}}\right) = \frac{1}{K_{ef}} - \frac{1}{K_{ef}'};$$

ЦНД' - ценность нейтронов деления ( $\text{ЦНД}' = \bar{\varphi}^+ \hat{K}'_f \bar{\varphi}'$ );  
 $\hat{\lambda}(\Delta\Sigma, \bar{\varphi}' \bar{\varphi}^+)$  - функционал теории возмущений (ФТВ).  
 Здесь  $\hat{\lambda}(\Delta\Sigma, \bar{\varphi}' \bar{\varphi}^+) = -(\bar{\varphi}^+ \hat{\Sigma}' \bar{\varphi}^+) + (\bar{\varphi}^+ \hat{K}'_s \bar{\varphi}' - \bar{\varphi}' \hat{K}'_s \bar{\varphi}^+) + \frac{1}{K_{eff}} (\bar{\varphi}^+ \hat{K}'_f \bar{\varphi}' - \bar{\varphi}' \hat{K}'_f \bar{\varphi}^+)$ . (4)

Функционал теории возмущений есть сумма компонентов ( $\hat{\lambda} = \hat{\lambda}_{г\gamma} + \hat{\lambda}_D + \hat{\lambda}_\Sigma + \hat{\lambda}_s + \hat{\lambda}_f/K_{eff}$ ), вид которых легко определяется из выражения (4):

$\hat{\lambda}_{г\gamma}$  - характеризует возмущение граничных условий;  
 $\hat{\lambda}_D, \hat{\lambda}_\Sigma, \hat{\lambda}_s$  - возмущение коэффициентов диффузии, макроскопических сечений полного увода  $\sum c_f \sigma$  и макроскопических сечений замедления соответственно;  $\hat{\lambda}_f$  - возмущение спектра деления или макроскопических сечений размножения.

В индексной форме для возмущенного реактора систему конечно-разностных уравнений (I) можно записать в следующем виде:

$$b_{ij}^g (\varphi_{ij}^g - \varphi_{i+1,j}^g) - e_{ij}^g (\varphi_{i-1,j}^g - \varphi_{ij}^g) + a_{ij}^g (\varphi_{ij}^g - \varphi_{i,j+1}^g) - c_{ij}^g (\varphi_{i,j-1}^g - \varphi_{ij}^g) + \rho_{ij}^g \varphi_{ij}^g = q_{ij}^g, \quad (5)$$

где

$$i = 1, 2, \dots, J; \quad j = 1, 2, \dots, J; \quad g = 1, 2, \dots, G.$$

Уравнения для ценности нейтронов невозмущенного реактора (2) имеют вид

$$b_{ij}^g (\varphi_{ij}^g - \varphi_{i+1,j}^g) - e_{ij}^g (\varphi_{i-1,j}^g - \varphi_{ij}^g) + a_{ij}^g (\varphi_{ij}^g - \varphi_{i,j+1}^g) - c_{ij}^g (\varphi_{i,j-1}^g - \varphi_{ij}^g) + \rho_{ij}^g \varphi_{ij}^g = q_{ij}^g \quad (g = 0, 1, \dots, G). \quad (6)$$

Конечно-разностные коэффициенты  $a_{ij}^g, c_{ij}^g, b_{ij}^g, e_{ij}^g, \rho_{ij}^g$ , источники нейтронов  $q_{ij}^g$  и ценности  $q_{ij}^{+g}$  в каждой группе определяются по формулам (20)-(43) из работы [4].

Влияние на  $K_{eff}$  возмущения, которое произведено в элементарном объеме  $\Delta V_{ij}$ , окружающем точку  $(i, j)$ ,

можно определить, если умножить уравнения (5) и (6) на  $\psi_{ij}^{+g}$  и  $\psi_{ij}^{+g}$  соответственно, вычесть одно из другого и проинтегрировать по группам. Изменение  $k_{eff}$  (3) рассчитывается по формуле

$$k_{eff} = \frac{\sum_{i=1}^J \sum_{j=1}^J \lambda_{ij} (\Delta \Sigma_{ij}^g \Psi^g) / \text{штр}^g}{\sum_{i=1}^J \sum_{j=1}^J \lambda_{ij} (\Delta \Sigma_{ij}^g \Psi^g) / \text{штр}^g}$$

$$\text{штр}^g = \sum_{i=1}^J \sum_{j=1}^J \sum_{g=1}^G \sum_{l=1}^G (\chi^{lg} \Sigma_f^{le} \Delta V)_{ij} \psi_{ij}^{+g} \psi_{ij}^{+l} \quad (7)$$

$$\lambda_{ij} = \sum_{i=1}^J \sum_{j=1}^J \sum_{g=1}^G \sum_{l=1}^G (\alpha_{ij}^{gl} \Delta \sigma)_{ij} \psi_{ij}^{+g} \psi_{ij}^{+l} \quad (8)$$

Здесь  $\alpha_{ij}^{gl} = \begin{cases} 1 & i \leq i \leq J, & l = 1, \dots, G \\ 1 & i = 1, \dots, J, & l \leq j \leq J \\ 0 & i < i < J, & l < j < J \end{cases}$

$\chi^{lg}$  - доля нейтронов деления, попадающих в группу  $g$ ;

$\Delta \sigma_{ij}^g$  - часть поперечного сечения элементарного объема  $\Delta V_{ij}$  около граничной точки  $(i, j)$ , которая совпадает с внешней границей  $l$

Анизотропные коэффициенты диффузии  $D_{||}$  и  $D_{\perp}$  легко учитываются выражением, на которого определяется  $\lambda_D$ , так как  $\alpha_{ij}^g$  и  $\beta_{ij}^g$  характеризуют диффузию нейтронов по различным направлениям:

$$\lambda_D = - \sum_{i=1}^{J-1} \sum_{j=1}^J \sum_{g=1}^G (\beta_{ij}^{lg} - \beta_{i+1,j}^{lg}) (\psi_{ij}^{+g} - \psi_{i+1,j}^{+g}) (\psi_{ij}^{+g} - \psi_{i+1,j}^{+g}) - \sum_{i=1}^J \sum_{j=1}^{J-1} \sum_{g=1}^G (\alpha_{ij}^{lg} - \alpha_{ij,l+1}^{lg}) (\psi_{ij}^{+g} - \psi_{ij,l+1}^{+g}) (\psi_{ij}^{+g} - \psi_{ij,l+1}^{+g}); \quad (9)$$

$$\lambda_{\Sigma} = - \sum_{i=1}^J \sum_{j=1}^J \sum_{g=1}^G (\Delta \Sigma_{cs}^g \Delta V)_{ij} \psi_{ij}^{+g} \psi_{ij}^{+g}; \quad (10)$$

$$\lambda_S = \sum_{i=1}^J \sum_{j=1}^J \sum_{g=1}^G \sum_{l=1}^{g-1} (\Delta \Sigma^{l \rightarrow g} \Delta V)_{ij} \psi_{ij}^{+l} \psi_{ij}^{+g}; \quad (11)$$

$$\lambda_f = \sum_{i=1}^J \sum_{j=1}^J \sum_{g=1}^G \sum_{l=1}^G [(\chi^{lg} \Sigma_f^{le} - \chi^{gl} \Sigma_f^{lg}) \Delta V]_{ij} \psi_{ij}^{+l} \psi_{ij}^{+g}. \quad (12)$$

Введем некоторые вспомогательные обозначения:

- $n, m$  - номер слоя по оси  $R(X)$  и  $Z(Y)$ ;
- $k = n, m, \dots$  - номер геометрической зоны;
- $K = n, m, \dots$  - общее число геометрических зон;
- $R_n(x_n), Z_m(y_m)$  - толщина  $n$ -го и  $m$ -го слоя по оси  $R(X)$  и  $Z(Y)$ ;
- $N_n, M_m$  - число интервалов в  $n$ -м и  $m$ -м слое по оси  $R(X)$  и  $Z(Y)$ ;
- $J_n, J_m$  - номер узла на границе между  $(n-1)$ -м и  $n$ -м слоем и между  $(m-1)$ -м и  $m$ -м слоем соответственно;
- I, II, III, IV - номера внешних границ.

### 1.2. Коэффициенты чувствительности $K_{ef}$ по отношению к изменению граничных условий $\Gamma$

Влияние на  $K_{ef}$  изменения граничных условий (IV) в приближении малых возмущений оценивается по формуле

$$\Delta\left(\frac{1}{K_{ef}}\right) \approx \hat{\lambda}_{\Gamma}(\Delta\gamma, \psi\psi^+)/\text{CND} \approx -\langle \Delta \hat{L} \bar{\psi} \bar{\psi}^+ \rangle / \text{CND} = -(\hat{K})_{\Gamma} \Delta\gamma,$$

где

$\Delta\gamma$  - возмущение граничного условия на границе  $\Gamma$  области  $V$  при изменении свойств отражающей среды;

$\langle \rangle$  - суммирование по точкам и группам.

В данном случае матрица возмущений в группе  $g$   $\Delta \hat{L}^g$  имеет вид диагональной квадратной матрицы с элементами, отличными от нуля только в точках, соответствующих границам реактора, где произошли изменения граничных условий с  $\gamma$  на  $\gamma'$ . Если изменить IV с  $\gamma$  на  $\gamma'$  на всех внешних границах, то матрица  $\Delta \hat{L}^g$  примет следующий вид:

$$\Delta L_i^g = \begin{bmatrix} \Delta L_1^g & & & \\ & \Delta L_2^g & & \\ & & \ddots & \\ & & & \Delta L_j^g \end{bmatrix}$$

где

$$\Delta L_1^g = \begin{bmatrix} \Delta P_{11}^g & & 0 \\ & \Delta P_{12}^g & \\ & & \ddots \\ 0 & & & \Delta P_{1j}^g \end{bmatrix}$$

$$\Delta L_j^g = \begin{bmatrix} \Delta P_{j1}^g & & 0 \\ & \Delta P_{j2}^g & \\ & & \ddots \\ 0 & & & \Delta P_{jj}^g \end{bmatrix}$$

$$\Delta L_i^g = \begin{bmatrix} \Delta P_{i1}^g & & 0 \\ & 0 & \\ & & \ddots \\ 0 & & & 0 & \Delta P_{ij}^g \end{bmatrix}$$

( $i = 2, 3, \dots, j-1$ );

$\Delta P_{ij}^g = P_{ij}^g - P_{ij}^g$  - изменение коэффициента конечно-разностной сетки, вызванное возмущением граничных условий  $\Delta P_{ij}^g = \Delta \gamma \Delta \sigma_{ij}$ ;

$(\hat{k})_r$  - коэффициент чувствительности  $K_{ef}$  к изменению граничных условий на всей границе  $\Gamma$ , для вычисления которого используется линейная формула ТВ:

$$(\hat{k})_r = \sum_{S=I,II,III,IV} (\hat{k})_{rS} = \langle \Delta \hat{\sigma} \bar{\varphi} \bar{\varphi}^+ \rangle / \text{ЦНД} \quad (13)$$

( $S$  - номер внешней границы).

Матрица  $\Delta \hat{\sigma}$  отличается от  $\Delta \hat{l}$  лишь тем, что на диагонали вместо  $\Delta \rho_{ij}^g$  расположены элементы внешней поверхности  $\Delta \sigma_{ij}$ .

Коэффициенты чувствительности, определяемые из выражения (13), описывают эффект изменения граничного условия  $\Delta \gamma = \gamma' - \gamma = -1$ . Если в этом выражении не проводить суммирования по точкам, то можно получить распределение  $(\hat{k})_r$  вдоль границы и вычислить локальные изменения  $\Gamma U$ .

Если изменены размеры реактора, то при условии сохранения геометрического подобия возмущенного и невозмущенного реактора для оценки изменения  $K_{ef}$  можно воспользоваться формулой

$$\Delta \left( \frac{1}{K_{ef}} \right) \approx \sum_{k=1}^K \hat{\lambda}_k (\sum_k \bar{\varphi} \bar{\varphi}^+ / \text{ЦНД}) \frac{\Delta H}{H},$$

где  $\frac{\Delta H}{H}$  - относительное изменение размеров зон.

### 1.3. Интегралы теории возмущений в XV-геометрии

Если возмущены макроскопические сечения и граничные условия, то в соответствии с формулами для конечно-разностных коэффициентов компоненты функционала теории возмущений (7)-(12) в XV-геометрии примут следующий вид [4]:

$$\hat{\lambda}_{ry} = - \sum_{k=1}^K \sum_{i=J_{n,i}}^{J_n} \sum_{j=J_{m,j}}^{J_m} \sum_{g=1}^G \Delta \gamma_{ij}^g \psi_{ij}^{i,g} \psi_{ij}^{j,g} \left( \frac{\chi_n}{2N_n} \alpha_{ij} + \frac{J_m}{2M_m} \beta_{ij} \right), \quad (14)$$

где

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1 & J_{n-1} < i < J_n, & j = 1, J, \\ 1/2 & i = J_{n-1}, J_n, & j = 1, J, \\ 0 & J_{n-1} \leq i \leq J_n, & 1 < j < J. \end{cases}$$

$$\beta_{ij} = \begin{cases} 1 & i = 1, J, & J_{m-1} < j < J_m, \\ 1/2 & i = 1, J, & j = J_{m-1}, J_m, \\ 0 & 1 < i < J, & J_{m-1} \leq j \leq J_m; \end{cases}$$

$$\hat{\lambda}_D = - \sum_{k=1}^K \sum_{i=J_{n-1}}^{J_n-1} \sum_{j=J_{m-1}}^{J_m} \sum_{g=1}^G \left( \frac{\Delta D_{i,k}^g \psi_m N_n}{X_n M_m} \right) h_{ij} \times$$

$$\times (\varphi_{ij}^g - \varphi_{i+1,j}^g) (\varphi_{ij}^{+g} - \varphi_{i+1,j}^{+g}) - \sum_{k=1}^K \sum_{i=J_{n-1}}^{J_n} \sum_{j=J_{m-1}}^{J_m-1} \sum_{g=1}^G \times$$

$$\times \left( \frac{\Delta D_{i,k}^g X_n M_m}{\psi_m N_n} \right) v_{ij} (\varphi_{ij}^g - \varphi_{ij+1}^g) (\varphi_{ij}^{+g} - \varphi_{ij+1}^{+g}), \quad (I5)$$

где

$$h_{ij} = \begin{cases} 1 & J_{n-1} \leq i \leq J_n-1, & J_{m-1} < j < J_m, \\ 1/2 & J_{n-1} \leq i \leq J_n-1, & j = J_{m-1}, J_m; \end{cases}$$

$$v_{ij} = \begin{cases} 1 & J_{n-1} < i < J_n, & J_{m-1} \leq j \leq J_m-1, \\ 1/2 & i = J_{n-1}, J_n, & J_{m-1} \leq j \leq J_m-1; \end{cases}$$

$$\hat{\lambda}_\Sigma = - \sum_{k=1}^K \sum_{i=J_{n-1}}^{J_n} \sum_{j=J_{m-1}}^{J_m} \sum_{g=1}^G \left( \Delta \sum_{c,f,d,k}^g \varphi_{ij}^g \varphi_{ij}^{+g} \times \right.$$

$$\left. \times \frac{X_n J_m}{N_n M_m} \right) h_{ij}. \quad (I6)$$

Здесь

$$h_{ij} = \begin{cases} 1 & \mathcal{I}_{n-1} < i < \mathcal{I}_n, & \mathcal{I}_{m-1} < j < \mathcal{I}_m, \\ 1/2 & i = \mathcal{I}_n, \mathcal{I}_{n-1}, & \mathcal{I}_{m-1} < j < \mathcal{I}_m, \\ 1/2 & \mathcal{I}_{n-1} < i < \mathcal{I}_n, & j = \mathcal{I}_m, \mathcal{I}_{m-1}, \\ 1/4 & i = \mathcal{I}_{n-1}, \mathcal{I}_n, & j = \mathcal{I}_m, \mathcal{I}_{m-1}; \end{cases}$$

$$\lambda_S^1 = \sum_{k=1}^K \sum_{i=\mathcal{I}_{n-1}}^{\mathcal{I}_n} \sum_{j=\mathcal{I}_{m-1}}^{\mathcal{I}_m} \sum_{g=2}^G \sum_{\ell=1}^{g-1} \left( \Delta \sum_k^{t-g} \varphi_{ij}^{\ell e} \varphi_{ij}^{+g} \frac{X_n \mathcal{I}_m}{N_n M_m} h_{ij} \right); \quad (I7)$$

$$\lambda_f^1 = \sum_{k=1}^K \sum_{i=\mathcal{I}_{n-1}}^{\mathcal{I}_n} \sum_{j=\mathcal{I}_{m-1}}^{\mathcal{I}_m} \sum_{g=1}^G \sum_{\ell=1}^g \Delta (X_k^g \nu_{fk}^{\ell} \sum_{fk}^{\ell} \varphi_{ij}^{\ell e} \varphi_{ij}^{+g} \frac{X_n \mathcal{I}_m}{N_n M_m} h_{ij}); \quad (I8)$$

$$\text{ЦНД}^1 = \sum_{k=1}^K \sum_{i=\mathcal{I}_{n-1}}^{\mathcal{I}_n} \sum_{j=\mathcal{I}_{m-1}}^{\mathcal{I}_m} \sum_{g=1}^G \sum_{\ell=1}^g (X_k^g \nu_{fk}^{\ell} \sum_{fk}^{\ell} \varphi_{ij}^{\ell e} \varphi_{ij}^{+g} \frac{X_n \mathcal{I}_m}{N_n M_m} h_{ij}). \quad (I9)$$

Интегралы для расчета компонентов ФТВ (I4)-(I9) рассчитываются модулем WINTXU.

#### 1.4. Интегралы теории возмущений в RZ-геометрии

Для RZ-геометрии формулы расчета компонентов ФТВ записываются с небольшим отличием:

$$\text{ЦНД}^1 = \sum_{k=1}^K \sum_{j=\mathcal{I}_{m-1}}^{\mathcal{I}_m} \sum_{g=1}^G \sum_{\ell=1}^g \left\{ (X_k^g \nu_{fk}^{\ell} \sum_{fk}^{\ell}) \left[ \sum_{i=\mathcal{I}_{n-1}}^{\mathcal{I}_n} \varphi_{ij}^{\ell e} \varphi_{ij}^{+g} \frac{R_n Z_m}{N_n M_m} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \tau_i h_{ij} + (\varphi_{\mathcal{I}_{n-1},j}^{\ell e} \varphi_{\mathcal{I}_{n-1},j}^{+g} - \varphi_{\mathcal{I}_n,j}^{\ell e} \varphi_{\mathcal{I}_n,j}^{+g}) \frac{R_n^2 Z_m}{4N_n^2 M_m} h_{\mathcal{I}_n,j} \right] \right\}; \quad (20)$$

$$\lambda_f^1 = \sum_{k=1}^K \sum_{j=\mathcal{I}_{m-1}}^{\mathcal{I}_m} \sum_{g=1}^G \sum_{\ell=1}^g \left\{ \Delta (X_k^g \nu_{fk}^{\ell} \sum_{fk}^{\ell}) \left[ \sum_{i=\mathcal{I}_{n-1}}^{\mathcal{I}_n} \varphi_{ij}^{\ell e} \varphi_{ij}^{+g} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \frac{R_n Z_m}{N_n M_m} \tau_i h_{ij} + (\varphi_{\mathcal{I}_{n-1},j}^{\ell e} \varphi_{\mathcal{I}_{n-1},j}^{+g} - \varphi_{\mathcal{I}_n,j}^{\ell e} \varphi_{\mathcal{I}_n,j}^{+g}) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \frac{R_n^2 Z_m}{4N_n^2 M_m} h_{\mathcal{I}_n,j} \right] \right\}; \quad (21)$$

$$\hat{\lambda}_S = \sum_{k=1}^K \sum_{j=J_{m-1}}^{J_m} \sum_{g=2}^G \sum_{l=1}^{g-1} \left\{ \Delta \sum_k^{l-g} \left[ \sum_{i=J_{n-1}}^{J_n} \varphi_{ij}^{le} \varphi_{ij}^{+g} \times \right. \right. \\ \times \frac{R_n Z_m}{N_n M_m} \tau_i h_{ij} + (\varphi_{J_{n-1},j}^{le} \varphi_{J_{n-1},j}^{+g} - \varphi_{J_n,j}^{le} \varphi_{J_n,j}^{+g}) \times \\ \left. \left. \times \frac{R_n^2 Z_m}{4N_n^2 M_m} h_{J_{n-1},j} \right] \right\}; \quad (22)$$

$$\hat{\lambda}_\Sigma = - \sum_{k=1}^K \sum_{j=J_{m-1}}^{J_m} \sum_{g=1}^G \left\{ \Delta \sum_{c,j,d,k}^g \left[ \sum_{i=J_{n-1}}^{J_n} \varphi_{ij}^{le} \varphi_{ij}^{+g} \times \right. \right. \\ \times \frac{R_n Z_m}{N_n M_m} \tau_i h_{ij} + (\varphi_{J_{n-1},j}^{le} \varphi_{J_{n-1},j}^{+g} - \varphi_{J_n,j}^{le} \varphi_{J_n,j}^{+g}) \times \\ \left. \left. \times \frac{R_n^2 Z_m}{4N_n^2 M_m} h_{J_{n-1},j} \right] \right\}; \quad (23)$$

$$\hat{\lambda}_D = - \sum_{k=1}^K \sum_{i=J_{n-1}}^{J_n-1} \sum_{j=J_{m-1}}^{J_m} \sum_{g=1}^G \frac{\Delta D_{i,k}^g Z_m N_n}{R_n M_m} h_{ij} \times \\ \times \tau_{i+1/2} \left( \varphi_{ij}^{lg} - \varphi_{i+1,j}^{lg} \right) \left( \varphi_{ij}^{+g} - \varphi_{i+1,j}^{+g} \right) - \\ - \sum_{k=1}^K \sum_{j=J_{m-1}}^{J_m-1} \sum_{g=1}^{G'} \left\{ \sum_{i=J_{n-1}}^{J_n} \frac{\Delta D_{ii,k}^g R_n M_m}{Z_m N_n} \tau_i \tau_{ij} \times \right. \\ \times \left( \varphi_{ij}^{lg} - \varphi_{i,j+1}^{lg} \right) \left( \varphi_{ij}^{+g} - \varphi_{i,j+1}^{+g} \right) \frac{\Delta D_{ii,k}^g R_n^2 M_m}{8 Z_m N_n^2} \times \\ \times \left[ \left( \varphi_{J_{n-1},j}^{lg} - \varphi_{J_{n-1},j+1}^{lg} \right) \left( \varphi_{J_{n-1},j}^{+g} - \varphi_{J_{n-1},j+1}^{+g} \right) - \right. \\ \left. \left. - \left( \varphi_{J_n,j}^{lg} - \varphi_{J_n,j+1}^{lg} \right) \left( \varphi_{J_n,j}^{+g} - \varphi_{J_n,j+1}^{+g} \right) \right] \right\}; \quad (24)$$

$$\begin{aligned}
\lambda_{гч}^A = & - \sum_{k=1}^K \sum_{i=J_{n-1}}^{J_n} \sum_{j=J_{m-1}}^{J_m} \sum_{g=1}^G \Delta \chi_{ij}^k \psi_{ij}^{1g} \psi_{ij}^{+g} \frac{z_m}{2M_m} \tau_i \beta_{ij} - \\
& - \sum_{k=1}^K \sum_{j=J_{m-1}}^{J_m} \sum_{g=1}^G \Delta \chi_{ij}^k \left\{ \sum_{i=J_{n-1}}^{J_n} \psi_{ij}^{1g} \psi_{ij}^{+g} \frac{R_n}{2N_n} \tau_i \alpha_{ij} + \right. \\
& \left. + (\psi_{J_{n-1},j}^{1g} \psi_{J_{n-1},j}^{+g} - \psi_{J_{n,j}}^{1g} \psi_{J_{n,j}}^{+g}) \frac{R_n^2}{2N_n^2} \alpha_{J_{n,j}} \right\}. \quad (25)
\end{aligned}$$

Интегралы для расчета компонентов ФТВ (20)–(25) рассчитываются модулем WINTRZ.

### 1.5. Расчет реактивности в заданных узлах конечно-разностной сетки

Приведем формулу расчета изменения реактивности в многогрупповом диффузионном приближении для  $RZ$ -геометрии с помощью теории возмущений первого порядка.

Изменение реактивности при внесении в точку с координатами  $(r, z)$   $10^{24}$  ядер элемента А

$$\begin{aligned}
\Delta \rho_A(r, z) = & \sum_{g=1}^G \left\{ 3 \sigma_{tz,A}^g(r, z) J_g(r, z) - \sigma_{ef,d}^g(r, z) \times \right. \\
& \times F_{gg}(r, z) + \sum_{l=1}^{g-1} \sigma_{a,A}^{l \rightarrow g}(r, z) F_{e,g}(r, z) + \frac{1}{K_{es}^g} \times \\
& \left. \times \nu_f \sigma_{fA}^g(r, z) \times \alpha_g(r, z) \sum_{l=1}^G \chi^l \psi_l^+(r, z) \right\}, \quad (26)
\end{aligned}$$

где

$\psi(r, z)$  – плотность потока нейтронов энергетической группы  $g$  в точке  $(r, z)$ ;

$\psi_l^+(r, z)$  – ценность нейтронов группы  $l$ ;

$\sigma_{tz,A}^g(r, z)$  – микроскопическое транспортное сечение нейтронов группы  $g$  для элемента А;

$\sigma_{s,\sigma}^g(z, x)$  - микроскопическое сечение увода нейтронов из группы  $g$ ;

$\sigma_{s,A}^{l \rightarrow g}(z, x)$  - микроскопическое сечение упругих и неупругих переходов из группы  $l$  в группу  $g$   
 $(\sum_{s,A}^{l \rightarrow g}(z, x) = \sum_{in,A}^{l \rightarrow g}(z, x) + \sum_{l,A}^{l \rightarrow g}(z, x))$ ;

$\nu_{s,f,A}^g(z, x)$  - микроскопическое сечение размножения нейтронов группы  $g$ ;

$$F_{e,g}(z, x) = \frac{1}{2\pi \text{ ЦНД}} \psi_e(z, x) \psi_g^+(z, x); \quad (27)$$

$$F_{g,g}(z, x) = \frac{1}{2\pi \text{ ЦНД}} \psi_g(z, x) \psi_g^+(z, x); \quad (28)$$

$$Q_g(z, x) = \frac{1}{2\pi \text{ ЦНД}} \psi_g(z, x) \sum_{l=1}^G \chi^l \psi_l^+(z, x); \quad (29)$$

$$J_g(z, x) = \frac{1}{2\pi \text{ ЦНД}} (J_{r,g}(z, x) + J_{x,g}(z, x)). \quad (30)$$

$$\text{Здесь } J_{r,g}(z, x) = (D_1^g)^2(z, x) \frac{\partial \psi_g(z, x)}{\partial z} \frac{\partial \psi_g^+(z, x)}{\partial z}; \quad (31)$$

$$J_{x,g}(z, x) = (D_1^g)^2(z, x) \frac{\partial \psi_g(z, x)}{\partial x} \frac{\partial \psi_g^+(z, x)}{\partial x} \quad (32)$$

Изменение реактивности при внесении в каждый кубиче-  
 ский сантиметр зоны  $R \cdot 10^{24}$  ядер элемента  $A$

$$\Delta \rho_A^{(R)} = \int_{VR} \Delta \rho_A(\vec{r}) dV.$$

Формула (26) реализована в модуле ROL, а (27)-(32) - в мо-  
 дуле WRZLN.

## 2. МОДУЛИ WINTRZ, WINTXU, WRZLN

Модули WINTRZ и WINTXU осуществляют расчет зонной и полной ценности нейтронов деления и интегралов, фигурирующих в функционале теории возмущений для  $K_{ef}$ , с учетом изменения граничных условий, позволяют определять интегралы из точных формул ТВ, в которые входят возмущенная плот-

ность потока нейтронов, невозмущенная ценность и интегралы обобщенной теории возмущения. Модули написаны на языке Алгол-ГДР для ЭВМ БЭСМ-6, оформлены в виде процедур с параметрами и включены в библиотеку программ комплекса НФ-6. Вводы внутри модулей отсутствуют, вся информация передается через параметры модулей и внешнюю память.

В модулях используют готовые макросечения, которые должны быть предварительно рассчитаны модулем MIM [5] и записаны на магнитную ленту (МЛ) или на магнитный барабан. В качестве входных данных в модулях используется также пространственно-энергетическое распределение плотности потока и ценности нейтронов в реакторе, предварительно рассчитанное модулями PENRZ, APENRZ или PENXU, APENXU для RZ - или XU-геометрии и записанное во внешней памяти.

При расчете реактора в XU-геометрии в направлении оси  $z$  не учитывают утечки нейтронов (реактор считается бесконечным по высоте). Используется конечно-разностная сетка с узлами на границах зон, интегрирование заменяется суммированием по всем точкам с "весами", равными объему элементарных ячеек сетки. Результаты расчетов выдаются на печать и заносятся во внешнюю память. Для обмена с внешними запоминающими устройствами используются подпрограммы прямого доступа с плотной записью данных [6].

При работе в рамках мониторинговой системы "Дубна" в модулях используются МЛ с общей библиотекой комплекса НФ-6 и одна МЛ в качестве рабочей. Организация расчета, при которой в оперативно-запоминающем устройстве хранятся значения плотности потока и ценности нейтронов для одной группы, и динамическое распределение памяти позволяют проводить расчеты при различном числе групп (с учетом неупругого замедления во все нижележащие группы). Возможен также расчет интегралов в рамках многогруппового диффузионного конечно-разностного приближения для реакторов, содержащих водород.

Модуль WRZLN рассчитывает коэффициенты для определения реактивности точки в RZ - геометрии на основе многогруппового диффузионного конечно-разностного расчета. Кро-

ме того, модуль определяет зонную и полную ценность нейтронов деления, значения коэффициентов и реактивности в центрах расчетных отрезков. Для этого значения плотности потока и ценности нейтронов интерполируются по формуле Лагранжа.

### 3. ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Точность работы модулей WINTRZ, WINTXU проверялась сопоставлением полученных результатов с расчетами по программам комплекса ТВК-2D INTRZ и INTXU. Для сравнения использовали следующие двумерные модели:

1) большого быстрого натриевого реактора в RZ-геометрии [7] с условием симметрии на двух внешних границах и с равенством нулю плотности потока нейтронов на двух других (TEST-2D) для шести энергетических групп (разбиение на зоны соответствует принятому в работе [7]);

2) шестизонной системы в XV-геометрии с условиями симметрии на внешних границах (четыре энергетические группы) и с сильно- и слаборазмножающимися зонами [8].

Тестирование программ расчета интегралов теории возмущений INTRZ, INTXU в комплексе ТВК-2D проводилось по точным формулам ТВ, в которые входит возмущенная плотность потока нейтронов и невозмущенная ценность.

Кроме проверки правильности работы модулей WINTRZ, WINTXU, выполнены исследования по изучению зависимости чувствительности  $K_{ef}$  к изменению концентраций элементов в различных зонах реактора от параметров конечно-разностной сетки (числа узлов или шага) на моделях TEST-2D и реактора БОР-60 (табл.1) [9]. Наибольшую зависимость от числа узлов чувствительность  $K_{ef}$  имеет по отношению к изменению концентрации урана-238, кислорода и молибдена в зонах бокового и торцевого экранов.

Дополнительно выполнены прямые расчеты изменений  $\Delta(1/K_{ef})$  для определения пределов применимости теории возмущений (табл.2,3). При изменении концентрации основных

Таблица I

Изменение коэффициента чувствительности для модели I, %

Нуклид	Зона	Расчетные узлы				Коэффициент чувствительности при 2698 расчетных узлах*
		750	1225	1800	2275	
$^{238}\text{U}$	I	-0,04	0,08	0,06	0,0	-16,754
	2	-0,7	-0,2	-0,12	-0,03	- 9,898
	3	15,7	7,8	4,8	0,9	- 0,101
	4	26,8	2,6	0,8	0,7	- 0,274
	5	37,1	3,4	0,9	1,0	- 0,133
	6	63,2	11,0	5,5	1,7	- 0,001
$^{239}\text{Pu}$	I	0,5	0,1	0,1	0,02	298,669
	2	0,06	0,1	0,1	0,01	206,274
	3	1,0	0,3	0,2	0,02	11,301
	4	3,7	0,2	0,0	0,1	14,620
	5	3,4	0,0	0,1	0,08	9,387
	6	4,9	0,6	0,3	0,14	0,504
$^{240}\text{Pu}$	I	2,0	0,4	0,2	0,08	7,187
	2	0,4	-0,2	-0,1	-0,02	10,516
	3	6,4	3,7	2,2	0,35	-0,075
	4	12,8	0,8	0,2	0,23	-0,404
	5	14,6	0,4	-0,04	-0,2	-0,187
	6	26,5	5,6	2,9	0,8	-0,003
$^{241}\text{Pu}$	I	0,5	0,1	0,09	0,02	558,808
	2	-0,01	-0,1	-0,07	0,0	370,100
	3	0,9	0,3	0,2	0,02	23,255
	4	3,7	0,2	0,04	0,1	30,563
	5	3,3	0,0	-0,12	0,08	19,398
	6	4,9	0,6	0,3	0,1	1,066

Продолжение табл. I

Нуклид	Зона	Расчетные узлы				Коэффициент чувствительности при 2698 расчетных узлах*
		750	1225	1800	2275	
$^{239}\text{Pu}$ (осколки деления)	I	0,1	0,1	0,1	0,01	-37,716
	2	0,5	-0,2	-0,1	-0,02	-23,971
	3	5,7	2,9	1,7	0,3	-0,590
	4	17,0	1,8	0,6	0,5	-0,953
	5	19,0	1,8	0,5	0,5	-0,571
	6	17,0	3,0	1,4	0,5	-0,014
O	I	-0,5	0,0	0,05	-0,01	-1,741
	2	-2,4	-0,5	-0,3	-0,07	-0,599
	3	-7,5	-3,5	-2,2	-0,37	0,054
	4	-54,7	-4,2	-0,9	-1,4	0,028
	5	-27,0	-2,2	-0,5	-0,7	0,039
	6	-0,9	-0,1	-0,2	0,1	0,002
Na	I	-0,6	0,0	0,04	-0,01	-1,651
	2	-3,2	-0,6	-0,36	-0,1	-0,480
	3	-5,6	-2,7	-1,7	-0,3	0,082
	4	-30,9	-2,4	-0,6	-0,8	0,054
	5	-20,0	-1,8	-0,5	-0,5	0,059
	6	0,7	0,1	0,04	0,1	0,003
Fe	I	-0,6	0,0	0,04	-0,01	-1,510
	2	-2,7	-0,6	-0,4	-0,1	-0,533
	3	-4,0	-2,0	-1,2	-0,2	0,106
	4	-18,4	-1,6	-0,4	-0,5	0,080
	5	-14,5	-1,4	-0,4	-0,4	0,073
	6	2,0	0,2	0,05	0,1	0,004
C <sub>v</sub>	I	-0,6	0,03	0,05	-0,01	-1,656
	2	-2,5	-0,6	-0,3	-0,09	-0,596
	3	-4,8	-2,3	-1,4	-0,3	0,099

Окончание табл. I

Нуклид	Зона	Расчетные узлы				Коэффициент чувствительности при 2698 расчетных узлах*	
		750	1225	1800	2275		
Ni	4	-22,5	1,9	-0,5	-0,6	0,075	
	5	-16,9	-1,7	-0,5	-0,5	0,071	
	6	1,5	0,2	0,03	0,1	0,004	
	1	- 0,4	0,04	0,05	-0,07	-2,684	
	2	- 1,8	-0,5	-0,3	-0,07	-1,176	
	3	- 3,7	-1,8	-1,1	-0,2	0,152	
	4	-16,8	-1,5	0,4	-0,4	0,122	
	5	-13,2	-1,3	-0,5	-0,3	0,109	
	6	1,8	0,2	0,01	0,08	0,007	
	Mo	1	- 0,5	0,1	0,07	0,01	-10,791
		2	- 0,7	-0,2	-0,1	-0,03	- 6,473
		3	41,2	20,6	12,4	2,4	- 0,030
4		42,4	4,3	1,4	1,1	- 0,128	
5		73,6	7,3	2,2	2,0	- 0,050	
6		-39,3	-7,4	-3,8	-1,1	0,001	

\* Расчет при 2698 расчетных узлах принимается за эталон.

нуклидов на 10-15 % коэффициент чувствительности, рассчитанный в приближении малых возмущений, можно использовать для грубой оценки изменения  $K_{ef}$ . Под коэффициентом чувствительности в данном случае принимается отношение  $\Delta(1/K_{ef})$  к соответствующему изменению концентрации. Рассматривалась зависимость  $\Delta(1/K_{ef}) = \frac{1}{K_{ef}} - \frac{1}{K_{ef}}$  от изменения концентрации элемента  $\Delta N$ . На рис. I, 2 показана зависимость  $\Delta(1/K_{ef})$  от относительного изменения концентрации урана-238 и плутония-239.

Таблица 2

Сравнение прямых расчетов с расчетами по теории  
возмущений для модели I

Нуклид	Зона	Изменение концентрации, $10^{24}$ ядро/см <sup>3</sup>	$\Delta\left(\frac{1}{K_{eff}}\right)$	$\Delta\left(\frac{1}{K_{eff}}\right) / \Delta\left(\frac{1}{K_{eff}}\right)^w$
<sup>238</sup> U	I	0,001	$1,73 \cdot 10^{-2}$	1,034
	2		$8,89 \cdot 10^{-3}$	0,898
	3		$5,84 \cdot 10^{-5}$	0,573
	4		$3,12 \cdot 10^{-4}$	0,767
<sup>239</sup> Pu	I	0,0001	$3,09 \cdot 10^{-2}$	1,035
	2		$2,16 \cdot 10^{-2}$	1,045
<sup>239</sup> Pu (осколки деления)	I	0,0001	$3,75 \cdot 10^{-3}$	0,994
	2		$2,38 \cdot 10^{-3}$	0,992
Fe	I	0,001	$1,58 \cdot 10^{-3}$	1,048
	2		$6,09 \cdot 10^{-4}$	1,142
	3		$9,25 \cdot 10^{-5}$	0,841
	4		$1,22 \cdot 10^{-4}$	0,797

Таблица 3

Сравнение прямых расчетов с расчетами по теории  
возмущений в активной зоне реактора БОР-60

Нуклид	Зона	Изменение концентрации, $10^{24}$ , ядро/см <sup>3</sup>	$\Delta\left(\frac{1}{K_{eff}}\right)^{np} / \Delta\left(\frac{1}{K_{eff}}\right)^w$
<sup>238</sup> U	I6	0,0005	1,069
	I8		1,226
<sup>239</sup> Pu	I6	0,0003	0,991
	I8		0,989

Примечание. Значения  $\Delta(1/K_{eff})^w$  получены с помощью ТВ.

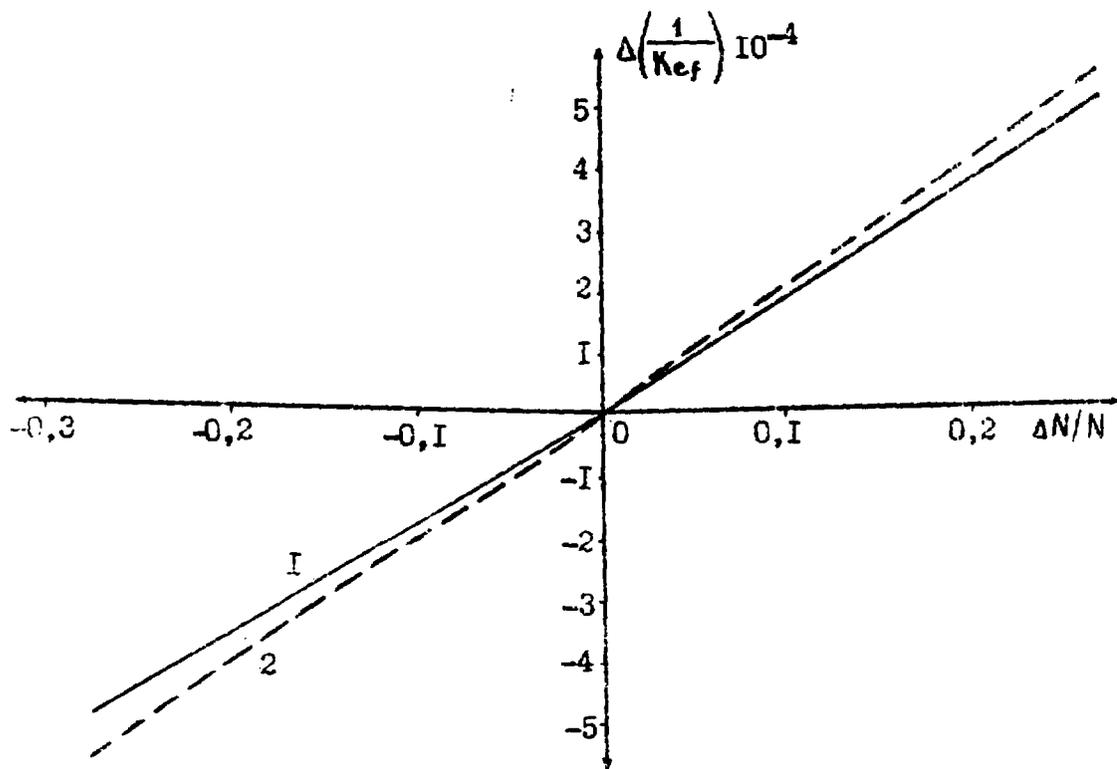


Рис. I. Зависимость  $\Delta\left(\frac{1}{K_{ef}}\right)$  от относительного изменения концентрации  $^{238}\text{U}$  в области, соответствующей части активной зоны реактора БОР-60: 1 - прямые расчеты; 2 - расчет по ТВ

Результаты расчетов по теории возмущений тоже можно представить графически. Коэффициент чувствительности - угловой коэффициент касательной к кривой  $y = f(t)$  в начале координат, через которое проведена прямая 2 с соответствующим угловым коэффициентом (см. рис. I, 2).

Анализ результатов показывает, что для расчета коэффициентов чувствительности  $K_{ef}$  к изменению концентраций элементов в большом быстром реакторе по формулам теории малых возмущений достаточно шага конечно-разностной сетки около 3-5 см. В пределах изменения концентраций эле-

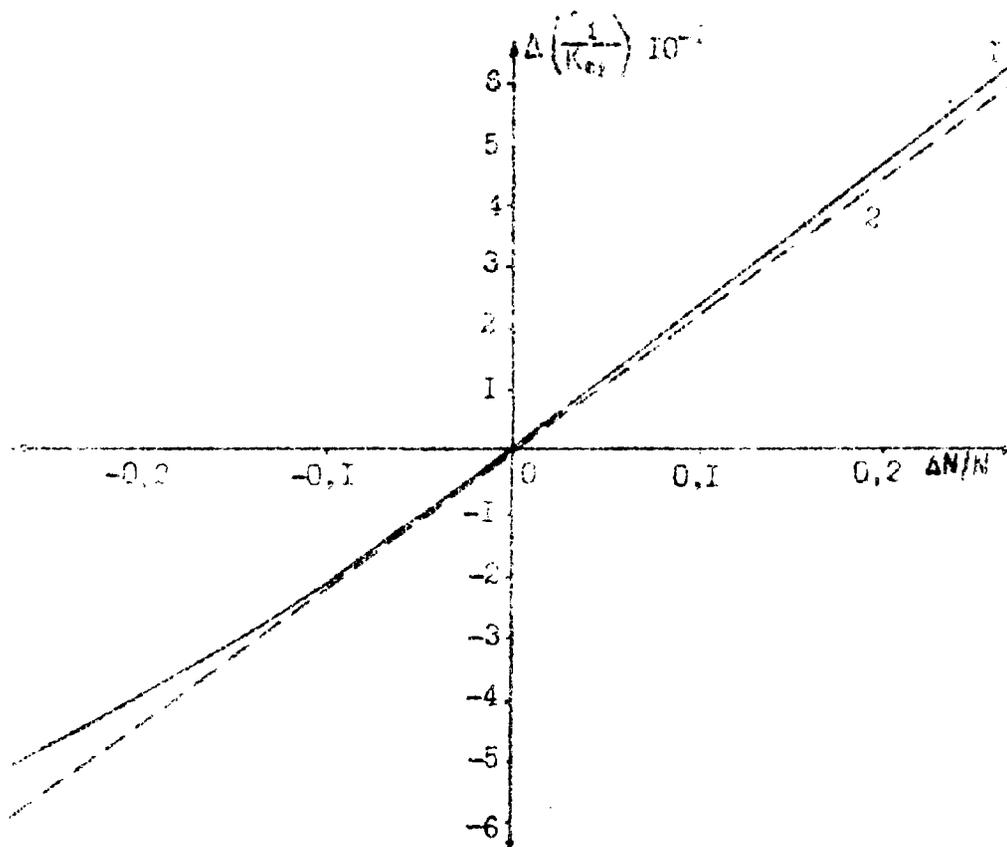


Рис.2. Зависимость  $\Delta\left(\frac{1}{k_{eff}}\right)$  от относительного изменения концентрации  $^{239}\text{Pu}$  в зоне малого обогащения реактора TEST-2B: 1 - прямые расчеты; 2 - расчет по ТВ

ментов от  $-15$  до  $+15$  % для простых и наглядных оценок изменения реактивности реактора можно использовать коэффициенты чувствительности, полученные по формулам теории малых возмущений. Продемонстрирована правильность работы созданных модулей.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модули расчета интегральных коэффициентов и реактивности в узлах конечно-разностной сетки предназначены для

расчетов с использованием теории возмущений. Модуль В используется для расчета коэффициента чувствительности  $k_{eff}$  к изменению ядерных данных и технологических параметров в двумерных моделях реакторов. Трехмерное распределение коэффициентов реактивности позволяет правильно расположить систему органов управления реактора и оптимизировать компоновку реактора с точки зрения безопасности. Коэффициенты чувствительности  $k_{eff}$  к отношению к изменению граничных условий могут быть использованы для оценки  $k_{eff}$ , связанной с неопределенностью крайних условий, при определении вклада в реактивность периферических зон реактора, не включенных в расчетную модель, и т.д.

Описание в работе модуля включено в управление программой WDRR комплекса НФ-6, который позволяет рассчитывать параметры кинетики ядерных реакторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усачев Л.Н., Бобков Ю.Т. Теория возмущений в планировании эксперимента в проблеме ядерных данных для реакторов. М.: Атомиздат, 1980.
2. Алексеев П.Н., Барипцкий С.М., Усачев Л.Н., Шиков И.В. Комплекс программ ТВК-2. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. физика и техника ядерных реакторов, 1983. вып. 4(33), с.32-35.
3. Бизин М.Н., Савочкина О.А., Чухлова О.П. Комплекс программ НФ-6 для расчета основных нейтронно-физических характеристик атомных реакторов на ЭВМ ЕСМ-6: Препринт НИИАР. П-40(334). - Димитровград, 1977.
4. Алексеев П.Н., Бикинеева С.А. Модули комплекса НФ-6 для многогруппового диффузионного сеточного расчета плотности потока и ценности нейтронов в ядерных реакторах в двумерной  $XU$ - и  $RZ$ -геометрии: Препринт НИИАР-37(445). - Димитровград, 1980.

5. Башмачников А.И. Константное обеспечение комплекса НФ-6: Препринт. НИИАР-49(408). Димитровград, 1979.
6. Марков Ю.В., Федосеева Л.А. Подпрограммы прямого доступа с плотной записью данных: Препринт НИИАРа. П-9(343). Димитровград, 1978.
7. Зизин М.Н., Кудряшов Л.Н., Николаев М.Н. Двумерная модель большого энергетического быстрого реактора-бридера с оксидным топливом и натриевым теплоносителем для проведения тестовых расчетов: Препринт НИИАРа. П-4(270). Димитровград, 1976.
8. Benchmark problem book. ANL-746. Argonne code center, 1968 (ANL).
9. Обзор по реакторам-размножителям на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем: Пер. с англ. Вып.2.- Информационный бюллетень по материалам зарубежной печати. М.: Атомиздат, 1978.

Рукопись поступила в ОПИНТИ  
27.03.84, обработана 22.05.84.  
Окончательно подготовлена  
авторами 29.04.85.

Павел Николаевич Алексеев  
Светлана Алексеевна Бикинеева

КОМПЛЕКС НЧ-6 РАСЧЕТА ИНТЕГРАЛОВ ТЕОРИИ  
ВОЗМУЩЕНИЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОВЕДЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ  
РЕАКТИВНОСТИ В ДВУМЕРНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Гидрапр. инж. В. Волкова

Корректор: Э. Г. Крижановская

Количество страниц 10.04.88 Т-13689. Формат 1/16. 100  
Число иллюстраций 1. Число таблиц 1. Число приложений  
1. Число рисунков 1. Число копий 1. Число экземпляров 1.

Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова  
Физико-математический отдел  
Лаборатория реактивных реакторов им. П. А. Леонидова  
125080 Москва, Б-123, ПИИЯФ

П.Н.Алексеев, С.А.Бикинеева

НИИАР-21(667)  
УДК 621.039.51

Модули комплекса НФ-6 расчета интегралов теории возмущений  
и пространственного поведения коэффициентов реактивности  
в двумерной геометрии

Описаны модули, позволяющие проводить расчет интегралов теории возмущений и реактивности в узлах расчетной сетки для двумерной геометрии на основе многогруппового диффузионного сеточного расчета плотности потока и ценности нейтронов. Предусмотрена возможность учета по теории возмущений изменения граничных условий. Модули включены в комплекс программ НФ-6 для расчета основных нейтронно-физических характеристик атомных реакторов.

Препринт, 1985

P.N.Alekseyev, S.A.Bikinayeva

RIAR-21(667)  
UDC 621.039.51

Modules of the NФ-6 Code Set for Calculation of Perturbation  
Theory Integrals and Reactivity Coefficients Space Behaviour  
in Two-Dimensional Geometry

Described are the modules enabling the integrals of the perturbation theory and the reactivity in the calculating net nodes for the two-dimensional geometry to be calculated based on the multigroup diffusion net calculation of the flux density and neutron worths. Provision is made for taking into account the boundary condition changes according to the perturbation theory. The modules are incorporated into the set of codes NФ-6 for computation of the basic neutron physics characteristics of the atomic reactors.

Preprint, 1985

## **Н А С Т О Я Щ Е Е    И З Д А Н И Е    Н И И А Р а**

**ЯВЛЯЕТСЯ** самостоятельной, не всегда дублирующей в последствии в других изданиях ПУБЛИКАЦИЕЙ отдельных оригинальных научных трудов НИИАРа, на которую можно ссылаться в других публикациях, указывая при этом авторов, наименование, порядковый номер (НИИАР-...), год и место издания (Дмитровград).

**ИЗДАЕТСЯ** с целью более быстрой или более полной информации по сериям

1. Ядерные реакторы
2. Методика и техника облучения
3. Радиационное материаловедение
4. Радиохимия
5. Ядерная физика
6. Вычислительная техника и электроника
7. Вычислительная математика и программирование
8. Информатика и управление

**ПЕЧАТАЕТСЯ** на роталпринте НИИАРа тиражом 150 экз.

**РАССЫЛАЕТСЯ** в научные организации, научно-технические библиотеки и отдельным лицам в соответствии с установленным порядком.

21 коп.

Индекс 3624

МОДУЛИ КОМПЛЕКСА НФ-6 РАСЧЕТА ИНТЕГРАЛОВ  
ТЕОРИИ ВОЗМУЩЕНИЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОГО  
ПОВЕДЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕАКТИВНОСТИ  
В ДВУМЕРНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Препринт. НИИАР-21(667), 1985, 1-23