

A-239

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

11 - 3811

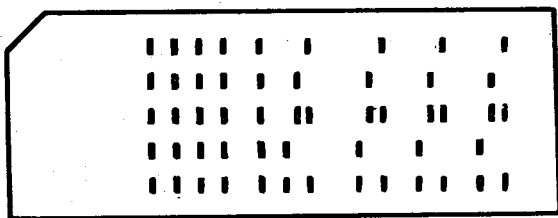


А.И.Агеева, Р.Н.Федорова, А.И.Широкова

ПРОГРАММА ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАСЧЕТА  
МАГНИТНЫХ ПОВОРОТНО-ФОКУСИРУЮЩИХ  
СИСТЕМ (ОПТИМУМ)

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
И АВТОМАТИЗАЦИИ

1968

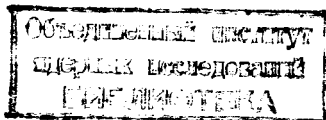


Объединенный институт  
ядерных исследований  
ЛВТА

11 - 3811

А.И.Агеева, Р.Н.Федорова, А.И.Широкова

ПРОГРАММА ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАСЧЕТА  
МАГНИТНЫХ ПОВОРОТНО-ФОКУСИРУЮЩИХ  
СИСТЕМ (ОПТИМУМ)



7398/3 24

При установке магнитных поворотно-фокусирующих систем для транспортировки заряженных частиц приходится подбирать переменные параметры системы таким образом, чтобы получить пучок частиц с необходимыми свойствами.

Свойства, которые мы хотим иметь для пучка частиц, можно получить, наложив определенные ограничения на элементы матрицы транспортировки частицы через систему или коэффициенты фазового эллипса, которые являются функциями оптимизируемых параметров ( сила линзы  $\kappa$ , длина пространств дрейфа  $S$  и т.д.).

Причем эта зависимость даже для простейших ионо-оптических систем - нелинейная [3].

Таким образом, задача оптимального расчета поворотно-фокусирующих систем сводится к решению системы нелинейных уравнений

$$f_j(a_1, a_2, \dots, a_m) = F_j, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (I.1)$$

по начальным приближениям

$$f_j^0(a_1^0, a_2^0, \dots, a_m^0) = F_j^0, \quad \text{где} \quad (I.2)$$

$a_1, a_2, \dots, a_m$  - переменные параметры,

$a_1^0, a_2^0, \dots, a_m^0$  - их начальные значения.      ж)

Числа  $m$  и  $n$  могут быть произвольными и определяются конкретной задачей.

Для решения системы (I.1) с начальными приближениями (I.2) используем метод наименьших квадратов [4]. Каждому уравнению системы (I.1) сопоставим вес  $\omega_j$  и условную координату  $x_j$ . Введем обозначения  $a = (a_1, \dots, a_m)$ ,  $a^0 = (a_1^0, \dots, a_m^0)$ . Тогда  $f_j(a) = f(a, x_j)$ . Метод наименьших квадратов утверждает, что решение системы (I.1)

---

ж) Начальные значения переменных параметров находятся с помощью аналоговых приборов, графо-аналитическим методом или с помощью программы "Транспорт" [2].

аналогично следующей задаче: найти вектор  $a$  по начальному вектору  $a^0$ , при котором  $f(a, x_j)$  лучше всего проходит по экспериментальным значениям  $F_j$ , соответствующим координатам  $x_j$ , из условия минимума квадратичного функционала

$$M = \sum_{j=1}^n \omega_j [f(a, x_j) - F_j]^2 \quad (1.3)$$

Функционал  $M$  минимизируем методом линеаризации, который состоит в замене точных уравнений экстремума некоторой системой линейных уравнений [1].

## II

Рассматриваемая стандартная программа "Оптимум" составлена на ЭВМ "М-20" и использует в своей работе программы "Транспорт" и "МНК". Так как характер системы, количество и состав варьируемых параметров  $a_i$  и функций  $f_j$  заранее неизвестны, то в программе предусмотрены формирование и организация блоков, зависящих от

$a_i$  и  $f_j$ . Для того, чтобы иметь счет любого условия  $f_j$ , была составлена библиотека стандартных условий [табл I], состоящая из шестнадцати условий. По мере необходимости библиотека может быть расширена до пятидесяти условий. Каждое условие имеет свой двузначный восьмеричный номер. Для выборки требуемого условия  $f_j$  использовалась логическая шкала 2. Она записывается с ячейки  $\beta + 2$  ( $\beta$  задается в обращении) и может занимать три ячейки памяти. Номера условий, участвующих в задаче, записываются последовательно справа - налево, начиная с ячейки  $\beta + 2$ . Например, если в задаче использовались условия 01, 05, 07 из библиотеки, то шкала будет иметь вид:

$\langle \beta + 2 \rangle$  0.00.00.00.00.07.05.01 \*

Специальная таблица характеристик (СТХ) и координаты  $x_j$  использо-

\* В каждую ячейку шкалы можно поместить не больше семи номеров.

вались для организации работы программы с выбранными условиями.

Каждая строка СТХ имеет вид:

56 0000  $N_{f_j}$  0000, где  $N_{f_j}$  - адрес начала арифметики  $f_j$  в библиотеке стандартных условий. Любое  $f_j$  из библиотеки стандартных условий считается с помощью стандартной программы "Транспорт". Для работы последней требуется определенным образом задать информацию о поворотной-фокусирующей системе [2]. Рассылка варьируемых параметров с поля МНК в информацию о системе организована шкалой I. Шкала I записывается с ячейки  $\beta$  справа налево таким образом, что каждый двоичный разряд шкалы соответствует ячейке информации о системе. Если в "i"-ой ячейке информации находится переменный параметр, то в соответствующем разряде шкалы ставим 1, иначе - 0.

Производные от выбранных условий по переменным параметрам считаются в цикле элементарным способом

$$\frac{\partial f_j}{\partial a_i} = \frac{f(a_i + \Delta a_i, x_j) - f(a_i, x_j)}{\Delta a_i}$$

### Обращение к программе

$x - I$  016,  $x$ , 2000, 7610  
 $x$  000,  $m$ ,  $N$ ,  $K$   
 $x + I$  000,  $a$ ,  $\beta$ ,  $n$ , где  
 $m$  - число параметров,  
 $N$  - номер СП в случае работы в системе ИС-2,  
 $K$  - адрес управляющего кода для СП-МНК,  
 $a$  - адрес начала рабочего поля МНК,  
 $\beta$  - начало шкалы I,  
 $n$  - число условий.

Для работы программы комплектуются массивы:

1. Программы МНК-2\* и "Транспорт" с корректировкой их на второй барабан.
2. Программа "Оптимум" (с яч. 2000).
3. Числовая информация.

Задается следующая информация:

1. С ячейки 0200 размещается информация относительно системы, с ячейки 0163 по 0167 -  $x, x', \frac{\Delta p}{p}, y, y'$  ; с ячейки 0170 по 0177 -  $\epsilon_x, \delta_x, \alpha_x, \beta_x, \epsilon_y, \delta_y, \alpha_y, \beta_y$ . [2] ; с ячейки 163 -  $n$  значения  $f_j$ .

2.  $a-1$  - точность  $\epsilon$  (МНК), с  $a$  по  $a+m$  - начальные значения параметров, с  $a+m+1$  по  $a+2m+1$  - ограничивающие шаг числа,  $a+2m+2$  - большое число, заведомо превосходящее начальные значения функционала.

3.  $K$  - адрес ячейки, в которую помещаем управляющее слово;  $K+1$ ,  $K+2$  - шкала фиксации МНК;

$\beta, \beta+1$  - шкала 1 для пересылки параметров с поля МНК в информацию о системе;

$\beta+2, \beta+3, \beta+4$  - шкала 2 для выборки заданных условий.

Для расширения библиотеки стандартных условий нужно добавить новую строку в СТХ (таблица СТХ размещена с2200 по 2261), соответствующую данному условию  $f_j$ . Арифметику  $f_j$  добавляем в библиотеку стандартных условий (библиотека стандартных условий размещена в конце программы с ячейки 2262). Для стандартности вводится также исправление в блок фиксации в соответствии с новой длиной программы.

В информации о системе необходимо в конце ставить признак II (счет с эллипсом), затем IO (выход из программы). "Транспорт" работает в режиме  $K_2=1$  с учетом разброса по импульсу  $\frac{\Delta p}{p}$  и размещает результат, начиная с ячейки 5015. При составлении арифметики нового

\*Можно использовать СП МНК (0123), которая работает в системе МС-2. В случае, когда число параметров больше числа условий, следует пользоваться вариантом МНК-2.

условия нужно пользоваться таблицей 3 [2].

Печатаются результаты каждой итерации в следующем порядке:

- 1)  $N$  итерации,
- 2) Значение функционала  $M$  по  $a_i^{(l)}$ , где  $l$  - номер предыдущей итерации.

3) 
$$\left. \begin{matrix} R_1 \\ \vdots \\ R_m \end{matrix} \right\} \text{ - факторы корреляции}$$

4) 
$$\left. \begin{matrix} \sigma_1 \\ \vdots \\ \sigma_m \end{matrix} \right\} \text{ - ошибки параметров}$$

5) 
$$\left. \begin{matrix} a_1 \\ \vdots \\ a_m \end{matrix} \right\} \text{ - параметры } a_i^{(l)} \text{ без учета поправки этой итерации}$$

6) 
$$\alpha = \max_i \frac{|\Delta a_i|}{\sigma_i}$$

7)  $\lambda$  - обрезающий множитель, ограничивающий шаг.

Если нужен другой режим печати, то в ячейку 2100 (4-я строка обращения к МНК) засылается соответствующая информация ( см. инструкцию к СП-0123).

Характеристика программы

Длина  $n-1 = 0325$   
Рабочие ячейки 0010 - 0025, 0036+m, 5015 + 5060 + 10N  
( N - число диафрагм в системе).

III

Пример. Дана система, состоящая из поворотного магнита ( $\alpha, n, \beta_1, \beta_2, \rho$ ) свободного пробега  $L_1$ , фокусирующей линзы ( $l_1, k_1$ ), свободного пробега  $L_2$  и дефокусирующей линзы ( $l_2, k_2$ ). Требуется подобрать параметры  $\beta_1, \rho, L_1, k_1, k_2, L_2$  таким образом, чтобы удовлетворялись условия  $a_1 = a_{12} = b_n = 0$ , где

$a_{11}, a_{12}, a_{13}, b_{11}$  - элементы матриц транспортировки

$$M_x = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad M_y = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix}$$

Информация о системе записывается следующим образом:

$4, \alpha, n, \beta_1, \beta_2, \rho, 1, L_1, 2, l_1, k_1, 1, L_2, 3, l_2, k_2, n, 10.$

Шкалы имеют вид:

Шкала 1 0 00 0000 0011 2250.

Шкала 2 0 00 0000 0007 0661.

$$\varepsilon = 10^{-5}$$

Обращение к программе.

$\mathcal{X} - I$  0 16  $\mathcal{X}$  2300 7610

$\mathcal{X}$  0 00 0006  $N$   $K$

$\mathcal{X} + I$  0 00  $a$   $\beta$  0003.

Исходные данные и результаты приведены в таблице 2.

Авторы выражают благодарность Баженовой И.М., Кулаковой Е.М. и Мызникову К.П. за физическую постановку задачи.

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. С.Н.Соколов, И.Н.Силин. "Нахождение минимумов функционалов методом линеаризации". Препринт ОИЯИ, Д-810, 1961г.
2. Р.Н.Федорова, А.И.Широкова. "Общий вариант программы для транспортировки заряженных частиц через моно-оптическую поворотной-фокусирующую систему. (Транспорт). Препринт ОИЯИ, II-338I, 1967г.
3. Баженова И.М., Федорова Р.Н., Широкова А.И. "Программа для транспортировки заряженных частиц через электромагнитную поворотной-фокусирующую систему". Материалы совещания по методам решения задач ядерной физики. Препринт ОИЯИ, 5-3263, стр. 80-86, 1967г.
4. Крылов А.Н. "Лекции о приближенных вычислениях". Из - во тех-теор. лит-ры, Л-М, 1950г.

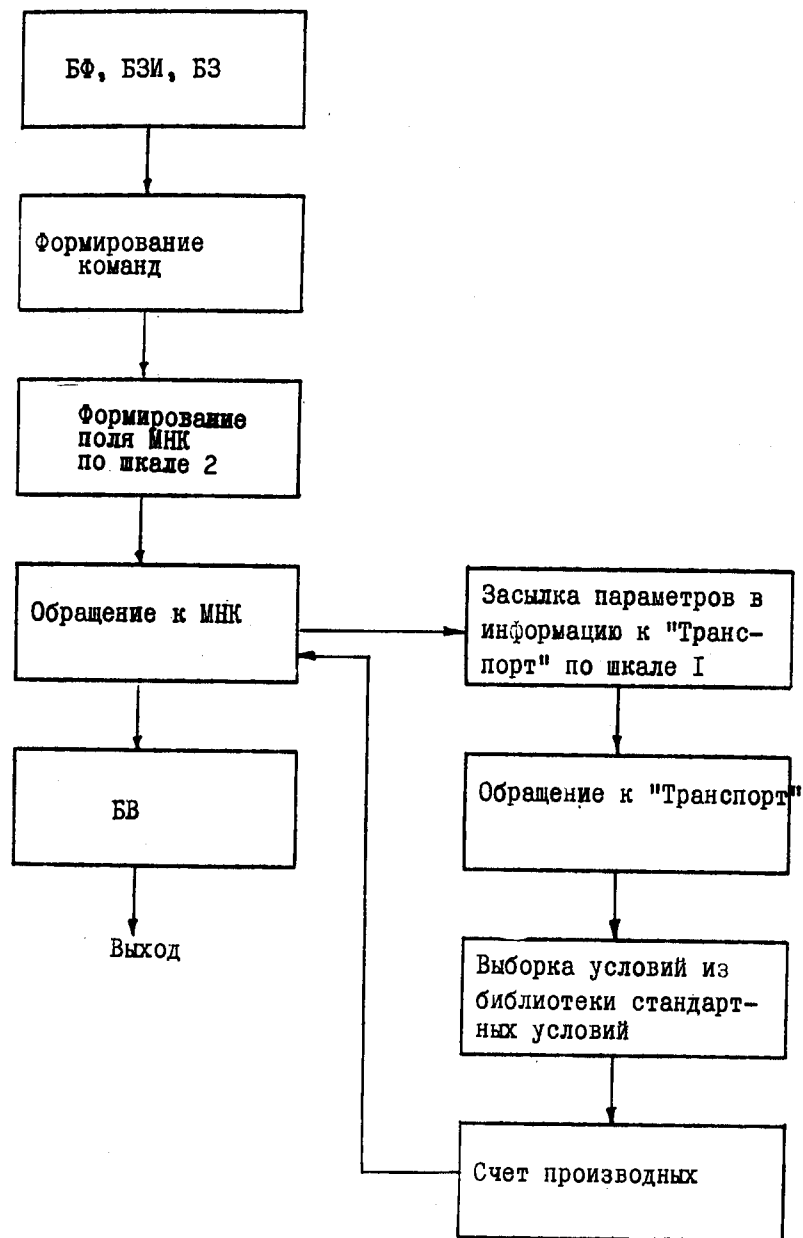
Таблица I.

№ условия	Группа условий	Условие	№ условия
I	Горизонтальная матрица преобразования от входа в систему до рассматриваемой точки.	$a_{11}$	01
		$a_{12}$	02
		$a_{13}$	03
		$a_{21}$	04
		$a_{22}$	05
		$a_{23}$	06
2	Вертикальная матрица преобразования от входа в систему до рассматриваемой точки.	$b_{11}$	07
		$b_{12}$	10
		$b_{21}$	11
		$b_{22}$	12
3	Горизонтальный эллипс	$\gamma_x$	13
		$\alpha_x$	14
		$\beta_x$	15
4	Вертикальный эллипс	$\gamma_y$	16
		$\alpha_y$	17
		$\beta_y$	20
.	.....	.	.
.	.....	.	.
.	.....	.	.

Таблица 2

№		Исходные данные	Результаты
I	$\alpha$	0,383972	0,383972
2	$n$	0	0
3	$\beta_1$	0,200713	0,190364953
4	$\beta_2$	0	0
5	$\rho$	140	150,232085
6	$L_1$	700	665,212129
7	$l_1$	20	20
8	$K_1$	0,0158	0,0163106199
9	$L_2$	20	32,1531614
10	$l_2$	20	20
II	$K_2$	0,0160	0,0152934275

Блок - схема программы.



2000	252	2325	0000	7601	} БФ
I	0I6	2002	76I7	7625	
2	0I6	2003	7573	760I	БЗИ <sub>I</sub> 7604 : m ,0,0.
3	0I3	2I26	7604	2I73	
4	0I3	2I24	7604	2075	
5	0I3	2I25	7604	2I6I	
6	054	0050	7604	7604	0,0, m
7	0I3	7604	7604	7604	0,0,2m
20I0	0I3	2I22	7604	2066	
I	0I3	7604	7604	7604	0,0,4m
2	0I3	2066	7604	2066	
3	054	0I30	7607	7607	к,0,0.
20I4	0I3	7607	2076	2076	} БЗИ <sub>2</sub> 7604 : a,0,0.
5	0I6	20I6	7573	760I	
6	032	0000	7626	20I7	} БЗ
7	000	0000	0000	0000	
2020	0I3	7604	2077	2077	
I	033	7604	7724	7604	a - I, 0, 0.
2	0I3	2I20	7604	2I32	
3	0I3	2I27	7604	2I70	
4	0I3	2I30	7604	2I75	
5	0I3	2I3I	7604	2I76	
6	054	0064	7604	7604	0, a - I, 0.
7	0I3	2076	7604	2076	



2030	054	0064	7604	7604	0, 0, a- I.
I	0I3	2I70	7604	2I70	
2	0I3	2I76	7604	2I76	
3	0I3	2066	7604	2066	
4	033	76I6	7722	76I6	
5	054	0II4	76I6	76I6	$\beta - I, 0, 0.$
6	0I3	2I2I	76I6	2I33	
7	0I3	7724	76I6	76I6	$\beta, 0, 0.$
2040	0I3	7724	76I6	76I6	$\beta + I, 0, 0.$
I	0I3	2II5	76I6	205I	
2	0I3	2076	7607	2076	
3	033	2I70	7725	2I70	

2044	054	0I30	7607	7607	n, 0, 0.
5	033	2II7	7607	2063	
6	052	0000	0000	0000	Блок формирования по шкале 2 поля МНК.
7	000	0000	0000	002I	
2050	0I3	7724	205I	205I	
I	000	0000	0000	0000	$\beta + I, 0, 0022$
2	033	2II6	002I	0000	
3	036	0000	2047	0000	
4	000	0000	0000	0023	
5	0I3	772I	002I	002I	
6	055	2II4	0022	0023	
7	036	0000	2074	0000	

2060	054	0I30	0023	0023	
I	0I3	2III	0023	00I2	
2	000	776I	0000	00II	
3	000	0000	0000	0000	I63 - n, 0, 00I0
4	0I3	2063	7724	2063	
5	252	0000	000I	0000	
6	000	0000	0000	0000	500,0007,0, a-I+6m +6
7	II2	0003	2065	0000	
2070	033	2066	2II3	2066	
I	0I3	2067	2II3	2067	
2	054	0072	0022	0022	
3	056	0000	2052	0000	

2074	0I6	2075	750I	76I0	Обращение к МНК m, 0I23,0003. k, a-I, n a, 0, 0.
5	000	0000	0000	0000	
6	000	0000	0000	0000	
7	000	0000	0000	0000	
2I00	006	000I	0000	0000	
I	000	0036	2I34	2I74	
2	000	2I23	0000	2067	
3	000	0000	0000	2076	
4	000	0000	0000	2077	
5	0I6	2I06	2I36	2I64	
6	032	0000	2I07	20I7	БВ
7	0I6	2IIO	7634	760I	

2110	016	7610	7600	7601	Выход
I	056	2177	2135	2164	константы
2	000	0000	0000	0055	
3	000	0003	0000	0000	
4	000	0000	0000	0077	
5	000	0000	0000	0022	$\beta + 1, 0, 0022$
6	000	0000	0000	0006	
7	000	0163	0300	0010	$163 - n, 0, 0010.$
2120	400	0000	0000	0200	$400, a - 1, 0, 0200.$
I	000	0000	0000	0025	$\beta - 1, 0, 0025.$
2	500	0007	0000	0006	$500, 0007, 0, a - 1 + 6m + 6$
3	112	0003	2065	0000	

2124	000	0000	0123	0003	$m, 0123, 0003.$
5	112	0001	2147	0001	$112, m+1, 2147, 0001.$
6	112	0001	2175	0000	$112, m+1, 2175.$
7	502	0000	0030	0000	$502, a - 2, 0030, a - 2.$
2130	404	0000	7760	0030	$404, a - 1, 7760, 0030$
I	501	0000	0030	0000	$501, a - 1, 0030, a - 1.$
2	000	0000	0000	0000	$400, a - 1, 0, 0200.$
3	000	0000	0000	0000	$\beta - 1, 0, 0025.$
4	256	0000	0002	0000	Начало арифметики.
5	052	0000	0000	0000	Засылка параметров по
6	000	2132	0000	2157	шкале в информацию
7	000	2133	0000	2144	

2140	452	0001	0001	2165	
I	000	0000	0000	0023	
2	000	0000	0000	0021	
3	013	2144	7724	2144	
4	000	0000	0000	0000	$\beta - 1, 0, 0025.$
5	055	0025	7721	0000	
6	076	0000	2156	0000	
7	033	2112	0021	0000	
2150	036	0000	2142	0000	
I	054	0077	0025	0025	
2	013	7721	0023	0023	
3	013	7721	0021	0021	

2154	055	0025	7721	0000	
5	036	0000	2147	0000	
6	013	2157	0023	2157	
7	000	0000	0000	0000	$400, a - 1, 0, 0200.$
2160	000	0000	0000	0023	
I	000	0000	0000	0000	$112, m+1, 2147, 0001$
2	016	2163	7501	7610	} обращение к СП-Транспорт
3	200	0200	0104	5015	
4	000	0000	0000	0000	ячейка обратной связи
5	000	0000	0000	0000	счет производных
6	100	0020	0000	0035	
7	112	0002	2175	0000	

2170	000	0000	0000	0000	502, a-2, 0030, a-2.
I	502	0035	0036	0035	
2	504	0035	0030	0035	
3	000	0000	0000	0000	II2, m+I, 2175.
4	000	0000	0000	0000	конец арифметики.
5	000	0000	0000	0000	404, a-I, 7760, 0030.
6	000	0000	0000	0000	50I, a-I, 0030, a-I.
7	056	0000	2136	0000	
2200	056	0000	2262	0000	СТХ
I	056	0000	2264	0000	
2	056	0000	2266	0000	
3	056	0000	2270	0000	

2204	056	0000	2272	0000
5	056	0000	2274	0000
6	056	0000	2276	0000
7	056	0000	2300	0000
2210	056	0000	2302	0000
I	056	0000	2304	0000
2	056	0000	2306	0000
3	056	0000	2310	0000
4	056	0000	2312	0000
5	056	0000	2314	0000
6	056	0000	2316	0000
7	056	0000	2320	0000

2220	000	0000	0000	0000
I	000	0000	0000	0000
2	000	0000	0000	0000
3	000	0000	0000	0000
4	000	0000	0000	0000
5	000	0000	0000	0000
6	000	0000	0000	0000
7	000	0000	0000	0000
2230	000	0000	0000	0000
I	000	0000	0000	0000
2	000	0000	0000	0000
3	000	0000	0000	0000

2234	000	0000	0000	0000
5	000	0000	0000	0000
6	000	0000	0000	0000
7	000	0000	0000	0000
2240	000	0000	0000	0000
I	000	0000	0000	0000
2	000	0000	0000	0000
3	000	0000	0000	0000
4	000	0000	0000	0000
5	000	0000	0000	0000
6	000	0000	0000	0000
7	000	0000	0000	0000

2250	000	0000	0000	0000	
I	000	0000	0000	0000	
2	000	0000	0000	0000	
3	000	0000	0000	0000	
4	000	0000	0000	0000	
5	000	0000	0000	0000	
6	000	0000	0000	0000	
7	000	0000	0000	0000	
2260	000	0000	0000	0000	
I	000	0000	0000	0000	
2	000	5015	0000	0020	<i>a<sub>11</sub></i> Библиотека стан-
3	056	0000	2165	0000	дартных условий.

2264	000	5016	0000	0020	<i>a<sub>12</sub></i>
5	056	0000	2165	0000	
6	000	5017	0000	0020	<i>a<sub>13</sub></i>
7	056	0000	2165	0000	
2270	000	5020	0000	0020	<i>a<sub>21</sub></i>
I	056	0000	2165	0000	
2	000	5021	0000	0020	<i>a<sub>22</sub></i>
3	056	0000	2165	0000	
4	000	5022	0000	0020	<i>a<sub>23</sub></i>
5	056	0000	2165	0000	
6	000	5026	0000	0020	<i>b<sub>11</sub></i>
7	056	0000	2165	0000	

2300	000	5027	0000	0020	<i>b<sub>12</sub></i>
I	056	0000	2165	0000	
2	000	5030	0000	0020	<i>b<sub>21</sub></i>
3	056	0000	2165	0000	
4	000	5031	0000	0020	<i>b<sub>22</sub></i>
5	056	0000	2165	0000	
6	000	5042	0000	0020	<i>γ<sub>1</sub></i>
7	056	0000	2165	0000	
2310	000	5043	0000	0020	<i>α<sub>1</sub></i>
I	056	0000	2165	0000	
2	000	5044	0000	0020	<i>β<sub>20</sub></i>
3	056	0000	2165	0000	
4					

2314	000	5046	0000	0020	<i>γ<sub>2</sub></i>
5	056	0000	2165	0000	
6	000	5047	0000	0020	<i>α<sub>2</sub></i>
7	056	0000	2165	0000	
2320	000	5050	0000	0020	<i>β<sub>2</sub></i>
I	056	0000	2165	0000	
732	4617	6547	2021	<i>KΣ</i>	

Рукопись поступила в издательский отдел  
15 апреля 1968 года.