

219105173

FEI -- 2065.

ФЭИ-2065



ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

О. Ф. КУХАРЧУК, А. В. ГУЛЕВИЧ, А. В. ЗРОДНИКОВ

**КОМПЛЕКС ПРОГРАММ РОКЕР
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ
НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ
В СИСТЕМАХ СВЯЗАННЫХ РЕАКТОРОВ**

Обнинск — 1990

С. Ф. Кухарчук, А. В. Гулевич, А. В. Зродников.

Комплекс программ **POKER** для моделирования нестационарных процессов в системах связанных реакторов.

ФЭИ-2065. Обнинск, 1990. — 16 с.

Предложена модель динамики многозонной реакторной установки, основанная на уравнениях кинетики связанных реакторов. Разработаны эффективные алгоритмы для интегрирования «жестких» систем дифференциальных уравнений, реализованные в виде программного комплекса **POKER** для персонального компьютера IBM PC/AT.

Комплекс предназначен для моделирования нестационарных процессов в многозонных реакторных установках с учетом температурных обратных связей при различных законах изменения внешней реактивности и интенсивности внешнего источника нейтронов.

ВВЕДЕНИЕ

При математическом моделировании переходных режимов работы ЯЭУ для описания кинетики реактора часто используется так называемая "точечная" или пространственно-независимая модель [1,2]. В связи с особенностями дифференциальных уравнений этой модели ("жесткость") актуальными являются вопросы разработки эффективных вычислительных алгоритмов для решения систем таких уравнений и вопросы создания быстродействующих программ для решения задач динамики.

В данной работе рассматривается математическая модель динамики сложной реакторной установки, основанная на уравнениях точечной кинетики системы связанных реакторов [3,4]. Применение такой модели позволяет корректно описывать переходные режимы работы как обычных реакторных установок, так и реакторных систем нетрадиционного типа (связанные импульсные реакторы, реактор и подкритическая сборка и т.д.). Разработаны эффективные вычислительные алгоритмы, позволяющие интегрировать жесткие системы дифференциальных уравнений кинетики и тепловой динамики, которые реализованы в виде программного комплекса POINT (POINT Kinetics Equations of Reactor) для PC IBM.

Комплекс предназначен для моделирования нестационарных процессов в многозонных реакторных установках с учетом температурных обратных связей при различных законах изменения внешней реактивности и интенсивности внешнего источника нейтронов.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Обобщенная математическая модель динамики реакторной установки, включающая уравнения точечной кинетики и связанных реакторов, уравнения тепловых процессов и уравнения температурных обратных связей может быть представлена в виде следующей системы уравнений:

$$\begin{cases}
 \dot{n}_j(t) - (k_{jj}(1-\beta) - 1)n_j(t) + (1-\beta) \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^N k_{jk} n_k(t - \tau_{jk}) + \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^D k_{jk} \lambda_i C_{ik}(t - \tau_{jk}) + S_j \\
 \dot{C}_{1j}(t) - \beta_1 n_j(t) - \lambda_1 C_{1j}(t) \\
 k_{jj}(t) - k_j^0 + \sum_{m=1}^M \Delta k_{jm}^T(T) + \Delta k_j^N(N) + \Delta k_j^{\beta \beta \beta}(t) \\
 (\text{MC})_m T_m = \sum_{j=1}^M \kappa_{jm} n_j - \sum_{l=1}^M \gamma_{ml} (T_m - T_l) - \sum_{n=1}^M \epsilon_{mn} (T_m^4 - T_n^4)
 \end{cases} \quad (1)$$

Начальные условия определяются условиями задачи.

Здесь обозначено: n_j - скорость делений в j -ом реакторе; C_{1j} - концентрация предшественников запаздывающих нейтронов группы 1 в j -ом реакторе; k_{jj} и l_j - коэффициент размножения (с учетом запаздывающих нейтронов) и среднее время жизни мгновенных нейтронов в j -ом реакторе соответственно; k_{jk} - коэффициент нейтронной связи j -ого и k -ого реакторов; λ_1 , β_1 и $\beta - \sum \beta_i$ - параметры запаздывающих нейтронов (предполагаются одинаковыми для всех реакторов); D - число групп запаздывающих нейтронов ($D=6$); S_j - скорость делений в j -ом реакторе от нейтронов внешнего источника; τ_{jk} - среднее время жизни мгновенного нейтрона, родившегося в зоне k и вызвавшего деление в зоне j (время запаздывания).

В уравнениях для тепловых процессов (теплопроводность, конвекция, излучение и т.п.) в реакторной установке, состоящей из M конструктивных элементов (например элементы топлива, отражателя, замедлителя, контура охлаждения и т.п.), введены следующие обозначения: κ_{jm} - доля тепловой мощности j -ого реактора, выделяемая в m -ом элементе конструкции; $T_m, (\text{MC})_m$ - температура и массовая теплоемкость m -ого элемента соответственно; γ_{ml} - эффективный коэффициент теплопередачи между m -ыми l -ыми элементами (учитывает процессы теплопроводности и конвективного теплообмена); ϵ_{mn} - эффективный коэффициент излучательного теплообмена между m -ым и n -ым элементами ($\epsilon_{mn} = \epsilon \sigma F$, где: ϵ - приведенная степень черноты; σ - постоянной Стефана-Больцмана; F - площадь излучающей поверх-

хности).

Параметры уравнения обратных связей имеют смысл: k_j^0 — коэффициент размножения нейтронов в j -ом реакторе в нулевой момент времени; Δk_{jm}^T — изменение коэффициента размножения нейтронов в j -ом реакторе, связанное с изменением температуры m -ого элемента конструкции; Δk_j^N — изменение коэффициента размножения нейтронов в j -ом реактора, связанное с изменением его мощности; Δk_j^{00} — возмущение коэффициента размножения нейтронов в j -ом реакторе, не связанное с изменением температуры конструктивных элементов и мощности реактора.

Отметим, что в линейном приближении температурные эффекты реактивности могут быть записаны в виде: $\Delta k_{jm}^T = \alpha_{jm} (T_m(\tau) - T_m(0))$, где: α_{jm} — температурный коэффициент реактивности; $T_m(0)$ — значение температуры m -ого элемента конструкции в нулевой момент времени.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ

Система уравнений (1) является "жесткой" из-за существенного различия времени жизни мгновенных нейтронов ($1 \sim 10^{-6} - 10^{-8}$ с), постоянных распада предшественников запаздывающих нейтронов ($1/\lambda \sim 0.1 - 10$ с) и характерных периодов тепловых процессов ($0.1 - 10$ с).

При построении процедуры численного интегрирования системы (1), используем следующий прием [5,6]. В исходной системе уравнений условно выделим две подсистемы — "быструю", включающую уравнения для скоростей делений n_j , и "медленную", объединяющую уравнения для концентраций предшественников запаздывающих нейтронов и уравнения для температур в объеме установки.

На каждом шаге интегрирования региме "быстрой" подсистемы будем получать при "замороженных" значениях параметров "медленной" подсистемы, которую можно интегрировать одним из известных методов, например, явным методом Эйлера [7]. В последнем случае значение текущего шага

интегрирования может выбираться по оценке минимального мгновенного периода на левой границе: $N \delta \cdot \min_i (n_i / \frac{dn_i}{d\tau})$, где δ - настроечный параметр.

Приведем основные соотношения для нахождения решения "быстрой" подсистемы уравнений. Она имеет вид:

$$1_j \dot{n}_j(t) - (k_{j,j}(1-\rho) - 1)n_j(t) + (1-\rho) \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^N k_{j,k} n_k(t - \tau_{j,k}) + \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^D k_{j,k} \lambda_i C_{ik}(t - \tau_{j,k}) + S_j \quad (2)$$

В случае кинетики нейтронов одного реактора ($k_{j,k}, j \neq k = 0, N=1$) для вычисления значения скорости делений на правой границе шага можно использовать следующую формулу (в принятых нами обозначениях) [5]:

$$n^H \approx \frac{Q_0}{a} (e^{aH} - 1) + \frac{\gamma Q_0 k_{11}^0}{l_1 a^3} \left[1 + aH - (1 - \frac{a^2 H^2}{2}) e^{aH} \right] + \frac{q}{a^2} (e^{aH} - 1 - aH) + p_0,$$

где:

$$Q_0 = \frac{k_{11}^0(1-\rho) - 1}{l_1} p_0 + \sum_{i=1}^D \lambda_i C_{1i} + S_1$$

$$q = \frac{\gamma k_{11}^0}{l_1} p_0 + \sum_{i=1}^D \lambda_i \left[\frac{\beta_i k_{11}^0}{l_1} p_0 - \lambda_i C_{1i} \right] + \epsilon$$

$$a = \frac{k_{11}^0(1-\rho) - 1}{l_1}; \quad \gamma = \left. \frac{dk_{11}}{d\tau} \right|_{\tau=\tau_0}; \quad \epsilon = \left. \frac{dS_1}{d\tau} \right|_{\tau=\tau_0}$$

Здесь: p_0 ; k_{11}^0 - значение скорости делений и коэффициента размножения на левой границе шага соответственно; H - шаг интегрирования; τ_0 - значение времени соответствующее левой границе шага.

В двухзонном приближении ($N=2$) система уравнений (2) записывается в виде:

$$\begin{cases}
 I_1 \dot{p}_1 = (k_{11}(1-\beta) - 1)p_1 + (1-\beta)k_{12}p_2(t-\tau_{12}) + \sum_{i=1}^D (k_{11}\lambda_i C_{11} + k_{12}\lambda_i C_{12}(t-\tau_{12})) + S_1 \\
 I_2 \dot{p}_2 = (k_{22}(1-\beta) - 1)p_2 + (1-\beta)k_{21}p_1(t-\tau_{21}) + \sum_{i=1}^D (k_{21}\lambda_i C_{11}(t-\tau_{21}) + k_{22}\lambda_i C_{12}) + S_2
 \end{cases}$$

Обозначим $p_1^H = p_{01} + \delta p_1$, где: p_{01} - значение скорости делений на левой границе шага интегрирования; p_1^H - значение скорости делений на правой границе; δp_1 - отклонение. Будем полагать, что справедливо следующее разложение:

$$p_1(t-\tau_{j1}) \approx p_1(t) - \tau_{j1} \dot{p}_1(t) \text{ и } C_{ki}(t-\tau_{j1}) \approx C_{ki}(t) - \tau_{j1} \dot{C}_{ki}(t).$$

Тогда система уравнений для δp_1 и δp_2 запишется в виде:

$$\begin{cases}
 \delta \dot{p}_1 = a_{11} \delta p_1 + a_{12} \delta p_2 + Q_1 \\
 \delta \dot{p}_2 = a_{22} \delta p_2 + a_{21} \delta p_1 + Q_2.
 \end{cases} \quad (13)$$

с нулевыми начальными условиями.

Здесь обозначено:

$$\begin{aligned}
 a_{11} &= \frac{k_{11}(1-\beta) - 1 - \frac{(1-\beta)^2 k_{21} \tau_{12} k_{12}}{I_2}}{I_1 - \frac{(1-\beta)^2 k_{12} \tau_{12} k_{21} \tau_{21}}{I_2}} & a_{22} &= \frac{k_{22}(1-\beta) - 1 - \frac{(1-\beta)^2 k_{21} \tau_{21} k_{12}}{I_1}}{I_2 - \frac{(1-\beta)^2 k_{12} \tau_{12} k_{21} \tau_{21}}{I_1}} \\
 a_{12} &= \frac{(1-\beta)k_{12}\tau_{12}(k_{22}(1-\beta) - 1)}{(1-\beta)k_{12} - \frac{(1-\beta)^2 k_{12} \tau_{12} k_{21} \tau_{21}}{I_2}} & &
 \end{aligned}$$

$$a_{21} = \frac{(1-\beta)k_{21}\tau_{21}(k_{11}(1-\beta)-1)}{(1-\beta)k_{21} - \frac{1}{l_1}} \cdot \frac{1}{l_2 - \frac{(1-\beta)^2 k_{12}\tau_{12}k_{21}\tau_{21}}{l_1}}$$

$$Q_1 = \left(\sum_{i=1}^D (k_{11}\lambda_1 C_{11} + k_{12}\lambda_1 C_{12} - k_{12}\tau_{12}\lambda_1 \dot{C}_{12}) + S_1 - \left(\sum_{i=1}^D (k_{22}\lambda_1 C_{12} + k_{21}\lambda_1 C_{11} - k_{21}\tau_{21}\lambda_1 \dot{C}_{11}) + S_2 \right) \frac{(1-\beta)k_{12}\tau_{12}}{l_2} \right) / \left(l_1 - \frac{(1-\beta)^2 k_{12}\tau_{12}k_{21}\tau_{21}}{l_2} \right) + a_{11}n_{01} + a_{12}n_{02}$$

$$Q_2 = \left(\sum_{i=1}^D (k_{22}\lambda_1 \dot{C}_{12} + k_{21}\lambda_1 C_{11} - k_{21}\tau_{21}\lambda_1 \dot{C}_{11}) + S_2 - \left(\sum_{i=1}^D (k_{11}\lambda_1 C_{11} + k_{12}\lambda_1 C_{12} - k_{12}\tau_{12}\lambda_1 \dot{C}_{12}) + S_1 \right) \frac{(1-\beta)k_{21}\tau_{21}}{l_1} \right) / \left(l_2 - \frac{(1-\beta)^2 k_{12}\tau_{12}k_{21}\tau_{21}}{l_1} \right) + a_{21}n_{01} + a_{22}n_{02}$$

Решение системы (3) имеет вид:

$$\delta n_1 = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[(Q_1 + \lambda_1 \frac{C_1}{B}) e^{\lambda_2 H} - (Q_1 + \lambda_2 \frac{C_1}{B}) e^{\lambda_1 H} \right] + \frac{C_1}{B}$$

$$\delta n_2 = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[(Q_2 + \lambda_1 \frac{C_2}{B}) e^{\lambda_2 H} - (Q_2 + \lambda_2 \frac{C_2}{B}) e^{\lambda_1 H} \right] + \frac{C_2}{B}$$

где:

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{2} \left[A \pm \sqrt{A^2 - 4B} \right]$$

$$A = a_{11} + a_{22}$$

$$B = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}$$

$$C_1 = a_{12}Q_2 - a_{22}Q_1$$

$$C_2 = a_{21}Q_1 - a_{11}Q_2$$

Решение "быстрой" подсистемы (2) в случае $N \geq 3$ находится с помощью неявного метода Эйлера, как это рекомендовано в работе [8]. Для увеличения точности расчета шаг интегрирования h разобьем на J временных интервалов, в каждом из которых значение коэффициента размножения k_{jj} будем считать постоянным. В этом случае для интегрирования системы дифференциальных уравнений (2) используется система неоднородных алгебраических уравнений с постоянными коэффициентами вида:

$$(K_{jj}^N - (1 - \lambda) \frac{J-1}{h}) x_j(t) + (1 - \lambda) \sum_{k=1}^{N-1} K_{jk} (1 - \frac{J-1}{h}) x_k(t) + \frac{J-1}{h} \sum_{k=1}^{N-1} K_{jk} \lambda x_k(t) = 0.$$

где:

K_{jk}^N - матрица коэффициентов, расположенная по диагонали матрицы

$$K_{jk}^N = \begin{pmatrix} k_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & k_{22} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & k_{(N-1)(N-1)} \end{pmatrix}$$

Эта система затем решается по компактной схеме включений [суд. 1].

Раздельное (внутри шага) интегрирование "быстрой" и "медленной" подсистем модели (1) позволяет значительно сократить общее количество вычислений при решении нестационарных задач, что особенно важно при использовании разработанных машинных программ на малых ЭВМ и персональных компьютерах.

ПРОГРАМНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Программный комплекс РОКЕЛ структурно состоит из управляющей главной программы, 3-х основных подпрограмм для интегрирования систем уравнений (1) и подпрограмм, с помощью которых задается интенсивность и интенсивность источника.

В программе РОКЕР внешняя реактивность может задаваться в виде непрерывной кусочно-линейной функции, а также изменяющейся по синусоидальному закону или по закону Гаусса.

Интенсивность источника (S_j) может задаваться в виде непрерывной, кусочно-линейной или δ -образной функции.

Параметры уравнений тепловых процессов системы (1) и данные об изменении внешней реактивности и источника хранятся в специальных файлах данных. Изменение этих значений возможно как с помощью текстового редактора, так и в диалоговом режиме с терминального пульта управления ЭВМ. Ввод остальных параметров системы (1) и данных для интегрирования (максимальный и минимальный шаг, значение настроечного параметра δ , длительность процесса и т.д.) осуществляется пользователем в диалоговом режиме.

Расчитанные значения $\rho_j(t)$, $T_j(t)$ а также промежуточная информация могут выводиться пользователем на экран, на печатающее устройство, записываться в файлы на диске или изображаться на графиках. Вывод графической информации (значения мощности, средних температур, коэффициентов размножения нейтронов и выделенной в реакторах энергии) осуществляется в интерактивном режиме с помощью стандартного программного комплекса ГРАФОР [9].

Программы комплекса РОКЕР написаны на ФОРТРАНе, их общая длина -- 3000 строк, загрузочный модуль занимает 132 Кбайта оперативной памяти персонального компьютера IBM PC/AT.

Для проверки предлагаемых алгоритмов решения системы (1) для случая $N=2$ и $N=3$ были проведены тестовые расчеты. Расчитанные по этим алгоритмам значения максимальной мощности и энергии одиночного реактора ($k_{jk}, j=k=0$) для различных процессов сравнивались со значениями этих величин, полученными помощью алгоритма решения системы (1), изложенного в [5]. Сравнение показало высокую эффективность предлагаемых алгоритмов. Отметим, что приемлемая точность расчета для случая $N=3$ достигалась при $J=3+5$.

В практических расчетах рекомендуется использовать следующее значения параметров интегрирования системы (1):

$$H_{\min} = 10^{-7} + 10^{-5} \text{ с}; H_{\max} = 1 + 10^{-2} \text{ с}; \delta = 0.01 + 0.05.$$

ПРИМЕР РАСЧЕТА АВАРИЙНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Для иллюстрации эффективности предлагаемого комплекса рассматривался расчет переходных процессов в критсборке БЭС-40 [10] с дополнительным мультиплицирующим отражателем нейтронов. Анализировались процессы, которые могут возникнуть при падении центрального твэла в частично загруженную критсборку и последующим срабатыванием аварийной защиты (АЗ). Начальная подкритичность составляла -1.43β . Предполагалось, что при свободном падении тепловыделяющего стержня реактивность сборки изменялась линейно со скоростью $12 \beta/\text{с}$ до достижения мгновенной надкритичности 0.17β . Предполагалось также, что через 0.3 с в реактор линейно (со скоростью $44 \beta/\text{с}$) органами АЗ вводится отрицательная реактивность. Полная эффективность органов АЗ принималась равной 10β . После полного ввода АЗ подкритичность критсборки становится равной -8.6β и остается неизменной. Расчеты проводились для следующих значений параметров нейтронной кинетики в уравнениях системы (1), которая состояла из 22-х обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$k_{12} = 0.4; k_{21} = 0.002; \rho = 0.007; S_1 = 0; S_2 = 10^6 \frac{\text{н}}{\text{с}}; l_1 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с}; l_2 = 10^{-5} \text{ с};$$

$\lambda = -10^{-5} \text{ 1/град}; j=1$ — размножающий отражатель; $j=2$ — активная зона.

Параметры уравнений кинетики реактора и модели обратных связей рассчитывались методом Монте-Карло по программам комплекса ИМКРК [11, 12].

Значение коэффициента размножения нейтронов в мультиплицирующем отражателе k_{11} варьировалось. На рис. 1 показано поведение во времени мощности, выделяемой в активной зоне сборки (сплошная линия), и мощности, выделяемой в мультиплицирующем отражателе (пунктирная линия), для следующих значений коэффициента размножения нейтронов в отражателе:

1- $k_{11}=0.6$; 2- $k_{11}=0.7$; 3- $k_{11}=0.8$. В скобках на рисунке приведены значения энергии, выделившийся в отражателе и активной зоне критсборки.

На рис.2 приведены кривые изменения во времени температуры центральной части активной зоны для тех же случаев. Видно, что максимальный нагрев в активной зоне составляет $\approx 800^{\circ}$ ($k_{11}=0.8$), при этом элементы конструкции дополнительного мультиплицирующего отражателя не нагреваются выше 20° . После расхолаживания, через 1400-1500 с температура всех зон реактора выравнивается. Показано, что в данной аварийной ситуации критсборка сохраняет свою работоспособность.

Расчет данной аварийной ситуации по обычной модели одного реактора кинетики реактора приводит к значительной погрешности в определении основных характеристик переходного процесса даже при небольших значениях коэффициента размножения мультиплицирующего отражателя. На рис.3 приведены для сравнения кривые изменения во времени температуры реактора, рассчитанные по модели 2-х реакторов (цифра 1) и по точечной модели (цифра 2) при коэффициенте размножения в реакторе с мультиплицирующем отражателе равном 0.6.

Отметим, что переходной процесс длительностью в 1000 с по времени рассчитывается с помощью разработанной компьютерной программы ≈ 270 с машинного времени на персональном компьютере типа IBM.

ВЫВОДЫ

Использование модели нейтронной кинетики N связанных реакторов позволяет значительно расширить область применимости точечного приближения в задачах анализа переходных процессов. Предлагаемые алгоритмы решения дифференциальных уравнений, описывающих нейтронную кинетику, дают возможность эффективно интегрировать системы "жестких" дифференциальных уравнений, описывающих нестационарные процессы в реакторных системах.

Разработанный программный комплекс РОКЕР может использоваться
решении задач анализа динамики сложных реакторных установок, синте-
алгоритмов оптимального управления ЯЭУ, при расчетном анализе про-
сов импульсной генерации нейтронов и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кипин Дж.Р. Физические основы кинетики ядерных реакторов. - М., Атомиздат, 1967.
2. Хетрик Д. Динамика ядерных реакторов. - М., Атомиздат, 1975.
3. Эйвери Р. В сб.: Тр. 2-ой Женевской конф. Изб. докл. иностр. ученых., т.3. - М., Атомиздат, 1958, стр.321.
4. Колесов В.Ф., Петров Ю.В., Штарев С.К. Кинетика системы связанных импульсных реакторов. - "Атомная энергия", т.39, вып.6, 1975.
5. Гулевич А.В., Зродников А.В. Быстрое интегрирование уравнений кинетики реактора в задачах с большими возмущениями реактивности. - "Атомная энергия", т.67, вып.4, 1989.
6. Гулевич А.В., Еловский О.А., Зродников А.В., Кухарчук О.Ф. Математическое моделирование нестационарных процессов при аварии с разгоном критсборки на мгновенных нейтронах. Нейтронно-физические проблемы безопасности ядерно-энергетических установок. Тезисы докладов 6-ого Всесоюзного семинара по проблемам физики реакторов. Москва, 4-8 сентября 1989 г. - ШНИАтоминформ, 1989, стр.15.
7. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. - М., "Наука", 1984, стр.662.
8. Gregory M.V., Aviles B.N., Yakura S.J. A three-dimensional neutronics model for reactor training simulators. - Nucl. Sci. and Engrg, 1986, v.92, N.3, p.372-381.
9. Баяковский Д.М., Галактионов В.А., Михайлова Т.Н. Графор. Графическое расширение Фортрана. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1985.

10. Тарасов В.А., Даруга В.К., Луков А.В. и др. Определение $k_{эф}$ критической сборки БЭС-40 с использованием различных программ и систем констант. - ВАНТ, серия Ядерные константы, вып. 4 (43), 1981, стр. 13.
11. Франк-Каменецкий А.Д. Аннотация программного комплекса МИКФК для расчета реакторов методом Монте-Карло. - "Вопросы атомной науки и техники". Сер. Физ. и техн. яд. реакт., вып. 8 (21), 1981.
12. Казакова Л.Б. и др. Развитие функциональных возможностей комплекса программ ММКФК для моделирования переноса нейтронов и гамма-квантов. - Методы Монте-Карло в вычислительной математике и математической физике. Тезисы докладов VII Всесоюзного совещания. Новосибирск, 9-11.10.1985г., ВЦ СО АН СССР, 1985г.

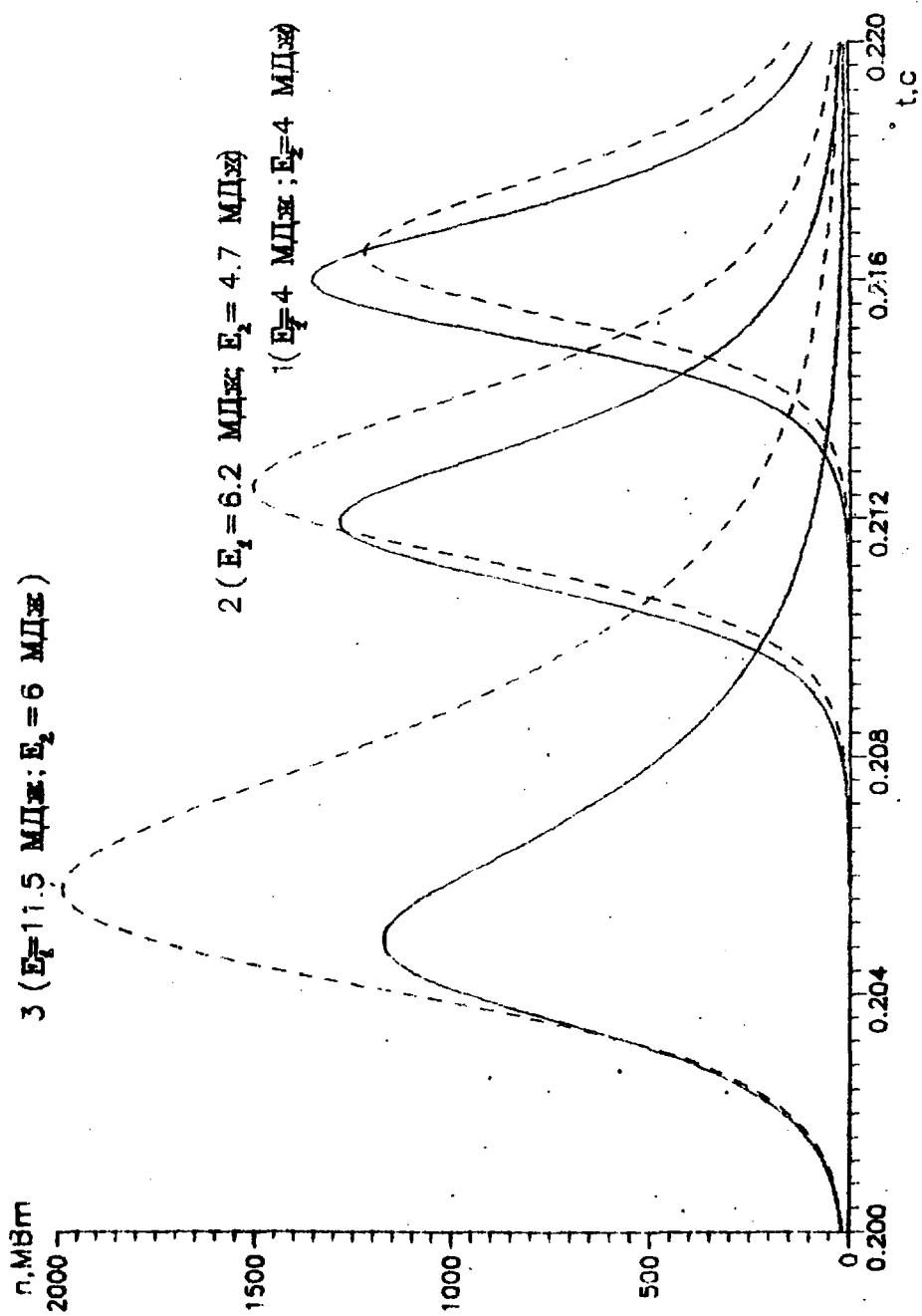


Рис. 1

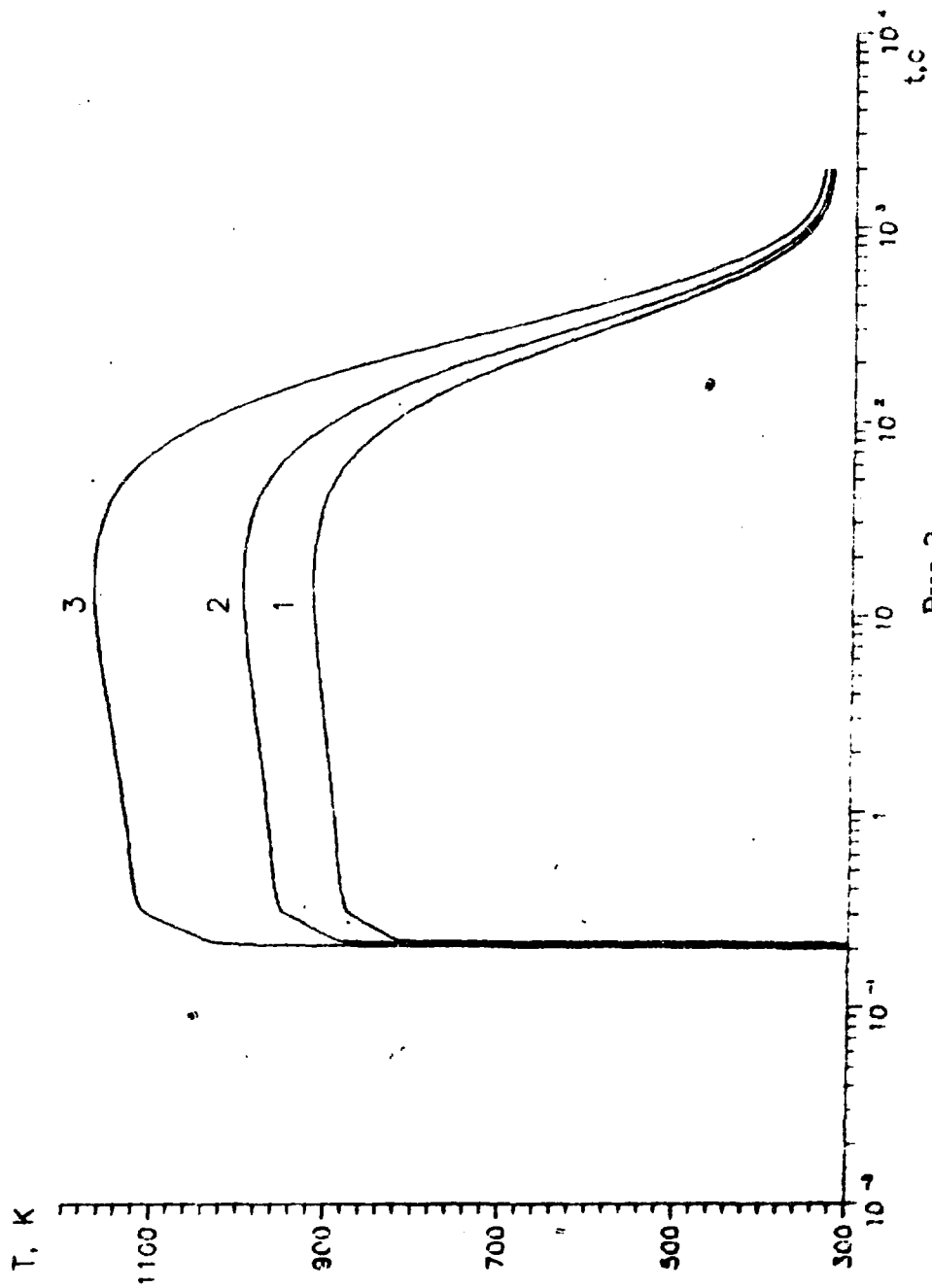


Рис.2

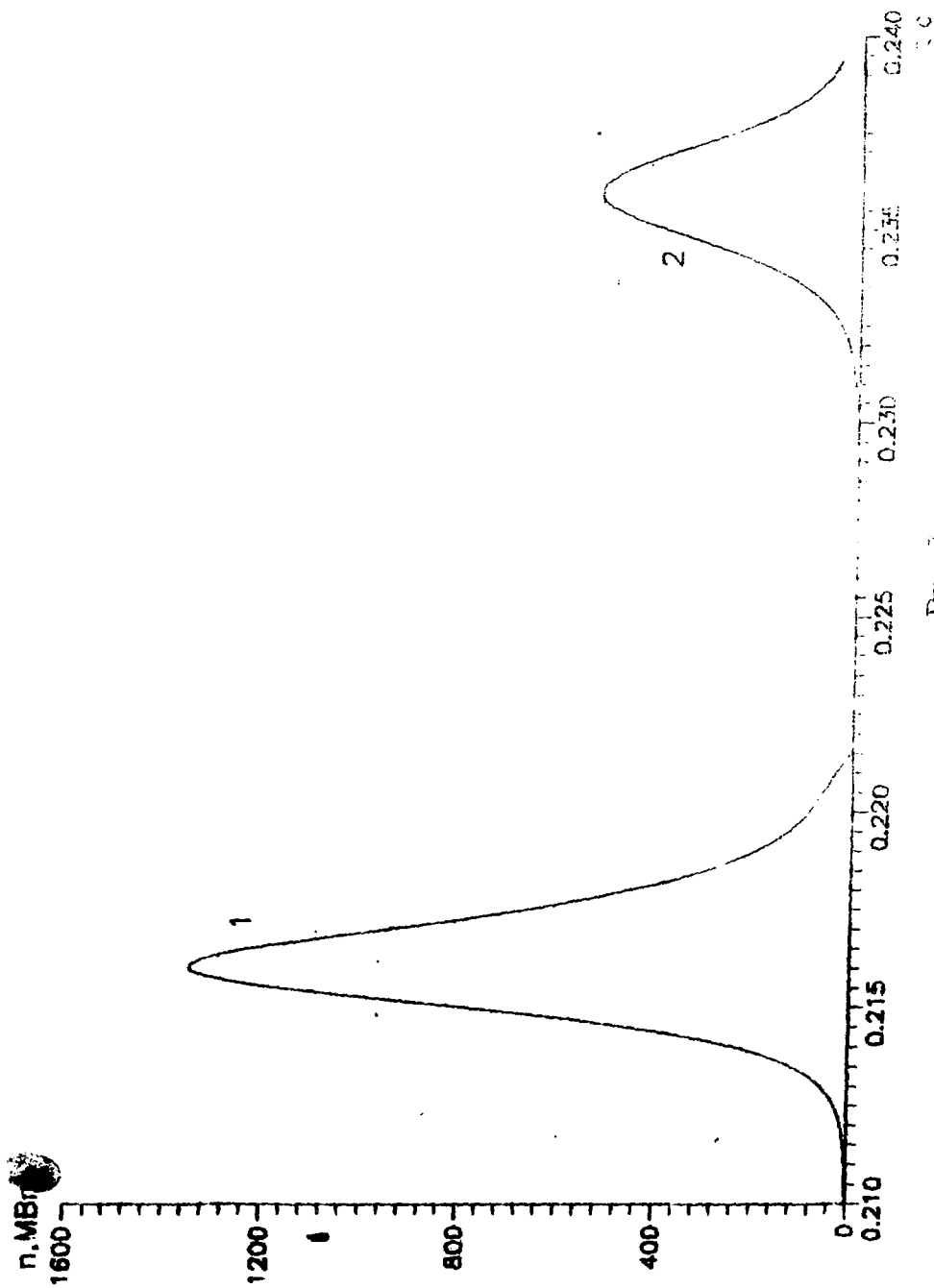


Figure 3

Технический редактор **Н. П. Герасимова**

Подписано к печати 27.03.1990 г. ТБ-03086 Бумага писчая № 1
Формат 60×90^{1/16} Усл. п. л. 1 Уч.-изд. л. 0,7 Тираж 85 экз.
Цена 14 коп. Индекс 3624 ФЭИ-2065

Отпечатано на ретапринте.
249020, г. Обнинск Калужской обл., ФЭИ

14 коп.

Индекс 3624

Комплекс программ FOKER для моделирования нестационарных процессов в системах связанных реакторов.

ФЭИ-2065. 1990. 1-16.