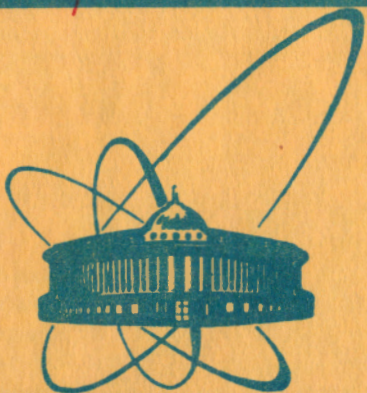


1638/82

5/11-82



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

10-81-830

Хоанг Као Зунг

ПОДПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ  
И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ  
КРИОГЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ  
ДЛЯ ЭВМ ТРА-70

1981

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Описанные ниже подпрограммы составлены для ЭВМ ТРА-70 и применяются для управления и обработки результатов измерений, которые производятся при исследовании свойств сверхпроводников. Подпрограммы написаны на языке АССЕМБЛЕР/1/, они используют пакет библиотечных подпрограмм версии LM-0005-V0100<sup>2/</sup>, который входит в состав математического обеспечения ЭВМ ТРА-70. Следует отметить, что ЭВМ ТРА-70 имеет 16К слов оперативной памяти, длина слова 16-разрядная.

При составлении подпрограмм учитываются особенности работы ЭВМ с крейтом КАМАК, в котором находится электронная аппаратура. Главное внимание уделяется сокращению до минимума времени, затрачиваемого на анализ полученных данных и на выдачу команд управления.

## 2. ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КРИОГЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Измерение температуры является одной из актуальных задач криогенных экспериментов. В качестве термодатчиков обычно используют угольные резисторы фирмы Аллен-Бредли<sup>3/</sup>. Вычисление величины температуры производится по формуле

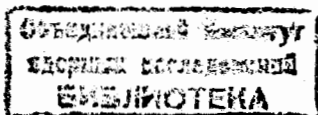
$$T = \left[ \sum_{k=-m}^m C_k (\ln R)^k \right]^{-1}, \quad /1/$$

где R - сопротивление терморезисторов Аллен-Бредли;  $C_k$  - константы, соответствующие применяемым терморезисторам.

Число m, величина которого обычно не превышает 3 /при m > 3 точность вычисления увеличивается незначительно/, должно быть задано в двоичном коде. Остальные исходные данные представлены в нормализованной форме с плавающей запятой<sup>2/</sup>.

Подпрограмма вычисления температуры имеет название TEMPO и составлена в виде отдельного стандартного сегмента<sup>1,2/</sup>. Она занимает 94 слова оперативной памяти. Максимальное время ее выполнения составляет  $(3,5+m)$  мс. Алгоритм подпрограммы представлен на блок-схеме /рис.1/.

Перед выполнением подпрограммы величина R должна находиться в стеке, остальные - в области памяти, адрес первой ячейки которой хранится в аккумуляторе AC2. Расположение данных в этой области памяти таково: число m, константа  $C_0$ , константы  $C_1$  и  $C_{-1}$



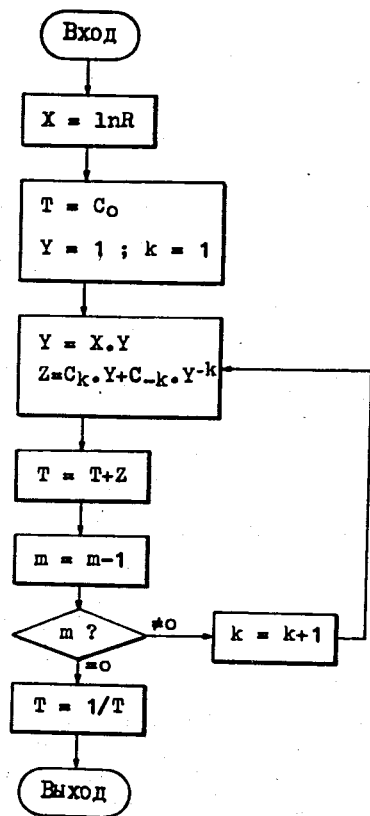


Рис.1. Блок-схема алгоритма подпрограммы TEMPO.

и т.д. Результат вычисления хранится в стеке в нормализованной форме с плавающей запятой.

Подпрограмма TEMPO была использована при проведении стендовых испытаний сверхпроводников для измерений криогенной температуры<sup>/3/</sup>, потерь энергии<sup>/4/</sup>, теплоемкости и теплопроводности сверхпроводников<sup>/5/</sup>. В этих случаях для вычисления температуры использовались более простые формулы:

$$T = \frac{\lg R}{(K_1 \lg R + K_2)^2}, \quad /2/$$

$K_1$  и  $K_2$  - константы, или

$$T = \frac{B}{\lg R + \frac{K}{\lg R}} - A, \quad /3/$$

$A$ ,  $B$  и  $K$  - константы.

Формулы /2/ и /3/ являются лишь частными случаями формулы /1/ с числом  $m=1$ .

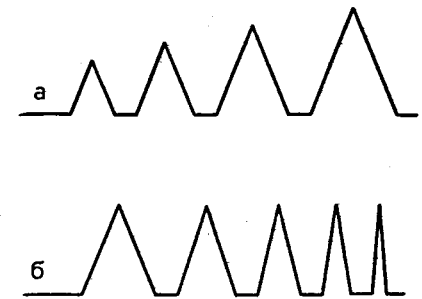
Кроме того, подпрограмму TEMPO можно применять и при калибровке резисторов Аллен-Бредли /вычисление температуры производится с  $m=3$  /.

### 3. УПРАВЛЕНИЕ ПРОГРАММАТОРОМ

Для автоматизации процессов исследования свойств сверхпроводников был создан программатор источника тока<sup>/6/</sup>, который может работать автономно. В этом режиме работы он генерирует импульсы напряжения с постоянными амплитудой и скоростью нарастания/спада. В режиме управления программатором от ЭВМ эти параметры можно изменить после каждого генерируемого импульса напряжения.

Подпрограмма, написанная для управления программатором от ЭВМ ТРА-70, задает значения амплитуды и скорости нарастания/спада выходных импульсов напряжения перед каждым запуском программатора. Подпрограмма имеет название PROPAP и занимает

Рис.2. Форма сигнала на выходе программатора, управляемого от ЭВМ: а/ с линейно возрастающей амплитудой; б/ с линейно возрастающей скоростью нарастания/спада.



36 ячеек оперативной памяти. Время выполнения подпрограммы составляет 60 мкс.

Исходные данные для подпрограммы задаются в двоичном коде и записываются в области памяти, адрес первой ячейки которой запоминается в аккумуляторе АС4. Расположение исходных данных следующее: приращение амплитуды, приращение скорости нарастания, приращение скорости спада выходных импульсов.

С помощью подпрограммы PROPAP на выходе программатора получена серия импульсов с линейно изменяющейся амплитудой /рис.2а/ и/или с линейно изменяющейся скоростью нарастания/спада /рис.2б/.

### 4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ТЕПЛОЕМКОСТИ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

В состав программного обеспечения системы измерений теплопроводности и теплоемкости сверхпроводников<sup>/5/</sup> входят подпрограммы обработки результатов измерений. Подпрограммы выполняют следующие операции:

1/ быстрое слежение за изменением температуры;

2/ вычисление величины теплопроводности  $\lambda$  и теплоемкости  $C$  по формулам

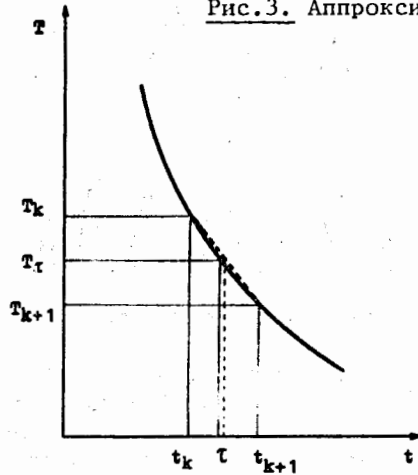
$$\lambda = \frac{l}{F} \cdot \frac{Q}{T_M - T_0}, \quad /4/$$

$$C = 0,2 \cdot \frac{F}{l} \lambda \cdot \tau, \quad /5/$$

где  $l$  - длина сверхпроводящего образца;  $F$  - его поперечное сечение;  $Q$  - мощность, выделяемая нагревателем;  $T_0$  - температура, поддерживаемая постоянной на одном конце образца;  $T_M$  - максимум температуры на другом конце образца;  $\tau$  - время, за которое температура  $T$  на конце образца падает от  $T_M$  до  $T_r = 0,5(T_M - T_0)$ .

Измерение температуры производится с помощью терморезисторов Аллен-Бредли, которые запитываются постоянным током 100 мкА. Падение напряжения  $U$  на терморезисторах измеряется аналого-

Рис.3. Аппроксимация измерения времени  $\tau$ .



цифровым преобразователем/АЦП/ [7]. По значению  $U$  определяется величина сопротивления  $R$  терморезисторов. Соответствующее значение температуры вычисляется по формуле [3] с помощью подпрограммы TEMPO.

Для повышения точности измерения времени  $\tau$  необходимо точно определить момент, когда  $T = T_r$ . Однако на практике наиболее вероятен случай, когда  $T$  переходит значение  $T_r$  и измеряемая величина  $T < T_r$ . В этом случае осуществляется следующая аппроксимация.

Для каждого измерения  $T_k$  запоминается соответствующее значение времени  $t_k$ . Если в  $(K+1)$ -м измерении температура величина  $T_{k+1} > T_r$ , то отбрасывается старое значение  $t_k$  и запоминается новое  $t_{k+1}$ . Если  $T_{k+1} < T_r$ , то изменение температуры в интервале от  $T_k$  до  $T_{k+1}$  считается линейным и время  $\tau$  определяется по формуле

$$\tau = t_{k+1} - \frac{T_{k+1} - T_r}{T_{k+1} - T_k} (t_{k+1} - t_k). \quad /6/$$

Иллюстрация этого процесса представлена на рис.3. Для того чтобы аппроксимация более точно отражала реальное изменение температуры, необходимо уменьшить время между двумя измерениями  $(t_{k+1} - t_k)$  до минимального значения. С этой целью осуществляется слежение не за изменением вычисленного значения температуры  $T$ , а за изменением величины падения напряжения  $U$  на терморезисторе, так как время вычисления  $T$  составляет несколько миллисекунд /см. раздел 2/, что значительно больше времени измерения  $U/40$  мкс [7].

Подпрограмма, которая осуществляет измерение  $U, t$  и сравнение  $U$  с  $U_r$ , занимает 25 ячеек оперативной памяти. Время ее выполнения составляет 45 мкс.

Величина  $R_r$ , по которой определяется  $U_r$ , вычисляется по данному значению  $T_r$  подпрограммой RESIST. Формула расчета получается из выражения [1] для случая  $m=1$ :

$$R = \exp \left\{ \frac{1}{2C_1 T} \left[ (1 - C_0 T) + \sqrt{(1 - C_0 T)^2 - 4C_1 C_{-1} T^2} \right] \right\}. \quad /7/$$

Исходные данные для подпрограммы RESIST заданы в нормализованной форме с плавающей запятой. Величина  $T$  находится в стеке. Аккумулятор AC2 содержит адрес первой ячейки области памяти, где хранятся константы  $C_0, C_1$  и  $C_{-1}$ . Результат вычисления хранится в стеке.

Подпрограмма RESIST занимает 80 слов памяти. Максимальное время ее выполнения равно 9,6 мкс. Подпрограмма составлена в виде отдельного стандартного сегмента и может найти применение при калибровке резисторов Аллен-Бредли.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Написанные для ЭВМ ТРА-70 подпрограммы были разработаны для решения отдельных задач управления и обработки результатов криогенных измерений. Наиболее часто применяемые подпрограммы /TEMPO, RESIST, PROPAR / составлены в виде стандартных сегментов, что позволяет включить их в состав программного обеспечения систем комплексных измерений параметров сверхпроводников, которые работают на линии с ЭВМ ТРА-70.

В заключение автор выражает глубокую признательность И.Ф.Колпакову и В.А.Смирнову за поддержку работы и полезные советы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ТРА-70, Assembler, KFKI, 1974.
2. ТРА-70, Floating Point Mathematical Subroutine Package, KFKI, 1974.
3. Нгуен Вьет Зунг и др. ОИЯИ, 10-10523, Дубна, 1977.
4. Хоанг Као Зунг, Хованец Ф., Яншак Л. ОИЯИ, 10-12316, Дубна, 1979.
5. Herzog R., Hoang Cao Zung, Janshak L. In: X Int. Symp. on Nucl. Electr., 10-16 April 1980, Dresden, GDR, p.54-56.
6. Хоанг Као Зунг, Яншак Л. ОИЯИ, P13-81-101, Дубна, 1981.
7. Басиладзе С.Г., Маньяков П.К. ОИЯИ, 13-11680, Дубна, 1978.
8. Менке Х., Цвинева Г.П. ОИЯИ, P8-9055, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 декабря 1981 года.