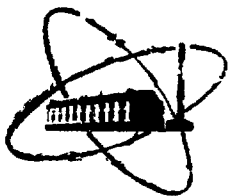


Скелетный



ФЭИ-1695



ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

*Г. П. ВЕСЕЛОВА, А. В. ГРАЧЕВ, Н. К. ИВАНОВА,
Ю. С. КАЛУНИКОВ, Ю. С. КУЛАБУХОВ, В. В. МАРКИН,
В. Р. ТРУБНИКОВ, П. А. ЯКУБОВ, И. В. ЯНОВСКАЯ*

**Измерительно-вычислительный комплекс на базе
многодатчиковой аппаратуры и ЭВМ „МЕРА-60“
для измерения параметров кинетики реактора
методом импульсного нейтронного источника**

УДК 681.32

Г. П. Веселова, А. В. Грачев, Н. К. Иванова, Ю. С. Канунников, Ю. С. Кулабухов, В. В. Маркин, В. Р. Трубников, П. А. Якубов, Н. В. Яновская.

Измерительно-вычислительный комплекс на базе многодатчиковой аппаратуры и ЭВМ «МЕРА-60» для измерения параметров кинетики реактора методом импульсного нейтронного источника.
ФЭИ-1695. Обнинск: ФЭИ, 1985. — 16 с.

Описывается измерительно-вычислительный комплекс на базе ЭВМ «МЕРА-60», предназначенный для реализации импульсного метода исследования при одновременной регистрации от многих детекторов. Дается описание математического обеспечения ЭВМ «МЕРА-60» для измерения реактивности и параметров кинетики реактора методом импульсного нейтронного источника.

Введение

Изучение поведения нейтронов в размножающих и замедляющих средах является актуальной задачей в прикладных реакторных исследованиях. Значительными возможностями при решении этой задачи обладает импульсный нейтронный метод, основанный на регистрации распределения нейтронного потока $\Phi(t)$ в различных местах изучаемой среды после воздействия на неё короткого нейтронного импульса. В качестве источников инициирующих нейтронных импульсов, как правило, используются импульсные нейтронные генераторы ИНГ. В представленной работе приводится описание аппаратной части измерительно-вычислительного комплекса (ИВК), предназначенного для измерения нейтронно-физических характеристик реактора импульсным нейтронным методом одновременно от 8 детекторов и математического обеспечения работы используемого ЭВМ для измерения поведения времени жизни и времени генерации нейтронов в зависимости от изменения реактивности.

I. Состав и назначение аппаратной части ИВК

На рис. I изображена блок-схема измерительно-вычислительного комплекса, обеспечивающего сбор и обработку экспериментальных данных.

В состав ЭВМ входят стандартные устройства ввода-вывода информации: пультовой терминал, фотосчитыватель (ФСЧ), перфоратор (ПР), накопитель на гибких магнитных дисках (НГМД), знако-мозаичное печатающее устройство **DZM-180 (LP)** и полупроводниковое ОЗУ ёмкостью 20К 16^{ТИ} - разрядных слов со временем доступа 500нс. Для организации ввода и представления экспериментальных данных к расширенному каналу ЭВМ "МЕРА-60" подключены дополнительно: инкрементный канал (ИК) и графический дисплей (ГД).

I.1. Инкрементный канал

Обеспечивает регистрацию и накопление в оперативной памяти ЭВМ данных при максимальной частоте входных событий до 175 кГц. Максимальный объём буфера, отводимый для накопления данных, составляет 8К 16^{ТИ} - разрядных слов и может задаваться программно (2К, 4К или 8К слов). Накопление можно осуществлять в 4сектора, на которые делится весь объём буфера. Номер сектора, куда будут поступать данные, задаётся программно из ЭВМ.

При работе ИК с многодатчиковой аппаратурой для накопления данных выбирается объём буфера, равный 4К слов. Деление буфера на секторы не производится. При регистрации каждого события на вход ИК поступает запрос на обслуживание и $12^{ТИ}$ - разрядный адрес. Полученный адрес достраиивается в ИК и формируется $16^{ТИ}$ - разрядный адрес ячейки памяти ЭВМ в соответствии с адресом области памяти, отведенной для накопления. Обмен данными между ИК и ОЗУ ЭВМ осуществляется в режиме прямого доступа к памяти (ПДП). По сформированному адресу происходит считывание данных из ОЗУ, к полученному числу добавляется "+1" и производится запись модифицированного числа в память по тому же адресу.

1.2. Графический дисплей

Представляет собой устройство, позволяющее отображать на экране бытового телевизора "Фотон-225" (диагональ экрана 61 см), графики в поле с дискретностью 256×256 и строку текста на 32 знако-места. Изображение графиков ограничено прямоугольной рамкой, строка текста располагается под рамкой. Вертикальная линия в поле графика служит визирной линией при работе с графиком. В строке текста указывается: начальный и конечный адрес отображенного графика, масштаб по оси ординат; номер канала, где в данный момент находится визирная линия и содержимое этого канала.

Графическая и служебная информация переписывается из ЭВМ в буферное полупроводниковое ЗУ дисплея, регенерация изображения делается автономно. Связь дисплея с ЭВМ осуществляется через программный канал либо по инициативе ЭВМ, либо в режиме прерывания по запросам от дисплея. В обоих случаях производится только запись новой графической и служебной информации в ЗУ дисплея.

1.3. Многодатчиковая аппаратура сбора данных предназначена для реализации импульсного метода исследования объектов при одновременной регистрации от многих детекторов.

Основные параметры:

- ширина канала - от 0,2 мкс до 200 с,
- число детекторных входов - 8,
- число каналов на 1 детекторный вход - 32, 64, ..., 512,
- разрешение по детекторным входам - 0,2 мкс.

Для обеспечения минимального искажения формы регистрируемого спектра используется промежуточное запоминание информации и режим равной экспозиции /2/. Промежуточное запоминание информации осуществ-

ляется по принципу "проталкивания" через последовательные ячейки памяти. На 8 детекторных входов отводится быстрая промежуточная память (ПП) на 12 слов со временем доступа 200 нс. Реализация режима равной экспозиции работы ПП исключает искажение формы спектра за счёт эффекта переполнения ПП. В момент регистрации каждого события производится кодирование временных интервалов от старта до момента прихода детекторных импульсов. На регистратор поступает $12_{ТИ}$ - разрядный адрес, в котором 9 разрядов используются для кодирования временных интервалов и 3 старших разряда для кодирования номера детектора.

В качестве источника инициирующих нейтронных импульсов используется импульсный нейтронный генератор. Сигнал запуска кодировщика временных интервалов и ИНГ формируется многодатчиковой аппаратурой через каждый интервал времени, определяемый выбранной шириной канала и заданным количеством каналов на каждый детектор. Время накопления информации задается таймером в диапазоне от 1 мин. до 200 мин.

1.4. Измерительный тракт

Включает счётчики типа СММ2 или СММ3, работающие в режиме коронного разряда; предварительный усилитель (ПУ) с коэффициентом усиления 300; интегральный дискриминатор (ИД) с диапазоном входных амплитуд от 10 мВ до 1000 мВ.

2. Математическое обеспечение

Экспериментальные исследования, проводимые на ИВК включают измерение методом импульсного нейтронного источника времени жизни и времени генерации нейтронов в зависимости от изменения реактивности, что необходимо для решения вопросов управления реактором. Программные средства, обеспечивающие данный эксперимент, включают служебные программы математического обеспечения системы RT-60 ЭВМ МЭРА-60, рабочие программы, программы обработки и тестовые программы. Программы написаны на макроассемблере, Фортране.

2.1. Рабочие программы

Программа ДА разрешает накопление экспериментальных данных по КПД в ЭВМ МЭРА-60, показ накапливаемых данных на графическом дисплее, сброс данных на дискеты в специфицированный файл. Программа L 2 считывает с дискеты специфицированный файл и заносит в оперативную память для показа на графическом дисплее.

Программа **PPEC** выводит данные, находящиеся в оперативной памяти ЭВМ МЕРА-60, на терминал (ТТ), печатающее устройство (LP), перфоратор (PP) по отдельным подпрограммам. Вывод на PP осуществляется в формате ЕС-ЭВМ.

2.2. Тестовые программы

Программа **TSTDX** проверяет правильность записи специфицированного файла данных на дискете, выводит файл на ТТ, на LP.

Программа **SPECTR** проверяет считывание данных с перфоленты (PR), с консоли терминала (ТТ), сбрасывает данные на дискету в специфицированный файл, считывает этот же файл с дискеты, распечатывает его на LP, показывает на ТТ определенное число каналов

2.3. Программы обработки

Программа **FONC** вычисляет фон экспериментальных данных из специфицированного файла, считанного с дискеты, начиная с канала N по канал M . Определение фона многократное, изменяя N и M .

Программа **REACT** вычисляет реактивность методом Шёстранда [3]. На рис.2 приведена блок-схема программы. Обозначения, принятые в программе:

KY(5I2) - массив исходных данных, хранящийся на дискете ;

Z(5I2) - массив с вычтенным фоном ;

N - размер временного распределения ;

K - номер канала, с которого начинается вычисление среднего по запаздывающим нейтронам ;

I - номер канала ;

SHAG - шаг изменения ;

DT - ширина канала ;

TI - время измерения ;

TM - мёртвое время ;

TK - время, в течение которого открыт канал во время измерения ;

V(I) - скорость счёта в I канале, поправленная на мёртвое время ;

X(I) = I · DT - текущее время относительно старта ;

ΣZ - интеграл по запаздывающим нейтронам ;

ΣM - интеграл по мгновенным нейтронам ;

R · $\frac{\Sigma M}{\Sigma Z}$ - истинная реактивность.

Программа **ALFA** вычисляет постоянную экспоненциального спада плотности мгновенных нейтронов во временном распределении. Блок-

схема программы приведена на рис.3. Общий вид зависимости (без учета переходного процесса)

$$y_i + FON = y_0 e^{-\alpha x} + FON. \quad (1)$$

В программе задаётся число обсчитываемых точек N , число отбрасываемых начальных точек NOT , диапазон изменения фона от $NF1$ до $NF2$ с шагом $STEPFON$.

После вычитания фона получится соотношение:

$$y_i = y_0 e^{-\alpha x}, \quad (2)$$

которое логарифмируется

$$\text{т.е. } y_i = \ln y_0 - \alpha x. \quad (3)$$

Соотношение (3) можно представить

$$y = b - \alpha x. \quad (4)$$

Коэффициенты a и b находятся по методу наименьших квадратов:

$$b_j = \frac{\sum_{i=NOT}^N y_i \sum_{i=NOT}^N x_i^2 - \sum_{i=NOT}^N x_i y_i \sum_{i=NOT}^N x_i}{(N-NOT) \sum_{i=NOT}^N x_i^2 - (\sum_{i=NOT}^N x_i)^2},$$

$$a_j = \frac{(N-NOT) \sum_{i=NOT}^N x_i y_i - \sum_{i=NOT}^N x_i \sum_{i=NOT}^N y_i}{(N-NOT) \sum_{i=NOT}^N x_i^2 - (\sum_{i=NOT}^N x_i)^2},$$

а также сумма модулей относительных ошибок

$$SIGMA_j = \sqrt{\frac{N \sum_{i=NOT}^N [y_i - a_j x_i - b_j]^2}{(N-2) (\sum_{i=NOT}^N x_i^2 - (\sum_{i=NOT}^N x_i)^2)}}.$$

$FONW$ менялось от $NF1$ до $NF2$ при шаге $STEPFON$. Каждому значению фона соответствуют значения a_j, b_j, d_j , из которых организуются массивы $A, B, SIGMA$. Затем находится $\min SIGMA$ и печатаются соответствующие $A(M), B(M), SIGMA(M), FON(M), \exp(B(M)), N, NOT$.

На рис.4 пунктирной линией показан соответствующий ход прямой. Если фон будет меньше истинного, то зависимость $y(x)$ будет иметь вид (2), если фон будет больше истинного (1), то зависимость будет иметь вид (3). Чем больше отклонение от истинного значения, тем больше должно быть $SIGMA_j$. После вывода данных ЭВМ запрашивает, продолжать ли счёт.

Программа **PLOG** вычисляет логарифм экспериментальных данных, хранящихся в виде массива в специфицированном файле на дискете. Логарифмирование производится поэлементно до первого неположительного элемента исходного массива. Полученный массив логарифмов домножается на 1000 (для просмотра на графическом дисплее). На экране терминала выводится номер канала, до которого шло логарифмирование, а результаты сбрасываются в специфицированный файл на дискету.

Программа **PSBF** вычитает из массива экспериментальных данных, хранящихся в специфицированном файле на дискете, заданную константу. Имя файла и константа вводятся с консоли терминала. Вычитание константы из массива происходит до тех пор, пока разность больше нуля. Как только разность ≤ 0 , оставшиеся элементы массива обнуляются. На экран терминала выводится номер последнего канала, где разность больше нуля. Полученный массив сбрасывается в специфицированный файл на дискету.

Программа **PSMF** вычитает из одного массива экспериментальных данных другой массив. Оба массива данных хранятся в специфицированных файлах на дискете. Вычитание происходит по алгоритму **PSBF**.

Программа **PSUM** суммирует два массива экспериментальных данных, хранящихся в специфицированных файлах на дискете, поэлементно. Имена файлов вводятся с консоли терминала. Если в результате суммирования происходит переполнение хотя бы в одном канале, на экране выводится сообщение об этом. Программой предусмотрена возможность дальнейшей обработки массива сумм: вычитание из него константы, либо массива и логарифмирование. Логарифмирование происходит по алгоритму программы **PLOG**. Полученный в результате массив сбрасывается в специфицированный файл на дискету, если в результате сложения переполнения нет. Блок-схема программы **PSUM** приведена на рис.5.

Программы **PSBF**, **PSMF**, **PLOG**, **PSUM** можно использовать для показа на экране графического дисплея промежуточных результатов перед вычислением по программе **ALFA**.

Программа **PSBR** - программа сборки по N элементов массива

$$R_1 = a_1 + a_2 + \dots + a_N$$

$$R_2 = a_{N+1} + a_{N+2} + \dots + a_{2N}, \dots$$

Имя файла с обрабатываемым массивом и шаг сборки вводятся с консоли терминала. По окончании работы программы на LP выводятся: имя обработанного файла, шаг сумм, количество полученных сумм и массив результатов. Блок-схема программы изображена на рис.6.

Программа $MVKPR$. По методу наименьших квадратов строится прямая (максимальное количество обчитываемых точек 50). Исходные данные вносятся с консоли терминала. В импульсных измерениях программа используется для определения $\alpha_{кр}$. Значение постоянной спада плотности мгновенных нейтронов в критическом реакторе ($\alpha_{кр}$) определяется путем экстраполяции из подкритического состояния реактора на графике зависимости постоянной спада от реактивности. По оси абсцисс откладываются значения реактивности в единицах β , измеренные методом Шёстранда, а по оси ординат - соответствующие значения постоянной спада, полученные из тех же временных распределений отсчётов, что и реактивность при соответствующих состояниях физической сборки. Программой предусмотрена возможность построения уравнения графика с учётом статистического веса данной точки. С терминала задаётся значение среднеквадратичной ошибки (σ_i) данной точки, программа вычисляет статистический вес данной точки $w_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$. Критерием правильности определения постоянной спада мгновенных нейтронов является условие пересечения прямой графика зависимости постоянной спада от реактивности с осью абсцисс в точке $+\beta$, что следует из формулы Симонса-Кинга:

$$\frac{\rho}{\beta} = 1 - \frac{\alpha}{\alpha_{кр}}$$

- $\frac{\rho}{\beta}$ - реактивность реактора в единицах β ;
- β - эффективная доля запаздывающих нейтронов;
- α - постоянная спада основной гармоника плотности мгновенных нейтронов.

Среднеквадратические ошибки коэффициентов прямой графика $y = Ax + B$ вычисляются по формулам:

$$ASIGMA = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [y_i - (B + Ax_i)]^2}{N-2} \cdot \frac{N}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}}$$

$$BSIGMA = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [y_i - (B + Ax_i)]^2}{N-2} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}}$$

$$CSIGMA = |C| \sqrt{\left(\frac{ASIGMA}{A}\right)^2 + \left(\frac{BSIGMA}{B}\right)^2},$$

где $C = -\frac{A}{B}$ - точка пересечения прямой с осью абсцисс.
Кроме этого вычисляется коэффициент корреляции [4]

$$COR = A \cdot \sqrt{\frac{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2}{N \sum_{i=1}^N Y_i^2 - (\sum_{i=1}^N Y_i)^2}}.$$

Если он близок к 1, то это подтверждает, что зависимость является линейной. На существование линейности указывает и вычисляемое условие (с вероятностью 0,95 и при достаточно большом N)

$$|COR| - \frac{1.96 \cdot (1 - COR)^2}{\sqrt{N}} > 0$$

Если это условие не выполняется, то линейная зависимость либо отсутствует, либо зависимость нелинейная.
Блок-схема программы приведена на рис.7.

Заключение

Работоспособность измерительно-вычислительного комплекса на базе многодатчиковой аппаратуры и ЭВМ МЭРА-60 была проверена на одном из физических стендов ЭЭМ. Эксплуатация ИВК в течение года показала его высокую надежность и возможность использования не только для импульсных, но и других методов исследования физических стендов без ввода дополнительной аппаратуры.

Информационная ёмкость 2х дискет, вставляемых в НГМД ЭВМ, достаточна для всего набора программ обработки и экспериментальных данных. Применение графического дисплея с большим размером экрана позволяет в некоторых случаях исключить необходимость использования графопостроителя.

Накопление экспериментальных данных через инкрементный канал, работающий в режиме прямого доступа к памяти, позволило существенно уменьшить мертвое время регистратора по сравнению с накоплением по программному каналу ЭВМ. При накоплении процессор используется только для периодического (примерно 1 раз в секунду) обновления информации в ЗУ графического дисплея, что позволяет вести визуальный контроль за ходом эксперимента.

Некоторые трудности при разработке математического обеспечения создает использование оперативной памяти ЭВМ для хранения экспериментальных данных. В дальнейшем предполагается использование многодатчиковой аппаратуры совместно с запоминающим устройством, расположенным в крейте КАМАК, что позволит устранить указанный недостаток.

Список литературы

1. A. Bergström et al. In "Pulsed Neutron Research" - Vienna, IAEA, VII. 357, 1965.
2. Грачёв А.В., Тимохин Л.А. Система сбора и обработки данных на основе устройства отображения Кварц-2. - В кн.: II Всесоюзное совещание по автоматизации научных исследований в ядерной физике. Алма-Ата, 1978.
3. Стумбур Э.А., Матвеев И.П., Шокодько А.Г. - В кн.: Теоретические и экспериментальные проблемы нестационарного переноса нейтронов. Сб. статей под редакцией проф. В.В. Орлова и докт. физ.-мат. наук Э.А. Стумбура. - М.: Атомиздат, 1972.
4. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. - М.: Высшая школа, 1978.

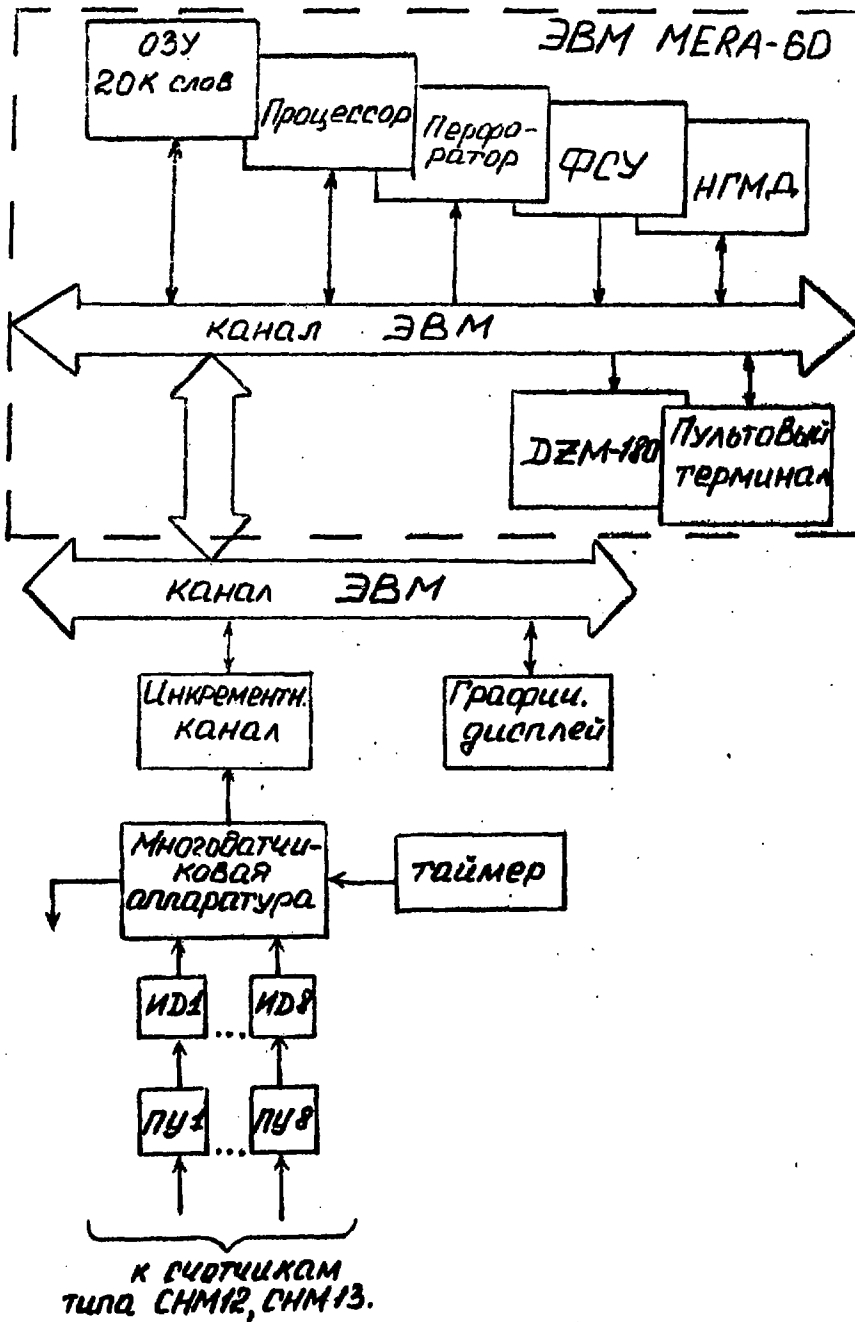


Рис. 1 Блок-схема ЦВК.

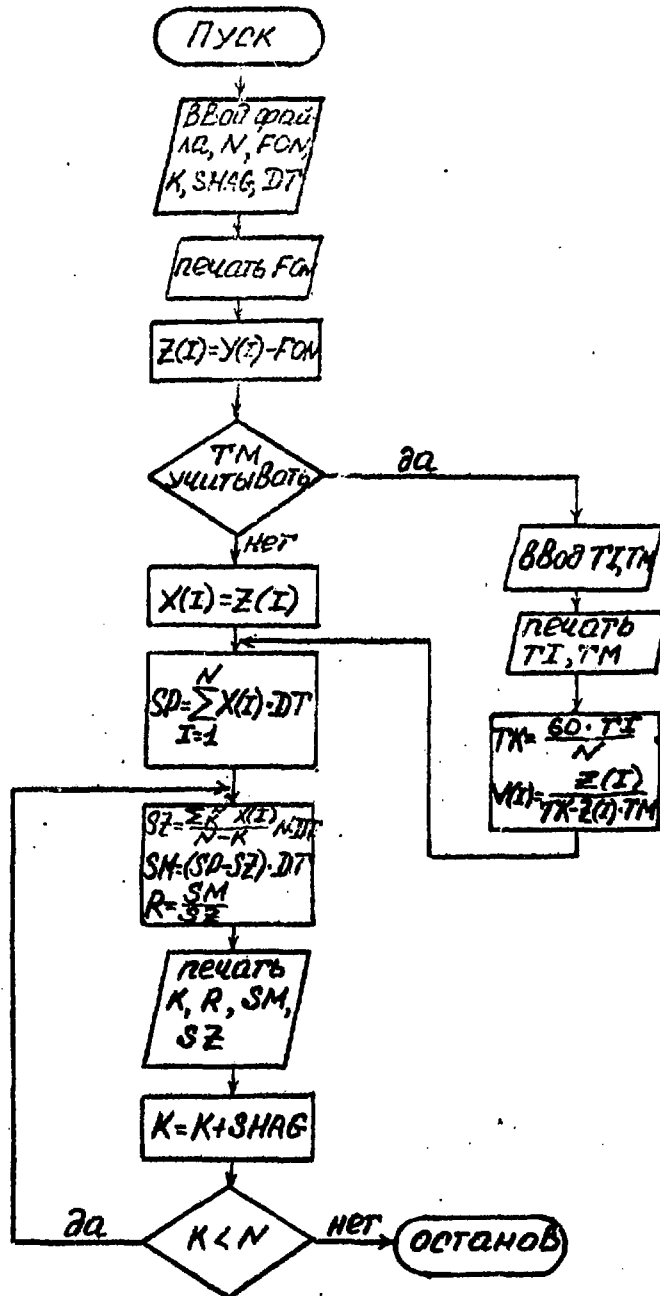


Рис. 2 Блок-схема программы REACT.

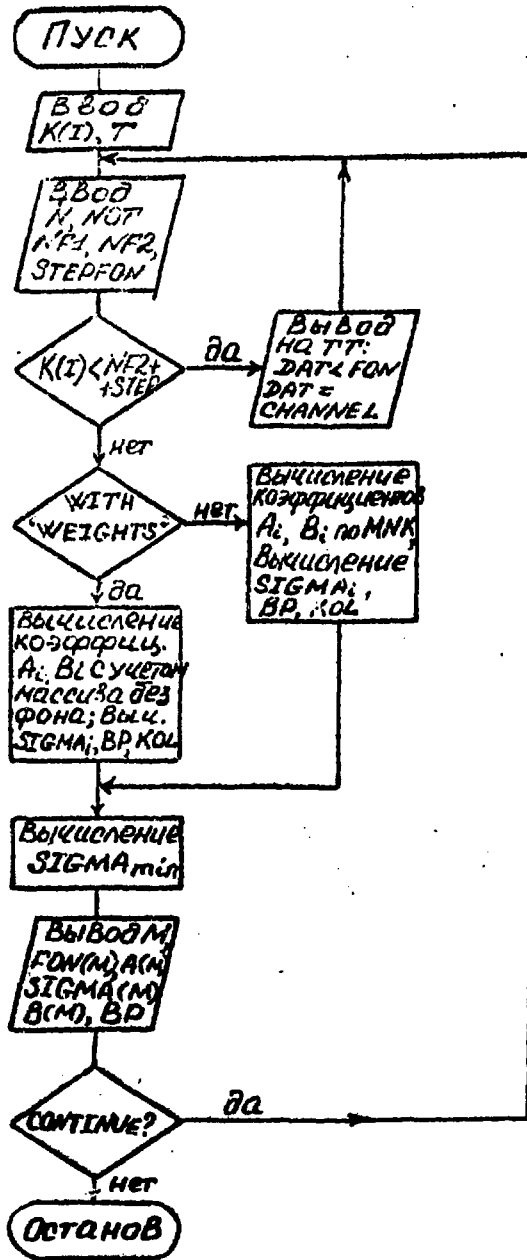


Рис. 3. Блок-схема программы АЛФА.

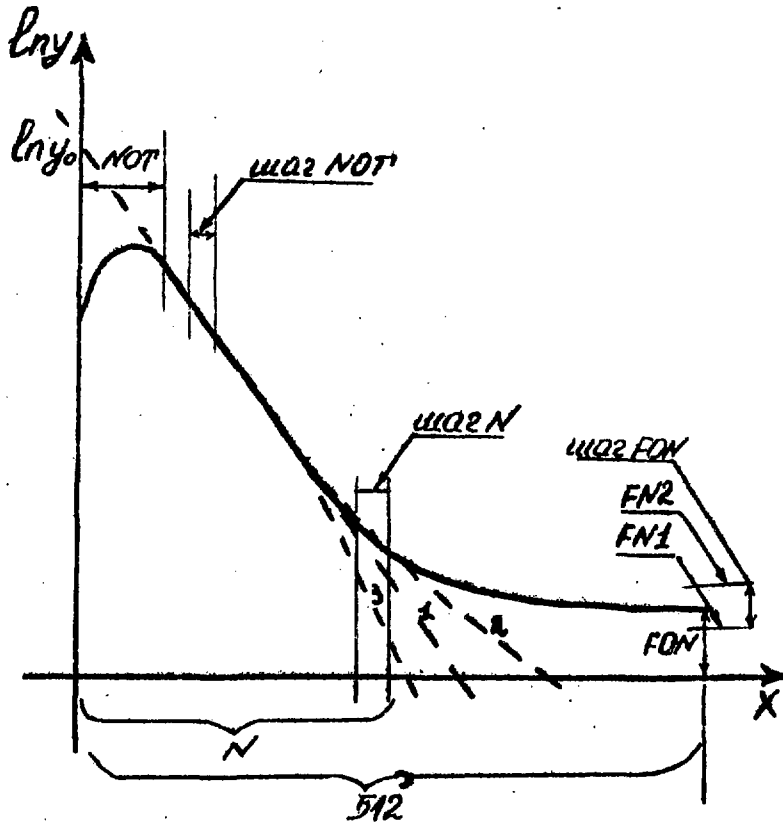


Рис. 4 Временное распределение.

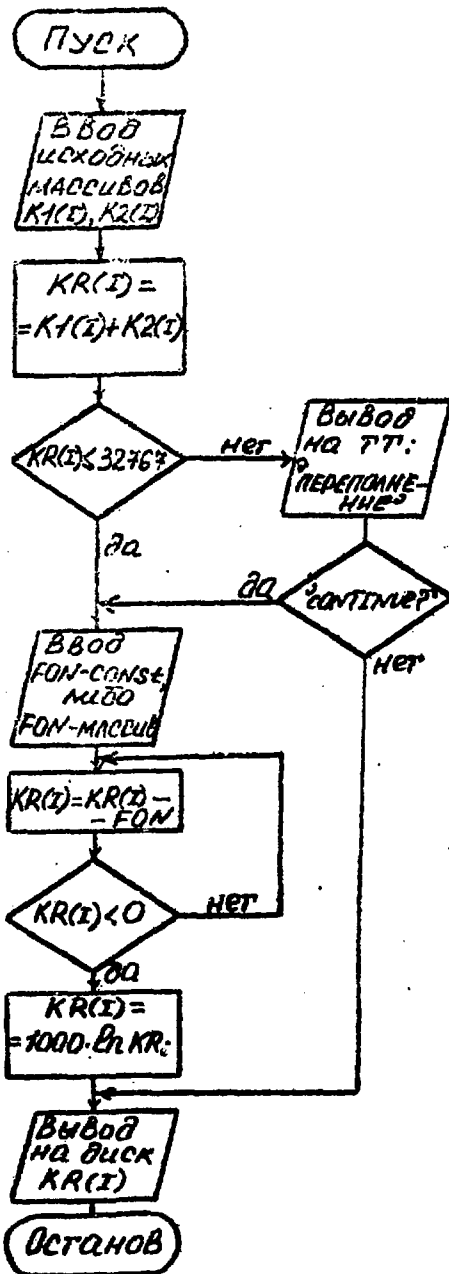


Рис. 5 Блок-схема программы PSUM

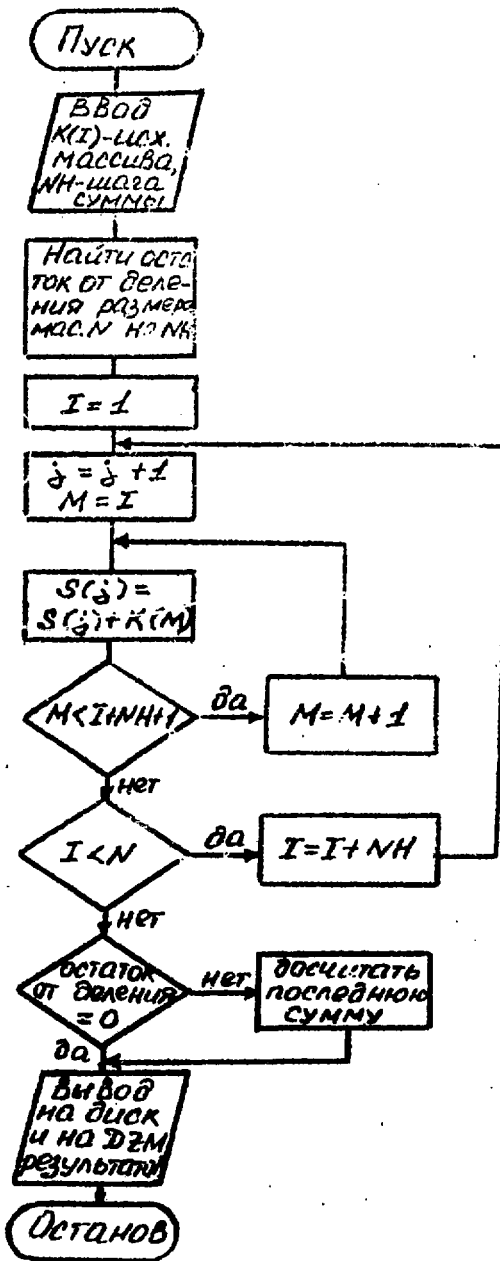


Рис. 6 Блок-схема программы PSBR.

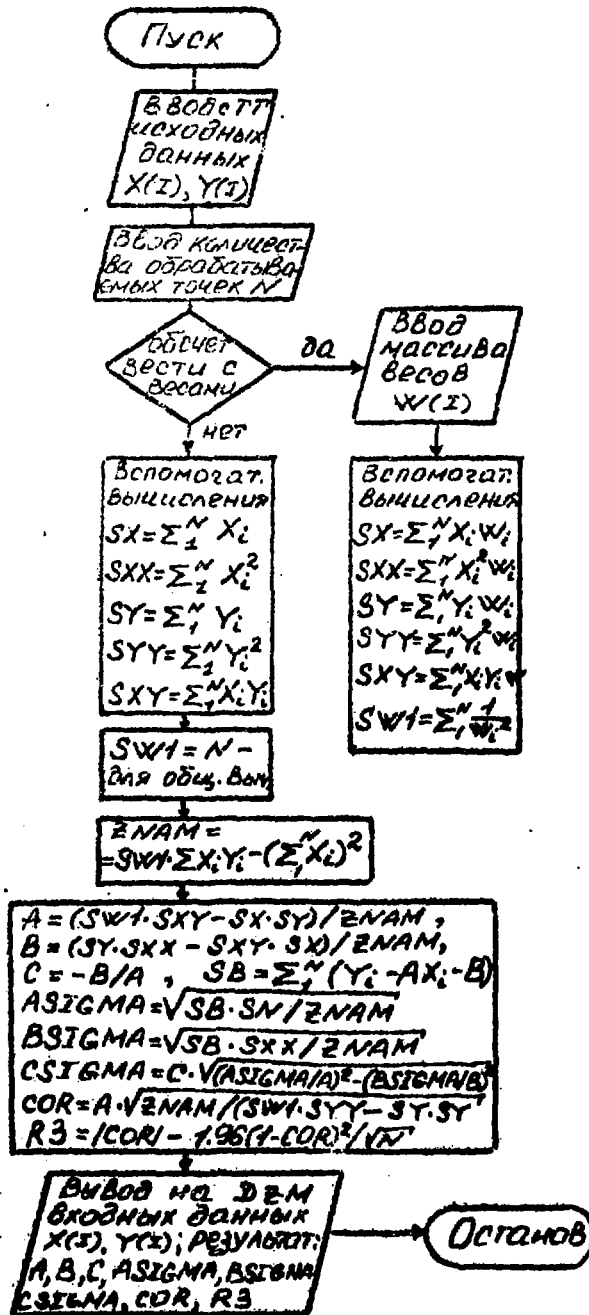


Рис. 7. Блок-схема программы MNKPR.

Технический редактор **Н. П. Герасимова**

Подписано к печати 17.04.1985 г. Т-09377 · Формат 60×90^{1/16}
Офсетная печать Усл. п. л. 1 Уч.-изд. л. 0,7 Тираж 115 экз.
Цена 11 коп. ФЭИ-1695 Индекс 3624

Отпечатано на ротапринтере ФЭИ, г. Обнинск

11 коп.

Индекс 3624

Измерительно-вычислительный комплекс на базе многодатчиковой аппаратуры и ЭВМ «Мера-60» для измерения параметров кинетики реактора методом импульсного нейтронного источника.

ФЭИ-1695, 1985, 1-16.