

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА**

**Вычислительный центр
В. И. Гордонова**

**Стандартная подпрограмма для вычисления
собственных значений и собственных векторов
вещественной матрицы, имеющей только
вещественные собственные значения
(в системе ИП-3)**

**Серия:
Математическое обслуживание
машины «Сетунь»**

**Под общей редакцией Е.А.Жоголева
Выпуск 17**

**Издательство Московского
Университета
1967**

Содержание

Введение	3
§1. Назначение и использование подпрограммы.....	4
§2. Распределение памяти.....	6
§3. Описание метода.....	8
§4. Блок-схема подпрограммы.....	14
§5. Типовая программа определения собственных значений и векторов. Описание. Перфорация данных....	15
§6. Инструкция к пользованию типовой программой..	18
§7. Нестандартная часть типовой программы.....	18
§8. Таблицы остановить.....	19
Литература.....	21
Приложение 1. Подпрограмма вычисления собственных значений и собственных векторов.	22
Приложение 2. Нестандартная часть типовой задачи.	40
Изменение к выпуску 11. (заменить текст п.1 §1 на стр. 5 на следующий).....	51

Введение

Данная программа предназначена для определения всех собственных значений и собственных векторов вещественной матрицы, имеющей лишь вещественные собственные значения. В ней реализован обобщенный метод вращений [1], позволяющий находить собственные значения произвольной матрицы. Однако время счета при этом существенно больше, чем при реализации обычного метода вращений, решающего полную проблему собственных значений вещественной симметричной матрицы.

Программа работает в системе ИП-3 [2]. Она состоит из подпрограммы определения собственных значений и векторов и нестандартной части типовой задачи. Указанная подпрограмма может быть использована и как часть какой-либо другой задачи. При обращении к ней элементы матрицы должны храниться на магнитном барабане. Подпрограмма может вычислять только собственные значения (**сокращенная задача**) или собственные значения и компоненты нормированных собственных векторов, принадлежащих этим собственным значениям (**полная задача**).

В случае, когда нужно только вычислить собственные значения и векторы заданной матрицы, совсем не требуется никакого программирования – достаточно подготовить на перфоленте заданную матрицу и воспользоваться указанной типовой программой.

§1. Назначение и использование подпрограммы.

Рассматриваемая подпрограмма предназначена для вычисления собственных значений или собственных значений и компонент нормированных собственных векторов вещественной матрицы, элементы которой размещены на магнитном барабане.

Подпрограмма работает в системе ИП-3 [2], которая должна быть введена в память машины перед использованием подпрограммы.

Обращение к подпрограмме производится с помощью обобщенного перехода и имеет следующий вид:

$$\left. \begin{array}{l} (x_0): Z 03 Z3 \\ (x_1): Z WY 00 \\ (x_2): 0 23 0Y \\ (x_3): 3ne_F \\ (x_4): <\varepsilon> \\ (x_5): <A> \\ (x_6): y \\ (x_7): \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{обобщенный переход к} \\ \text{подпрограмме} \end{array} \quad (1)$$

Здесь n – порядок матрицы A , для которой находятся собственные значения и векторы, n задается целым троичным числом;

$<\varepsilon>$ – обобщенный адрес ячейки, в которой хранится ε – мера абсолютной точности вычисления собственных значений;

при этом компоненты собственных векторов вычисляются с точностью порядка $\sqrt{\varepsilon}$;

$\langle A \rangle$ – обобщенный адрес начала массива элементов матрицы A ;

$\gamma > 0$ в случае полной задачи и

$\gamma = 0$ в случае сокращенной задачи;

$\langle B \rangle$ – обобщенный адрес начала массива компонент собственных векторов.

В случае $\gamma = 0$ последняя строка в обращении (1) опускается.

Максимальные значения n :

для полной задачи:

$n=13$ для машин с одинарным барабаном,

$n=25$ для машин с барабаном удвоенной ёмкости,
для сокращенной задачи:

$n=19$ для машин с одинарным барабаном,

$n=36$ для машин с барабаном удвоенной ёмкости.

Значение ε не рекомендуется задавать меньшим, чем 10^{-6} , во избежание возможного закливания подпрограммы. Так как вычисления в системе ИП-3 ведутся с шестью десятичными знаками мантиссы, за счет ошибок округления собственные значения получаются не более, чем с 4-5 верными знаками. Компоненты собственных векторов имеют, как правило, 2-3 верных знака. Время счета зависит от порядка и структуры матрицы. Некоторые данные о времени счета приведены в §6.

Перед обращением к подпрограмме элементы матрицы A должны быть расположены по столбцам в форме представления чисел в ИП-3, начиная с ячейки $\langle A \rangle$.

Подпрограмма снабжена специальной программой ввода и может быть введена в память машины с фототрансмиттера №1 нажатием кнопки «Начальный пуск». После ввода происходит останов Ω_1 (см. §8 табл. 3). В результате работы подпрограммы собственные значения располагаются подряд, начиная с ячейки $\langle B \rangle$. Собственные векторы (при $y > 0$) располагаются последовательно, начиная с ячейки $\langle B \rangle$. Матрица B расписывается по столбцам, каждый столбец содержит компоненты одного собственного вектора. Все результаты представляются в форме ИП-3.

Подпрограмма допускает повторное использование без какого-либо восстановления.

Предусмотрен останов (см. §8), если задача нахождения собственных значений и векторов не может быть решена данной программой. Это имеет место, если матрица имеет комплексные собственные значения и возможно также в случае кратных собственных значений и больших коэффициентов перекоса собственных векторов.

§2. Распределение памяти.

Подпрограмма занимает на МБ ячейки с обобщенными адресами от $014WX$ до $03ZY3$ в случае сокращенной

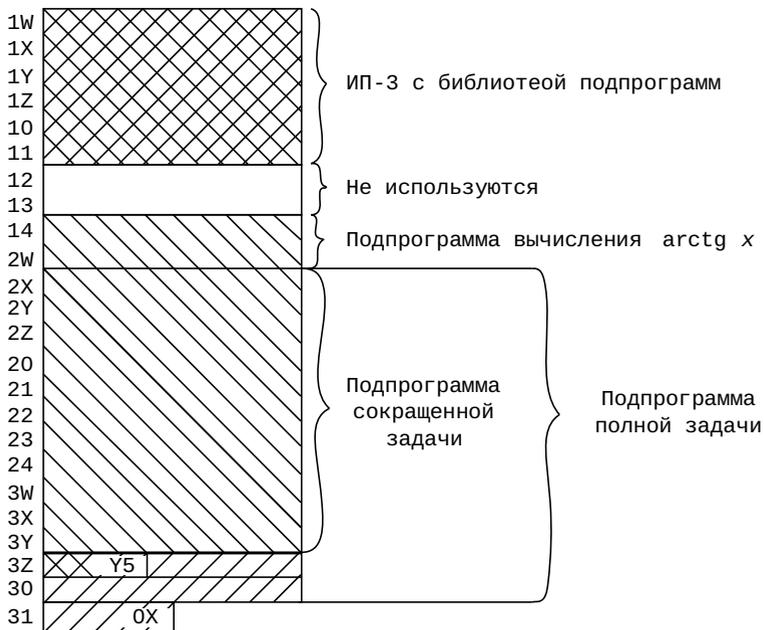
задачи или до 0 31 0X в случае полной задачи. Для решения сокращенной задачи требуется массив из n^2 длинных ячеек для хранения матрицы А. Для решения полной задачи дополнительно к этому требуется еще один такой же массив для хранения матрицы В. Расположение этих массивов задается программистом* (см. §1).

Данная подпрограмма не использует стандартные подпрограммы для вычисления функций e^x и $\ln x$ из библиотеки стандартных подпрограмм ИП-3 [2]. Если они не используются рабочей программой, то соответствующие зоны МБ (зоны 12 и 13) можно занимать под рабочую программу. В подпрограмме используется стандартная подпрограмма вычисления функции $\arctg x$, которая вводится вместе с данной подпрограммой в зоны 14 и 2W МБ. Этой стандартной подпрограммой можно пользоваться и в рабочей программе**. Обращение к ней производится как к любой стандартной программе в ИП-3, работающей в Φ_0 (например, так же, как к подпрограмме вычисления $\sin x$). Обобщенный адрес начала подпрограммы: 0 14 WX.

Распределение памяти можно иллюстрировать следующей схемой:

*Для машин с удвоенной ёмкостью барабана (72 зоны) допустимо расположение массивов рабочих ячеек частично на зонах с положительными номерами, частично на зонах с отрицательными номерами.

**Программа вычисления функции $\arctg x$ составлена Л.В.Есаковой.



Подпрограмма (включая подпрограмму вычисления $\arctg x$) вводится в зоны 14–31 МБ. В случае сокращенной задачи часть программы, начиная с ячейки 03ZY4, не используется, и эти ячейки могут быть заняты под рабочую программу или массив рабочих ячеек для размещения матрицы А.

§3. Описание метода.

В программе реализован обобщенный метод вращений [1]. Он состоит в построении последовательности матриц A_k , $k=0,1,\dots$, каждая из которых получа-

ствующей матрицы на $S_{ij}^{-1} R_{ij}^{-1}$ справа) через $\tilde{\alpha}_{lp}$, получим из формул (2), (3) и (4) расчетные формулы, запрограммированные в рассматриваемой подпрограмме:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{a}_{lp} &= a_{lp}, \text{ при } l \neq i, j \\ \tilde{a}_{ip} &= a_{ip} \cos \varphi + a_{jp} (\sin \varphi + \alpha \cos \varphi), \quad p=0, 1, \dots, n-1 \\ \tilde{a}_{jp} &= -a_{ip} \sin \varphi + a_{jp} (\cos \varphi - \alpha \sin \varphi) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

и

$$\left. \begin{aligned} \tilde{a}_{lp} &= \tilde{a}_{lp}, \text{ при } p \neq i, j \\ \tilde{a}_{li} &= \tilde{a}_{li} (\cos \varphi - \alpha \sin \varphi) + \tilde{a}_{lj} \sin \varphi, \quad l=0, 1, \dots, n-1 \\ \tilde{a}_{lj} &= -\tilde{a}_{li} (\sin \varphi + \alpha \cos \varphi) + \tilde{a}_{lj} \cos \varphi \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Величина α выбирается из условия максимального уменьшения суммы квадратов всех элементов матрицы:

$$\bar{A}_k = S_{ij} A_k S_{ij}^{-1}$$

Величина φ выбирается из условия максимального уменьшения суммы квадратов внедиагональных элементов матрицы:

$$A_{k+1} = R_{ij} \bar{A}_k R_{ij}^{-1}$$

Эти условия дают для α и φ следующие формулы:

$$\alpha = \frac{C_{ij}}{\max\{|C_{ij}|, m_{ij}\}},$$

где

$$C_{ij} = \sum_{p=0}^{n-1} (a_{pi} a_{pj} - a_{ip} a_{jp})$$

$$m_{ij} = \sum_{p=0}^{n-1} a_{jp}^2 + \sum_{p=0}^{n-1} a_{pi}^2 + 2(a_{ij} + a_{ji}^2 - a_{ii} a_{jj})$$
(7)

и

$$\varphi = \frac{1}{2} \arctg \frac{\bar{a}_{ij} + \bar{a}_{ji}}{a_{ii} - \bar{a}_{jj}} \quad (8)$$

Здесь через \hat{a}_{ip} обозначены элементы матрицы $\bar{A}_k = S_{ij} A_k S_{ij}^{-1}$.

Так как все итерации проводятся одинаково, индекс k в формулах (5), (6) и т.д. опущен.

Подставляя в формулу (8) выражение элементов матрицы \bar{A}_k через элементы матрицы A_k , имеющее вид:

$$\begin{aligned}
\bar{a}_{ip} &= a_{ip}, \text{ при } l \neq j, p \neq j \\
\bar{a}_{ip} &= a_{ip} + \alpha a_{ip}, \text{ при } p \neq j \\
\bar{a}_{ij} &= a_{ij} - \alpha a_{ii}, \text{ при } l \neq i \\
\bar{a}_{ij} &= a_{ij} + \alpha a_{jj} - \alpha a_{ii} - \alpha^2 a_{ji},
\end{aligned} \tag{9}$$

получим расчетную формулу для φ :

$$\varphi = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{a_{ij} + a_{ji} - \alpha^2 a_{ji} + \alpha(a_{jj} - a_{ii})}{2\alpha a_{ji} - a_{jj} + a_{ii}} \tag{10}$$

Последовательность пар (i, j) выбирается в программе циклически $(0, 1), (0, 2), (1, 2) \dots (n-2, n-1)$, т.е., перебирается последовательность пар, соответствующих наддиагональным элементам*. Если для какой-либо пары (i, j)

$$a_{ij}^2 + a_{ji}^2 \leq \varepsilon,$$

соответствующее преобразование пропускается. Совокупность преобразований подобия по всем парам от $(0, 1)$ до $(n-2, n-1)$ называется циклон. Итерационный процесс нахождения собственных значений сводится к последовательности таких циклов и заканчивается, когда после выполнения очередного цикла все внедиагональные элементы матрицы A_k становятся достаточ-

*Элементы столбцов и строк матрицы занумерованы от 0 до n-1

но малыми* ($a_{ip}^2 + a_{pl}^2 \leq \varepsilon$ при $p \neq l$). Матрица становится почти диагональной. Диагональные элементы матрицы A_{k+1} являются при этом с точностью порядка ε собственными значениями матрица A .

Выполняя параллельно с преобразованием (3) также преобразование:

$$B_{k+1} = B_k S_{ij}^{-1} R_{ij}^{-1}$$

где $B_0 = E$ – единичная матрица порядка n , получаем по окончании итерационного процесса матрицу B , столбцы которой с точностью порядка $\sqrt{\varepsilon}$ являются собственными векторами матрицы A .

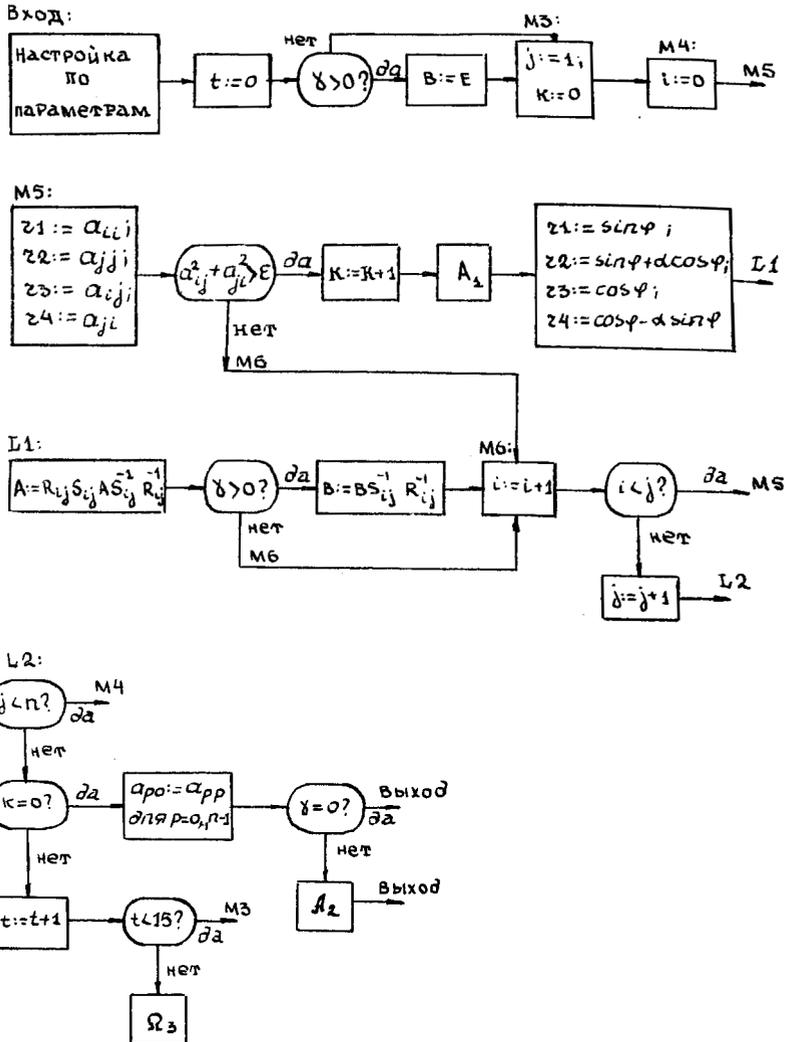
Каждый полученный вектор делим на его длину для нормировки. Новые компоненты равны:

$$B'_{ij} = \frac{B_{ij}}{\sqrt{\sum_{p=0}^{n-1} b_{pj}}} \quad \begin{matrix} i=0,1,\dots,n-1 \\ j=0,1,\dots,n-1 \end{matrix} \quad (11)$$

Вопросы теории и сходимости метода рассмотрены в работе [1]. В частности в этой работе доказано, что если матрица A имеет лишь вещественные и попарно различные собственные значения, то данный метод асимптотически обладает квадратичной сходимостью.

*В программе предусмотрен останов, если после выполнения 15 итерационных циклов не выполнено условие окончания итерационного процесса (см. §8).

§4. Блок-схема подпрограммы.



В этой схеме:

t – счетчик числа циклов;

k – счетчик количества пар (i, j), для которых $a_{ij}^2 + a_{ji}^2 > \varepsilon$; r₁, r₂, r₃, r₄ – содержимое рабочих ячеек;

A1 – блок вычисления α и φ по формулам (7) и (10) §3;

A2 – блок нормировки столбцов матрицы B по формулам (II) §3.

§5. Типовая программа определения собственных значений и векторов. Описание. Перфорация данных.

Данная программа предусматривает ввод с перфоленты элементов исходной матрицы, вычисление её собственных значений и принадлежащих им нормированных собственных векторов и печать результатов.

Программа состоит из подпрограммы, описанной в §1, и нестандартной части (см. §7).

Элементы матрицы, расписанной по столбцам, перфорируются в десятичной системе в соответствии с требованиями программы перевода «10→3» (см. [3]).

Перед элементами матрицы перфорируется **дважды** зона информации, содержащая порядок матрицы в виде двухзначного целого десятичного числа. Третий символ этой зоны Ω . Например, для матрицы порядка 5 перфорируется дважды:

059,

для $n = 13$ перфорируется:

139

Величина ε , определяющая порядок точности вычисления собственных значений фиксирована, $\varepsilon = 10^{-6}$. В соответствии со сказанным выше (§1) собственные значения вычисляются при этом как правило с 4-5 верными знаками, компоненты собственных векторов с 2-3 верными знаками. Форма выдачи результатов иллюстрируется таблицей 1. Здесь A_01, A_02, \dots, A_n – собственные значения, B_01, B_02, \dots, B_n – принадлежащие им собственные векторы. Собственные значения печатаются с пятью, а векторы с тремя знаками после запятой.

Максимальный допустимый порядок матрицы* $n_{max} = 13$.

Время счета зависит от порядка матрицы, и количества итерационных циклов, потребовавшихся для приведения её к почти диагональному виду (см. §3). Эта зависимость иллюстрируется таблицей 2.

*Приведенная в приложении 2 программа «Нестандартная часть типовой задачи» рассчитана на машину Сетунь с одинарным барабаном, состоящим из 36 зон. Соответствующая программа для машин с двойным барабаном находится в библиотеке ВЦ МГУ и допускает $n_{max} = 25$.

Таблица 1.

A01	+3.00011
A02	+1.00003
A03	+1.99987
B01	
	+0.267
	-0.802
	+0.534
B02	
	-0.127
	+0.635
	-0.762
B03	
	-0.196
	+0.784
	-0.588

Таблица 2.

Порядок матрицы (n)	Количество циклов	Время счета
3	2	1 мин
3	11	4 мин 2 сек
4	5	3 мин 32 сек
10	4	49 мин 20 сек
12	4	1 час 16 мин 30 сек

Время счета включает в себя время ввода нестандартной части типовой программы и числовой информации, а также время печати результатов.

§6. Инструкция к пользованию типовой программой.

Перед началом счета вводится необходимая библиотека подпрограмм: интерпретирующая система ИП-3 и стандартная подпрограмма вычисления собственных значений и векторов*.

Нестандартная часть типовой программы вводится с фототрансмиттера №1, а информация (порядок и элементы матрицы) с фототрансмиттера №2. Ввод осуществляется нажатием кнопки «Начальный пуск». При этом вводится часть программы, затем информация с фототрансмиттера №2, после чего начинается счет. По окончании счета осуществляется автоматически ввод остальной программы и печать результатов. По окончании печати происходит останов Ω_8 .

Для повторного использования подпрограммы нужно заново ввести программу нестандартной части.

§7. Нестандартная часть типовой программы.

Нестандартная часть типовой программы осуществляет ввод с перфоленты порядка и элементов матрицы, обращение к подпрограмме вычисления собственных значений и векторов и печать результатов.

Нестандартная часть программы содержит программы перевода «10→3» и «3→10», а также программу

*0 вводе последней см. §1.

ввода информации, обращение к подпрограмме вычисления собственных значений и векторов и программу печати результатов.

В качестве программ перевода использованы соответствующие подпрограммы для ИП-3 (см. [3]), причем в них внесены некоторые изменения: подпрограммы перенесены на другие зоны МБ («10-3» в зоны 41-44 и «3-10» в зоны 33-4X), длина массива в подпрограмме «10-3» задается не в троично-десятичной, а в троичной форме. Ячейка 12 зоны 41 используется для хранения величины ε , ячейки 2W и 2Z свободны. Аналогичные нестандартные части могут быть сделаны для сокращенной задачи, а также для машин с двойным барабаном*.

§8. Таблицы остановов.

Таблица 3. Остановы в подпрограмме

Символ-останова	Содержание		Причина останова	Способу странения
	регистра К	регистра С		
Ω_1	0012X	020	Окончание вводапод-программы.	
Ω_2	00W2X	0Y1	Несовпадение контрольных сумм при вводе подпрограммы.	Оттянуть одну зону перфоленты назад и нажать кнопку «Пуск».

*Как указывалось выше, программа нестандартной части полной задачи для машин с двойным барабаном имеется в ВЦ МГУ.

Симво- лоста- нова	Содержание		Причина останова	Способ устранения
	реги- стра К	реги- стра С		
Ω_3	Z402X	130	Количество итераци- онных циклов равно или больше 15.	Нажав кнопку «Пуск», можно сделать ещё одну итерацию.

Таблица 4. Остановы в нестандартной части ти-
повой программы.

Симво- лоста- нова	Содержание		Причина останова	Способу странения
	реги- стра К	реги- стра С		
Ω_4	0012X	00X	Несовпадение кон- трольных сумм при вводе 1-ой части программы.	То же, что при Ω_2
Ω_5	Z002X	043	Несовпадение при вводе порядка мат- рицы	Оттянуть две зоны на фототранс. №2 назад и нажать кнопку «Пуск».
Ω_6	Z002X	0Y3	Несовпадение кон- трольных сумм при вводе 2-ой части программы	то же, что при Ω_2
Ω_7	1402X	143	Несовпадение при вводе элементов матрицы.	То же, что при Ω_5
Ω_8	0002X	13X	Окончание печати результатов.	

Литература

1. Воеводин В.В. Решение полной проблемы собственных значений обобщенным методом вращений. «Вычислительные методы и программирование», вып. 3. Изд-во МГУ, 1965.
2. Жоголев Е.А., Есакова Л.В. Интерпретирующая система ИП-3. В данной серии, вып. 4, 1964.
3. Бондаренко Н.В. Система подпрограмм ввода и вывода алфавитно-цифровой информации для ИП-3. В данной серии, вып. 8, 1965.
4. Фаддеев Д.К. и Фаддеева В.Н. Вычислительные методы линейной алгебры. Физматгиз 1960, гл. IУ.

Приложение 1. Подпрограмма вычисления собственных значений и собственных векторов.

Ввод подпрограммы.

Адрес Команда

$\Pi_0=0$

```

WW WX 1 14 XX
   WY 0 Z1 Z0
WZ W0 Z 01 X0
   W1 Z 00 X4
W2 W3 Z 00 XY
   W4 0 Z2 Z3
XW XX 0 W1 Z0
   XY 0 03 Y0
XZ X0 0 WX 44
   X1 0 WY 44
X2 X3 0 XY ZX
   X4 0 X0 1X
XW XY 0 Z0 Z0

```

Адрес Команда

$\Pi_0=0$

```

02 03 Z 14 XX
   04 0 W4 00
1W 1X 0 XY ZX
   1Y 0 Z0 0X
1Z 10 0 WX 1X
   11 0 Z1 Z0
12 13 0 20 ZX
   14 0 Z1 0X
2W 2X 0 00 ZX
   2Y 0 WY 1X
2Z 20 0 01 2X  $\Omega_1$ 
   21 0 00 00
22 23 0 00 00

```



Подпрограмма вычислений $\text{arctg } X$, I.

Зона МБ 14

Адрес Команда

Адрес Команда

$\Pi_0=0$

$\Pi_0=0$

WW WX Z 32 30 ВХОД
 WY Z 4X 3X
 WZ W0 Z 21 Y0
 W1 Z 32 Y3
 W2 W3 0 23 10
 W4 0 24 20
 XW XZ Z 43 Y3
 XY 0 X3 13
 XZ X0 Z 32 40
 X1 Z 32 Y3
 X2 X3 Z 4X Z0
 X4 0 2X 1X
 YW YX 0 11 10
 YY Z 4X 30
 YZ Y0 0 3Y 40
 Y1 Z 4X Y3
 Y2 Y3 Z 32 30
 Y4 0 4W 20
 ZW ZX 0 4Z Y3
 ZY Z 32 40
 ZZ Z0 0 3Y 33
 Z1 0 42 40
 Z2 Z3 0 32 33
 Z4 0 3Z 4X
 OW OX 0 24 4X
 OY 0 3Y 4X
 OZ O0 0 4Z 40
 O1 Z 32 40

02 03 0 4W 20
 04 0 3X 4X
 1W 1X Z 32 Y3
 1Y 0 24 Z0
 1Z 10 0 2Y 00
 11 Z 32 30
 12 13 0 3Y 33
 14 0 Y1 13
 2W 2X 0 3Y Z0
2Y 0 2W X1 [2w] ⇒ [Ф₀]
 2Z 20 Z 4X 33
 21 Z 32 Y3
 22 23 Z Y1 00 ВЫХОД
 24 0 30 00
 3W 3X 0 00 00
 3Y 0 X0 00
 3Z 30 0 X0 0Y
 31 1 13 X0
 32 33 0 3Z X0
 34 Z YX 03
 4W 4X 0 2W WW
 4Y Z WW WW
 4Z 40 0 00 00
 41 0 00 00
 42 43 Z 44 14
 44 0 0X 0Y
 KC 0 00 0X
 1 X1 Z4

Подпрограмма вычисления $\arctg X$, II.

Зона МБ 2W

Адрес Команда

Адрес Команда

$\Pi_0=0$

$\Pi_0=0$

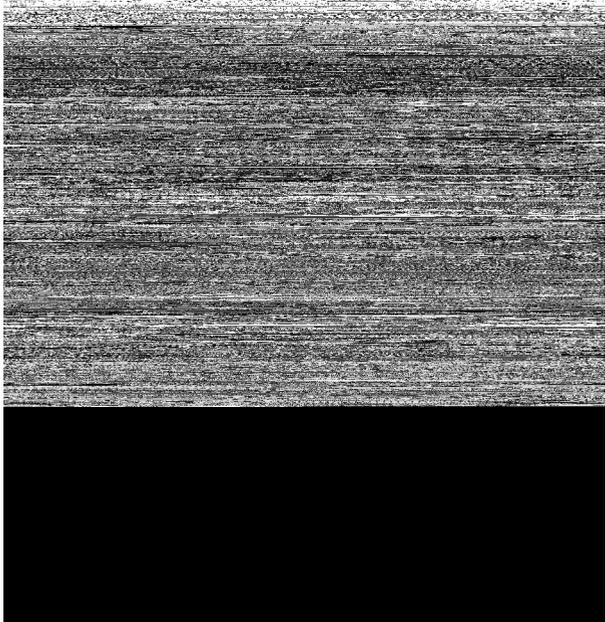
WW WX 0 00 2W
 WY Z WW WW
 WZ W0 1 WX 4X
 W1 1 00 W1
 W2 W3 0 00 00
 W4 0 X0 00
 XW XX 0 0W 00
 XY 0 00 00
 XZ X0 0 00 1W
 X1 1 YW 33
 X2 X3 0 00 XW
 X4 0 13 3X
 YW YX 0 YX 00
 YY 0 21 0X
 YZ Y0 Z 32 30
 Y1 Z 4X Y0
 Y2 Y3 Z 32 Y3
 Y4 0 XY 30
 ZW ZX Z 4X Y3
 ZY Z 32 30
 ZZ Z0 Z 32 40
 Z1 0 XZ 40
 Z2 Z3 0 X2 33
 Z4 0 YX Z0
 OW OX 1 WW 4Y
 OY Z 03 ZX
 OZ 00 0 0X 1X
 01 Z 32 40

02 03 0 21 Z0
 04 0 10 1X
 1W 1X 0 W4 40
 1Y 0 WZ 33
 1Z 10 Z 43 40
 11 Z 32 YX
 12 13 Z 4X Y3
 14 Z 32 30
 2W 2X 0 XX Y0
 2Y 0 14 XX [14] ⇒ [0]

2Z 20 0 YY 00
 21 0 00 00
 22 23 0 01 1W
 24 0 12 Z2
 3W 3X 0 0Y 1W
 3Y Z 0Z 0Y
 3Z 30 0 03 Y4
 31 0 4Y 4Y
 32 33 0 0W 2W
 34 1 3Y YW
 4W 4X 0 1W 4W
 4Y 0 2Z ZW
 4Z 40 0 Z0 00
 41 0 04 3X
 42 43 0 30 00
 44 0 00 Z3
 KC 0 00 0X
 1 34 40

Засылка величин a_{ii} , a_{jj} , a_{ij} , a_{ji} в рабочие ячейки.

Адрес Команда		Зона МБ 2X	
П _φ =1		Адрес Команда	
П _φ =1		П _φ =1	
WW WX	1 WX Y0	02 03	1 2Y 00
WY	1 11 Y3	04	0 44 44
WZ W0	1 10 30	1W 1X	0 00 00
W1	1 13 Y3	1Y	0 00 00
W2 W3	1 WX Y0	1Z 10	0 00 03
W4	1 14 Y3	11	0 00 00
XW XX	1 14 30	12 13	0 00 00
XY	1 1Y 40	14	0 00 00



Вычисление C_{ij} (начало).

Адрес Команда		Зона МБ 2Z	
$\Pi_\phi=1$		$\Pi_\phi=1$	
WW WX	0 00 00	02 03	1 34 Y3
	WY 0 00 00		04 0 13 3X
WZ W0	0 00 00	1W 1X	0 14 33
	W1 0 00 03		1Y 0 04 20
W2 W3	1 W4 Y0	1Z 10	1 41 Y3
	W4 1 W0 Y3		11 Z 4Y 03
XW XX	1 WW Y3	12 13	Z 0Y 00
	XY 0 2X XX		14 0 00 00
XZ X0	0 14 30	2W 2X	Z 00 YY
	X1 0 1Y 40		2Y Z 00 4Z
X2 X3	0 2X Y0	2Z 20	Z 0Y 00
	X4 1 W0 33		21 0 00 00
YW YX	0 1X 33	22 23	0 1Z 0X
	YY 0 04 20		24 Z 00 4Z
YZ Y0	1 14 Y3	3W 3X	Z 0Y 00
	Y1 0 13 30		3Y 1 00 WW
Y2 Y3	0 1Y 40	3Z 30	0 1Y Z3
	Y4 0 2X Y0		31 1 00 WW
ZW ZX	1 W0 33	32 33	Z 0Y 00
	ZY 0 1X 33		34 0 00 00
ZZ Z0	0 04 20	4W 4X	Z 00 YY
	Z1 1 21 Y3		4Y Z 00 4Z
Z2 Z3	1 W0 30	4Z 40	Z 0Y 00
	Z4 0 1Y 40		41 0 00 00
0W 0X	0 2X Y0	42 43	0 1Z 0X
	0Y 0 13 33		44 Z 00 4Z
0Z 00	0 1X 33	KC	0 00 00
	01 0 04 20		1 34 22

Вычисление C_{ij} (окончание). Вычисление m_{ij} .

Зона МБ 20

Адрес Команда

Адрес Команда

$\Pi_\phi=1$

$\Pi_\phi=1$

```

WW WX Z 4Y 03
   WY Z 0Y 00
WZ W0 0 2Z WW
   W1 0 1Y ZX
W2 W3 0 2Z WW
   W4 0 14 30
XW XX 1 X4 Y3
   XY 0 34 30
XZ X0 1 Z3 Y3
   X1 Z 4Y 03
X2 X3 Z Z3 00
   X4 0 00 00
YW YX Z 00 YY
   YY Z 00 4Z
YZ Y0 Z X3 00
   Y1 0 1Z 0X
Y2 Y3 Z 00 4Z
   Y4 Z 0Y 00
ZW ZX 1 00 3W
   ZY 0 1Y Z3
ZZ Z0 1 00 3W
   Z1 Z 0Y 00
Z2 Z3 0 00 00
   Z4 Z 00 YY
OW OX Z 00 4Z
   OY Z X3 00
OZ 00 0 1Z 0X
   01 Z 00 4Z
    
```

```

02 03 Z 0Y 00
   04 1 00 3W
1W 1X 0 1Y Z3
   1Y 1 2Z 3W
1Z 10 0 W0 30
   11 0 W1 33
12 13 0 W0 Y3
   14 1 24 3X
2W 2X 1 34 10
   2Y 0 2Z X3
2Z 20 Z 03 Z3
   21 Z WY 00
22 23 0 2Z XY
   24 0 00 00
3W 3X 0 00 00
   3Y 0 00 00
3Z 30 1 44 WW
   31 Z WW WW
32 33 0 1W 00
   34 0 WW 30
4W 4X Z 4Z Y3
   4Y 1 33 Y0
4Z 40 Z WX 13
   41 0 WW 30
42 43 1 3Z 20
   44 Z 4Z Y3
KC      0 00 0X
        0 Y4 03
    
```

Вычисление α . Вычисление φ (начало).

Зона МБ 21

Адрес Команда

Адрес Команда

$\Pi_{\phi}=1$

$\Pi_{\phi}=1$

WW WX Z 4Z 30
WY 1 WS 10
WZ WO Z 3Z 3X
W1 1 XX 13
W2 WS Z 3Z 30
W4 Z 4Z Y3
XW XX Z 4Y 03
XY Z 0Y 00
XZ XO 0 00 WW
X1 0 1Z WX
X2 X3 0 2Z WW
X4 Z 23 00
YW YX 1 00 4Z
YY Z 00 YY
YZ YO Z 00 4Z
Y1 Z 0Y 00
Y2 Y3 1 00 4Z
Y4 0 1Y ZX
ZW ZX 1 00 4Z
ZY Z YY 00
ZZ ZO Z 00 4Z
Z1 Z 0Y 00
Z2 Z3 0 2Z WW
Z4 0 1Z 0X
0W 0X 1 00 4Z
0Y Z 0Y 00
0Z 00 0 2Z WW
01 Z 00 YY

02 03 Z 00 4Z
04 Z X3 00
1W 1X 0 1Z 0X
1Y Z 00 4Z
1Z 10 Z 0Y 00
11 0 22 1Z
12 13 0 1Z 0X
14 Z 00 4Z
2W 2X Z 0Y 00
2Y 0 22 1Z
2Z 20 0 1Y ZX
21 Z 00 4Z
22 23 Z 0Y 00
24 0 22 1W
3W 3X 0 1Y Z3
3Y Z 00 4Z
3Z 30 Z 0Y 00
31 1 00 4Z
32 33 0 1Y Z3
34 1 00 4Z
4W 4X Z WX 00
4Y 0 00 00
4Z 40 0 00 00
41 0 00 00
42 43 0 00 00
44 0 00 00
KC 0 00 Z1
Z 1Y WS

Вычисление φ (окончание). Засылка $\sin\varphi$ и $\cos\varphi$ в рабочие ячейки.

Зона МБ 22

Адрес Команда

Адрес Команда

$\Pi_0=1$

$\Pi_0=1$

WW WX Z 32 30
 WY 1 0Y 10
 WZ W0 Z 32 Z0
 W1 1 01 ZX
 W2 W3 1 1X 0X
 W4 1 1Z 30
 XW XX Z 4Z Y3
 XY Z 4Y 03
 XZ X0 Z 0Y 00
 X1 0 2Z WW
 X2 X3 0 1Z 0X
 X4 Z 00 4Z
 YW YX Z X3 00
 YY 0 1Y Z3
 YZ Y0 Z 00 4Z
 Y1 Z 0Y 00
 Y2 Y3 0 21 4Z
 Y4 0 1Y XY
 ZW ZX Z 00 4Z
 ZY Z 4Z 30
 ZZ Z0 1 0X 10
 Z1 Z 4X 30
 Z2 Z3 1 1X 3X
 Z4 1 13 13
 OW OX 1 02 30
 OY Z 4Z Y3
 OZ 00 1 3X 00
 01 0 2W 00

02 03 0 01 2W
 04 0 4X 30
 1W 1X 0 00 00
 1Y 0 00 00
 1Z 10 0 00 00
 11 0 00 00
 12 13 Z 4Y 03
 14 Z 0Y 00
 2W 2X 0 21 4Z
 2Y 0 1Z WX
 2Z 20 Z 00 32
 21 Z X3 00
 22 23 0 14 WX
 24 Z 00 4Z
 3W 3X Z 4Y 03
 3Y Z 0Y 00
 3Z 30 0 2W WW
 31 0 1Z 0X
 32 33 Z 00 4Z
 34 Z X3 00
 4W 4X 0 11 W4
 4Y 1 00 1W
 4Z 40 Z 0Y 00
 41 Z 00 4Z
 42 43 0 11 XY
 44 0 21 4Z
 KC 0 00 0X
 1 W3 4Y

Засылка в рабочие ячейки $\cos\varphi - \alpha \sin\varphi$, $\cos\varphi + \alpha \sin\varphi$. Начало подпрограммы. Настройка по параметрам (начало).

Зона МБ 23

Адрес Команда

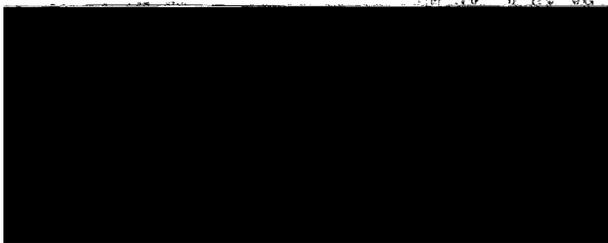
Адрес Команда

$\Pi_\phi=1$

$\Pi_\phi=1$

WW WX Z 32 30
 WY Z 4Z Y3
 WZ W0 Z 4Y 03
 W1 Z Z3 00
 W2 W3 0 2Z WW
 W4 0 1Z 0X
 KW XX Z 00 4Z
 XY Z 0Y 00
 XZ X0 0 22 1W
 X1 0 1Y ZX
 X2 X3 0 22 1Z
 X4 0 1W 30
 YW YK Z 4Z Y3
 YY Z 4Y 03
 YZ Y0 Z Z3 00
 Y1 0 2Z W4
 Y2 Y3 0 1Z 0X
 Y4 Z 00 4Z
 ZW ZX Z 0Y 00
 ZY 0 21 4Z

02 03 0 1W YX
 04 Z 43 Y3
 1W 1X Z 4Y 03
 1Y 0 YX 00
 1Z 10 1 14 Y3
 11 Z 4Y 03
 12 13 Z Z3 00
 14 0 00 00
 2W 2X Z 00 YY
 2Y 0 2Y 4Z
 2Z 20 Z Z3 00
 21 0 14 3X
 22 23 0 1W YX
 24 0 4Y Y3
 3W 3X Z 4Y 03
 3Y 0 1X 00
 3Z 30 Z 41 Y3
 31 1 4Y 10
 32 33 Z 4Y 03
 34 0 YX 00
 35 3Y 0 4Y Y3



Подпрограмма умножения на матрицу преобразования $R_{ij}S_{ij}$ слева (или $S_{ij}^{-1}R_{ij}^{-1}$ справа).

Адрес Команда		Зона МБ 3W	
Адрес Команда		Адрес Команда	
Π _φ =1		Π _φ =1	
WW WX	1 Y1 30	02 03	Z 00 YY
WY	1 41 33	04	Z 00 4Z
WZ W0	1 44 20	1W 1X	Z 0Y 00
W1	1 Y1 Y3	1Y	0 21 4Z
W2 W3	1 2Y Y3	1Z 10	0 1Z 0X
W4	1 43 3X	11	Z 00 4Z
XW XX	Z WX 10	12 13	Z 0Y 00
XY	1 01 30	14	0 2Z WW
XZ X0	1 41 33	2W 2X	0 1Y ZX
X1	1 44 20	2Y	0 00 00
X2 X3	1 01 Y3	2Z 20	Z Z3 00
X4	1 21 Y3	21	0 00 00
YW YX	1 4Y Y3	22 23	Z 00 YY
YY	Z 4Y 03	24	Z 00 4Z
YZ Y0	Z Z3 00	3W 3X	Z 0Y 00
Y1	0 00 00	3Y	0 22 1W
Y2 Y3	Z 00 YY	3Z 30	0 1Z 0X
Y4	Z 00 4Z	31	Z 00 4Z
ZW ZX	Z 0Y 00	32 33	Z 0Y 00
ZY	0 21 42	34	0 20 3W
ZZ Z0	0 1Z 0X	4W 4X	0 1Y Z3
Z1	0 20 3W	4Y	0 00 00
Z2 Z3	Z Z3 00	4Z 40	1 WX 00
Z4	0 22 1Z	41	0 00 00
0W 0X	0 1Z 0X	42 43	0 00 00
0Y	0 2Z WW	44	0 44 44
0Z 00	Z Z3 00	KC	0 00 00
01	0 00 00	Z Y3 W0	

Организация последовательности обращений к подпрограмме умножения на матрицу преобразования. Организация цикла по i, j . Проверка окончания итерационного процесса.

Зона МБ 3X

Адрес Команда

Адрес Команда

$P_{\phi}=1$

$P_{\phi}=1$

WW WX Z 44 ZO
 WY 0 00 X4
 WZ W0 0 3W XX
 W1 0 41 30
 W2 W3 1 4X 3X
 W4 1 X1 10
 XW XX Z 03 Z3
 XY Z WY 00
 XZ X0 0 24 Z1
 X1 1 43 30
 X2 X3 1 0X 10
 X4 0 24 XX
 YW YX 0 44 30
 YY 0 4Y 3X
 YZ Y0 1 0X 10
 Y1 0 4Y 30
 Y2 Y3 0 44 Y3
 Y4 0 24 X3
 ZW ZX Z 03 Z3
 ZY Z WY 00
 ZZ Z0 0 24 04
 Z1 0 2X X3
 Z2 Z3 Z 03 Z3
 Z4 Z WY 00
 OW OX 0 2X XX
 OY Z 42 Y3
 OZ 00 0 14 30
 01 0 10 33

02 03 0 14 Y3
 04 0 13 3X
 1W 1X 1 Z1 1X
 1Y 0 13 30
 1Z 10 0 10 33
 11 0 13 Y3
 12 13 0 1Y 3X
 14 0 2X X3
 2W 2X 1 4Y 1X
 2Y 0 11 30
 2Z 20 Z WX 10
 21 1 44 Z0
 22 23 Z 03 ZX
 24 1 44 0X
 3W 3X 1 30 ZX
 3Y 1 31 1X
 3Z 30 Z 40 2X Ω_3
 31 Z 03 Z3
 32 33 Z WY 00
 34 0 2X WX
 4W 4X 0 00 03
 4Y Z 03 Z3
 4Z 40 Z WY 00
 41 0 2X W3
 42 43 0 00 00
 44 0 00 00
 KC 0 00 01
 0 1W 23

Засылка собственных значений на место первого столбца матрицы А. Настройка по параметрам (продолжение).

Адрес Команда		Зона МБ ЗУ	
П _φ =1		П _φ =1	
WW WX	1 Y0 30	02 03	0 00 00
WY	1 1X 33	04	0 44 44
WZ W0	1 04 20	1W 1X	0 00 03
W1	1 Y0 Y3	1Y	Z 4Z 30
W2 W3	1 YX 30	1Z 10	1 0Z Y3
W4	1 03 33	11	Z 43 30
XW XX	1 04 20	12 13	0 20 XX
XY	1 YX Y3	14	0 24 Y3
XZ X0	1 Z1 3X	2W 2X	0 20 X3
X1	1 Y3 10	2Y	0 2X XX
X2 X3	Z 4Y 03	2Z 20	0 1Y Y3
X4	Z Z3 00	21	1 1X 33
YW YX	0 00 00	22 23	1 03 Y3
YY	Z 00 YY	24	Z 43 40
YZ Y0	0 00 00	3W 3X	1 4Y Y0
Y1	1 WX 00	3Y	Z 44 33
Y2 Y3	1 01 30	3Z 30	1 04 20
Y4	1 Z3 10	31	1 Z1 Y3
ZW ZX	Z 03 Z3	32 33	Z 44 30
ZY	Z WY 00	34	1 YX Y3
ZZ Z0	0 30 W1	4W 4X	1 Y0 Y3
Z1	0 00 00	4Y	0 1X Y3
Z2 Z3	Z 44 Z0	4Z 40	0 2X X3
Z4	0 00 X4	41	0 3X XX
0W 0X	Z 03 Z3	42 43	Z 41 30
0Y	Z WY 00	44	0 42 Y3
0Z 00	0 00 00	KC	0 00 04
01	0 00 00		Z 1X Y4

Настройка по параметрам (окончание). Засылка
 единичной матрицы на место матрицы В для $X > 0$ (на-
 чало).

Адрес Команда		Зона МБ 3Z	
П _φ =1		Адрес Команда	
П _φ =1		П _φ =1	
WW WX	0 3X X3	02 03	Z 4X 30
WY	0 24 XX	04	0 WY Y3
WZ W0	Z 4X 30	1W 1X	0 X4 Y3
W1	0 4Y Y3	1Y	0 2X Y3
W2 W3	Z 43 30	1Z 10	0 20 Y3
W4	0 4X Y3	11	0 30 X3
XW XX	Z 42 Y3	12 13	1 21 Y3
XY	0 30 33	14	Z 41 3X
XZ X0	0 4X 40	2W 2X	1 33 10
X1	0 WX Y0	2Y	Z 4Y 03
X2 X3	0 43 Y3	2Z 20	Z YY 00
X4	0 24 X3	21	0 00 00
YW YX	Z 41 30	22 23	Z 44 20
YY	1 Y4 13	24	0 00 X4
YZ Y0	Z 03 Z3	3W 3X	1 21 30
Y1	Z WY 00	3Y	1 44 33
Y2 Y3	0 2X WX	3Z 30	1 43 20
Y4	0 43 30	31	1 13 00
ZW ZX	0 30 XX	32 33	1 41 30
ZY	Z 4X 33	34	Z 32 Y3
ZZ Z0	1 43 20	4W 4X	Z 03 Z3
Z1	0 WX Y3	4Y	Z WY 00
Z2 Z3	Z 43 3X	4Z 40	0 31 W1
Z4	1 44 3X	41	0 00 30
0W 0X	1 43 20	42 43	0 44 44
0Y	Z 41 Y3	44	0 00 03
0Z 00	Z 43 30	КС	0 00 02
01	0 4Y Y3		Z 10 20

Нормировка собственных векторов (для $\gamma > 0$).

Адрес Команда		Зона МБ 30	
$\Pi_\phi=1$		$\Pi_\phi=1$	
WW WX	0 00 00	02 03	Z 4Y 03
WY	0 00 00	04	Z X3 00
WZ W0	1 4Z Y3	1W 1X	0 10 WX
W1	1 WY 30	1Y	1 00 4Z
W2 W3	1 4Y 33	1Z 10	1 4Z 30
W4	1 4X 20	11	Z 4Z Y3
XW XX	1 WY Y3	12 13	Z 4Y 03
XY	1 WX 3X	14	Z Z3 00
XZ X0	1 43 10	2W 2X	0 00 00
X1	Z 4Y 03	2Y	0 1Z WX
X2 X3	Z Z3 00	2Z 20	0 00 00
X4	0 00 00	21	1 2X 30
YW YX	Z 00 YY	22 23	1 34 33
YY	Z 00 4Z	24	1 4X 20
YZ Y0	Z X3 00	3W 3X	1 2X Y3
Y1	0 1Z 0X	3Y	1 20 Y3
Y2 Y3	Z 00 4Z	3Z 30	1 WY 3X
Y4	Z Z3 00	31	1 W0 10
ZW ZX	1 00 4Z	32 33	1 10 00
ZY	0 1Y Z3	34	0 00 03
ZZ Z0	1 00 4Z	4W 4X	0 44 44
Z1	1 X4 30	4Y	0 00 00
Z2 Z3	1 34 33	4Z 40	0 00 00
Z4	1 4X 20	41	0 00 00
0W 0X	1 X4 Y3	42 43	Z 44 Z0
0Y	1 WY 3X	44	0 00 X4
0Z 00	1 X1 1X	КС	0 00 1W
01	1 X1 13		1 YY 4Y

Засылка единичной матрицы на место матрицы В
 для $y > 0$ (продолжение).

Адрес Команда				Зона МБ 31			
П ₀ =1				П ₀ =1			
WW	WX	Z 03	Z3	02	03	0 00	00
	WY	Z WY	00		04	0 00	00
WZ	W0	0 00	00	1W	1X	0 00	00
	W1	Z 40	30		1Y	0 00	00
W2	W3	1 W0	Y3	1Z	10	0 00	00
	W4	Z 4X	30		11	0 00	00
XW	XX	1 X4	Y3	12	13	0 00	00
	XY	Z 44	Z0		14	0 00	00
XZ	X0	0 00	X4	2W	2X	0 00	00
	X1	Z 4Y	03		2Y	0 00	00
X2	X3	Z YY	00	2Z	20	0 00	00
	X4	0 00	00		21	0 00	00
YW	YX	1 X4	30	22	23	0 00	00
	YY	Z 41	3X		24	0 00	00
YZ	Y0	1 Z3	10	3W	3X	0 00	00
	Y1	1 X4	30		3Y	0 00	00
Y2	Y3	1 Z1	33	3Z	30	0 00	00
	Y4	Z 43	33		31	0 00	00
ZW	ZX	1 Z0	20	32	33	0 00	00
	ZY	1 XX	00		34	0 00	00
ZZ	Z0	0 44	44	4W	4X	0 00	00
	Z1	0 00	03		4Y	0 00	00
Z2	Z3	Z 03	Z3	4Z	40	0 00	00
	Z4	Z WY	00		41	0 00	00
0W	0X	0 2X	WX	42	43	0 00	00
	0Y	0 00	00		44	0 00	00
0Z	00	0 00	00	КС		0 00	0Z
	01	0 00	00			0 31	ZZ

КОНЕЦ

Приложение 2. Нестандартная часть типовой задачи.

Ввод нестандартной части, I. Ввод порядка матрицы.

Адрес Команда

$\Pi_0=0$

WW	WX	0 00	04	
	WY	0 04	2Z	
WZ	W0	0 1Y	Z0	
	W1	0 0X	ZX	
W2	W3	0 1Y	0X	
	W4	0 X1	1X	
XW	XX	0 33	13	
	XY	0 02	30	
XZ	X0	0 X2	Y3	
	X1	1 01	X0	
X2	X3	Z WW	X4	
	X4	0 WW	XY	
YW	YX	0 1Z	23	
	YY	0 43	Z0	
YZ	Y0	0 03	Y0	
	Y1	0 WX	44	
Y2	Y3	0 WY	44	
	Y4	0 Y0	ZX	
ZW	ZX	0 Y1	1X	
	ZY	0 1Y	Z0	
ZZ	Z0	0 1Y	ZX	
	Z1	0 1Y	ZX	
Z2	Z3	0 3Z	3Y	
	Z4	0 W0	10	
0W	0X	0 01	2X Ω_4	
	0Y	0 1Y	Z0	
0Z	00	0 X1	00	
	01	0 43	Z0	

Адрес Команда

$\Pi_0=0$

02	03	1 12	X4	
	04	Z 12	XX	
1W	1X	0 YX	00	
	1Y	0 Z4	00	
1Z	10	0 00	00	
	11	0 30	00	
12	13	0 00	0W	} Σ_{33}
	14	0 0W	Y1	
2W	2X	0 00	04	} Σ_{41}
	2Y	Z 11	X2	
2Z	20	0 00	11	} Σ_{42}
	21	Z Y1	Y1	
22	23	0 00	02	} Σ_{43}
	24	Z 43	X1	
3W	3X	0 00	01	} Σ_{44}
	3Y	Z 10	02	
3Z	30	0 00	01	} Σ_{12}
	31	Z Y2	24	
32	33	Z 0X	X0	
	34	Z WX	30	
4W	4X	Z 00	XX	
	4Y	Z 0X	X0	
4Z	40	Z WX	3X	
	41	1 WX	10	
42	43	Z 00	2X Ω_5	
	44	0 33	00	
КС		0 00	0W	
		0 0W	Y1	

Подпрограмма «10 → 3» I.

Адрес Команда

$\Pi_0=1$

WW	WX	0	00	00
	WY	0	00	03
WZ	W0	1	10	00
	W1	0	41	X3
W2	W3	Z	4Y	03
	W4	Z	YY	00
XW	XX	0	00	00
	XY	1	XX	Z0
XZ	X0	0	00	X4
	X1	1	XX	30
X2	X3	1	WY	33
	X4	1	XX	Y3
YW	YX	1	WX	30
	YY	1	WY	3X
YZ	Y0	1	WX	Y3
	Y1	1	ZY	13
Y2	Y3	Z	03	Z3
	Y4	Z	WY	00
ZW	ZX	0	00	00
	ZY	0	41	XX
ZZ	Z0	Z	4Z	30
	Z1	1	41	X3
Z2	Z3	1	42	XX
	Z4	Z	4Y	03
0W	0X	Z	X3	00
	0Y	0	1W	YX
0Z	00	1	XX	Y3
	01	Z	4Y	03

ВЫХОД

ВХОД

Зона МБ 41

Адрес Команда

$\Pi_0=1$

02	03	0	YX	00
	04	1	WX	Y3
1W	1X	1	23	00
	1Y	0	00	00
1Z	10	Z	0Z	00
	11	0	03	00
12	13	0	ZX	2W
	14	1	04	Y0
2W	2X	0	00	00
	2Y	0	00	00
2Z	20	0	00	00
	21	0	00	00
22	23	0	43	30
	24	1	ZX	Y3
3W	3X	Z	00	XX
	3Y	Z	0X	X0
3Z	30	0	00	XX
	31	0	0X	X0
32	33	1	10	Z0
	34	1	11	ZX
4W	4X	1	Z1	13
	4Y	Z	43	31
4Z	40	0	43	3Y
	41	1	34	10
42	43	1	40	2X
	44	1	3X	00
КС		0	00	04
	Z	11	X2	

$\xi = 10^{-6}$

Ω_7

Подпрограмма «10 → 3» II.

Адрес Команда		Зона МБ 42	
П _φ =1		Адрес Команда	
П _φ =1		П _φ =1	
WW WX	1 Z1 33	02 03	1 3X 20
	WY 1 23 10	04	1 WX 1X
WZ WO	1 Z3 3X	1W 1X	1 Z1 3X
	W1 1 2Y 10	1Y	1 X3 13
W2 W3	1 40 3X	1Z 10	1 Z1 33
	W4 1 Y0 10	11	Z 20 0X
XW XX	1 43 33	12 13	Z 01 23
	XY 1 24 10	14	1 4Y 13
XZ XO	1 Z3 3X	2W 2X	1 43 XX
	X1 1 3Y 10	2Y	1 44 30
X2 X3	Z 20 23	2Z 20	Z 00 Y3
	X4 1 Y0 10	21	1 Y0 00
YW YX	1 44 XX	22 23	1 43 XX
	YY Z 20 Z0	24	1 41 XX
YZ YO	Z 4Y 30	3W 3X	1 40 00
	Y1 1 41 33	3Y	Z 01 23
Y2 Y3	Z 4Y Y3	3Z 30	1 34 13
	Y4 1 40 3X	31	Z 1X 0X
ZW ZX	1 00 1X	32 33	1 Y0 00
	ZY 1 41 ZX	34	Z 03 0X
ZZ ZO	1 Y3 00	4W 4X	1 Y0 00
	Z1 1 00 00	4Y	1 43 XX
Z2 Z3	0 10 00	4Z 40	0 20 00
	Z4 Z 00 XX	41	0 03 00
OW OX	Z 4W Y3	42 43	1 Y0 00
	OY Z 4X Z0	44	0 0X 00
OZ OO	0 WW 31	KC	0 00 11
	O1 Z 4Y Y0		Z Y1 Y1

Перевод порядка и элементов матрицы в троичную систему. Обращение к стандартной подпрограмме вычисления собственных значений и векторов. Ввод и настройка остальной программы.

Зона МБ 12

Адрес Команда

Адрес Команда

$\Pi_\phi=1$

$\Pi_\phi=1$

WW WX Z WX 30
 WY 1 4X 20
 WZ W0 1 40 40
 W1 Z WY Y3
 W2 W3 Z WX 30
 W4 1 4Y 20
 XW XX Z WY 33
 XY 1 41 Y0
 XZ X0 1 00 Y3
 X1 1 00 40
 X2 X3 1 04 Y0
 X4 1 Z1 Y3
 YW YX Z 1W XX
 YY 1 43 Z0
 YZ Y0 Z 44 0X
 Y1 Z 1W X3
 Y2 Y3 Z 1X XX
 Y4 Z 03 Z3
 ZW ZX Z WY 00
 ZY 0 41 Z4
 ZZ Z0 0 31 0Z
 Z1 0 00 00
 Z2 Z3 Z 42 0X
 Z4 Z 03 Z3
 OW OX Z WY 00
 OY 0 23 OY
 OZ O0 0 00 00
 O1 0 41 12

Перевод
элементов
матрицы

Обращение
к подпрограмме
собств. знач.

02 03 0 31 0Z
 04 0 1X 00
 1W 1X 0 4Y 22
 1Y 0 01 X0
 1Z 10 0 32 X3
 11 Z 32 XX
12 13 0 W3 00
 14 0 00 30
 2W 2X 1 21 Y3
 2Y 0 03 33
 2Z 20 1 34 Y3
 21 0 Z1 30
 22 23 0 1X 33
 24 1 33 Y3
 3W 3X Z 1W XX
 3Y 0 44 Z0
 3Z 30 Z 44 0X
 31 Z 1W X3
 32 33 Z 1X XX
 34 1 WX 00
 4W 4X 1 40 00
 4Y 0 04 30
 4Z 40 0 11 00
 41 0 0Y 00
 42 43 0 12 00
 44 0 13 00
 KC 0 00 01
 Z Y2 24

Ввод нестандартной части, II.

Адрес Команда		Зона МБ 12	
П ₀ =0		П ₀ =0	
WW WX	0 14 Z0	02 03	0 Y4 Y3
	WY	04	0 14 Z0
WZ W0	1 4Y X4	1W 1X	0 Y1 ZX
	W1	1Y	0 14 0X
W2 W3	0 0W Z3	1Z 10	0 WY 1X
	W4	11	0 ZY 10
XW XX	0 2X 30	12 13	0 12 XX
	XY	14	0 Z3 00
XZ X0	0 WY 44	2W 2X	0 00 00
	X1	2Y	0 00 00
X2 X3	0 XY 1X	2Z 20	0 00 0Z
	X4	21	1 2X 3X } Σ_{36}
YW YX	0 14 ZX	22 23	0 00 10 } Σ_{32}
	YY	24	0 4Y 10 } Σ_{32}
YZ Y0	0 4Z 3Y	3W 3X	0 00 03 } Σ_{33}
	Y1	3Y	0 X4 X2 } Σ_{33}
Y2 Y3	Z 00 2X Ω_6	3Z 30	0 00 10 } Σ_{34}
	Y4	31	Z XY YX } Σ_{34}
ZW ZX	0 03 00	32 33	0 00 1X } Σ_{4w}
	ZY	34	1 Y3 2Y } Σ_{4w}
ZZ Z0	0 WZ Y3	4W 4X	0 00 1W } Σ_{4X}
	Z1	4Y	Z 2Z 2Z } Σ_{4X}
Z2 Z3	1 13 X3	4Z 40	0 00 10 } Σ_{13}
	Z4	41	Z 3X 2X } Σ_{13}
0W 0X	0 00 00	42 43	0 00 01
	0Y	44	Z Y3 X3
0Z 00	0 WX 00	KC	0 00 0Z
	01		1 2X 3X

Печать результатов, I.

Адрес Команда

$\Pi_\phi=0$

WW	WX	1	13	41
	WY	1	13	2Z
WZ	W0	1	13	41
	W1	1	13	2Z
W2	W3	1	13	41
	W4	1	32	42
XW	XX	0	00	2Z
	XY	1	13	2W
XZ	X0	1	13	30
	X1	1	30	33
X2	X3	1	13	Y3
	X4	1	31	3X
YW	YX	1	04	1X
	YY	0	XX	30
YZ	Y0	1	20	33
	Y1	0	XX	Y3
Y2	Y3	1	3Y	20
	Y4	1	24	3X
ZW	ZX	0	32	X3
	ZY	1	Z4	1X
ZZ	Z0	0	XX	30
	Z1	1	23	33
Z2	Z3	0	XX	Y3
	Z4	0	32	X3
0W	0X	1	Z4	00
	0Y	0	00	00
0Z	00	1	13	41
	01	1	13	2Z

Зона МБ 32

Адрес Команда

$\Pi_\phi=0$

	02	03	1	13	41
		04	1	13	41
1W	1X	1	13	41	
	1Y	1	14	WW	
1Z	10	0	00	00	
	11	0	00	00	
12	13	0	00	00	
	14	0	00	00	
2W	2X	0	00	00	
	2Y	0	00	00	
2Z	20	0	00	00	
	21	0	00	00	
22	23	0	00	00	
	24	0	00	00	
3W	3X	0	00	00	
	3Y	0	00	00	
3Z	30	0	00	00	
	31	0	00	00	
32	33	0	00	00	
	34	0	00	00	
4W	4X	0	00	00	
	4Y	0	00	00	
4Z	40	0	00	00	
	41	0	00	00	
42	43	0	00	00	
	44	0	00	00	
KC		0	00	10	
		0	4Y	10	

Подпрограмма «3 → 10», I.

Адрес Команда

$\Pi_0=1$

WW	WX	1	40	00
WY	Z	4Y	03	<u>Вход</u>
WZ	W0	Z	X3	00
W1	0	1W	YX	
W2	W3	Z	40	Y3
W4	Z	4Y	03	
XW	XX	0	YX	00
XY	1	0Y	Y3	
XZ	X0	1	Z0	30
X1	0	44	Y3	
X2	X3	Z	4Y	03
X4	0	YX	00	
YW	YX	1	Z0	Y3
YY	Z	4Y	03	
YZ	Y0	0	YX	00
Y1	Z	41	Y3	
Y2	Y3	0	43	30
Y4	Z	43	Y3	
ZW	ZX	Z	4Y	03
ZY	Z	Z3	00	
ZZ	Z0	0	4W	00
Z1	1	00	Z3	
Z2	Z3	1	Z1	Z0
Z4	Z	4Y	03	
0W	0X	Z	00	00
0Y	0	00	00	
0Z	00	1	0X	ZX
01	Z	31	0X	

Зона МБ 33

Адрес Команда

$\Pi_0=1$

02	03	1	13	30
04	Z	31	3X	
1W	1X	1	13	Y3
1Y	Z	1X	X3	
1Z	10	Z	00	XX
11	1	00	31	
12	13	Z	WW	Y4
14	Z	44	Y0	
2W	2X	1	WX	20
2Y	1	23	13	
2Z	20	1	WX	33
21	1	34	10	
22	23	Z	44	30
24	1	44	33	
3W	3X	Z	44	Y3
3Y	1	43	3X	
3Z	30	1	11	1X
31	1	44	ZX	
32	33	1	3X	00
34	1	13	ZX	
4W	4X	Z	44	3X
4Y	Z	44	Y3	
4Z	40	0	1X	XX
41	1	34	XX	
42	43	0	20	00
44	0	03	00	
KC	0	00	03	
0	X4	X2		

Подпрограмма «3 → 10», II.

Адрес Команда

$\Pi_0=1$

WW	WX	1	00	00
	WY	0	0Z	2Z
WZ	W0	0	33	00
	W1	0	00	00
W2	W3	0	3X	3X
	W4	1	Z1	Z1
XW	XX	0	02	00
	XY	0	01	00
XZ	X0	0	0Y	00
	X1	0	0Z	0Z
X2	X3	1	34	ZX
	X4	1	2X	00
YW	YX	0	Y3	0X
	YY	0	32	30
YZ	Y0	1	00	Y0
	Y1	1	X1	Y0
Y2	Y3	1	4Z	40
	Y4	0	32	YX
ZW	ZX	0	4X	33
	ZY	1	X1	33
ZZ	Z0	1	W1	Z0
	Z1	0	03	ZX
Z2	Z3	1	0Y	01
	Z4	0	32	30
0W	0X	1	WW	41
	0Y	0	32	YX
0Z	00	0	1W	33
	01	1	W2	34

Зона МБ 34

Адрес Команда

$\Pi_0=1$

02	03	0	1W	Y3
	04	1	ZY	14
1W	1X	1	0Y	1W
	1Y	0	32	30
1Z	10	0	32	33
	11	0	1X	Y0
12	13	1	X3	13
	14	1	44	40
2W	2X	0	WX	0X
	2Y	0	1Y	Z0
2Z	20	1	X1	ZX
	21	0	1Y	0X
22	23	0	41	ZX
	24	1	11	ZX
3W	3X	1	33	13
	3Y	1	X1	Z0
3Z	30	1	WW	3X
	31	1	4W	XX
32	33	1	W2	40
	34	1	X0	Y0
4W	4X	1	2Y	00
	4Y	0	00	00
4Z	40	0	2W	WW
	41	Z	WW	WW
42	43	1	YX	00
	44	0	X0	00
KC		0	00	10
	Z	XY	YX	

Подпрограмма «3 → 10», III.

Адрес Команда

$\Pi_0=1$

WW WX	1 42 38
WY	0 W1 Y0
WZ W0	1 0Y 28
W1	1 42 4X
W2 W3	0 32 Y3
W4	1 14 Y0
XW XX	0 08 Y0
XY	0 3Z Y3
XZ X0	0 32 30
X1	0 03 Y0
X2 X3	1 42 4Y
X4	0 32 Y3
YW YX	1 14 Y0
YY	0 3Z 33
YZ Y0	1 08 ZX
Y1	1 XX 1X
Y2 Y3	0 1Y 20
Y4	0 32 Y3
ZW ZX	1 00 10
ZY	1 14 Y0
ZZ Z0	1 00 13
Z1	0 W1 ZX
Z2 Z3	0 32 30
Z4	1 X1 Y0
0W 0X	1 4Y 00
0Y	0 11 00
0Z 00	0 40 ZX
01	1 04 13

Зона МБ 4W

Адрес Команда

$\Pi_0=1$

02 03	0 XX Z0
04	0 W1 ZX
1W 1X	0 XX 0X
1Y	0 1Y 30
1Z 10	1 13 1X
11	0 40 30
12 13	0 W1 33
14	0 Y3 Z0
2W 2X	0 XY Y3
2Y	0 41 30
2Z 20	1 4X XX
21	0 43 30
22 23	1 31 Y3
24	Z Z0 X0
3W 3X	Z 1X XX
3Y	Z 03 Z3
3Z 30	Z WY 00
31	0 00 00
32 33	1 WX 1X
34	0 1Y ZX
4W 4X	1 41 30
4Y	0 1Y 0X
4Z 40	1 Y4 00
41	0 10 00
42 43	1 WW WW
44	Z WW WW
KC	0 00 1X
1	Y3 2Y

Выход

Подпрограмма «3 → 10», IV.

Адрес Команда		Зона МБ 4X	
П ₀ =1		Адрес Команда	
П ₀ =1		П ₀ =1	
WW WX	0 XX Y3	02 03	1 XY 13
	WY	0 1Y	30
WZ W0	0 04 Y3	1W 1X	0 1Y 3X
	W1	1 X1	20
W2 W3	0 XY Y3	1Y	1 WX 13
	W4	0 32	30
XW XX	1 X1 00	1Z 10	1 WY 30
	XY	0 WW	30
XZ X0	0 11 Y0	11	1 ZY 3X
	X1	0 WW	Y3
X2 X3	1 44 20	12 13	1 WY Y3
	X4	0 14	1 20 1X
YW YX	0 00 34	2W 2X	0 3Y 30
	YY	0 2Y	1 X3 00
YZ Y0	Z 44 30	2Z 20	1 4W XX
	Y1	0 21	1 XY 20
Y2 Y3	Z 44 Y3	22 23	0 04 Y3
	Y4	0 24	0 WX 30
ZW ZX	1 Z1 13	3W 3X	1 X1 00
	ZY	0 3Y	0 41 30
ZZ Z0	1 Y3 00	3Z 30	0 1Y 33
	Z1	0 31	1 40 1X
Z2 Z3	0 W1 3X	32 33	0 1Y 3X
	Z4	0 34	0 W1 3X
OW OX	1 3Y 10	34	0 4W 4X 1 XY 20
	OY	0 4Y	0 XX Y3
OZ 00	0 W1 3X	4Z 40	0 W0 30
	01	0 41	1 X3 00
		42 43	0 2Z 4X
		0 44	1 40 00
		KC	0 00 1W
			Z 2Z 2Z

Печать результатов II.

Адрес Команда

$\Pi_0=1$

WW WX	Z 03	Z3
WY	Z WY	00
WZ W0	0 33	WY
W1	0 01	00
W2 W3	0 13	4W
W4	0 31	0Z
XW XX	0 Z4	00
XY	1 W4	30
XZ X0	1 30	33
X1	1 W4	Y3
X2 X3	1 34	3X
X4	1 Z3	10
YW YX	1 43	30
YY	1 20	33
YZ Y0	1 43	Y3
Y1	1 3Y	20
Y2 Y3	1 24	3X
Y4	1 WX	1X
ZW ZX	1 43	30
ZY	1 23	33
ZZ Z0	1 Y0	00
Z1	0 00	00
Z2 Z3	0 32	XX
Z4	1 31	30
0W 0X	1 21	33
0Y	1 31	Y3
0Z 00	1 33	3X
01	1 3X	13

Зона МБ 13

Адрес Команда

$\Pi_0=1$

02 03	0 Z0	X0
04	Z 03	Z3
1W 1X	Z WY	00
1Y	0 33	WY
1Z 10	0 01	00
11	0 32	0Z
12 13	0 4Y	22
14	0 0X	00
2W 2X	0 32	XX
2Y	0 X0	00
2Z 20	0 00	30
21	0 00	00
22 23	0 1X	X0
24	0 03	30
3W 3X	0 00	2X
3Y	0 04	30
3Z 30	0 00	03
31	0 4Y	22
32 33	0 00	00
34	0 00	00
4W 4X	1 23	41
4Y	1 13	2Z
4Z 40	1 13	41
41	1 32	12
42 43	0 00	41
44	1 13	2W
KC	0 00	10
Z	3X	2X

Ω 8

Изменение к выпуску 11. (заменить текст п.1 §1 на стр. 5 на следующий)

1. Обращение к подпрограмме задается следующими пятью строками:

$$\begin{aligned}
 (x_1): & \quad Z1XZ3; \quad (c)+3e_A \Rightarrow (F) \\
 (x_2): & \quad ZWY00; \quad БП \rightarrow Вх.VI ИП-5 \\
 (x_3): & \quad 040WX; \quad A_{10 \rightarrow 3} \\
 (x_4): & \quad \quad \quad A_{нач.} \\
 (x_5): & \quad \quad \quad 3v \cdot e_F \\
 (x_6): & \quad \dots\dots\dots
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $A_{10 \rightarrow 3}$ – обобщенный адрес начала подпрограммы «10→3»;

$A_{нач.} = \text{ом}\Delta$ – обобщенный адрес для первого переведенного числа;

v – целое число (записанное в троичной системе счисления), определяемое при $\Delta = WW$ по формуле:

$$N = 2n + \left[\frac{n}{13} \right]$$

n – количество чисел во вводимом массиве,

уменьшенное на единицу, $\left[\frac{n}{13} \right]$ – целая часть числа $\frac{n}{13}$

Условие $\Delta=WW$ означает, что при задании v по вышеуказанной формуле подпрограмма сработает правильно только в том случае, если переведенный массив чисел записывается на барабан, начиная с начала какой-либо зоны.

Подпрограммой можно пользоваться и в случае $\Delta \neq WW$ при $\Delta < 42$, однако v должно определяться несколько другими соотношениями.

Обозначим через μ количество длинных ячеек в зоне M до начала массива переводимых чисел (заметим, что в ИП-5 адрес числа всегда есть адрес какой-либо длинной ячейки), т.е.:

$$\mu = 1/3(\Delta + 44_9)$$

Тогда, если μ четное, то:

$$N = 2n + \left[\frac{\left(n + \frac{\mu}{2}\right)}{13} \right]$$

Если μ нечетное, то:

$$v = \begin{cases} 2n, & \text{при } n + \frac{(\mu-1)}{2} < 26 \\ 2n + \left[\frac{n + \frac{\mu-1}{2}}{13} \right] - 1, & \text{при } n + \frac{(\mu-1)}{2} \geq 13 \end{cases}$$

После окончания работы подпрограммы управление передается команде с адресом x_6 (см. (1)).

Издано в 1964 году:

Выпуск 1.

Жоголев Е.А. ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ МАШИНЫ «СЕТУНЬ».

Выпуск 2.

Фурман Г.А. ИНТЕРПРЕТИРУЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДЕЙСТВИЙ С КОМПЛЕКСНЫМИ ЧИСЛАМИ (ИП-4).

Выпуск 3.

Франк Л.С, Рамиль Альварес Х. ПОДПРОГРАММА ВЫЧИСЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ИНТЕГРАЛОВ ДЛЯ ИП-2.

Выпуск 4.

Жоголев Е.А., Есакова Л.В. ИНТЕРПРЕТИРУЮЩАЯ СИСТЕМА ИП-3. Поправка к выпуску 4 опубликована в выпуске 9 (1965 г.)

Выпуск 5.

Фурман Г.А. ПОДПРОГРАММА ВЫЧИСЛЕНИЯ ВСЕХ КОРНЕЙ МНОГОЧЛЕНА ДЛЯ ИП-4.

Выпуск 6.

Прохорова Г.В. ИНТЕРПРЕТИРУЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДЕЙСТВИЙ С ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТЬЮ (ИП-5), Изменение к выпуску 6 опубликовано в выпуске 11 (1966 г.)

Издано в 1965 году:

Выпуск 7.

Гордонова В.И. ТИПОВАЯ ПРОГРАММА РАСЧЕТА КОРРЕЛЯЦИОННЫХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ.

Выпуск 8.

Бондаренко Н.В. СИСТЕМА ПОДПРОГРАММ ВВОДА И ВЫВОДА АЛФАВИТНО-ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ИП-3.

Выпуск 9.

Черепенникова Ю.Н. НАБОР ПОДПРОГРАММ ДЛЯ ВВОДА И ВЫВОД ЧИСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ИП-2.

Выпуск 10.

Жоголев Е.А., Лебедева Н.Б. СИМПОЛИЗ 64 – ЯЗЫК ДЛЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ В СИМВОЛИЧЕСКИХ ОБОЗНАЧЕНИЯХ.

Издано в 1966 году:

Выпуск 11.

Прохорова Г.В. ПОДПРОГРАММЫ ВВОДА И ВЫВОДА ЧИСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ИП-5.

Выпуск 12.

Черепенникова Ю.Н. СТАНДАРТНАЯ ПОДПРОГРАММА ДЛЯ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ (в системе ИП-2).

Выпуск 13.

Лебедева Н.Б., Рамиль Альварес Х. ИНСТРУКЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ ПОЛИЗ.

Выпуск 14.

Черепенникова Ю.Н. ПОДПРОГРАММЫ ВВОДА И ВЫВОДА ЧИСЕЛ В СИСТЕМЕ ИП-4.

Выпуск 15.

Федорченко В.Е. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАВНОМЕРНЫХ ПСЕВДО-СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ НА МАШИНЕ «СЕТУНЬ».

Выпуск 16.

Черепенникова Ю.Н. ТИПОВАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ.