

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



Ц 8481 + с 3458  
И-653 3480 | 2-78

21/VIII-78  
10 - 11512

В.Д.Инкин, В.П.Николаев, А.В.Смирнов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
АЛГОРИТМА ПРЯМОГО ПОИСКА  
В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ФОКУСИРОВКОЙ ПУЧКА  
В ЛИНЕЙНОМ ИНДУКЦИОННОМ УСКОРИТЕЛЕ  
"СИЛУНД"

**1978**

10 - 11512

В.Д.Инкин, В.П.Николаев, А.В.Смирнов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

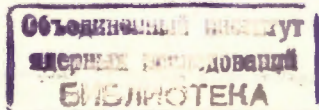
АЛГОРИТМА ПРЯМОГО ПОИСКА

В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

ФОКУСИРОВКОЙ ПУЧКА

В ЛИНЕЙНОМ ИНДУКЦИОННОМ УСКОРИТЕЛЕ

"СИЛУНД"



Инкин В.Д., Николаев В.П., Смирнов А.В.

10 - 11512

Использование алгоритма прямого поиска в системе автоматического управления фокусировкой пучка в линейном индукционном ускорителе "СИЛУНД"

В работе приводится описание системы автоматического управления фокусирующим магнитным полем линейного индукционного ускорителя "СИЛУНД", работающей на линии с ЭВМ ТРА/1, алгоритма программы фокусировки тока в ускорителе и экспериментальных результатов, полученных в процессе настройки магнитного поля. Величина тока на выходе ускорителя после автоматической фокусировки не меньше обычного рабочего значения, получаемого в ручном режиме.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Inkin V.D., Nikolaev V.P., Smirnov A.V.

10 - 11512

The Use of a Straight Search Algorithm in a System of Automatic Control in Linear Induction Accelerator "SILUND"

An automatic control system of the focusing magnetic field of the linear induction accelerator "SILUND" operating on-line with the TPA/1 computer is described as well as the program algorithm of current focusing at the accelerator output and experimental results obtained when checking out the magnetic field. The current value on the accelerator output after automatic focusing is not less than the usually obtained for manual mode.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В сильноточном линейном индукционном ускорителе "СИЛУНД" фокусировка пучка электронов осуществляется продольным соленоидальным магнитным полем. Регулировка величины поля в 5 секциях ускорителя производится посредством изменения задержки запуска тиристорных коммутаторов относительно пучка /4/. Настройка оператором величины магнитного поля в секциях в основном заключается в подборе такого значения задержек в цепях запуска коммутаторов, при которых ток на выходе ускорителя оптимальный. Аппаратура управления фокусирующим магнитным полем, работающая на линии с ЭВМ, обеспечивает выполнение функций по настройке величин поля в 5 секциях ускорителя в некотором заданном режиме работы ускорителя. Роль оператора сводится к заданию требуемого режима и участию в устранении аварийных ситуаций. Такой способ организации управления предполагает автоматическую настройку на заданный режим с оптимизацией основных параметров процесса. Решение задачи оптимизации многопараметрических систем сводится, как правило, к поиску экстремума функционала, называемого функцией качества управляемой системы. В нашем случае функция качества - ток пучка на выходе ускорителя и решается задача отыскания максимума этого тока. Интенсивно развивающиеся в последнее время методы прямого поиска экстремумов многопараметрических функционалов позволяют решать данную задачу по достаточно простым алгоритмам, реализация которых возможна на малых ЭВМ при практически приемлемых временах поиска решения.

## 2. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ

Блок-схема системы управления фокусирующим полем приведена на рис. 1. Аппаратура управления выполнена в стандарте КАМАК. На входы управляемых задержек типа О51<sup>3/</sup> поступают сигналы с синхронизатора ускорителя через разветвитель типа О55. Диапазон регулировки задержек  $\sim 2^{16} \cdot 1/0,1$  мкс с шагом 0,1 мкс.

С выхода задержек сигналы поступают на входы системы формирования фокусирующего магнитного поля<sup>4/</sup>. Длительность импульса тока на выходе ускорителя  $\sim 20$  нс. Минимальная длительность импульсов, которую можно измерять с помощью 1024-канального АЦП JCAN-40, равна 250 нс. Поэтому сигнал, пропорциональный току на выходе 5-й секции ускорителя, снимаемый с пояса Роговского, после предварительного ослабления поступает на вход специально разработанного дифференциального расширителя импульсов; сигнал с выхода расширителя измеряется АЦП. Параметры расширителя: диапазон амплитуд расширяемых импульсов  $0 \div \pm 5$  В, длительность импульса на входе  $\geq 10$  нс, длительность на выходе  $> 500$  нс, интегральная нелинейность  $\leq 3\%$  в диапазоне входных сигналов  $1 \text{ В} \div 5 \text{ В}$ . Информация из АЦП считывается в ЭВМ ТРА-1. Выбор режима работы системы осуществляется с телетайпа. Процесс настройки фокусирующих полей отображается на телетайпе.

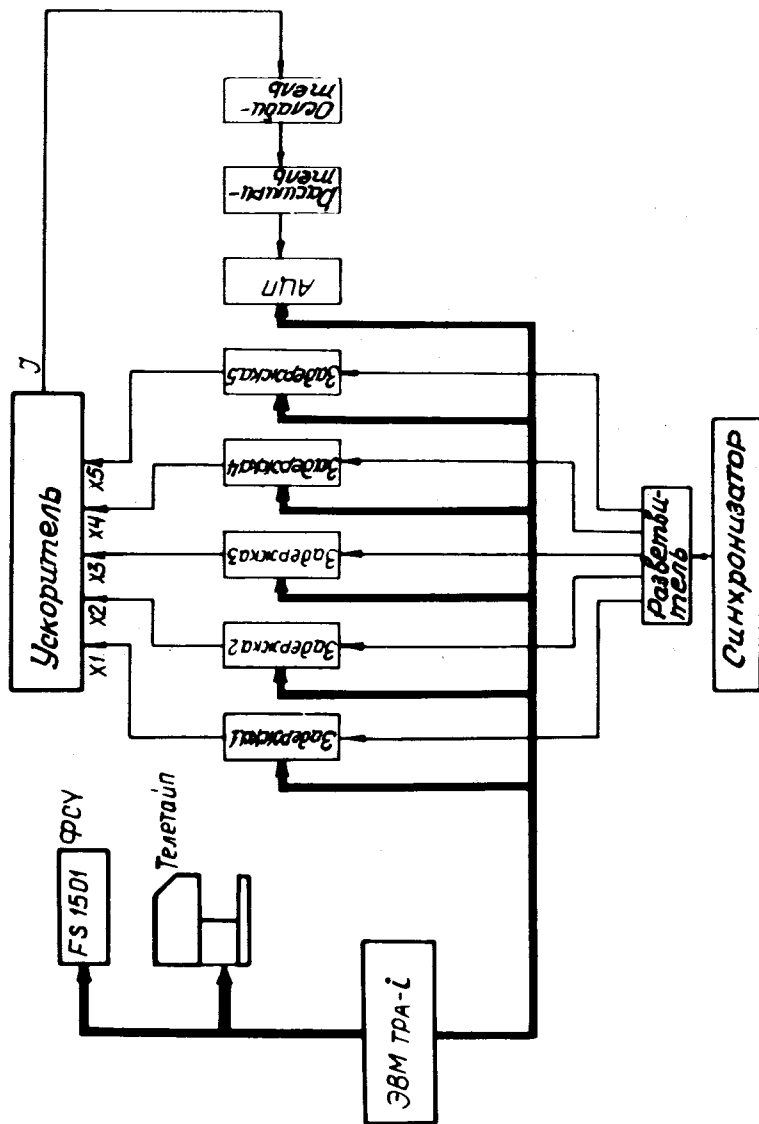


Рис. 1. Блок-схема системы управления фокусирующим полем.

## 3. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА РАБОТЫ ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ ФОКУСИРУЮЩИМ ПОЛЕМ

Пусть  $I$ , ток на выходе ускорителя, есть неизвестная функция 5 переменных:  $x_1, x_2, \dots, x_5$ , где переменными являются значения задержек в цепи запуска коммутато-

ров системы формирования фокусирующего магнитного поля. Поиск оптимального набора рабочих условий /  $\vec{x}^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_5^*)$  / проводится по циклам, начиная с некоторого начального набора значений  $\vec{x}^{(1)}$ . Изменение набора значений  $\vec{x}$  осуществляется следующим образом /индекс при векторе  $\vec{x}_k^{(n)}$  указывает порядок проведения изменения, индекс в круглых скобках означает номер цикла,  $\delta_k^{(n)}$  - шаг изменения величины  $x_k^{(n)}$  /:

Порядок	Векторное обозначение	Отклик
0 $[x_1^{(n)} - \delta_1^{(n)}][x_2^{(n)} - \delta_2^{(n)}] \dots [x_5^{(n)} - \delta_5^{(n)}]$	$\vec{x}_0^{(n)}$	$\bar{I}_0^{(n)}$
1 $[x_1^{(n)} + \delta_1^{(n)}][x_2^{(n)} - \delta_2^{(n)}] \dots [x_5^{(n)} - \delta_5^{(n)}]$	$\vec{x}_1^{(n)}$	$\bar{I}_1^{(n)}$
2 $[x_1^{(n)} - \delta_1^{(n)}][x_2^{(n)} + \delta_2^{(n)}] \dots [x_5^{(n)} - \delta_5^{(n)}]$	$\vec{x}_2^{(n)}$	$\bar{I}_2^{(n)}$
...	...	...
5 $[x_1^{(n)} - \delta_1^{(n)}][x_2^{(n)} - \delta_2^{(n)}] \dots [x_5^{(n)} + \delta_5^{(n)}]$	$\vec{x}_5^{(n)}$	$\bar{I}_5^{(n)}$

При каждой совокупности управляющих переменных измеряется несколько значений тока  $I_k^{(n)}$  и вычисляется выборочное среднее  $\bar{I}_k^{(n)}$  и выборочное среднее квадратичное отклонение  $\sqrt{\delta_k^2 I_k^{(n)}}$ . От цикла к циклу величина  $\delta_k^{(n)}$  уменьшается по закону

$$\delta_k^{(n)} = \frac{(-1)^{n+1} \cdot \delta_k^{(1)}}{n^{1/4}}$$

Из некоторой серии экспериментов получается ряд значений  $\bar{I}_k^{(n)}$ . По этим значениям принимается некоторое решение о величине  $\vec{x}^{(n+1)}$  для следующего цикла согласно следующему правилу:

$$x_k^{(n+1)} = x_k^{(n)} + \Delta_k^{(n)} \cdot a_k^{(n)}$$

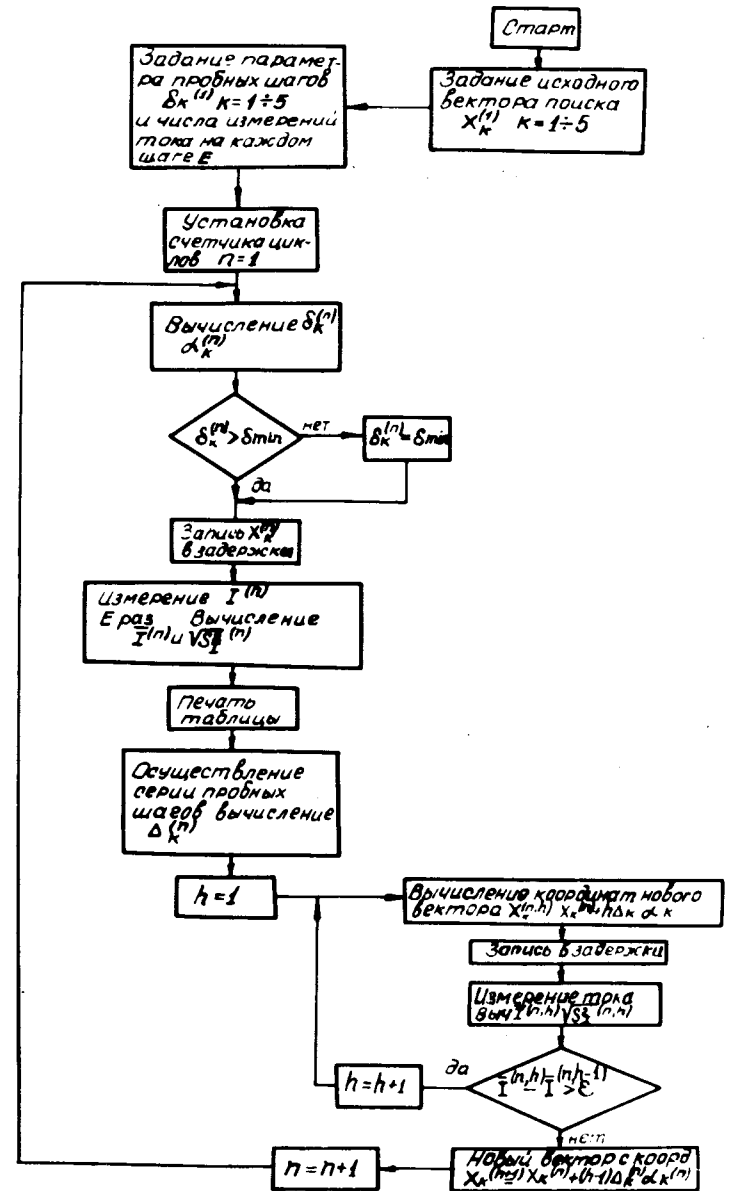


Рис. 2. Блок-схема программы настройки фокусирующего магнитного поля.

Значение  $\Delta_k^{(n)}$  определяется на  $n$ -м цикле в соответствии со следующими правилами:

$$\Delta_k^{(n)} = \begin{cases} +1, & \text{если } \bar{I}_k^{(n)} - \bar{I}_0^{(n)} > \epsilon, \\ 0, & \text{если } -\epsilon \leq \bar{I}_k^{(n)} - \bar{I}_0^{(n)} \leq \epsilon, \\ -1, & \text{если } \bar{I}_k^{(n)} - \bar{I}_0^{(n)} < -\epsilon. \end{cases}$$

Величина  $\epsilon$  выбирается экспериментально и зависит от числа измерений тока при каждом наборе задержек, среднего квадратичного отклонения  $\sqrt{\delta_{I_k^{(n)}}^2}$  и структуры функции  $I(x_1, x_2, \dots, x_5)$ . В нашем случае  $\epsilon=5$ . Значения тока  $I$  и  $\epsilon$  везде приводятся в каналах АЦП. Постоянные  $a_k^{(n)}$  определяются по формуле

$$a_k^{(n)} = \frac{2 \cdot (-1)^{n+1} \cdot \delta_k^{(1)}}{n^{3/4}}.$$

При выполнении ряда последовательных экспериментов величина  $\Delta_k^{(n)}$  становится известной. Далее в том же цикле производится одновременная коррекция всех величин  $x_k$  по формуле

$$x_k^{(n;h)} = x_k^{(n)} + h \cdot \Delta_k^{(n)} \cdot a_k^{(n)},$$

где  $h$  - вторичный коэффициент, равный 1 для первой совместной корректировки, 2 - для второй и т.д. Корректировка продолжается до тех пор, пока величины  $\bar{I}^{(n;h)}$  не перестанут возрастать, т.е. пока не нарушается неравенство

$$I^{(n;h)} < I^{(n;2)} < \dots < I^{(n;h-1)} < I^{(n;h)}.$$

Начиная  $(n+1)$  цикл, величину  $x_k$  приравняем выражению

$$x_k^{(n+1)} = x_k^{(n;h-1)} = x_k^{(n)} + (h-1) \cdot \Delta_k^{(n)} \cdot a_k^{(n)}.$$

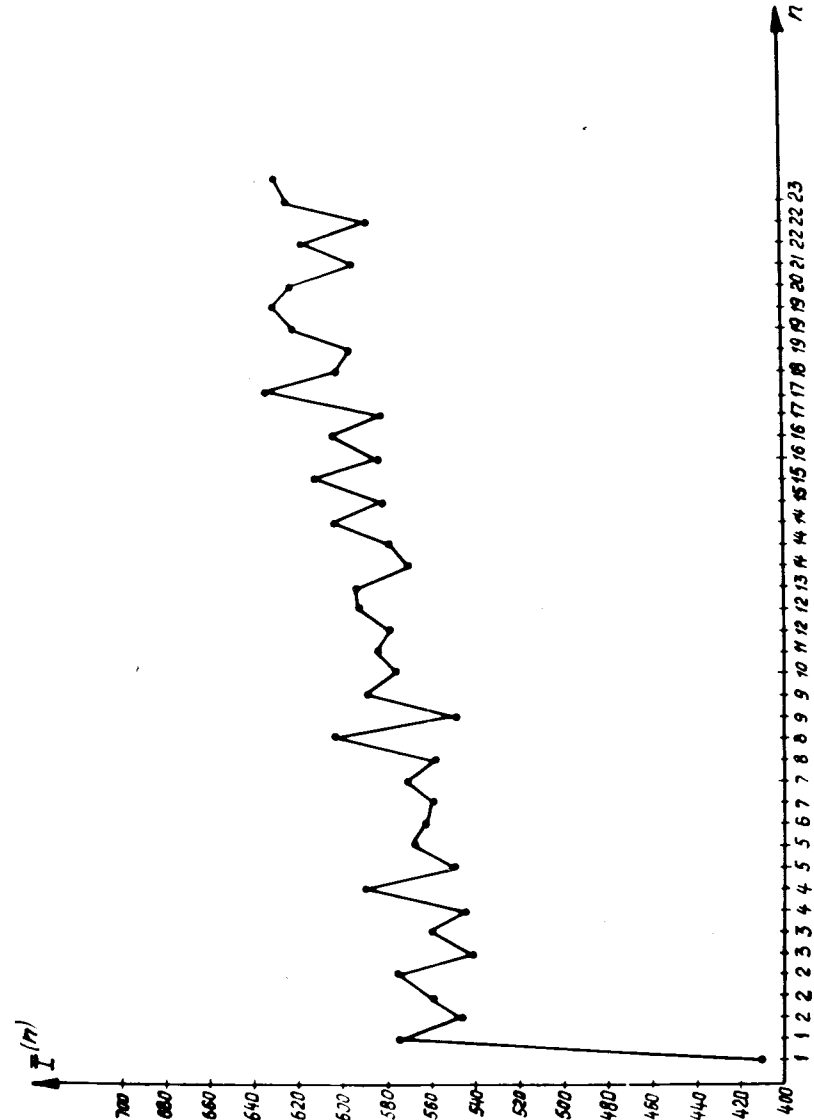


Рис. 3. График зависимости тока на выходе ускорителя от номера цикла оптимизации.

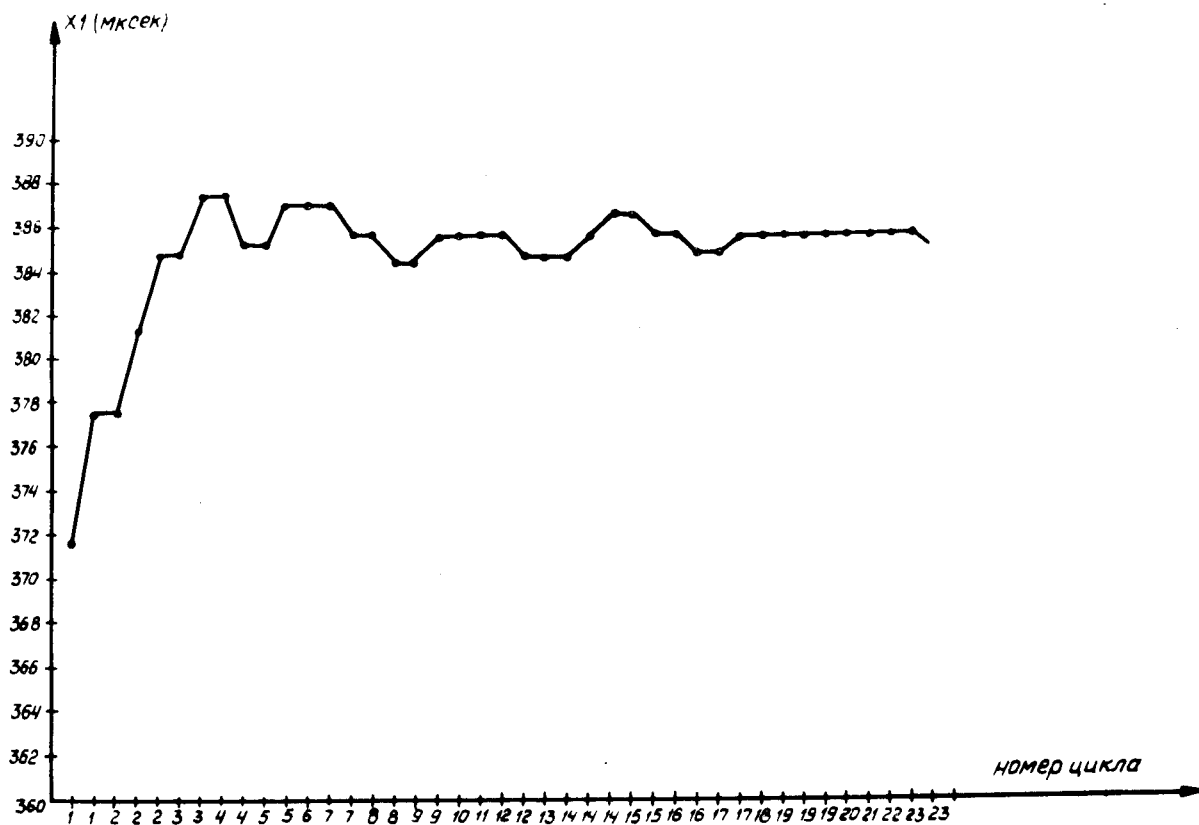


Рис. 4. Кривая изменения величины задержки  $x_1$  в цепи запуска коммутатора первой секции в процессе оптимизации.

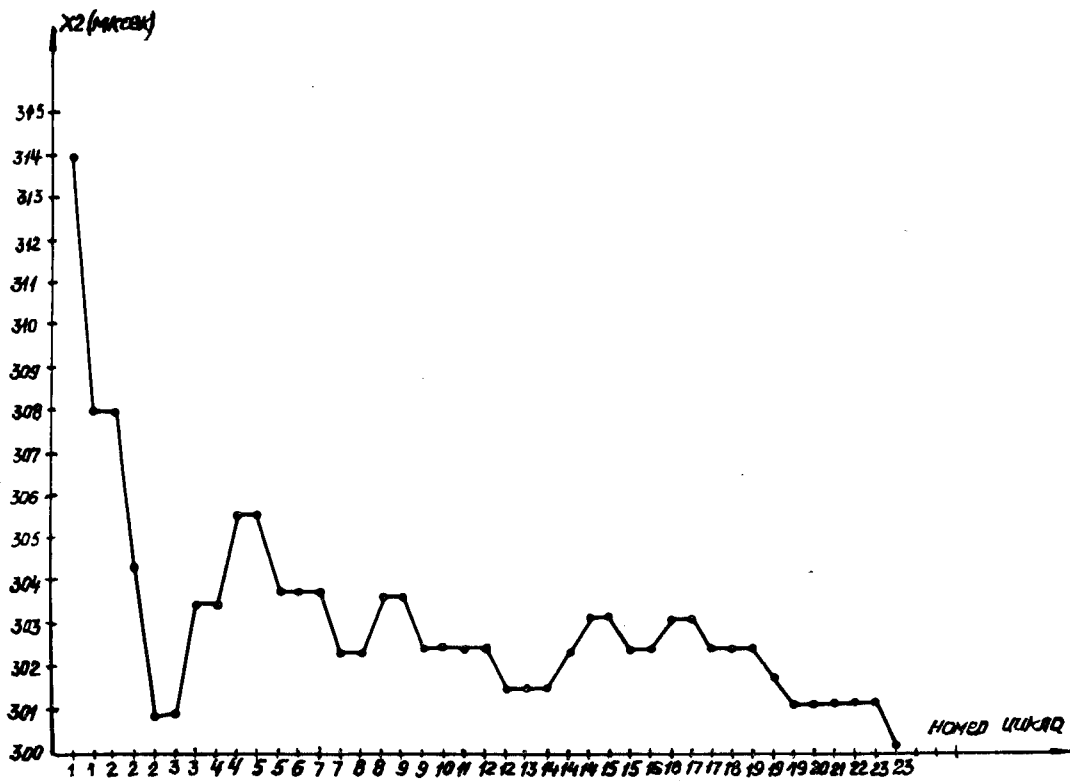


Рис. 5. Кривая изменения величины задержки  $x_2$  в цепи запуска коммутатора второй секции в процессе оптимизации.

Описанная выше последовательность сходится в точке локального оптимума  $\vec{x}^*$ . Если целевая функция процесса имеет лишь один экстремум, рассмотренная последовательность сходится к нему. Если существует несколько экстремумов, радикальным изменением исходной точки можно произвести поиск абсолютного экстремума /1/.

Данный алгоритм может успешно применяться и в том случае, если вектор  $\vec{x}^*$  меняется с течением времени.

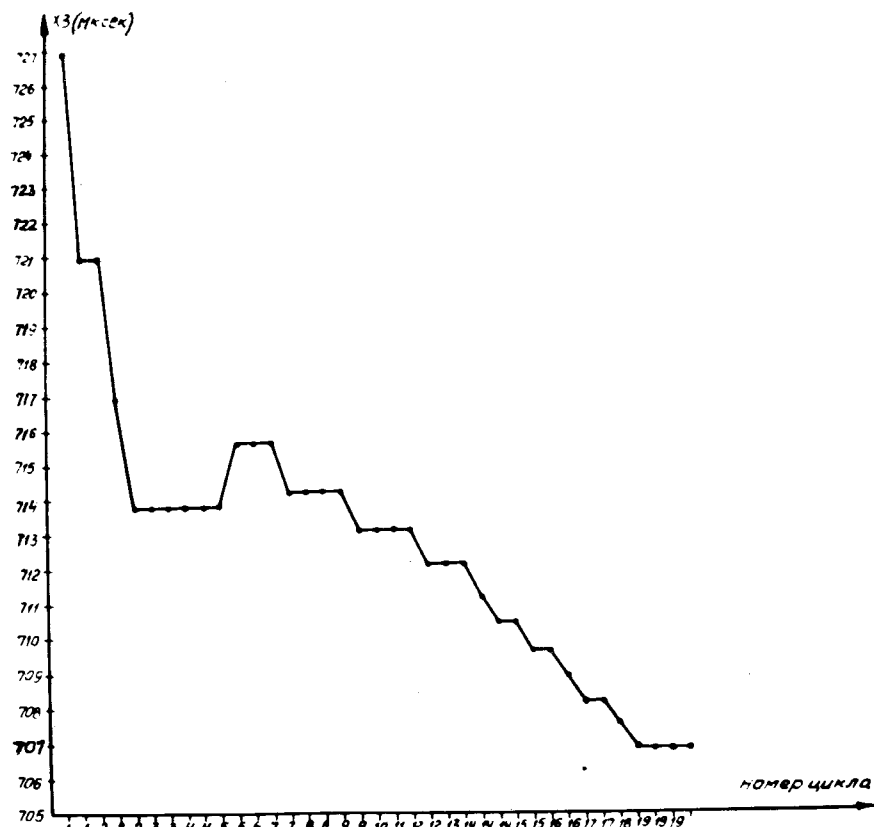


Рис. 6. Кривая изменения величины задержки  $x_3$  в цепи запуска коммутатора третьей секции в процессе оптимизации.

В этом случае система, осуществляя поиск с некоторым постоянным шагом  $\delta_k$ , следит за изменяющимся максимумом тока, т.е. работает в режиме стабилизации тока.

Начальная точка поиска /вектор  $\vec{x}^{(1)}$ / выбирается в таком диапазоне значений задержек, при котором  $I > 0$ . Оператор, используя свое знание процесса, может выбрать  $\vec{x}^{(1)}$  довольно близко к  $\vec{x}^*$ , в этом случае число циклов поиска максимума тока может существенно уменьшиться. На рис. 2 дана блок-схема программы.

На рис. 3 приведен график выборочного среднего значения тока в зависимости от номера цикла оптимизации /по оси ординат - значения тока в каналах АЦП/. На рис. 4-6 показаны изменения задержек  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ , полученных в процессе оптимизации. Оптимизация велась с шагом  $\delta_1^{(1)} = \delta_2^{(1)} = \dots = \delta_5^{(1)} = 3$  мкс. На каждом шаге поиска проводилось 4 измерения величины тока на выходе ускорителя. Величина тока на выходе ускорителя после автоматической фокусировки не меньше обычного рабочего значения, получаемого операторами, настраивающими ускоритель в ручном режиме.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность Г.В.Долбилу и А.П.Сумбаеву за полезные обсуждения и помощь в работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. "Мир", М., 1973.
2. Аносов В.Н. ОИЯИ, Р9-8422, Дубна, 1974.
3. Беспалова Т.В. и др. ОИЯИ, Р9-9041, Дубна, 1975.
4. Барабаш Л.С. и др. ОИЯИ, Р9-7697, Дубна, 1974.
5. Notice Technique. Tiror Convertisseur Analogique-Numerique. Type JCAN-40.

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 апреля 1978 года.