МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М. В. ЛОМОНОСОВА

Вычислительный центр

Г. А. ФУРМАН

ИНТЕРПРЕТИРУЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДЕЙСТВИЙ С КОМПЛЕКСНЫМИ ЧИСЛАМИ (ИП-4)

Серия:

Математическое обслуживание

машины «Сетунь»

Под обшей редакцией Е. А. Жоголева

Выпуск 2

Москва — 1964 г.

Содержание

§1. Введение.

Настоящая работа выполнена как часть системы математического обслуживания для машины «СЕТУНЬ» в 1961-62 годах. В работе, кроме автора, принимала участие Ю.Н.Черепенникова. В частности, ей разработаны подпрограммы «Нормализация» и извлечение квадратного корня.

Данная интерпретирующая система состоит из интерпретирующей программы ИП-4 и набора стандартных подпрограмм для выполнения основных действий и вычисления элементарных функций в комплексной плоскости. ИП-4 (также как и ИП-2) работает в режиме частичной интерпретации, основные идеи которой изложены в [1].

Каждое из комплексных чисел, с которыми оперирует данная система, имеет вид:

$$Z = (X + iY) \cdot 3^p, \qquad (1)$$

где X (мантисса действительной части) и Y — (мантисса мнимой части) восемнадцатиразрядные числа, расположенные в указанном порядке в двух соседних длинных ячейках, а p — общий порядок числа Z, расположенный в пяти старших разрядах следующей короткой ячейки. Комплексное число (1) считается нормализованным, если X, Y и p удовлетворяют следующим условиям:

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}5 < max\left(|X|,|Y|\right) < 1{,}5,\ |p| \leqslant 40,\ npu\ z \neq 40 \\ X = 0,\ Y = 0,\ p = -40,\ npu\ z = 0 \end{array}\right\};$$

Кроме того, ИП-4 накладывает следующее ограничение на размещение в памяти комплексных чисел: величины X, Y и p, относящиеся к одному и тому же комплексному числу, должны обязательно располагаться в одной и той же зоне.

§2. Интерпретирующая программа ИП-4

Для облегчения процесса программирования задач, имеющих дело с комплексными числами, разработана интерпретирующая программа ИП-4. В рамках данной системы магнитный барабан рассматривается фактически в качестве оперативной памяти. Для указания месторасположения кодов на магнитном барабане вводятся обобщенные адреса A_j, являющиеся троичными кодами. Обобщенный адрес является коротким кодом и имеет следующую структуру:

$$A_j = \Pi_{\phi j} M_j \Delta_J ,$$

где Δ_j — номер строки зоны M_j при $\text{ПФ}_j = 0$ и $M_j \neq 0$. Если $\text{ПФ}_j \neq 0$ и $M_j = 0$, то соответствующий обобщенный адрес относится к оперативной памяти. Если обобщенный адрес относится к какому-либо комплексному числу, то он должен быть равен обобщенному адресу мантиссы действительной части X этого числа (Y и p располагаются в следующих ячейках памяти). При работе с ИП-4 зоны оперативной памяти выполняют следующие функции: зона $Ф_0$ служит местом, на которое считывается зона информации, требующаяся в процессе выполнения программы, а также местом для выполнения ряда стандартных подпрограмм; кроме того, в $Ф_0$ считывается дополнительная зона ИП-4; зона Ф, служит местом для выполнения очередной зоны основной программы;

зона $Ф_{-1}$ служит местом для размещения ИП-4, в ней постоянно хранится основная зона ИП-4. Поэтому все стандартные подпрограммы, основная программа и информация, необходимая для ее выполнения, хранятся полностью на магнитном барабане и вызываются в оперативную память по мере надобности.

ИП-4 выполняет следующие функции:

1) реализует обращение к стандартным подпрограммам и, как частный случай этого, производит пересылку информации с одного места памяти на другое;

2) производит передачу управления по обобщенному адресу (обобщенный переход);

3) производит выполнение линейных (без передач управления) кусков программы при переходе от одной зоны программы к следующей.

При обращении к стандартным подпрограммам задаются обобщенные адреса аргумента и результата, а также обобщенный адрес начала подпрограммы. Результат выполнения какой-либо подпрограммы представляется в нормализованном виде. При обобщенном переходе задается обобщенный адрес A_j того места основной программы, в которое требуется передать управление. Обобщенные адреса начала подпрограммы и A_j при обобщенном переходе относятся к коротким кодам.

Для продолжения выполнения линейных кусков программы никакой информации не требуется, так как после выполнения последней команды зоны Ф1 (последней команды зоны основной программы, расположенной в оперативной памяти) управление автоматически перейдет к первой команде зоны $Ф_{-1}$ (первой команде основной зоны ИП-4). В результате этого ИП-4 произведет считывание следующей зоны основной программы (информация об этом имеется внутри зоны переходов) в зону $Ф_1$, оперативной памяти и передаст управление на начало этой зоны.

ИП-4 каждый раз запоминает номера зон магнитного барабана M_0 и M_1, содержимое которых в данный момент вызвано в оперативную память соответственно в зоны $Ф_0$ и $Ф_1$. Поэтому при каждом считывании зоны магнитного барабана содержимое соответствующей зоны оперативной памяти в случае необходимости запоминается на магнитном барабане.

ИП-4 занимает три зоны магнитного барабана ($1\bar{4}, 1\bar{3}, 1\bar{2}$). Часть ИП-4, реализующая обращение к стандартным подпрограммам и вызов в оперативную память информации требующейся в процессе счета, состоит из двух зон: основной и дополнительной. Основная зона (зона МБ $1\bar{3}$) всегда находится в $Ф_{-1}$, а дополнительная зона ($1\bar{2}$) считывается в $Ф_0$ для расшифровки каждого обобщенного адреса.

В основной зоне имеются рабочие ячейки для величин X_1, X_2, P_x, Y_1, Y_2, P_y, в которых может храниться два комплексных числа и $u=(X_{1,}+iX_2)\cdot 3^{Px}$ и $v=(Y_{1,}+iY_2)\cdot 3^{Py}$ и ячейка для величины M_0 (ее адрес $1\bar{4}\bar{4}$), которая обозначает номер зоны магнитного барабана, вызванной в зону $Ф_0$.

Обобщенными адресами величин u и v являются:

$$Au=\bar{1}003\bar{4} \quad \text{и} \quad Av=\bar{1}004\bar{4}$$

В дополнительной зоне находится еще подпрограмма «Нормализация», о назначении которой будет сказано несколько позже.

Обращение к стандартной подпрограмме в общем случае имеет следующий вид:

$$
\left.\begin{array}{lll}
(x0): & \bar{1}3403 & (c)\Rightarrow(\alpha) \\
(x1): & \bar{1}\bar{1}300 & БП^{\Rsh 1}\ Вх.I\ ИП-4 \\
(x2): & П_{фz}M_z\Delta_z & A_z \\
(x3): & П_{фf}M_f\Delta_f & A_f \\
(x4): & П_{фw}M_w\Delta_w & A_w
\end{array}\right\} F(z)\Rightarrow w;
$$

Здесь A_z — обобщенный адрес аргумента z, A_f — обобщенный адрес подпрограммы, реализующей вычисление функции f, A_w — обобщенный адрес результата w. Отсюда видно, что при обращении к подпрограмме может задаваться только один аргумент. Второй аргумент в случае необходимости может быть помещен на место величины v.

При обращении к стандартной подпрограмме ИП-4 выполняет следующие действия:

1. Расшифровывает обобщенный адрес аргумента A_z; зону M_z в которой находится аргумент $z=(Z_{1,}+iZ_2)\cdot 3^{Pz}$, считывает в $Ф_0$ и засылает z на место величины:

$$u=(X_1+iX_2)\cdot 3^{Px} \quad (z\Rightarrow u)$$

2. Расшифровывает обобщенный адрес начала подпрограммы A_f, зону M_f считывает в $Ф_0$ и передает управление на начало подпрограммы 0 Δ_f. Первым аргументом каждой стандартной подрограммы является u, вто-

рым аргументом (в случае необходимости) является v, результат засылается на место u. Таким образом каждая подпрограмма выполняет действие:

$$f(u, v) \Rightarrow u$$

3. Расшифровывает обобщенный адрес результата A_w; зону M_w считывает в $Ф_0$ и пересылает u на место w $(u \Rightarrow w)$. Зона с результатом обратно на магнитный барабан не записывается, но номер M_w хранится на место M_0. Поэтому при следующем обращении к стандартной подпрограмме нужно, чтобы вторая команда обращения имела вид: БП↱1 Вх.I ИП-4 (см. выше).

При обращении к другим входам ИП-4 (см. ниже) запоминание состояния зоны $Ф_0$ не происходит. В частности, при обращении ко входу П (БП↱1 Вх.II) ИП-4 выполняются все те же действия, что и при обращении ко входу I, кроме запоминания состояния $Ф_0$. Если нужно обратиться к вычислению функции от двух аргументов (т.е. выполнить действие $f(z, \tilde{z}) \Rightarrow w$), то сначала один аргумент засылается на место величины $v = (Y_1 + i \cdot Y_2) \cdot 3^{Py}$, а потом записываются команды обращения к стандартной подпрограмме, где указывается обобщенный адрес другого аргумента. Это обращение имеет вид:

$$\left.\begin{array}{lll}
(x_0): & \bar{1}3403 & (c)\Rightarrow(\alpha) \\
(x_1): & \bar{1}\bar{1}300 & \mathit{БП}^{\Rsh}\ \mathit{Вх.I}\,(\mathit{или}\ \mathit{Вх.II})\,\mathit{ИП}-4 \\
(x_2): & \Pi_{\text{ф}z} M_z \Delta_z & A_z \\
(x_3): & \bar{1}00\bar{4}1 & A_{\mathit{вх.IV}} \\
(x_4): & \bar{1}004\bar{4} & A_v
\end{array}\right\} \tilde{z}\Rightarrow v\ ;$$

$$\left.\begin{array}{lll}
(x_5): & \bar{1}0\bar{2}00 & \mathit{БП}^{\Rsh}\ \mathit{Вх.II}\ \mathit{ИП}-4 \\
(x_6): & \Pi_{\text{ф}z} M_z \Delta_z & A_z \\
(x_7): & \Pi_{\text{ф}f} M_f \Delta_f & A_f \\
(x_8): & \Pi_{\text{ф}w} M_w \Delta_w & A_w
\end{array}\right\} F(z,v)\Rightarrow w\ ;$$

Смысл обобщенного адреса $A_{\text{вх.IV}}$ будет пояснен ниже.

Если обращения к стандартным подпрограммам происходят подряд (без промежуточных команд), то команда вида $(c)\Rightarrow(\alpha)$ из этой группы задается только при первом обращении, а при следующих обращениях внутри данной зоны — опускается.

В обращении к подпрограммам вычисления функций от двух аргументов уже встречался частный случай пересылки информации, а именно, $\tilde{z}\Rightarrow v$. Пересылка общего вида осуществляется следующим образом:

$$\left.\begin{array}{lll}
(x_0): & \bar{1}3403 & (c)\Rightarrow(\alpha) \\
(x_1): & \bar{1}\bar{1}300 & БП^{\Rsh}\ Вх.I\ ИП-4 \\
(x_2): & П_{фz}M_z\Delta_z & A_z \\
(x_3): & \bar{1}00\bar{4}1 & A_{вх.IV} \\
(x_4): & П_{фw}M_w\Delta_w & A_w
\end{array}\right\}\tilde{z}\Rightarrow v\,;$$

Если известно, что аргумент z уже находится на месте u, то можно избежать обращения к входу I или входу П ИП-4, а обращаться сразу ко входу III. В этом случае обращение к стандартным подпрограммам имеет вид:

$$\left.\begin{array}{lll}
(x_0): & \bar{1}3403 & (c)\Rightarrow(\alpha) \\
(x_1): & \bar{1}\bar{1}300 & БП^{\Rsh}\ Вх.III \\
(x_2): & П_{фf}M_f\Delta_f & A_f \\
(x_3): & П_{фw}M_w\Delta_w & A_w
\end{array}\right\}F(u)\Rightarrow w\,;$$

Если нужно запомнить u на магнитном барабане $(u\Rightarrow w)$ или переслать u на место v $(u\Rightarrow v)$, тогда обращение имеет вид:

$$\left.\begin{array}{lll}
(x_0): & \bar{1}3403 & (c)\Rightarrow(\alpha) \\
(x_1): & \bar{1}\bar{4}100 & БП^{\Rsh}\ Вх.IV \\
(x_2): & П_{фw}M_w\Delta_w & A_w
\end{array}\right\}u\Rightarrow w\,;$$

или

$$\left.\begin{array}{lll} (x_0): & \bar{1}3403 & (c)\Rightarrow(\alpha) \\ (x_1): & \bar{1}\bar{4}100 & \textit{БП}^{\Rsh}\ \textit{Вх.IV} \\ (x_2): & \bar{1}004\bar{4} & A_v \end{array}\right\} u\Rightarrow w\,;$$

Работа интерпретирующей программы при обращении к стандартной подпрограмме описывается следующей схемой:

$$\begin{array}{ll}
\textit{Вх.I} & P(M_0\neq 0) \\
 & [\Phi_0]\Rightarrow[M_0] \\
\textit{Вх.II} & [1\bar{2}]\Rightarrow[\Phi_0] \\
 & M_z\Rightarrow M_0 \\
 & P(M_z\neq 0) \\
 & [M_z]\Rightarrow[\Phi_0] \\
 & (\Pi_{\phi z}\Delta_z)^x\Rightarrow u \\
\textit{Вх.III} & [1\bar{2}]\Rightarrow[\Phi_0] \\
 & M_f\Rightarrow M_0 \\
 & P(M_f\neq 0) \\
 & [M_f]\Rightarrow[\Phi_0] \\
 & \textit{БП по адресу}\ \Pi_{\phi f}\Delta_f \\
\textit{Вх.VIII} & [1\bar{2}]\Rightarrow[\Phi_0] \\
 & \textit{БП}^{\Rsh}\ \textit{Нормализация} \\
\textit{Вх.IV} & [1\bar{2}]\Rightarrow[\Phi_0] \\
 & M_w\Rightarrow M_0 \\
 & P(M_w\neq 0) \\
 & [M_w]\Rightarrow[\Phi_0] \\
 & u\Rightarrow[\Pi_{\phi w}\Delta_w]^*
\end{array}$$

из стандартной программы

возврат к основной программе

Из этой схемы видно, что при обращении к стандартной подпрограмме в общем случае требуется восемь обращений к магнитному барабану (Вход I), и семь обращений, если не нужно запоминать предыдущего состояния Φ_0 (Вход II). При обращении ко входу III происходит пять обращений к магнитному барабану. Для простой пересылки информации $(u \Rightarrow w)$ требуется два обращения к магнитному барабану (Вход IV). Число обращений к магнитному барабану сокращается, если обобщенные адреса A_z и A_w относятся к оперативной памяти. Ниже приводится таблица 1 характеристик работы блоков ИП-4 для точных оценок времени при самых различных способах обращения к ней.

Таблица 1.

Этап работы	Число обращений к МБ в общем случае	Время работы, мкс	
		в общем случае	при обходе обращений к МБ
Обращение* к ИП-4	-	280	280
Блок Вх.I	1	$360 + N_0$	280
Блок Вх.II	2	$180+N_g+404$ $5+N_z+1495$	$180+N_g+5860$

*В случае отсутствия при обращении к ИП-4 строки вида $(c) \Rightarrow (\alpha)$; это время будет на 180 мксек меньше.

Этап работы	Число обращений к МБ в общем случае	Время работы, мкс	
		в общем случае	при обходе обращений к МБ
Блок Вх.III	2**	$280+Ng+4045+N_f+280+T$	$280+N_g+4145+T$
Блок*** Вх.VIII и «нормализация»	1	N_g+5490	N_g+5490
Блок Вх.IV	2	$280+N_g+4045+N_w+2720$	$280+N_g+6585$

Здесь N_0, N_g, N_z, N_f, N_w — фактическое время обращения к магнитному барабану для записи зоны Φ_0 оперативной памяти в зону МО и для вызова в Φ_0 зон M_g (номер дополнительной зоны ИП-4), M_z, M_f и M_w соответственно; Т — время работы соответствующей подпрограммы (см. §3). Для реализации обобщенного перехода или продолжения линейных кусков программы в основной зоне ИП-4 имеется лишь несколько команд, которые производят запоминание основной зоны ИП-4 (вместе с содержимым рабочих ячеек) из Φ_{-1} в зону $1\bar{3}$ магнитного барабана, а на ее место вызывают

** Здесь не учитываются дополнительные обращения к барабану внутри подпрограммы.
***Использование этого блока см.в следующем пара-графе.

другую зону ИП-4 $(1\bar{4})$ — зону переходов. В зоне переходов имеется рабочая ячейка для величины M_1 (ее адрес $\bar{1}44$), которая обозначает номер зоны основной программы, находящейся в зоне Φ_1, оперативной памяти. Зона переходов запоминает зону Φ_1, на магнитном барабане в зоне M_1 затем расшифровывает обобщенный адрес команды, которой нужно передать управление (A_j = 0 M_j Δ_j), засылает M_j на место M_1; считывает в Φ_1, зону M_j магнитного барабана, запоминает «себя» на магнитном барабане (в зоне 14), засылает в регистр F величину (I Δ_j — $3e_A$) и считывает в Φ_{-1} основную зону ИП-4. В основной зоне после этого выполняется только одна команда 0 0 3 0 1, т.е. происходит безусловная передача управления на ячейку I Δ_j, и начинает выполняться основная программа.

Для выполнения обобщенного перехода требуется написать следующие три строки:

$$
\begin{array}{lll}
(x_0): & \bar{1}\bar{2}\bar{4}\bar{1}3 & (c)+3e_A \Rightarrow (F) \\
(x_1): & \bar{1}\bar{4}\bar{2}00 & БП^{\vec{\ }}\ Вх.VI\ ИП-4 \\
(x_2): & 0M_j\Delta_j & A_j
\end{array}
$$

Здесь A_j — обобщенный адрес команды, с которой нужно продолжить дальнейшее выполнение программы.

Обобщенный переход может использоваться и для обращения к стандартным подпрограммам. В этом случае в строках (x_3), (x_4) и т.д., следующих за обобщенным переходом, может задаваться информация, необходимая для работы соответствующей подпрограммы. Для «извлечения» этой информации имеется стандартная подпрограмма, расположенная в зоне переходов ИП-4, обращение к которой в общем случае производится следующим образом:

$$\begin{array}{lll}
(v_0): & \bar{1}3403 & (c)\Rightarrow(\alpha) \\
(v_1): & \bar{1}\bar{1}300 & БП^{\Rsh}\ Вх.I\ ИП-4 \\
(v_2): & П_{фz} M_z \Delta_z & A_z \\
(v_3): & 01\bar{4}33 & A_{вх.VII}
\end{array}$$

Здесь A_z — по-прежнему обобщенный адрес аргумента, однако в подпрограмме он не используется, поэтому этот адрес может быть произвольным (например, $A_z = A_u$).

Данная подпрограмма производит засылку в регистр S очередной «извлекаемой» строки (A_{xi}), где $A_{xi} = 0\ M_{xi}\ \Delta_{xi}$, а на место величины A_{xi} — обобщенный адрес следующей строки $\left(0 M_{xi+1} \Delta_{xi+1} \Rightarrow A_{xi}\right)$. Последующие обращения к данной подпрограмме, если они не разделяются другими обращениями к ИП-4, можно производить с помощью двух следующих строк:

$$(v_0):\quad \bar{1}3403 \quad (c)\Rightarrow(\alpha)$$

$$(v_1):\quad 00330 \quad БП^{\Rsh}\ Bx.VII$$

После «извлечения» всех строк информации величина A_{xi}, хранящаяся в ячейке 004 (с обобщенным адресом $01\bar{4}04$) по-прежнему будет обозначать обобщенный адрес команды основной программы, к которой нужно вернуться по окончании работы подпрограммы, указанной при обобщенном переходе.

Проиллюстрируем обращение к такой стандартной подпрограмме на примере: напишем обращение к подпрограмме «Перевод 3 → 10». Пусть надо перевести n чисел, расположенных на магнитном барабане. В командах обращения к этой подпрограмме нужно указать не только обобщенный адрес начала этой подпрограммы, но и обобщенный адрес первого числа из массива переводимых чисел, а также число n этих чисел. Это обращение запишется так:

$$(x_0):\quad (c)\Rightarrow(\alpha)$$

$$(x_1):\quad БП^{\Rsh}\ Bx.VI$$

$$(x_2):\quad A_{3\to 10}$$

$$(x_3):\quad A_{нач}$$

$$(x_4):\quad n$$

$$(x_5):\quad A_{x5}$$

Здесь $A_{«3\to IO»}$ — обобщенный адрес подпрограммы «Перевод 3 → IO», $A_{нач}$ — обобщенный адрес первого числа из массива переводимых чисел, а n — число этих чисел, задаваемое в виде короткого кода.

Данная стандартная подпрограмма должна сразу же выбрать информации из ячеек (x_3) и (x_4) и запомнить ее в своих рабочих ячейках. Поэтому в этой подпрограмме нужно дважды обратится к подпрограмме, находящейся в зоне переходов ИП-4, которая извлечет эту информацию. Эти обращения к подпрограмме извлечения информации будут иметь вид:

$$\left.\begin{array}{ll}(v_0): & (c)\Rightarrow(\alpha)\\ (v_1): & \text{БП}^{\Rsh}\ \text{Вх.}I\ \text{ИП}-4\\ (v_2): & A_{\text{и}}\end{array}\right\} A_{\text{нач}}\Rightarrow(S)$$

$$\begin{array}{ll}(v_3): & A_{\text{Вх.}VII}\\ (v_4): & (S)\Rightarrow(\delta)\end{array}$$

$$\left.\begin{array}{ll}(v_5): & (c)\Rightarrow(\alpha)\\ (v_6): & \text{БП}^{\Rsh}\ \text{Вх.}VII\end{array}\right\} n\Rightarrow(S)$$

$$\begin{array}{ll}(v_7): & (S)\Rightarrow(\lambda)\\ (v_8): & (A_{xi})\Rightarrow(S)\\ (v_9): & (S)\Rightarrow(v_{i+2})\\ \ldots & \end{array}$$

$$\left.\begin{array}{ll}(v_i): & (c)+3e_A\Rightarrow(F)\\ (v_{i+1}): & \text{БП}^{\Rsh}\ \text{Вх.}VI\\ (v_{1+2}): & \end{array}\right\} \text{возврат в основную программу}$$

При помощи команд (ν_0) + (ν_7) мы извлекаем и запоминаем содержимое ячеек (x_3) и (x_4) (б и λ — рабочие ячейки подпрограммы «перевод 3 → 10»). При помощи команд (ν_8), (ν_9) формируется возврат в основную программу к команде (A_{x5}). Команды (ν_i), (ν_{i+1}), (ν_{i+2}) реализуют выход из подпрограммы — возврат в основную программу. Эти команды образуют обобщенный переход по обобщенному адресу, хранящемуся в ячейке ν_{i+2}. Этот адрес является переменным и в данном случае будет равен A_{x5}. Схема работы ИП-4 при реализации обобщенного перехода, а также соответствующее время совпадает с аналогичной схемой ИП-2 [I, 2].

Основная зона ИП-4

$П_ф = 1$

Зона МБ $1\bar{3}$

Адрес		Команда[*]
WW WX	Z 03 Z0	$0 \rightarrow (F)$ ↲ Вх.V
WY	Z 1X X3	$[\Phi_{-1}] \Rightarrow [1\bar{3}]$ ↲ Вх.VI
WZ W0	Z 1W XX	$[1\bar{4}] \Rightarrow [\Phi_{-1}]$
W1	Z X0 Z3	$(C)+3e_A \Rightarrow (F)$ ↲ Вх.IV
W2 W3	Z 00 00	БП ↱ 1
W4	Z 3W 30	$X_1 \Rightarrow (S)$
XW XX	0 00 Y4	$(S) \Rightarrow W_1$
XY	Z 3Z 30	$X_2 \Rightarrow (S)$
XZ X0	0 03 Y4	$(S) \Rightarrow W_2$
X1	Z 33 30	$\rho_x \Rightarrow (S)$
X2 X3	0 1Y Y4	$(S) \Rightarrow \rho_w$
X4	Z 34 Z0	$(\alpha) \Rightarrow (F)$
YW YX	Z 34 30	$(\alpha) \Rightarrow (S)$
YY	Z Z1 20	$00\pi_A 00 \Rightarrow (S)$
YZ Y0	Z 34 33	$(S)+(\alpha) \Rightarrow (S)$
Y1	Z Z1 33	$(S)+e_A \Rightarrow (S)$
Y2 Y3	Z 34 Y3	$(S)+(\alpha)$
Y4	0 03 01	Возврат
ZW ZX	0 2W WW	} 1/2
ZY	Z WW WW	
ZZ Z0	0 1Y XX	$[1\bar{2}] \Rightarrow [\Phi_0]$ ↲ Вх.VIII
Z1	0 01 00	БП ↱ „Норм.“; e_A
Z2 Z3	Z 44 Z0	$M_0 \Rightarrow (F)$ ↲ Вх.I
Z4	Z 0Y 10	УП-0 ↱ Вх.II
0W 0X	0 00 X4	$[\Phi_0] \Rightarrow [M_0]$
0Y	Z WW Z0	$\bar{1}03 \Rightarrow (F)$ ↲ Вх.II
0Z 00	0 1Y XX	$[1\bar{2}] \Rightarrow [\Phi_0]$ ↲ 1
01	0 30 00	БП ↱ D

Адрес		Команда	
02 03	0 00 31	$Z_1 \Rightarrow (S)$	
04	Z 3W Y3	$(S) \Rightarrow X_1$	
1W 1X	0 03 31	$Z_2 \Rightarrow (S)$	
1Y	Z 3Z Y3	$(S) \Rightarrow X_2$	
1Z 10	0 1Y 31	$\rho_z \Rightarrow (S)$	
11	Z 33 Y3	$(S) \Rightarrow \rho_x$	
12 13	Z 1X Z3	$(C)+3e_A \Rightarrow (F)$ ↲ Вх.III	
14	Z 00 00	БП ↱ 1	
2W 2X	0 00 00	(β)	
2Y	0 00 00	(γ)	
2Z 20	0 00 XY	$[M_j] \Rightarrow [\Phi_0]$ ↲ 04	
21	Z 2X Z0	$(\beta) \Rightarrow (F)$ ↲ 03	
22 23	0 00 00	λ	
24	0 X0 00	-1	
3W 3X	0 00 00	} X_1	u
3Y	0 00 00		
3Z 30	0 00 00	} X_2	
31	0 00 00		
32 33	0 00 00	ρ_x	
34	0 00 00	(α)	
4W 4X	0 00 00	} Y_1	v
4Y	0 00 00		
4Z 40	0 00 00	} Y_2	
41	0 00 00		
42 43	0 00 00	ρ_y	
44	0 00 00	M_0	
КС	0 00 Z2		
	0 43 41		

*Отрицательные цифры $\bar{4}, \bar{3}, \bar{2}, \bar{1}$ изображаются здесь буквами W, X, Y, Z соответственно

Допольнитеьная зона ИП-4

$П_ф$ = 0

Зона МБ $1\bar{2}$

Адрес		Команда	Адрес		Команда
WW WX	1 44 00		02 03	Z 00 44	
WY	Z 03 Z0	$0 \Rightarrow (F) \hookleftarrow^{9}$	04	0 03 Z1	$((\alpha)+3e_A) \Rightarrow (F) \hookleftarrow^{2}$
WZ W0	Z 3Z 30	$X_2 \Rightarrow (S)$	1W 1X	Z 2Y 3X	$(F)+(\gamma) \Rightarrow (F)$
W1	0 21 10	УП-0 $\Gamma^{\to 5}$	1Y	Z 34 30	$(\alpha) \Rightarrow (S)$
W2 W3	Z 3W 30	$X_1 \Rightarrow (S)$	1Z 10	Z 21 20	$00\pi_A 00 \Rightarrow (S)$
W4	0 X4 10	УП-0 $\Gamma^{\to 6}$	11	Z 34 33	$(S)+(\alpha) \Rightarrow (S)$
XW XX	Z 33 30	$P_{x_1} \Rightarrow (S)$	12 13	Z Z1 33	$(S)+e_A \Rightarrow (S)$
XY	Z 4X 3X	$(S)-P_{x_2} \Rightarrow (S)$	14	Z 34 Y3	$(S) \Rightarrow (\alpha)$
XZ X0	0 X4 1X	УП-I $\Gamma^{\to 6}$	2W 2X	Z 44 0X	$(F) \Rightarrow M_0$
X1	Z 24 40	$-(S) \Rightarrow (S)$	2Y	Z 21 10	УП-0 $\Gamma^{\to 03}$
X2 X3	Z Y4 Z0	$3e_A \Rightarrow (F) \hookleftarrow^{10}$	2Z 20	Z 20 00	БП $\Gamma^{\to 04}$
X4	Z 2Y Y3	$(S) \Rightarrow (\gamma) \hookleftarrow^{6}$	21	Z 3W 30	$X_1 \Rightarrow (S) \hookleftarrow^{5}$
YW YX	Z 3W 31	$X_1^{\oplus} \Rightarrow (S)$	22 23	0 0X 10	УП-0 $\Gamma^{\to 8}$
YY	Z 2Y Y0	Сдв (S) на $(\gamma) \Rightarrow (S)$	24	0 X3 00	БП $\Gamma^{\to 10}$
YZ Y0	Z 3W Y4	$(S) \Rightarrow X_1^{\oplus}$	3W 3X	Z 44 2X	$\Omega_0 \hookleftarrow^{7}$
Y1	Z 4X 3Z	$P_{x_2}^{\ominus} \Rightarrow (S)$	3Y	Z W1 00	БП $\Gamma^{\to}$ Вх.IV
Y2 Y3	0 WX 20	$(S) \otimes 144\,00 \Rightarrow (S)$	3Z 30	Z 23 0X	$(F) \Rightarrow \lambda \hookleftarrow^{D}$
Y4	Z 33 Y3	$(S) \Rightarrow P_x$	31	Z 34 Z0	$(\alpha) \Rightarrow (F)$
ZW ZX	Z W3 20	$(S) \otimes I\,00\,00 \Rightarrow (S)$	32 33	0 03 31	$((\alpha)+3e_A) \Rightarrow (S)$
ZY	Z W1 10	УП-0 $\Gamma^{\to}$ Вх.IV	34	0 03 20	$\overline{\pi}_{\varphi j}\,00\,\Delta_j \Rightarrow (S)$
ZZ Z0	0 3X 1X	УП-I $\Gamma^{\to 7}$	4W 4X	Z 2Y Y3	$(S) \Rightarrow (\gamma)$
Z1	0 WX Y0	$0 \Rightarrow (S)$	4Y	0 14 Y0	Сдв (S) на 4 $\Rightarrow (S)$
Z2 Z3	Z 3W Y3	$(S) \Rightarrow X_1$	4Z 40	Z 2Y 3X	$(S)-(\gamma) \Rightarrow (S)$
Z4	Z 3Z Y3	$(S) \Rightarrow X_2$	41	0 WW 20	$(S) \otimes 14400 \Rightarrow (S)$
0W 0X	0 41 Z0	$0\bar{4}\bar{4} \Rightarrow (F) \hookleftarrow^{8}$	42 43	Z 2X Y3	$(S) \Rightarrow (\beta)$
0Y	Z 33 0X	$(F) \Rightarrow P_x$	44	0 04 00	БП $\Gamma^{\to 2}$
0Z 00	Z W1 00	БП $\Gamma^{\to}$ Вх.IV	KC	0 00 ZZ	
01	0 WY 00	БП $\Gamma^{\to 9} \hookleftarrow$ „Норм."		0 03 01	

Зона переходов ИП-4

$П_Ф = \bar{1}\,;0$ Зона МБ $1\,\bar{2}$

Адрес					Команда	Адрес					Команда
WW	WX	0	04	Y3	$(S) \Rightarrow A_{\varkappa} \hookleftarrow^{5}$	02	03	0	00	00	(δ)
	WY	Z	00	31	$(\Delta_{\varkappa}) \Rightarrow (S)$		04	0	00	00	$A_{\varkappa}$
WZ	W0	0	Y3	00	БП $\Gamma^{\rightarrow 6}$	1W	1X	Z	04	30	$A_{\varkappa} \Rightarrow (S) \hookleftarrow^{2}$
	W1	Z	04	0X	$(F) \Rightarrow A_{\varkappa}$		1Y	Z	X0	10	УП-0 $\Gamma^{\rightarrow 1}$
W2	W3	Z	44	Z0	$M_1 \Rightarrow (F)$	1Z	10	Z	04	Z0	$A_{\varkappa} \Rightarrow (F)$
	W4	1	00	X4	$[\Phi_1] \Rightarrow [M_1]$		11	Z	41	20	$00\pi_A 00 \Rightarrow (S)$
XW	XX	Z	41	ZX	$(F) + e_A \Rightarrow (F)$	12	13	Z	23	33	$(S) + \bar{1}0120 \Rightarrow (S)$
	XY	Z	1X	00	БП $\Gamma^{\rightarrow 2}$		14	Z	04	33	$(S) + A_{\varkappa} \Rightarrow (S)$
XZ	X0	Z	0Y	30	$0\bar{4}\bar{3}00 \Rightarrow (S) \hookleftarrow^{1}$	2W	2X	Z	40	YC	Сдв (S) на $-4 \Rightarrow (S)$
	X1	Z	3X	3Z	$(S) - \bar{1}03\bar{2}0 \Rightarrow (S) \hookleftarrow^{3}$		2Y	Z	44	33	$(S) + M_1 \Rightarrow (S)$
X2	X3	Z	03	Y3	$(S) \Rightarrow (\delta)$	2Z	20	Z	04	Y3	$(S) \Rightarrow A_{\varkappa}$
	X4	Z	04	3C	$A_{\varkappa} \Rightarrow (S)$		21	0	00	31	$(A_{\varkappa}) \Rightarrow (S)$
YW	YX	1	00	XY	$[M_j] \Rightarrow [\Phi_1]$	22	23	Z	01	20	$0\, M_j\, \Delta_j \Rightarrow (S)$
	YY	Z	44	0X	$(F) \Rightarrow M_1$		24	Z	03	Y3	$(S) \Rightarrow (\delta)$
YZ	Y0	Z	03	Z0	$(\delta) \Rightarrow (F)$	3W	3X	Z	03	Z0	$(\delta) \Rightarrow (F)$
	Y1	Z	1W	X3	$[\Phi_{-1}] \Rightarrow [1\bar{4}]$		3Y	Z	0X	Y0	Сдв (S) на $4 \Rightarrow (S)$
Y2	Y3	Z	1X	XX	$[1\bar{3}] \Rightarrow [\Phi_{-1}] \hookleftarrow^{6}$	3Z	30	Z	01	2C	$0\, \Delta_j\, 00 \Rightarrow (S)$
	Y4	Z	34	Z0	$(\alpha) \Rightarrow (F)$		31	Z	X1	00	БП $\Gamma^{\rightarrow 3}$
ZW	ZX	0	03	01	Выход	32	33	Z	1X	X3	$[\Phi_{-1}] \Rightarrow [1\bar{3}] \hookleftarrow$ Вх. VII
	ZY	0	03	Y3	$(S) \Rightarrow (\delta) \hookleftarrow^{4}$		34	0	01	Z0	$A_{\varkappa} \Rightarrow (F)$
ZZ	Z0	0	03	Z0	$(\delta) \Rightarrow (F)$	4W	4X	Z	0C	XY	$[M_{\varkappa}] \Rightarrow [\Phi_{-1}]$
	Z1	0	04	30	$A_{\varkappa} \Rightarrow (S)$		4Y	0	04	30	$A_{\varkappa} \Rightarrow (S)$
Z2	Z3	0	00	20	$0000\pi_F \Rightarrow (S)$	4Z	40	0	0W	Y0	Сдв (S) на $4 \Rightarrow (S)$
	Z4	C	00	33	$(S) + e_F \Rightarrow (S)$		41	0	01	20	$(S) \otimes K_1 \Rightarrow (S);\ e_A$
0W	0X	0	04	33	$(S) + A_{\varkappa} \Rightarrow (S)$	42	43	0	ZY	00	БП $\Gamma^{\rightarrow 4}$
	0Y	0	WX	00	БП $\Gamma^{\rightarrow 5}$		44	0	1W	0C	M_1
0Z	00	0	00	01	e_F	КС		0	00	Z1	
	01	0	44	44	K_1			Z	22	X2	

§3. Общая характеристика стандартных подпрограмм в системе ИП-4.

Все подпрограммы рассчитаны на работу с плавающей запятой. Основным аргументом стандартной подпрограммы является нормализованная величина $u=(X_1+iX_2)\cdot 3^{P_x}$, хранящаяся внутри ИП-4. Окончательный результат тоже засылается на место u в нормализованном виде, но это осуществляет подпрограмма «Нормализация», которая расположена в дополнительной зоне и обращение к которой производится через вход VIII ИП-4. Стандартные же подпрограммы выдают результат в виде:

$$\tilde{u}=X_1\cdot 3^{P_{x_1}}+iX_2 3^{P_{x_2}}$$

где X1 и X2 — нормализованные величины, расположенные в основной зоне ИП-4, а P_{x1} и P_{x2} их порядки, причем P_{x1} записывается на место P_x, а P_{x2} записывается в первую половину ячейки, отведенной для величины Y_1. По окончании работы каждая подпрограмма передает управление входу VIII ИП-4, в результате чего вызывается в $Ф_0$ и выполняется подпрограмма «Нормализация».

Подпрограмма «Нормализация» из двух порядков P_{x1} и P_{x2} выбирает наибольший и записывает его на место Px. Величина X_i (i = I или i = 2), имеющая меньший порядок, сдвигается вправо на разность ПОРЯДКОВ. Если одна из величин X_1, X_2 равна нулю, а другая отлична от нуля, то в ячейку P_x засылается порядок величины, отличной от нуля.

<u>Примечание.</u> Как было сказано выше, величина v (точнее Y_1) затирается после выполнения подпрограммы, поэтому использовать повторно эту величину без присвоения ей нового значения нельзя. Если X1-Y1=0, то на место P_x засылается минимальный порядок P_x=-40.

В конце подпрограммы «Нормализация» исследуется порядок P_x. Если Px > 40, то происходит предупредительный останов Ω_0 по команде $\bar{1}442\bar{3}$, хранящейся в ячейке $00\bar{3}$. Этот останов предупреждает о том, что при дальнейших вычислениях возможно переполнение, но этот останов можно игнорировать и продолжать вычисления нажатием кнопки «пуск». Если P_x<-40, то в ячейки для X_1 и X_2 засылаются нули, и полагается Px=-40.

После этой проверки данная подпрограмма передает управление на вход IV ИП-4. Итак, подпрограмма «Нормализация» формирует на месте величины u результат в стандартном нормализованном виде.

Для того, чтобы нормализовать какое-нибудь комплексное число Z, находящееся на магнитном барабане, и записать его снова на магнитный барабан (на место W), нужно обратиться ко второй части подпрограммы «Нормализация», расположенной в зоне II магнитного барабана. Это обращение в общем случае имеет вид:

$$
\begin{array}{lll}
(x_0): & \bar{1}3403 & (c)\Rightarrow(\alpha) \\
(x_1): & \bar{1}\bar{1}300 & БП^{\Rsh}\ Вх.I\ ИП-4 \\
(x_2): & П_{фz}M_z\Delta_z & A_z \\
(x_3): & 0110\bar{3} & A_{норм} \\
(x_4): & П_{фw}M_w\Delta_w & A_w
\end{array}
\left.\vphantom{\begin{array}{l}a\\a\\a\end{array}}\right\} норм(Z)\Rightarrow w
$$

В некоторых стандартных подпрограммах имеются аварийные остановы для случаев, когда операцию нельзя выполнить:

останов Ω_1, (по команде $\bar{1}442\bar{3}$) означает, что требуется выполнить деление на нуль;

остановы Ω_2 (по команде $00\bar{3}2\bar{3}$) и Ω_3 (по команде $\bar{1}232\bar{3}$) означают переполнение при вычислении Функций $\sin u, \cos u, e^u, sh\,u, ch\,u$;

останов Ω_4 (по команде $0002\bar{3}$) означает, что требуется вычислить ln0 или 1/0

Библиотека подпрограммы для действий с комплексными числами занимает 12 зон магнитного барабана (с $1\bar{1}$ по $2\bar{1}$) без ИП-4 и характеризуется таблицей 2:

Таблица 2

Номер по порядку	Операция, реализуемая подпрограммой	Обобщенный адрес начала	Действия, выполняемые подпрограммой
1.	Сложение	$01\bar{1}\bar{1}\bar{2}$	$u+v \Rightarrow u$
2.	Сложение с сопряженным	$01\bar{1}\bar{2}3$	$u+\bar{v} \Rightarrow u$
3.	Вычитание	$01\bar{1}\bar{2}\bar{2}$	$u-v \Rightarrow u$
4.	Вычитание из сопряженного	$01\bar{1}\bar{3}3$	$\bar{u}-v \Rightarrow u$
5.	Обратное сложение	$01\bar{1}\bar{3}\bar{2}$	$-u-v \Rightarrow u$
6.	Прибавление к сопряженному	$01\bar{1}\bar{4}1$	$\bar{u}+v \Rightarrow u$
7.	Обратное вычитание	$01\bar{1}\bar{4}\bar{3}$	$-u+v \Rightarrow u$
8.	Умножение	01010	$u \times v \Rightarrow u$
9.	Деление	$010\bar{4}\bar{3}$	$u/v \Rightarrow u$
10.	Номализация	$0110\bar{3}$	$норм(u) \Rightarrow u$
11.	Извлечение квадратного корня	$011\bar{3}0$	$1/\sqrt{u} \Rightarrow v\,;\sqrt{u} \Rightarrow u$
12.	Вычисление синуса	01343	$\sin u \Rightarrow u$
13.	Вычисление косинуса	$013\bar{4}\bar{3}$	$\cos u \Rightarrow u$

Номер по порядку	Операция, реализуемая подпрограммой	Обобщенный адрес начала	Действия, выполняемые подпрограммой
14.	Вычисление экспоненты	$02\bar{3}\bar{2}\bar{3}$	$e^u \Rightarrow u$
15.	Вычисление гиперболического синуса	$02\bar{3}\bar{4}\bar{3}$	$sh\,u \Rightarrow u$
16.	Вычисление гиперболического косинуса	$02\bar{3}\bar{4}3$	$ch\,u \Rightarrow u$
17.	Вычисление натурального логарифма	$02\bar{2}\bar{4}\bar{3}$	$\ln u \Rightarrow u$
18*.	Вычисление модуля	$02\bar{2}\bar{4}3$	$\lvert u \rvert \Rightarrow u$
19*.	Вычисление обратной величины модуля	$02\bar{2}\bar{3}\bar{3}$	$\frac{1}{\lvert u \rvert} \Rightarrow u$

При составлении основной программы можно пользоваться константами, находящимися в основной зоне ИП-4 и перечисленными в следующей таблице:

*Результаты этих операций представляются также в виде комплексных чисел.

Адрес ячейки	Содержимое ячейки	Примечание
$\bar{1}24$	00301	$3e_A$ для операций с регистром F
$\bar{1}\bar{1}\bar{4}$	$02\bar{4}\bar{4}\bar{4}$	1/2
$\bar{1}\bar{1}1$	$\bar{1}\bar{4}\bar{4}\bar{4}\bar{4}$	e_A
$\bar{1}01$	03000	1
$\bar{1}14$	$\bar{1}0000$	-3
$\bar{1}24$	$0\bar{3}000$	1

Кроме того, в зоне $2\bar{3}$ и 11 имеются константы, задающие действительные числа в комплексном виде (мнимая часть равна нулю). Над этими константами можно производить все операции в режиме ИП-4, задавая их обобщенные адреса. Эти константы указаны в следующей таблице:

Обобщенный адрес	Константа
$02\bar{3}\bar{2}\bar{1}$	$4=(\frac{4}{3}+0\cdot i)\cdot 3^1$
$02\bar{3}\bar{1}\bar{1}$	$-1=(\frac{-1}{3}+0\cdot i)\cdot 3^0$
$02\bar{3}\bar{2}\bar{4}$	$-2=(\frac{-2}{3}+0\cdot i)\cdot 3^1$
$02\bar{3}3\bar{4}$	$1=(1+0\cdot i)\cdot 3^0$

Обобщенный адрес	Константа
$02\bar{3}4\bar{4}$	$\frac{1}{2}=(\frac{1}{3}+0\cdot i)\cdot 3^{0}$
01112	$0=(0+0\cdot i)\cdot 3^{-40}$

Если стандартная подпрограмма занимает больше одной зоны, то происходят дополнительные обращения к магнитному барабану. Ниже приводится таблица 3, содержащая время выполнения каждой подпрограммы (псевдооперации). Так как это время зависит не только от числа тактов работы машины, но и от времени ожидания нужной зоны магнитного барабана при обращении к нему, (а в данном случае это время может быть точно учтено), то за время T* выполнения псевдооперации принимается отрезок от момента вызова данной подпрограммы в $Ф_0$ (исключительно) до момента передачи управления входу 1V ИП-4, т.е.:

$$T^{*}=280+T+(N_g+t_H)\cdot\rho \text{ , (в мксек),}$$

где T и N_g имеют тот же смысл, что и в таблице I, $t_н$ = 5490 является временем выполнения подпрограммы «Нормализация» (включая передачу ей управления) после вызова зоны M_g в оперативную память, а ρ = 1, если соответствующая подпрограмма по окончании работы обращается к «Нормализации», в противном случае (при обращении сразу к входу IV) ρ = 0. В таблице 3 время T* будет указываться при ρ = 1 в виде явной суммы $T^*=\Delta+t_H$, где ΔT будет кратно 2500 мксек.

Таблица 3

№№ п/п	Псевдооперации	Число дополнительных обращений к МБ	T*, мксек
1.	Сложение	-	$10000 + t_н$
2.	Сложение с сопряженным	-	$10000 + t_н$
3.	Вычитание	-	$10000 + t_н$
4.	Вычитание из сопряженного	-	$10000 + t_н$
5.	Обратное сложение	-	$10000 + t_н$
6.	Прибавление к сопряженному	-	$10000 + t_н$
7.	Обратное вычитание	-	$10000 + t_н$
8.	Умножение	-	$10000 + t_н$
9.	Деление	-	$20000 + t_н$
10.	Номализация	-	$10000 + t_н$
11.	Извлечение квадратного корня	2	$70000 + t_н$
12.	Вычисление синуса	3	$70000 + t_н$

№№ п/п	Псевдооперации	Число дополнительных обращений к МБ	Т*, мксек
13.	Вычисление косинуса	3	$70000 + t_н$
14.	Вычисление экспоненты	4	$57500 + t_н$
15.	Вычисление гиперболического синуса	4	$77500 + t_н$
16.	Вычисление гиперболического косинуса	4	$77500 + t_н$
17.	Вычисление натурального логарифма	3	$67500 + t_н$
18.	Вычисление модуля	1	22445
19.	Вычисление обратной величины модуля	1	21840

§4. Подпрограмма выполнения действия типа сложения.

Алгоритм сложения двух чисел

$u=(X_1+iX_2)\cdot 3^{P_x}$ и $v=(Y_1+iY_2)\cdot 3^{P_y}$

использует соотношение:

$$u+v=\begin{cases}[(X_1+Y_1\cdot 3^{P_y-P_x})+i\cdot(X_2+Y_2\cdot 3^{P_y-P_x})]\cdot 3^{P_x}, \\ при\, P_x>P_y \\ [(X_1\cdot 3^{P_x-P_y}+Y_1)+i\cdot(X_2\cdot 3P_x-P_y+Y_2)]\cdot 3^{P_y}, \\ при\, P_x\le P_y\end{cases}$$

Подпрограмма для реализации действий типа сложения (включая и само сложение) размещена в одной зоне МБ и описывается следующей схемой:

обратное вычитание — *прибавление к сопряженному* — *обратное сложение*

$[-X_1 \Rightarrow X_1]$ $[-X_2 \Rightarrow X_2]$ БП $\xrightarrow{1}$ $[-X_1 \Rightarrow X_1]$

вычитание из сопряженного — *вычитание* — *сложение с сопряженным* — *1* — *сложение*

$[-X_2 \Rightarrow X_2]$ $[-Y_1 \Rightarrow Y_1]$ $[-Y_2 \Rightarrow Y_2]$ $[0 \Rightarrow (F);$

$Px-Py \Rightarrow (S)]$ $P((S)\ge 0)$ $\xrightarrow{2}$ $[-(S) \Rightarrow (S);$ $9e_A \Rightarrow (F)]$ $\downarrow 2$ $[(S) \Rightarrow (\beta);$

Сдв $X_1^{\oplus}$ на $(\beta) \Rightarrow (S);$ $(S) + Y_1^{\ominus} \Rightarrow (S);$ Норм$(S) \Rightarrow X_1;$ $(S) + P_y^{\ominus} \Rightarrow$ $(\gamma);$

Сдв $X_2^{\ominus}$ на $(\beta) \Rightarrow (S);$ $(S) + Y_2^{\ominus} \Rightarrow (S);$ Норм$(S) \Rightarrow X_2;$

$(S) + P_y^{\ominus} \Rightarrow Px_2;$ $(\gamma) \Rightarrow Px_1;]$ БП $\xrightarrow{\text{вх. }\overline{\text{VIII}}\text{ ИП-4}}$

Подпрограмма выполнения действий типа сложения

$П_ф$ = 0 Зона МБ $1\bar{1}$

Адрес		Команда		Адрес		Команда	
WW	WX	0 10 Y0	$0 \Rightarrow (S)$ ↲ $\frac{\text{ОБР.}}{\text{ВЫЧ.}}$	02	03	Z 4W 32	$(S)+Y_1 \Rightarrow (S)$
	WY	Z 3W 3X	$(S)-X_1 \Rightarrow (S)$		04	Z 3W [illegible]	Норм $(S) \Rightarrow X_1$
WZ	W0	Z 3W Y3	$(S) \Rightarrow X_1$	1W	1X	Z [illegible] 3[illegible]	$(S)+P_y^{\ominus} \Rightarrow (S)$
	W1	0 10 Y0	$0 \Rightarrow (S)$ ↲ $\frac{\text{ПРИБ.}}{\text{К СОПР}}$		1Y	Z [illegible] Y3	$(S) \Rightarrow$ [illegible]
W2	W3	Z 3Z 3X	$(S)-X_2 \Rightarrow (S)$	1Z	10	Z [illegible] 31	$X_2^{\oplus} \Rightarrow (S)$
	W4	Z 3Z Y3	$(S) \Rightarrow X_2$		11	Z [illegible]	Сдв (S) на $(\beta) \Rightarrow (S)$
XW	XX	0 ZY 00	БПГ→1	12	13	Z 4[illegible]	$(S)+Y_2^{\ominus} \Rightarrow (S)$
	XY	0 10 Y0	$0 \Rightarrow (S)$ ↲ $\frac{\text{ОБР.}}{\text{СЛ.}}$		14	Z 3Z YX	Норм $(S) \Rightarrow X_2$
XZ	X0	Z 3W 3X	$(S)-X_1 \Rightarrow (S)$	2W	2X	Z 43 32	$(S)+P_y^{\ominus} \Rightarrow (S)$
4	X1	Z 3W Y3	$(S) \Rightarrow X_1$		2Y	Z 4X Y3	$(S) \Rightarrow P_{x_2}$
X2	X3	0 10 Y0	$0 \Rightarrow (S)$ ↲ $\frac{\text{ВЫЧ.}}{\text{ИЗ СОПР.}}$	2Z	20	Z 2Y 30	$(S) \Rightarrow (S)$
	X4	Z 3Z 3X	$(S)-X_2 \Rightarrow (S)$		21	Z 33 Y3	$(S) \Rightarrow P_{x_1}$
YW	YX	Z 3Z Y3	$(S) \Rightarrow X_2$	22	23	Z Z0 00	БПГ→ Вх.VIII ИП-4
	YY	0 10 Y0	$0 \Rightarrow (S)$ ↲ ВЫЧ.		24	0 00 00	
YZ	Y0	Z 4W 3X	$(S)-Y_1 \Rightarrow (S)$	3W	3X	0 00 00	
	Y1	Z 4W Y3	$(S) \Rightarrow Y_1$		3Y	0 00 00	
Y2	Y3	0 10 Y0	$0 \Rightarrow (S)$ ↲ $\frac{\text{СЛ. С}}{\text{СОПР.}}$	3Z	30	0 00 00	
	Y4	Z 4Z 3X	$(S)-Y_2 \Rightarrow (S)$		31	0 00 00	свободные
ZW	ZX	Z 4Z Y3	$(S) \Rightarrow Y_2$	32	33	0 00 00	
	ZY	Z 0X Z0	$0 \Rightarrow (F)$ ↲1↲ СЛ.		34	0 00 00	
ZZ	Z0	Z 33 30	$P_x \Rightarrow (S)$	4W	4X	0 00 00	ячейки
	Z1	Z 43 3X	$(S)-P_y \Rightarrow (S)$		4Y	0 00 00	
Z2	Z3	0 0Y 1X	УП-I	4Z	40	0 00 00	
	Z4	Z 24 40	$-(S) \Rightarrow (S)$		41	0 00 00	
0W	0X	0 WX Z0	$9e_A \Rightarrow (F)$	42	43	0 00 00	
	0Y	Z 2X Y3	$(S) \Rightarrow (\beta)$		44	0 00 00	
0Z	00	Z 3W 31	$X_1^{\oplus} \Rightarrow (S)$	КС		0 00 32	
	01	Z 2X Y0	Сдв (S) на $(\beta) \Rightarrow (S)$			Z Y0 01	

§5. Подпрограмма для выполнения умножения и деления.

В данной подпрограмме деление сводится к умножению делимого на обратную величину делителя. Алгоритм умножения двух чисел:

$$u=(X_1+iX_2)\cdot 3^{P_x} \text{ и } v=(Y_1+iY_2)\cdot 3^{P_y}$$

использует соотношение:

$$u\cdot v=[(X_1Y_1-X_2Y_2)+i(X_1Y_2+X_2Y_1)]\cdot 3^{P_x+P_y}=(\tilde{X}_1+\tilde{X}_2)\cdot 3^{\tilde{P}_x}$$

Абсолютная погрешность вычисления мантисс действительной и мнимой частей произведения $u\cdot v$ не превосходит 3^{-16}.

Обратная величина 1/v определяется при:

$$r=Y_1^2+Y_2^2\neq 0$$

При r=0 происходит аварийный останов Ω_2 по команде $\bar{1}\,44\,2\,\bar{3}$ (адрес команды 041). При этом используется соотношения:

$$\frac{1}{v}=\frac{1}{(Y_1+iY_2)}\cdot 3^{-P_y}=\frac{(Y_1-iY_2)}{(Y_1^2+Y_2^2)}\cdot 3^{-P_y}=\frac{(Y_1-iY_2)}{r}\cdot 3^{-P_y}.$$

Если положить $r=r_н\cdot 3^{P_r}$, где $r_н$ – величина, получаемая в результате нормализации r, то получим:

$$\frac{1}{v}=\frac{(Y_1-iY_2)}{(r_н\cdot 3^{P_r})}\cdot 3^{-P_y}=\left(\frac{Y_1\cdot 1}{r_н}+\frac{iY_2\cdot 1}{r_н}\right)\cdot 3^{-Py-Pr}$$

или

$$\frac{1}{v}=(\bar{Y}_1+i\bar{Y}_2)\cdot 3^{\bar{P}_y},$$

где $\bar{Y}_1=Y_1\cdot\frac{1}{r_н}$, $\bar{Y}_2=Y_2\cdot\frac{1}{r_н}$, $\bar{P}_y=-P_y-P_r$.

Величина $t=\frac{1}{r_н}$ вычисляется по итерационной формуле:

$$t=\lim_{n\to\infty} t_n, \text{ где } t_{n+1}=t_n\cdot(2-t_n\cdot r_н) \tag{5.1}$$

При этом нулевое приближение t_0, получается из соотношения:

$$\frac{1}{(1+h)}=(1-h)\cdot(1+h2+h4+\ldots)\ ,$$

если положить $r_н=1+h, |h|<\frac{1}{2}$.

С погрешностью $|\varepsilon|<0{,}00782$ можно определить t по формуле (примем это значение за t_0):

$$t_0=(1-h)\cdot(1+h^2+h^4+h^6)$$

Тогда достаточно сделать две итерации по формуле (5.1), чтобы получить $t=t_2$ с требуемой точностью. Действительно, если $t_n=t+\varepsilon_n$, то погрешность (n+1)-ой итерации ε_{n+1} с учетом погрешности выполнения умножения определяется по формуле:

$$\varepsilon_{n+1}=-\varepsilon_n^2\cdot r_н-\Delta'_{умн}\cdot t+\Delta'_{умн}\ ,$$

где

$$|\Delta_{умн}|<\frac{1}{2}\cdot 3^{-16}, |\Delta'_{умн}|<\frac{1}{2}\cdot 3^{-16,}$$

Отсюда

$$|\varepsilon_1| < 0{,}92 \cdot 10^{-4} < 2 \cdot 3^{-9}\ ,\ |\varepsilon_2| < 2 \cdot 3^{-16}$$

кроме того, величина r, а значит и величина $r_н$, была вычислена о погрешностью Δ_r, $|\Delta_r| < 3^{-16}$, которая внесет в вычисление величины t дополнительную погрешность:

$$\delta = -\frac{1}{r_н^2} \cdot \Delta_r + 0(\Delta r)\ ,\ \text{т.е. } |\delta| < 3^{-16} \cdot \frac{1}{r_н^2}$$

Итак, полная погрешность ε_t вычисления $t = 1/r_н$ удовлетворяет неравенству:

$$|\varepsilon| < (2 + \frac{1}{r_н^2}) \cdot 3^{-16}$$

Погрешности $\varepsilon_{\bar{Y}_1}$, $\varepsilon_{\bar{Y}_2}$ вычисления величин Y_1 и Y_2 определяются по формулам:

$$\varepsilon_{\bar{Y}_1} = \varepsilon_t \cdot Y_1 + \Delta_{умн}\ ,$$

$$\varepsilon_{\bar{Y}_2} = \varepsilon_t \cdot Y_2 + \Delta'_{умн}\ ,\ \text{т.е.}$$

$$|\varepsilon_{\bar{Y}_i}| < (2 \cdot Y_i + \frac{Y_i}{r_н^2}) \cdot 3^{-16} + \frac{1}{2} \cdot 3^{-16}, i = 1, 2.$$

Максимальное значение правой части этого неравенства достигается при $Y_i = \sqrt{\frac{3}{2}}$, $r_н = \frac{1}{2}$, а именно:

$$|\varepsilon_{\bar{Y}_i}| < 8 \cdot 3^{-16}.$$

Так как для вычисления u/v используется формула:

$$\frac{u}{v} = [(X_1 \cdot \bar{Y}_1 - X_2 \cdot \bar{Y}_2) + i(X_1 \bar{Y}_2 - X_2 \bar{Y}_1)] \cdot 3^{P_x + P_y} =$$
$$= (\bar{X}_1 + i \bar{X}_2) \cdot 3^{Px}$$

то погрешность вычисления мантисс действительной и мнимой частей результата не превосходит $25 \cdot 3^{-16}$.

Подпрограмма умножения и деления размещается в одной зоне МБ и описывается следующей схемой:

$$\overset{\text{деление}}{\ulcorner}\ [Y_1^2 + Y_2^2 \Rightarrow (S)]\ P((S) \neq 0)\ \ulcorner\!\xrightarrow{1}\ [\text{Норм}\,(S) \Rightarrow L;\ -(N + P_y) \Rightarrow P_y;$$
$$\delta - h \Rightarrow (S);\ (S) \Rightarrow (\beta, \gamma);\ -h^2 \Rightarrow (S);\ (S) \Rightarrow (R);\ -(S) \Rightarrow (S);$$
$$(S) + 1 \Rightarrow (S);\ (S) \cdot (R) + (-1) \Rightarrow (S);\ (S) \cdot (R) + 1 \Rightarrow (S);$$
$$(S) \cdot (\beta, \gamma) \Rightarrow (S);\ (S) \Rightarrow (R);\ (S) \cdot L - 2 \Rightarrow (S);\ (S) \cdot (R) + 0 \Rightarrow (S);$$
$$(S) \cdot L + 2 \Rightarrow (S);\ (S) \cdot (R) + 0 \Rightarrow (S);\ (S) \Rightarrow L;\ (S) \cdot Y_2 \Rightarrow Y_2;$$
$$-L \cdot Y_1 \Rightarrow Y_1]\ \overset{\text{умножение}}{\ulcorner}\ [P_y + P_x \Rightarrow (\beta);\ X_1 \cdot Y_1 - X_2 \cdot Y_2 \Rightarrow (S);$$
$$\text{Норм}\,(S) \Rightarrow X_1;\ N + (\beta) \Rightarrow P_{x_1};\ Y_2 \cdot X_1 + X_2 \cdot Y_1 \Rightarrow (S);$$
$$\text{Норм}\,(S) \Rightarrow X_2;\ N + (\beta) \Rightarrow P_{x_2}]\ \text{БП}\ \ulcorner\!\!\rightarrow^{\text{Вх. VIII ИП-4}}\ {}_{1}\!\!\lrcorner\ \Omega_1.$$

Программа выполнения умножения и деления.

$П_ф = 0$ Зона МБ 10

Адрес	Команда		Адрес	Команда	
WW WX	Z 4W 30	$Y_1 \Rightarrow (S)$ ↲ Дел.	02 03	0 WW 30	$L \Rightarrow (S)$
WY	Z 4W 40	$(S)\cdot Y_1 \Rightarrow (S)$ } L	04	Z 24 40	$-(S) \Rightarrow (S)$
WZ W0	Z 4Z 23	$Y_2 \Rightarrow (R)$	1W 1X	Z 4W 40	$(S)\cdot Y_1 \Rightarrow (S)$
W1	Z 4Z 43	$(S)+(R)\cdot Y_2 \Rightarrow (S)$	1Y	Z 4W Y3	$(S) \Rightarrow Y_1$
W2 W3	0 41 10	УП−0 Г→1	1Z 10	Z 43 30	$P_y \Rightarrow (S)$ ↲ умн.
W4	0 WW YX	Норм $(S) \Rightarrow L$	11	Z 33 33	$(S)+P_x \Rightarrow (S)$
XW XX	Z 43 33	$(S)+P_y \Rightarrow (S)$	12 13	Z 2X Y3	$(S) \Rightarrow (\beta)$
XY	Z 24 40	$-(S) \Rightarrow (S)$	14	0 44 30	$0 \Rightarrow (S)$
XZ X0	Z 43 Y3	$(S) \Rightarrow P_y$	2W 2X	Z 3Z 3X	$(S)-X_2 \Rightarrow (S)$
X1	0 WW 30	$L \Rightarrow (S)$	2Y	Z 4Z 40	$(S)\cdot Y_2 \Rightarrow (S)$
X2 X3	Z ZW 20	$1-h \Rightarrow (S)$	2Z 20	Z 3W 23	$X_1 \Rightarrow (R)$
X4	Z 2W Y3	$(S) \Rightarrow (\beta,\gamma)$	21	Z 4W 43	$(S)+(R)\cdot Y_1 \Rightarrow (S)$
YW YX	0 WW 40	$(S)\cdot L \Rightarrow (S)$	22 23	Z 3W YX	Норм $(S) \Rightarrow X_1$
YY	Z 01 3X	$-h^2 \Rightarrow (S)$	24	Z 2X 33	$(S)+(\beta) \Rightarrow (S)$
YZ Y0	Z 24 40	$h^2 \Rightarrow (S);\ -h^2 \Rightarrow (R)$	3W 3X	Z 33 Y3	$(S) \Rightarrow P_{x_1}$
Y1	Z 01 33	$h^2+1 \Rightarrow (S)$	3Y	Z 4Z 30	$Y_2 \Rightarrow (S)$
Y2 Y3	Z 24 4X	$(S)(R)+(-1) \Rightarrow (S)$	3Z 30	0 44 4X	$0+(S)(R) \Rightarrow (S)$
Y4	Z 01 4X	$(S)(R)+1 \Rightarrow (S)$	31	Z 3Z 23	$X_2 \Rightarrow (R)$
ZW ZX	Z 2W 40	$(S)(\beta,\gamma) \Rightarrow (S)$	32 33	Z 4W 43	$(S)+(R)\cdot Y_1 \Rightarrow (S)$
ZY	0 WW 40	$(S)\cdot L \Rightarrow (S);\ u_0 \Rightarrow (R)$	34	Z 3Z YX	Норм $(S) \Rightarrow X_2$
ZZ Z0	0 43 33	$(S)+(-2) \Rightarrow (S)$	4W 4X	Z 2X 33	$(S)+(\beta) \Rightarrow (S)$
Z1	0 44 4X	$(S)(R)+0 \Rightarrow (S)$	4Y	Z 4X Y3	$(S) \Rightarrow P_{x_2}$
Z2 Z3	0 WW 40	$(S)\cdot L \Rightarrow (S);\ -u_1 \Rightarrow (R)$	4Z 40	Z Z0 00	БП Г→ Вх. VIII
Z4	0 43 3X	$(S)-(-2) \Rightarrow (S)$	41	Z 44 2X	Ω_1 ↲ 1
0W 0X	0 44 4X	$(S)(R)+0 \Rightarrow (S)$	42 43	Z 30 00	-2
0Y	0 WW Y3	$(S) \Rightarrow L$	44	0 00 00	0
0Z 00	Z 4Z 40	$(S)\cdot Y_2 \Rightarrow (S)$	КС	0 00 Z0	
01	[illegible] 4Z Y3	$(S) \Rightarrow Y_2$		0 YZ WX	

§6. Подпрограмма извлечения квадратного корня и нормализация.

Квадратный корень из комплексного числа $u=(X_1+iX_2)\cdot 3^{P_x}$ вычисляется по следующим формулам:

$$\sqrt{u}=\sqrt{(X_1+iX_2)\cdot 3^{P_x}}=\omega_1+i\,\omega_{2,}$$

где

$$\omega_1=\sqrt{\frac{r+X_1}{2}\cdot 3^{P_x}}\,,$$

$$\omega_2=\sqrt{\frac{r-X_1}{2}\cdot 3^{P_x}}\cdot\sin X_2\,,$$

$$r=\sqrt{X_1^2+X_2^2}\,.$$

Так как величина r не меньше компонент X_1 и X_2, то $\frac{r\pm X_1}{2}\geqslant 0$. Однако за счет неточного представления чисел в машине и неточности выполнения операций для малой величины X выражение $\frac{r\pm X_1}{2}$ может быть равно $-\varepsilon_1$ ($\varepsilon_1>0$), тогда программа приравнивает значение $\sqrt{\frac{r\pm X_1}{2}}$ нулю.

Алгоритмы извлечения квадратного корня из действительного числа $l=L\cdot 3^{P_l}$ следующие:

а) При $l=r^2\cdot 3^{2\mathrm{P}_x}$:

$$L\cdot 3^{P_l}=L\cdot 3^{P_l}\,,\, где\; L=Норм\left(X_1^2+X_2^2\right),\, P_l=N+2\mathrm{P}_x\,,$$

N – число сдвигов при нормализации r^2,

$$\bar{P}_l=P_x\,,\quad \bar{L}=t\cdot L\cdot\beta\,,$$

$$t=\begin{cases}\dfrac{1}{\sqrt{L}}\,,\, если\; N=0\\ \dfrac{1}{\sqrt{L}}\cdot\sqrt{3}, если\; N\neq 0,\end{cases}\qquad \beta=\begin{cases}1, если\; N=-1\\ \dfrac{1}{3}, если\; N=-1.\end{cases}$$

б) При $l=\frac{r\pm X_1}{2}\cdot 3^{P_x}$:

$$\sqrt{L\cdot 3^{p_l}} = \bar{L}\cdot 3^{\bar{P}_l}$$, где $$L = Норм\left(\frac{r \pm X_1}{2}\right),$$

$P_l = N + P_x$,

N – число сдвигов при нормализации $\left(\frac{r \pm X_1}{2}\right)$,

$\bar{P}_l = [\frac{1}{2}P_l - \frac{1}{3}]_{бл}$, $\bar{L} = t\cdot t$,

$$t = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{L}}, если\, 2\bar{P}_l - P_l = 0 \\ \frac{1}{\sqrt{L}}\cdot\sqrt{3}, если\, 2\bar{P}_l - P_l = -1\,. \end{cases}$$

При $L = 0$ полагается $\bar{L} = 0$, порядок не вычисляется.

При $X_2^2 = 0$ полагается $r = |X_1|$.

При $X_1^2 = 0$ полагается $r = |X_2|$.

При $X_1 = 0$ и $X_2^2 = 0$ полагается $W_1 = 0$ и $W_2 = 0$.

Величина t в подпрограмме не нормализуется и поэтому удовлетворяет неравенствам:

$$\sqrt{\frac{2}{3}} < t < \sqrt{6}\,.$$

Величина t вычисляется с помощью трех последовательных приближений t_0, t_1, t_2, причем, нулевое и первое приближения вычисляются в качестве коротких слов. Для вычисления нулевого приближения используется два первых члена разложения:

$$L^{-\frac{1}{2}}=1-\frac{1}{2}(L-1)+\frac{1\cdot 3}{2\cdot 4}(L-1)^2-\frac{1\cdot 3\cdot 5}{2\cdot 4\cdot 6}(L-1)^3+\ldots,$$

т.е. $\frac{1}{\sqrt{L}}=\frac{1}{2}(3-L)+\delta_0$, где $\delta_0<\frac{1\cdot 3}{2\cdot 4}\cdot\left(\frac{1}{2}\right)^2<0{,}0938$,

так как $L\neq 0$ и $0{,}5<|L|<1{,}5$. Таким образом,

$$t_0=t-\varepsilon_0=(3-Д)\cdot\alpha, \quad \alpha=\begin{cases}1/2\\ \sqrt{3}/2\end{cases},$$

$$\varepsilon_0\approx 2\delta_0\alpha, \quad |\varepsilon_0|<0{,}162.$$

Второе и третье приближения используют преобразованную итерационную формулу (см. [3]), которая из-за погрешности выполнения операции умножения и представления коэффициентов в машине записывается следующим образом:

$$t_{n+1}=(((b_3\times\tilde{H}_n+b_2)\times\tilde{H}_n+b_1)\times t_n)\times\tilde{H}_n+t_n,$$

где $\tilde{H}_n = t_n^2 \times \tilde{L} - 1 = H_n + \Delta_H$, $|\Delta| < 0{,}5 \cdot 3^{-16}$, $\tilde{L} = \frac{L}{(2\alpha)^2}$,

$b_1 = 1/2 + \Delta_{b_1}$,

$b_2 = 3/8 + \Delta_{b_2}$,

$b_3 = 5/16 + \Delta_{b_3}$, где $\Delta_{b_i} < 0{,}5 \cdot 3^{-16}$.

Отсюда $\varepsilon_{n+1} = t_{n+1} - t = \delta_{n+1} + 1/2\, \Delta_H \cdot t_n + \Delta_{умн} + \delta(H_n)$,

где $\delta_{n+1} = \frac{35}{8} \cdot t_n^{-3} \cdot \varepsilon_n^4$ — погрешность итерационной формулы, $|\Delta_{умн}| < 1/2 \cdot 3^{-16}$ — погрешность последнего умножения, $H_n \approx 2 \cdot \varepsilon_n \cdot t^{-1}$, $\delta(H_n)$ — погрешность, включающая все погрешности, содержащие в качестве множителя H_n в какой-либо целой положительной $|\delta(H_0)| < 1/2 \cdot 3^{-16}$.

Для первого приближения:

$|\delta_1| < 0{,}000629$, при $\alpha = 1/2$,

$|\delta_1| < 0{,}001075$, при $\alpha = \sqrt{3}/2$,

$|1/2\, \Delta_H t_0 + \Delta_{умн} + \delta(H_0)| < 3 \cdot 3^{-16}$.

Отсюда

$$|\varepsilon_1| < 0{,}00108 \,(|\varepsilon_1| > 3^{-7}).$$

Для второго приближения погрешность $\delta(H_n)$ практически равна нулю $(|\delta(H_1)| < 0{,}01 \cdot 3^{-16})$, $|\delta_2| < 10^{10}$.

Следовательно,

$$|\varepsilon_2| < 1{,}12 \cdot 3^{-16} .$$

Величина $\bar{L}$ вычисляется фактически по формуле:

$$\bar{L}_{np} = (t + \varepsilon_2) \times L = \bar{L} + \varepsilon ,$$

где $\varepsilon = \varepsilon_2 \cdot L + \Delta_{умн}$, т.е. $|\varepsilon| < 2{,}18 \cdot 3^{-16}$.
Однако, в сумарную погрешность $\varepsilon_{\bar{L}}$ вычисления $\bar{L}$ будет выходить еще погрешность σ, вносимая погрешность $\Delta_{\bar{L}}$ вычисления величины L:

$$\sigma = 1/2\, L^{-1} \cdot \Delta_L + 0(\Delta_L) .$$

Так как в случае а) $|\Delta_L| < 3^{-16}$, то σ в этом случае будет удовлетворять неравенству:

$$|\sigma| < 3^{-16} ,$$

и, следовательно

$$|\varepsilon_{\bar{L}}| < 3{,}18 \cdot 3^{-16} .$$

Тогда в случае б) $|\Delta_L| < 1{,}59 \cdot 3^{-16}$.

Отсюда

$$|\sigma| < 1{,}59 \cdot 3^{-16}$$

$$|\varepsilon_{\bar{L}}| < 4 \cdot 3^{-16},$$

т.е. абсолютная погрешность мантисс W_1 и W_2 не превосходит $4 \cdot 3^{-16}$.

Данная подпрограмма размещается в двух зонах МБ: 11 и 12. Вычисление величины $\bar{L}$ расположено в зоне 12. Анализ аргумента и переход к Вх.VIII ИП-4 находятся в зонее II. В зоне II расположено также начало подпрограммы, реализующей певдооперацию нормализации комплексного числа и переход в Вх.VIII ИП-4 для завершения нормализации (точнее: в зоне II производится отдельно нормализация и действительной части, а в подпрограмме «нормализация» эти части приводятся к одному порядку).

Подпрограмма извлечения квадратного корня и нормализации описывается логической схемой:

Извлечение кв. корня

$\ulcorner [0 \Rightarrow \eta;\ -1 \Rightarrow (F);\ X_2 \Rightarrow (S)]\ P((S) \geqslant 0)\ulcorner^{1}\ [1 \Rightarrow (F)]$

$\overset{1}{\urcorner}[(F) \Rightarrow (\gamma_1);\ -12\, e_A \Rightarrow (F)]\ [(S)\cdot X_2 \Rightarrow (S)]\ P((S) \neq 0)\ulcorner^{2}$

$[(S) \Rightarrow (\gamma_2)]\ [X_1 \cdot X_2 \Rightarrow (S)]\ P((S) = 0)\ulcorner^{3}\ [X_2 \Rightarrow (S)]\ \text{БП}\ulcorner^{5}$

$\overset{3}{\urcorner}[\text{Норм}(X_1^2 + X_2^2) \Rightarrow (\gamma_2);\ N \Rightarrow (S);\ 1/2 \Rightarrow (R)]\ P((S) \geqslant 0)\ulcorner^{4}[-(S) \Rightarrow (S)]$

$\llcorner_{6}[[U2] \Rightarrow [\varphi_0]]\ \text{БП}\ulcorner^{8}\ \overset{4}{\urcorner}[(S) \Rightarrow \eta]\ \text{БП}\lrcorner_{6}\ \overset{2}{\urcorner}[(S) \Rightarrow X_2;\ X_1 \Rightarrow (S)]$

$P((S) \neq 0)\ulcorner^{\text{Вх. VIII}}\ \overset{5}{\urcorner}\ P((S) < 0)\ulcorner^{7}[-(S) \Rightarrow (S)]$

$\overset{7}{\urcorner}[[12] \Rightarrow [\varphi_0]]\ \text{БП}\ulcorner^{8}$

$\llcorner_{13}[\text{Норм}(S) \Rightarrow X_1^{\ominus};\ 1/2 \Rightarrow (R);\ 1/2(N + P_X) - 1/3\, e_A \Rightarrow P_{X_1}^{\ominus};$

$2\bar{P}_X - P_X \Rightarrow (S)]\ \overset{a}{\urcorner}\ P((S) \neq 0)\ulcorner^{b}\ [1/2\sqrt{3} \Rightarrow (R)]$

$\overset{b}{\urcorner}[(S) \Rightarrow (\gamma_3);\ t_0 \Rightarrow (S)]\ \llcorner_{9}\ [(S) \Rightarrow t;\ -D \Rightarrow D]$

$[t_{n+1} \Rightarrow (S);\ D \Rightarrow (R)]\ P((R) \geqslant 0)\lrcorner_{9}\ [(S)\cdot X_1^{\ominus} \Rightarrow (S)]$

$\overset{8}{\urcorner}\llcorner_{10}[(S) \Rightarrow X_1^{\ominus};\ (\text{Сдв}(\gamma_2)\ \text{на}\ \eta) + X_1 \Rightarrow (S);\ (F) + 3e_A \Rightarrow (F)]$

$P((F) \geqslant 0)\ulcorner^{11}\ P((F) \neq 0)\ulcorner^{12}[[11] \Rightarrow [\varphi_0]]\ulcorner^{c}\ \overset{11}{\urcorner}[(S) - X_1 \Rightarrow (S);$

$(S) - X_1 \Rightarrow (S)][-3e_A \Rightarrow (F)]\ \overset{12}{\urcorner}[(S)\cdot 1/2 \Rightarrow (S)]\ P((S) \leqslant 0)\ulcorner^{13}$

$[0 \Rightarrow (S)]\ \text{БП}\lrcorner_{10}\ \overset{c}{\urcorner}[\text{Норм}(X_2 \cdot (\gamma_1)) \Rightarrow X_2;\ N + P_{X_2} \Rightarrow (S)]$

$\overset{14}{\urcorner}[(S) \Rightarrow P_{X_2};\ \text{Норм}(X_1) \Rightarrow X_1;\ (N + P_X) \circledast 14400 \Rightarrow P_X]$

$\text{БП}\ulcorner^{\text{Вх. VIII}}$

Нормализация

$\urcorner[\text{Норм}(X_2) \Rightarrow X_2;\ N + P_X \Rightarrow (S)]\ \text{БП}\ulcorner^{14}$

В этой схеме γ_1 — рабочая ячейка для $sign X_2$, γ_2 — рабочая ячейка для X_2^2 и r^2, причем эти величины отстоят в памяти от величины X на $12 l_A$, т.е. запись $X_1^{\ominus}$, при $(F)=-12 l_A$ означает (γ_2).

Содержимое ячейки γ_3 используется при вычислении t_{n+1}. В качестве величины D испльзуется одна из команд программы, причем, первоначально D>0. Величина P_{x_2} храниться в старших разрядах Y_1, т.е. состоит в памяти от величины P_x на $3 l_A$. Величина t помещается на место λ основной зоны ИП-4.

Два оператора $(S)-X_1 \Rightarrow (S)$, следующие за стрелкой ↴, реализуются в программе одной командой за счет того, что управление по этой стрелке передается длиннйо ячейке. Последние два оператора относятся к подпрограмме, реализующей псевдооперацию нормализации комплексного числа.

Подпрограмма извлечения квадратного корня и нормализации, I.

$П_ф=0$ Зона МБ 11

Адрес	Команда	
WW WX	Z 43 Y3	$(S) \Rightarrow \eta$ ↲4
WY	0 XY 00	БП Г→6
WZ W0	Z 4Z 33	$(S)+(\gamma_2) \Rightarrow (S)$ ↲3
W1	Z ZW 23	$1/2 \Rightarrow R$
W2 W3	Z 4Z YX	Норм$(S) \Rightarrow (\gamma_2)$; $N \Rightarrow (S)$
W4	0 WX 1X	УП-Т Г→4
XW XX	Z 0Y 20	$-(S) \Rightarrow (S)$
XY	0 12 XX	$[12] \Rightarrow [\varphi_0]$ ↲6
XZ X0	0 ZX Y0	$0 \Rightarrow (S)$ ↲ извл. кв. корня
X1	Z 43 Y3	$(S) \Rightarrow \eta$
X2 X3	Z 24 Z0	$-1 \Rightarrow (F)$
X4	Z 3Z 30	$X_2 \Rightarrow (S)$
YW YX	0 Y0 1X	УП-Т Г→1
YY	Z 01 Z0	$1 \Rightarrow (F)$
YZ Y0	Z 4Y 0X	$(F) \Rightarrow (\gamma_1)$ ↲1
Y1	0 X0 Z0	$-12\, e_R \Rightarrow (F)$
Y2 Y3	Z 3Z 40	$(S) \cdot X_2 \Rightarrow (S)$
Y4	0 03 10	УП-0 Г→2
ZW ZX	Z 4Z Y3	$(S) \Rightarrow (\gamma_2)$
ZY	Z 3W 30	$X_1 \Rightarrow (S)$
ZZ Z0	Z 3W 40	$(S) \cdot X_1 \Rightarrow (S)$
Z1	0 W0 13	УП-1 Г→3
Z2 Z3	Z 3Z 30	$X_2 \Rightarrow (S)$
Z4	0 1Y 00	БП Г→5
0W 0X	Z 3Z 30	$X_2 \Rightarrow (S)$ ↲ Норм.
0Y	Z 3Z YX	Норм$(S) \Rightarrow X_2$
0Z 00	Z 33 33	$(S)+P_x \Rightarrow (S)$
01	0 33 00	БП Г→14

Адрес	Команда	
02 03	Z 3Z Y3	$(S) \Rightarrow X_2$ ↲2
04	Z 3W 30	$X_1 \Rightarrow (S)$
1W 1X	Z Z0 10	УП-0 Г→ Вх. VIII ИП-4
1Y	0 11 13	УП-1 Г→7 ↲5
1Z 10	Z 24 40	$-(S) \Rightarrow (S)$
11	0 12 XX	$[12] \Rightarrow [\varphi_0]$ ↲7
12 13	0 00 00	$(0+0 \cdot i) \cdot 3^{-40}$
14	0 00 00	
2W 2X	0 00 00	
2Y	0 00 00	
2Z 20	0 WW 00	
21	0 00 00	свободные ячейки
22 23	0 00 00	
24	0 00 00	
3W 3X	Z 3Z 30	$X_2 \Rightarrow (S)$
3Y	Z 4Y 40	$(S) \cdot \mathrm{Sign}\, X_2 \Rightarrow (S)$
3Z 30	Z 3Z YX	Норм $(S) \Rightarrow X_2$
31	Z 4X 33	$(S)+P_{x_2} \Rightarrow (S)$
32 33	Z 4X Y3	$(S) \Rightarrow P_{x_2}$ ↲14
34	Z 3W 30	$X_1 \Rightarrow (S)$
4W 4X	Z 3W YX	Норм $(S) \Rightarrow X_1$
4Y	Z 33 33	$(S)+P_x \Rightarrow (S)$
4Z 40	0 44 20	$(S) \circledast 14400 \Rightarrow (S)$
41	Z 33 Y3	$(S) \Rightarrow P_x$
42 43	Z Z0 00	БП Г→ Вх. VIII ИП-4
44	1 44 00	
КС	0 00 Z2	
	Z W3 43	

Подпрограмма извлечения квадратного корня, II.

$П_ф=0$ Зона МБ 12

Адрес		Команда		Адрес		Команда	
WW	WX	Z 3W YW	$Норм(S) \Rightarrow X_1^{\ominus}$ ↲13	02	03	Z 23 40	$(S)\cdot t \Rightarrow (S)$
	WY	Z 33 33	$(S)+P_x \Rightarrow (S)$		04	Z 2W 40	$(S)\cdot H \Rightarrow (S)$
WZ	W0	Z ZW 23	$1/2 \Rightarrow (R)$	1W	1X	Z 23 3X	$(S)-t \Rightarrow (S)$
	W1	Z 20 4X	$(R)\cdot(S)-1/3\,\ell_n \Rightarrow (S)$		1Y	0 24 23	$D \Rightarrow (R)$
W2	W3	Z 33 Y2	$(S) \Rightarrow P_x^{\ominus}$	1Z	10	0 Y1 1X	УП-Т Г→9
	W4	0 X4 Y0	Сдв (S) на $2 \Rightarrow (S)$		11	Z 3W 4Z	$(S)\cdot X_1^{\ominus} \Rightarrow (S)$
XW	XX	Z ZY 20	$(S) \otimes \bar{1}\bar{4}\bar{4}\bar{4}\bar{4} \Rightarrow (S)$	12	13	Z 3W Y2	$(S) \Rightarrow X_1^{\ominus}$ ↲10 ↲8
	XY	Z Z1 20	$(S) \otimes 00100 \Rightarrow (S)$		14	Z 4Z 30	$(\gamma_2) \Rightarrow (S)$
XZ	X0	0 X3 10	УП-0 Г→8	2W	2X	Z 43 Y0	Сдв (S) на $7 \Rightarrow (S)$
	X1	0 4Y 23	$\sqrt{3}/2 \Rightarrow (R)$		2Y	Z 3W 33	$(S)+X_1 \Rightarrow (S)$
X2	X3	0 4X Y3	$(S) \Rightarrow (\gamma_3)$ ↲8	2Z	20	Z Y4 ZX	$(F)+3\ell_n \Rightarrow (F)$
	X4	0 02 Y0	$0 \Rightarrow (S)$; $2\ell_n$		21	0 3W 1X	УП-Т Г→11
YW	YX	Z 14 43	$(S)+(R)\cdot(-3) \Rightarrow (S)$	22	23	0 30 10	УП-0 Г→12
	YY	Z 3W 42	$(S)+(R)\cdot X_1^{\ominus} \Rightarrow (S)$		24	0 11 XX	$[11] \Rightarrow [\Phi_0]$; D
YZ	Y0	Z 24 40	$-(S) \Rightarrow (S)$	3W	3X	Z 3W 3X	$(S)-X_1 \Rightarrow (S)$ ↲11
	Y1	Z 23 Y3	$(S) \Rightarrow t$ ↲9		3Y	0 33 Z0	$-3\ell_n \Rightarrow (F)$
Y2	Y3	0 24 30	$D \Rightarrow (S)$	3Z	30	Z ZW 40	$(S)\cdot 1/2 \Rightarrow (S)$ ↲12
	Y4	Z 24 40	$-(S) \Rightarrow (S)$		31	0 WX 13	УП-1 Г→13
ZW	ZX	0 24 Y3	$(S) \Rightarrow D$	32	33	0 0X Y0	$0 \Rightarrow (S)$
	ZY	Z 23 30	$t \Rightarrow (S)$		34	0 13 00	БП Г→10
ZZ	Z0	0 4X Y0	Сдв (S) на (γ_3)	4W	4X	0 00 00	(γ_3)
	Z1	Z 3W 4Z	$(S)\cdot X_1^{\ominus} \Rightarrow (S)$		4Y	0 3W 34	$\sqrt{3}/2$
Z2	Z3	Z 23 40	$(S)\cdot t \Rightarrow (S)$	4Z	40	0 ZZ ZZ	$\}\ 3/8$
	Z4	Z 24 33	$(S)+(-1) \Rightarrow (S)$		41	0 XX XX	
0W	0X	Z 2W Y3	$(S) \Rightarrow H$	42	43	0 1Z 4Z	$\}\ 5/16$
	0Y	0 42 40	$(S)\cdot 5/16 \Rightarrow (S)$; $H \Rightarrow (R)$		44	1 3Y 3Y	
0Z	00	0 4Z 33	$(S)-3/8 \Rightarrow (S)$	КС		0 00 Z3	
	01	Z ZW 4X	$(S)\cdot(R)+1/2 \Rightarrow (S)$			Z Y3 03	

§7. Подпрограмма для вычисления функций sin*u*, cos*u*, sh*u*, ch*u*, e^u.

Данная подпрограмма занимает 4 зоны на МБ. Функции вычисляются по следующим формулам:

$$\left.\begin{aligned}
&\sin(x_1+ix_2)=\sin x_1\cdot ch\,x_2+i\cdot\cos x_1\cdot sh\,x_2\\
&\cos(x_1+ix_2)=\cos x_1\cdot ch\,x_2-i\cdot\sin x_1\cdot sh\,x_2\\
&sh(x_1+ix_2)=\cos x_2\cdot sh\,x_1-i\cdot\sin x_2\cdot sh\,x_1\\
&ch(x_1+ix_2)=\cos x_2\cdot ch\,x_1-i\cdot\sin x_2\cdot sh\,x_1\\
&e^{(x_1+ix_2)}=e^{x_1}\cdot(\cos x_2+i\cdot\sin x_2)
\end{aligned}\right\}(*)$$

Алгоритмы для вычисления sin*x*, cos*x*, e^x (x — действительное число) взяты из работы [3]. Абсолютная погрешность вычисляется каждой из величин 3sin*X*, 3cos*X*, мантиссы e^x не превосходит $5/2\cdot3^{-16}$ при $|X|<3/2$. Так как:

$$sh\,x=\frac{e^x-e^{-x}}{2}\ ,\quad ch\,x=\frac{e^x+e^{-x}}{2}\ ,$$

то абсолютная погрешность ε_{shx} можно оценить сверху следующим образом:

$$|\varepsilon_{sh}\,x|\le1/2\cdot|\varepsilon_{M(e^x-e^{-x})}|+|M(e^x-e^{-x})|\cdot\varepsilon_{1/2}+1/2\cdot3^{-16}\ ,$$

где $M(e^x - e^{-x})$ — мантисса $(e^x - e^{-x})$,

$$\varepsilon_{1/2} = 1/2 \cdot 3^{-16},$$

$$\varepsilon_m(e^x - e^{-x}) \le 2\varepsilon_{e^x} = 5 \cdot 3^{-16}$$

Отсюда получаем (при $|x| < 3/2$):

$$|\varepsilon_{sh} x| \le \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 3^{-16} + \frac{3}{4} \cdot 3^{-16} + \frac{1}{2} \cdot 3^{-16} = \frac{15}{4} \cdot 3^{-16}.$$

Аналогично:

$$|\varepsilon_{sh} x| \le \frac{15}{4} \cdot 3^{-16}.$$

Абсолютные погрешности вычисления мантисс действительной и мнимой частей в каждой формуле (*) состоят из погрешности, которая получается в результате перемножения указанных там величин, и погрешности выполнения умножения, которая не превосходит $1/2 \cdot 3^{-16}$. Эти погрешности не превосходят:

$$10 \cdot 3^{-16},$$

а абсолютная погрешность вычисления мантисс действительной и мнимой частей $e^{x_1 + iX_2}$ не превосходит:

$4 \cdot 3^{-16}$.

Подпрограмма вычисления функций sin*u*, cos*u*, sh*u*, ch*u*, e^{u}, описывается следующей схемой:

$$\overset{e^u}{\downarrow}[-3e_A \Rightarrow (F)]\; A_1\; [[13] \Rightarrow [\varphi_0]]\; БП\overset{2}{\uparrow}\; \overset{shu}{\downarrow}[0 \Rightarrow (\beta)]\; A_1$$

$$[[13] \Rightarrow [\varphi_0]]\; БП\overset{2}{\uparrow}\; \overset{chu}{\downarrow}[1e_A \Rightarrow (\beta)]\; A_1\; [[13] \Rightarrow [\varphi_0]]$$

$$БП\overset{2}{\uparrow}\; \overset{sinu}{\downarrow}[3e_A \Rightarrow (F)]\; БП\overset{1}{\uparrow}\; \overset{cosu}{\downarrow}[-3e_A \Rightarrow (F)]$$

$$\overset{1}{\downarrow}[(F) \Rightarrow (\beta);\, 3e_A \Rightarrow (F)]\; \overset{2}{\downarrow}[(F) \Rightarrow \lambda;\, 3e_A \Rightarrow (F)]$$

$$\overset{3}{\downarrow}[(F) \Rightarrow P_y]\; B_1\; [(F) - 3e_A \Rightarrow (F)]\; P(\omega \neq 0)\overset{3}{\uparrow}\; [P_{x_1} - 4e_A \Rightarrow (F);$$

$$[14] \Rightarrow [\varphi_0]]\; P(\omega \neq 1)\overset{4}{\uparrow}\; [(F) \Rightarrow (\gamma);\, 3e_A \Rightarrow (F)]\; \overset{6}{\uparrow}\; A_2\; \overset{10}{\downarrow}A_3$$

$$P(\omega \neq -1)\overset{5}{\uparrow}\; [(F) - 3e_A \Rightarrow (F)]\; P(\omega \neq 0)\overset{6}{\uparrow}\; [[2\bar{4}] \Rightarrow [\varphi_0]]$$

$$B_2\; [(F) \Rightarrow (\beta)]\; P(\omega \neq 1)\overset{7}{\uparrow}\; P(\omega \neq 0)\overset{8}{\uparrow}\; A_4\; \overset{8}{\downarrow}A_5$$

$$\overset{9}{\downarrow}[[2\bar{3}] \Rightarrow [\varphi_0]]\; A_6\; БП\overset{Вх.\,VIII\ ИП-4}{\uparrow}\; \overset{7}{\downarrow}A_7\; БП\overset{9}{\uparrow}\; \overset{4}{\downarrow}[X_2 \Rightarrow (S)]$$

$$P(\omega \neq 0)\overset{10}{\uparrow}\; P(\omega \neq -1)\overset{11}{\uparrow}\; \Omega_2\; \overset{11}{\downarrow}[\lambda \Rightarrow (F);\, [2\bar{4}] \Rightarrow [\varphi_0]]$$

$$P(\omega \neq -1)\overset{12}{\uparrow}\; \Omega_3\; \overset{12}{\downarrow}A_8\; A_9\; БП\overset{8}{\uparrow}\; \overset{5}{\downarrow}[[2\bar{4}] \Rightarrow [\varphi_0]]$$

$$A_9\; БП\overset{8}{\uparrow}$$

Здесь A_i – арифметические операторы, B_i – обобщенные операторы, имеющие нижеследующее содержание:

A_1: $[X_1 \Rightarrow Y_1 ; X_2 \Rightarrow X_1 ; Y_1 \Rightarrow X_2]$.

B_1 – обобщенный оператор, вычисляющий $\sin X_1$ и $\cos X_1$.

B_1: $[Cдв(X_1 \cdot 9/2\pi)$ на $P_x \Rightarrow (S); (S)\cdot 2/3 + L^{\oplus} \Rightarrow (S); (S) \Rightarrow Y_2^{\ominus};$

$(S) \otimes B \Rightarrow (\gamma); (S) + Y_2^{\ominus} \Rightarrow (S); (\gamma) \Rightarrow (F)]$

$P(\omega \neq 0)\overline{[-(S) \Rightarrow (S)]}\, [P_y \Rightarrow (F); (S) \Rightarrow Y_2^{\ominus}; (S)\cdot Y_2^{\ominus} \Rightarrow (S);$

$Cдв(S)$ на $-1 \Rightarrow (S); (S) \Rightarrow (R); b_4 \cdot (S) \Rightarrow (S);$

$b_3 + (S) \Rightarrow (S); b_2 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S); b_1 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S);$

$b_0 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S); (S)\cdot Y_2^{\ominus} \Rightarrow (S); Cдв(S)$ на $-1 \Rightarrow Y_2^{\ominus}]$.

A_2 и A_3 – арифметические операторы, вычисляющие e^x.

A_2: $[X_2 \cdot (-3/\ln 3)^{\oplus} \Rightarrow (S); (S) \Rightarrow X_2^{\ominus}; Cдв(S)$ на $(\gamma) \Rightarrow (S);$

$(S) \otimes K \Rightarrow P_y; Cдв X_2^{\ominus}$ на $P_x \Rightarrow (S); Cдв(S)$ на $1 \Rightarrow (S);$

$Cдв(S)$ на $-2 \Rightarrow (S); (S) \Rightarrow (R); a_7 \cdot (S) \Rightarrow (S); a_6 + (S) \Rightarrow (S);$

$a_5 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S); a_4 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S); a_3 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S);$

$a_2 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S); a_1 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S)]$.

A_3: $[1 + (S)\cdot(R) \Rightarrow X_2^{\ominus}; \lambda \Rightarrow (R)]$.

B_2 – обобщенный оператор, вычисляющий $\mathrm{sh}\,x_2$ $\mathrm{ch}\,x_2$.

$B_2 : [\ P_y \Rightarrow (S)\ ]\ \ P\ (\omega \neq 0) \overset{14}{\Gamma} [\ -(S) \Rightarrow (S);\ 0 \Rightarrow (F)\ ]$

$\overset{14}{\Gamma} [\ (S) \Rightarrow P_y\ ;\ (S) + P_y \Rightarrow \lambda\ ;\ \text{сдв}\ X_1^{\ominus}\ \text{на}\ \lambda \Rightarrow X_1^{\ominus};$

$-P_y \Rightarrow P_y\ ;\ X_1 \Rightarrow (S)\ ;\ (\beta) \Rightarrow (F)\ ;\ (S) \Rightarrow (\beta,\gamma);\ ((S) - X_2) \cdot 1/2 \Rightarrow X_1;$

$((\beta,\gamma) + X_2) \cdot 1/2 \Rightarrow X_2\ ].$

$A_4 :\ [\ -Y_1 \Rightarrow Y_1\ ].$

$A_5 :\ [\ \text{Норм}\ (Y_2 \cdot X_1^{\ominus}) \Rightarrow (\beta,\gamma);\ N + P_y \Rightarrow P_{x_1}\ ;\ Y_1 \cdot X_2^{\oplus} \Rightarrow (S)\ ].$

$A_6 :\ [\ \text{Норм}\ (S) \Rightarrow X_2\ ;\ N + P_y \Rightarrow P_{x_2}\ ;\ (\beta,\gamma) \Rightarrow X_1\ ].$

$A_7 :\ [\ \text{Норм}\ (X_2 \cdot Y_1^{\oplus}) \Rightarrow (\beta,\gamma)\ ;\ N + P_y \Rightarrow P_{x_1}\ ;\ X_1 \cdot Y_2^{\ominus} \Rightarrow (S)\ ].$

$A_8 :\ [\ 0 \Rightarrow (S);\ (S) \Rightarrow X_1\ ].$

$A_9 :\ [\ (S) \Rightarrow X_2\ ;\ 0 \Rightarrow (F)\ ].$

Подпрограмма вычисления функций sin*u*, cos*u*, sh*u*, ch*u*, e^u. I.

$П_ф=0$

Адрес		Команда	
WW	WX	0 Z1 Z0	$-3e_A \Rightarrow (F)$ ↵ cosu
	WY	Z 2X 0X	$(F) \Rightarrow (\beta)$ ↵ 1
WZ	W0	Z Y4 Z0	$3e_A \Rightarrow (F)$
	W1	Z 23 0X	$(F) \Rightarrow \lambda$ ↵ 2
W2	W3	Z X0 Z0	$3e_A \Rightarrow (F)$
	W4	Z 43 0X	$(F) \Rightarrow P_y$ ↵ 3
XW	XX	Z 3W 30	$X_1 \Rightarrow (S)$
	XY	0 4Z 40	$(S) \cdot 9/2\pi \Rightarrow (S)$
XZ	X0	Z 33 Y0	Сдв (S) на $P_x \Rightarrow (S)$
	X1	0 Z4 40	$(S) \cdot 2/3 \Rightarrow (S)$
X2	X3	0 0Z 34	$(S) + L^{\oplus} \Rightarrow (S)$
	X4	Z 4Z Y2	$(S) \Rightarrow Y_2^{\ominus}$
YW	YX	Z W3 20	$(S) \otimes B \Rightarrow (S)$
	YY	Z 2Y Y3	$(S) \Rightarrow (\gamma)$
YZ	Y0	Z 4Z 32	$(S) + Y_2^{\ominus} \Rightarrow (S)$
	Y1	Z 2Y Z0	$(\gamma) \Rightarrow (F)$
Y2	Y3	0 ZX 10	УП-0
	Y4	Z 24 40	$-(S) \Rightarrow (S)$
ZW	ZX	Z 43 Z0	$P_y \Rightarrow (F)$
	ZY	Z 4Z Y2	$(S) \Rightarrow Y_2^{\ominus}$
ZZ	Z0	Z 4Z 4Z	$(S) \cdot Y_2^{\ominus} \Rightarrow (S)$
	Z1	0 0X Y0	Сдв (S) на $-1 \Rightarrow (S)$
Z2	Z3	0 2W 40	$(S) \Rightarrow (R);\ b_4 \cdot (S) \Rightarrow (S)$
	Z4	0 20 00	БПГ→0 ; 2/3
0W	0X	0 0Z 4X	b_3 $-e_A$
	0Y	Z X1 X2	
0Z	00	1 WW WW	3/2
	01	Z WW WW	

Зона МБ 13

Адрес		Команда	
02	03	0 00 00	0
	04	0 00 00	
1W	1X	1 04 Y4	b_0
	1Y	Z 02 1Z	
1Z	10	Z 4Y 44	b_1
	11	Z 20 21	
12	13	0 1Z XZ	b_2
	14	Z 0Y Y1	
2W	2X	0 00 02	b_4
	2Y	0 23 XX	
2Z	20	0 0W 33	$b_3 + (S) \Rightarrow (S)$ ↵ 0
	21	0 12 4X	$b_2 + (S) \cdot (R) \Rightarrow (S)$
22	23	0 1Z 4X	$b_1 + (S) \cdot (R) \Rightarrow (S)$
	24	0 1W 4X	$b_0 + (S) \cdot (R) \Rightarrow (S)$
3W	3X	Z 4Z 4Z	$(S) \cdot Y_2^{\ominus} \Rightarrow (S)$
	3Y	0 0X Y0	Сдв (S) на $-1 \Rightarrow (S)$
3Z	30	Z 4Z Y2	$(S) \Rightarrow Y_2^{\ominus}$
	31	0 Z1 ZX	$(F) - 3e_A \Rightarrow (F)$
32	33	0 W4 10	УП-0 Г→3
	34	Z 33 Z0	$P_x \Rightarrow (F)$
4W	4X	0 20 ZX	$(F) - 4e_A \Rightarrow (F)$
	4Y	0 14 XX	$[14] \Rightarrow [\varphi_0]$
4Z	40	0 43 X1	$9/2\pi$
	41	Z Z4 14	
42	43	Z Y4 Z0	$3e_A \Rightarrow (F)$ ↵ sinu
	44	0 WY 00	БПГ→1
КС		0 00 Z2	
		1 Y4 41	

Подпрограмма вычисления функций sin*u*, cos*u*, sh*u*, ch*u*, e^u. II.

$П_ф$=0 Зона МБ 14

Адрес		Команда	
WW	WX	0 2W XX	$[2\bar{4}] \Rightarrow [\Phi_0]$ ↲ 5
	WY	Z 3Z 30	$X_2 \Rightarrow (S)$ ↲ 6
WZ	W0	0 2Z 41	$(S)\cdot(-3/\ln 3^{\oplus}) \Rightarrow (S)$
	W1	Z 3Z Y2	$(S) \Rightarrow X_2^{\ominus}$
W2	W3	Z 2Y Y0	Сдв (S) на $(\gamma) \Rightarrow (S)$
	W4	0 0Y 20	$(S) \otimes K \Rightarrow (S)$
XW	XX	Z 43 Y3	$(S) \Rightarrow P_y$
	XY	Z 3Z 3Z	$X_2^{\ominus} \Rightarrow (S)$
XZ	X0	Z 3? Y0	Сдв (S) на $P_x \Rightarrow (S)$
	X1	Z Z1 Y0	Сдв (S) на $1 \Rightarrow (S)$
X2	X3	0 W4 Y0	Сдв (S) на $-2 \Rightarrow (S)$
	X4	0 3W 40	$a_7\cdot(S) \Rightarrow (S)$
YW	YX	0 2W 3?	$a_6 + (S) \Rightarrow (S)$
	YY	0 12 4X	$a_5 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S)$
YZ	Y0	0 1Z 4X	$a_4 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S)$
	Y1	0 1W 4X	$a_3 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S)$
Y2	Y3	0 02 4X	$a_2 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S)$
	Y4	0 0Z 4X	$a_1 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S)$
ZW	ZX	Z 01 4X	$1 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S)$ ↲ 10
	ZY	Z 3Z Y2	$(S) \Rightarrow X_2^{\ominus}$
ZZ	Z0	Z 23 23	$\lambda \Rightarrow (R)$
	Z1	0 WX 1X	УП-Т ↱ 5
Z2	Z3	0 34 ZX	$(F) + (-3e_n) \Rightarrow (F)$
	Z4	0 WY 10	УП-0 ↱ 6
0W	0X	0 2W XX	$[2\bar{4}] \Rightarrow [\Phi_0]$
	0Y	1 44 00	K
0Z	00	0 32 X0	a_1
	01	Z 00 XW	

Адрес		Команда	
02	03	0 2Y 3X	a_2
	04	Z 4W 11	
1W	1X	0 1X 0X	a_3
	1Y	1 0W Y0	
1Z	10	0 02 XY	a_4
	11	Z 2Z 4X	
12	13	0 00 32	a_5
	14	0 44 24	
2W	2X	0 00 1W	a_6
	2Y	1 2W W3	
2Z	20	Z 1Y 24	$-3/\ln 3$
	21	0 YZ X0	
22	23	1 Z2 YW	$3/\ln 3$
	24	0 21 30	
3W	3X	0 00 01	a_7
	3Y	[illegible] WY YX	
3Z	30	Z [illegible] 30	$X_2 \Rightarrow (S)$ ↲ 4
	31	0 ZX 10	УП-0 ↱ 10
32	33	0 4X 1X	УП-Т ↱ 11
	34	0 0X 2X	Ω_2; $-3e_n$
4W	4X	Z [illegible] Z0	$\lambda \Rightarrow (F)$ ↲ 11
	4Y	0 [illegible] XX	$[2\bar{4}] \Rightarrow [\Phi_0]$
4Z	40	0 30 1[illegible]	УП-1 ↱ 4
	41	Z [illegible]Y 0X	$(F) \Rightarrow (\gamma)$
42	43	Z X0 Z0	$3e_n \Rightarrow (F)$
	44	0 WY [illegible]	БП ↱ 6
KC		0 [illegible]	
		[illegible] 4[illegible] 47	

Подпрограмма вычисления функций sin$u$, cos$u$, sh$u$, ch$u$, e^u. III.

$П_ф=0$ Зона МБ $2\bar{4}$

Адрес		Команда			
WW	WX	Z	3W	Y3	$(S)\Rightarrow X_1 \hookleftarrow^{16}$
	WY	Z	3Z	Y3	$(S)\Rightarrow X_2$
WZ	W0	Z	XX	Z0	$0\Rightarrow(F)$
	W1	0	Y4	00	БП $\Gamma\!\to^{8}$
W2	W3	Z	3Z	30	$X_2\Rightarrow(S)\hookleftarrow^{7}$
	W4	Z	32	41	$(S)\cdot Y_1^{\oplus}\Rightarrow(S)$
XW	XX	Z	2W	YX	Норм $(S)\Rightarrow(\beta,\gamma)$
	XY	Z	43	33	$(S)+P_y\Rightarrow(S)$
XZ	X0	Z	33	Y3	$(S)\Rightarrow P_x$
	X1	Z	3W	30	$X_1\Rightarrow(S)$
X2	X3	Z	42	4Z	$(S)\cdot Y_2^{\ominus}\Rightarrow(S)$
	X4	0	0X	00	БП $\Gamma\!\to^{9}$
YW	YX	0	W3	13	УП-1 $\Gamma\!\to^{7}\hookleftarrow^{15}$
	YY	0	Y4	10	УП-0 $\Gamma\!\to^{8}$
YZ	Y0	Z	4W	30	$Y_1\Rightarrow(S)$
	Y1	Z	24	40	$-(S)\Rightarrow(S)$
Y2	Y3	Z	4W	Y3	$(S)\Rightarrow Y_1$
	Y4	Z	4Z	30	$Y_2\Rightarrow(S)\hookleftarrow^{8}$
ZW	ZX	Z	3W	4Z	$(S)\cdot X_2^{\ominus}\Rightarrow(S)$
	ZY	Z	2W	YX	Норм $(S)\Rightarrow(\beta,\gamma)$
ZZ	Z0	Z	43	33	$(S)+P_y\Rightarrow(S)$
	Z1	Z	33	Y3	$(S)\Rightarrow P_x$
Z2	Z3	Z	4W	30	$Y_1\Rightarrow(S)$
	Z4	Z	3Z	41	$(S)\cdot X_1^{\oplus}\Rightarrow(S)$
0W	0X	0	2X	XX	$[2\bar{3}]\Rightarrow[\varphi_0]\hookleftarrow^{9}$
	0Y	Z	43	30	$P_y\Rightarrow(S)$
0Z	00	0	04	1X	УП-Т $\Gamma\!\to^{14}$
	01	Z	24	40	$-(S)\Rightarrow(S)$

Адрес		Команда			
02	03	Z	XX	Z0	$0\Rightarrow(F)$
	04	Z	43	Y3	$(S)\Rightarrow P_y\hookleftarrow^{14}$
1W	1X	Z	43	33	$(S)+P_y\Rightarrow(S)$
	1Y	Z	23	Y3	$(S)\Rightarrow(\lambda)$
1Z	10	Z	3W	3Z	$X_1^{\ominus}\Rightarrow(S)$
	11	Z	23	Y0	Сдв(S) на $(\lambda)\Rightarrow(S)$
12	13	Z	3W	Y2	$(S)\Rightarrow X_1^{\ominus}$
	14	Z	43	30	$P_y\Rightarrow(S)$
2W	2X	Z	24	40	$-(S)\Rightarrow(S)$
	2Y	Z	43	Y3	$(S)\Rightarrow P_y$
2Z	20	Z	3W	30	$X_1\Rightarrow(S)$
	21	Z	2X	Z0	$(\beta)\Rightarrow(F)$
22	23	Z	2W	Y3	$(S)\Rightarrow(\beta,\gamma)$
	24	Z	3Z	3X	$(S)-X_2\Rightarrow(S)$
3W	3X	Z	ZW	40	$(S)\cdot 1/2\Rightarrow(S)$
	3Y	Z	3W	Y3	$(S)\Rightarrow X_1$
3Z	30	Z	2W	30	$(\beta,\gamma)\Rightarrow(S)$
	31	Z	3Z	33	$(S)+X_2\Rightarrow(S)$
32	33	Z	ZW	40	$(S)\cdot 1/2\Rightarrow(S)$
	34	Z	3Z	Y3	$(S)\Rightarrow X_2$
4W	4X	Z	2X	0X	$(F)\Rightarrow(\beta)$
	4Y	0	YX	00	БП $\Gamma\!\to^{15}$
4Z	40	0	43	1X	УП-Т $\Gamma\!\to^{12}$
	41	Z	23	2X	Ω_3
42	43	0	WX	Y0	$0\Rightarrow(S)\hookleftarrow^{12}$
	44	0	WX	00	БП $\Gamma\!\to^{16}$
КС		0	00	ZY	
		0	ZW	YY	

Подпрограмма вычисления функций sin*u*, cos*u*, sh*u*, ch*u*, e^u. IV.

$П_ф$=0

Адрес		Команда			
WW	WX	Z	XX	Z0	$0 \Rightarrow (F)$ ↲ <u>sh*u*</u>
	WY	0	W3	00	БПГ→ 13
WZ	W0	0	13	XX	$[13] \Rightarrow [\varphi_0]$ ↲ 13
	W1	0	ZY	Z0	$6 e_A \Rightarrow (F)$ ↲ <u>ch*u*</u>
W2	W3	Z	2X	0X	$(F) \Rightarrow (\beta)$ ↲ 12
	W4	Z	3W	30	$X_1 \Rightarrow (S)$ ↲ 14
XW	XX	Z	4W	Y3	$(S) \Rightarrow Y_1$
	XY	Z	3Z	30	$X_2 \Rightarrow (S)$
XZ	X0	Z	3W	Y3	$(S) \Rightarrow X_1$
	X1	Z	4W	30	$Y_1 \Rightarrow (S)$
X2	X3	Z	3Z	Y3	$(S) \Rightarrow X_2$
	X4	0	W0	00	БПГ→ 13
YW	YX	0	24	Z0	$-3 e_A \Rightarrow (F)$ ↲ <u>e^u</u>
	YY	0	W4	00	БПГ→ 14
YZ	Y0	0	40	00	
	Y1	0	00	00	
Y2	Y3	0	00	00	4
	Y4	0	00	00	
ZW	ZX	0	01	00	
	ZY	0	1X	00	$6 e_A$
ZZ	Z0	0	X0	00	
	Z1	0	00	00	
Z2	Z3	0	00	00	−1
	Z4	0	00	00	
0W	0X	0	00	00	
	0Y	Z	3Z	YX	Норм $(S) \Rightarrow X_2$
0Z	00	Z	43	33	$(S) + P_y \Rightarrow (S)$
	01	Z	4X	Y3	$(S) \Rightarrow P_{X_2}$

Зона МБ $2\bar{3}$

Адрес		Команда			
02	03	Z	2W	30	$(\beta, \gamma) = (S)$
	04	Z	3W	Y3	$(S) \Rightarrow X_1$
1W	1X	Z	Z0	00	БПГ→ вх. $\overline{\underline{VIII}}$ ИП-4
	1Y	0	00	00	
1Z	10	0	00	00	свободные ячейки
	11	0	00	00	
12	13	0	00	00	
	14	0	00	00	
2W	2X	0	Y0	00	
	2Y	0	00	00	
2Z	20	0	00	00	−2
	21	0	00	00	
22	23	0	01	00	
	24	0	0X	00	$-3 e_A$
3W	3X	0	30	00	
	3Y	0	00	00	
3Z	30	0	00	00	1
	31	0	00	00	
32	33	0	00	00	
	34	0	00	00	
4W	4X	0	2W	WW	
	4Y	Z	WW	WW	
4Z	40	0	00	00	1/2
	41	0	00	00	
42	43	0	00	00	
	44	0	00	00	
КС		0	00	0W	
		Z	32	Y1	

§8. Подпрограмма для вычисления функций $\ln u$, $|u|$, $\frac{1}{|u|}$.

Подпрограмма занимает 4 зоны на магнитном барабане. Функции вычисляются по формулам:

$$|u| = (\sqrt{X_1^2 + X_2^2} + 0 \cdot i) \cdot 3^{P_x}$$

$$\frac{1}{|u|} = \left(\frac{1}{\sqrt{X_1^2 + X_2^2}} + 0 \cdot i \right) \cdot 3^{-P_x}$$

$$\ln u = \ln |u| + i \cdot \varphi$$

где $\varphi = arctg \frac{X_2}{X_1} + 2k\pi$,

но в подпрограмме вычисляется главное значение аргумента $\varphi = arctg \frac{X_2}{X_1} + 2k\pi$ (k=0). Кроме того, полученные значения нормализуются.

Для извлечения квадратного корня из $X_1^2 + X_2^2$

$$r = \sqrt{T}, \quad T = X_1^2 + X_2^2$$

используется алгоритм из [3], но в связи с тем, что аргумент T вычисляется с погрешностью ε_T, $\varepsilon_T < 3^{-16}$, то погрешность вычислений будет больше, чем в [3].

Величина $g=\frac{1}{\sqrt{T}}$ при точном аргументе T вычисляется с погрешностью ε_g, $|\varepsilon_g|<3^{-16}$. Следовательно, абсолютная погрешность $\varepsilon_{\frac{1}{|u|}}$ вычисления мантиссы действительной части величины $\frac{1}{|u|}$ удовлетворяет неравенству:

$$\left|\varepsilon_{\frac{1}{|u|}}\right|<3^{-16}+\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{\sqrt{T^3}}\cdot|\varepsilon_t|<(1+4)\cdot 3^{-16}\leq 5\cdot 3^{-16}$$

Так как величина r вычисляется по формуле:

$$r=T\cdot g\ ,$$

то погрешность ε_r ее вычисления удовлетворяет соотношению:

$$|\varepsilon_r|<3^{-16}\cdot T+|\Delta_{умн}|+\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{\sqrt{T}}|\varepsilon_T|\ ,\quad |\Delta_{умн}|<\frac{1}{2}\cdot 3^{-16}\ .$$

Отсюда

$$|\varepsilon_{|u|}|=|\varepsilon_r|<6{,}5\cdot 3^{-16}$$

Функции ln*x* при точном аргументе X вычисляются в [3] с погрешностью $\varepsilon_{\ln}$,

$$|\varepsilon_{\ln}| < \frac{5}{2} \cdot 3^{-16}.$$

Поэтому абсолютная погрешность $\varepsilon_{\ln r}$ вычисления мантиссы действительной части величины ln*u* удовлетворяет соотношению:

$$|\varepsilon_{\ln r}| = \frac{\varepsilon_r \cdot 1}{r} + \varepsilon_{\ln} + 0(\varepsilon_r), \text{ т.е. } |\varepsilon_{\ln r}| = 15{,}5 \cdot 3^{-16}.$$

Величина $\varphi = arctg\frac{X_2}{X_1} + 2\mathrm{k}\pi$ вычисляется согласно следующих соотношений:

$$arctg\frac{X_2}{X_1} = \begin{cases} sign\frac{X_2}{X_1} \cdot arctg\left|\frac{X_2}{X_1}\right|, \text{ если } |X_2| < |X_1| \\ sign\frac{X_2}{X_1} \cdot \left(\frac{\pi}{2} - arctg\left|\frac{X_2}{X_1}\right|\right), \text{ если } |X_2| \geq |X_1| \end{cases}$$

для вычисления отношений $t = \frac{X_2}{X_1}$ или $t = \frac{X_1}{X_2}$ используется алгоритм деления из [3]. Это отношение вычисляется с погрешностью ε_t, $|\varepsilon_t| < 2 \cdot 3^{-16}$.

Значение arctg$t$ вычисляется с помощью полинома 15-ой степени:

$$arctg\, t \approx \sum_{i=1}^{8} B_{2i-1} \cdot t^{2i-1} .$$

Этот полином получен из разложения arctg$t$ по полиномам Чебышева,

$$arctg\, t \approx \sum_{n=0}^{\infty} A_{2n+1} \cdot T_{2n+1}(t) , \quad -1 \le t \le 1 ,$$

в котором взято восемь членов, что вносит в вычисления погрешность ε,

$$|\varepsilon| \le |A_{17} \cdot T_{17}(t)| \le 0{,}466 \cdot 10^{-7} \le 2 \cdot 3^{-16} .$$

Коэффициенты B_{2i-1} полинома имеют следующие значения:

$$B_1 = 0{,}999\ 999\ 249$$

$$B_3 = 0{,}333\ 295\ 379$$

$$B_5 = 0{,}199\ 430\ 787$$

$$B_7 = 0{,}138\ 920\ 282$$

$$B_9 = 0{,}096\ 016\ 236$$

$$B_{11} = 0{,}055\ 381\ 258$$

$$B_{13} = 0{,}021\ 508\ 956$$

$$B_{15} = 0{,}003\ 960\ 177\ .$$

Полная абсолютная погрешность ε_φ вычисления arctg$t$ с учетом погрешности аргумента t удовлетворяет неравенству:

$$|\varepsilon_\varphi| < 13{,}5 \cdot 3^{-16}\ .$$

$$\overset{\ln u}{\downarrow}[X_1 \Rightarrow Y_1;\ 0 \Rightarrow (F)]\ \text{БП}\overset{1}{\uparrow}\ \overset{|u|}{\downarrow}[1 \Rightarrow (F)]\ \overset{1}{\downarrow}[(F) \Rightarrow \lambda]$$

$$\overset{1/|u|}{\downarrow}A_1\ P(\omega \neq 0)\overset{2}{\uparrow}B_1[\lambda \Rightarrow (F);\ [2\bar{\tau}] \Rightarrow [\Phi_0]]\ P(\omega = -1)\overset{3}{\uparrow}$$

$$A_2\ \text{БП}\overset{4}{\uparrow}\ \overset{3}{\downarrow}A_3\ \overset{4}{\downarrow}A_4[\lambda \Rightarrow (F)]\ P(\omega \neq 0)\overset{5}{\uparrow}\ \text{БП}\overset{\text{Вх.VIII}}{\uparrow}$$

$$\overset{5}{\downarrow}B_2[Y_1 \Rightarrow (S)]\ P(\omega \neq 1)\overset{6}{\uparrow}\ P(\omega \neq 0)\overset{6}{\uparrow}A_5\ \overset{6}{\downarrow}[Y_2 \Rightarrow (S)]$$

$$P(\omega = 1)\overset{7}{\uparrow}\ P(\omega \neq 0)\overset{7}{\uparrow}A_6\ \overset{7}{\downarrow}[(S) - Y_1 \Rightarrow (S)]\ P(\omega \neq 0)\overset{8}{\uparrow}$$

$$P(\omega \neq -1)\overset{8}{\uparrow}A_7\ \overset{2}{\downarrow}A_8\ \underset{i=1}{\{}\ A(i)\ \underset{i=8}{\}}\ [(S) \cdot X_2 \Rightarrow (S);\ \lambda \Rightarrow (F)]$$

$$P(\omega \neq 1)\overset{9}{\uparrow}A_{10}\ \overset{9}{\downarrow}A_{11}\ \text{БП}\overset{\text{Вх.VIII}}{\uparrow}\ \overset{2}{\downarrow}[\lambda \Rightarrow (F)]\ P(\omega \neq 1)\overset{\text{Вх.VIII}}{\uparrow}\Omega_4\,\text{БП}.$$

Логическая схема данной подпрограммы имеет следующий вид:

Здесь λ используется в качестве признака того, какую из трех функций нужно вычислять. Первоначально ИП-4 всегда формирует $\lambda<0$ (это соответствует тому, что нужно вычислять $1/|u|$). Остальные операторы имеют следующий смысл.

A_1 : $[X_2 \Rightarrow Y_2 ; X_1^2 + X_2^2 \Rightarrow (S)]$.

B_1, A_5 – операторы, вычисляющие обратную величину квадратного корня, из $X_1^2 + X_2^2$, т.е. $\frac{1}{z} = \frac{1}{\sqrt{T}}$.

B_1 : $[\text{Норм}\,(S) \Rightarrow X_2 ;\ N \Rightarrow (\beta) ;\ X_2 \Rightarrow (R) ;\ X_2 \cdot a_3 \Rightarrow (S) ;$

$(S) + a_2 \Rightarrow (S) ;\ (S)\cdot(R) + a_1 \Rightarrow (S) ;\ (S)\cdot(R) + a_0 \Rightarrow (S) ;$

$(\beta) \Rightarrow (F)]\ P(\omega \neq 0) \overset{10}{\ulcorner} P(\omega \neq -1) \overset{11}{\ulcorner} [(S)\cdot\frac{1}{\sqrt{3}} \Rightarrow (S)]$

$\text{БП} \overset{10}{\ulcorner} \overset{11}{\urcorner} [(S)\sqrt{3} \Rightarrow (S)] \overset{10}{\urcorner} [(S) \Rightarrow X_1 ;\ \text{Сдв}\,(S)\,\text{на}\,(\beta) \Rightarrow (S) ;$

$(S)\cdot X_2 \Rightarrow (S) ;\ (S)\cdot X_1 \Rightarrow (S) ;\ (S) - 1 \Rightarrow (S) ;\ (S) \Rightarrow (R) ;$

$5/16 \cdot (S) \Rightarrow (S) ;\ (S) - 3/8 \Rightarrow (S) ;\ (S)\cdot(R) + 1/2 \Rightarrow (S) ;$

$(S)\cdot(R) - 1 \Rightarrow (S) ;\ (S)\cdot X_1 \Rightarrow (S) ;\ -(S) \Rightarrow (S)]$.

A_2 : $[\text{Норм}\,(S)\cdot X_2 \Rightarrow X_1 ;\ N + P_x + (\beta) \Rightarrow (S)]$.

A_3 : $[\text{Норм}\,(S) \Rightarrow X_1 ;\ N - P_x \Rightarrow (S)]$.

A_4 : $[(S) \Rightarrow P_x ;\ 0 \Rightarrow X_2]$.

B_2 — обобщенный оператор, вычисляющий логарифмы и запоминающий знаки X_2 и X_1.

B_2 - обобщенный оператор, вычисляющий логарифм и запоминающий знаки X_2 и X_1 .

B_2: $[\, P_x \Rightarrow (S);\ (S) \Rightarrow (\beta)]\ P\,(\omega \neq 0) \overset{12}{\ulcorner} [\,\text{Норм}\,(S) \Rightarrow (\beta);\ N \Rightarrow (S);$

$(S) + 3\ell_n \Rightarrow (S);\ -(S) \Rightarrow (S)] \overset{12}{\urcorner} [\,(S) \Rightarrow P_x;\ X_1 - \sqrt{3}/2 \Rightarrow (S)\,]$

$P\,(\omega \neq 1) \overset{13}{\ulcorner} [\,(F) + 3\ell_n \Rightarrow (F)] \overset{13}{\urcorner} [\,X_1 \Rightarrow (S);\ (S)\cdot\lambda^{\ominus} \Rightarrow (S);$

$(S) - 1 \Rightarrow (S);\ (S) \Rightarrow (R);\ a_8 \cdot (S) \Rightarrow (S);\ a_7 + (S) \Rightarrow (S);$

$a_6 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S);\ a_5 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S);\ a_4 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S);$

$a_3 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S);\ [20] \Rightarrow [\varphi_0];\ a_2 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S);$

$a_1 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S);\ (-3\,\ell n\, X_1)^{\ominus} + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S);$

$\text{Сдв}\ (S)\ \text{на}\ -1 \Rightarrow (S);\ \text{Сдв}\ (S)\ \text{на}\ P_x \Rightarrow (S);\ \ell n\, 3 \Rightarrow (R);$

$(S) + (\beta)\cdot(R) \Rightarrow (S);\ \text{Норм}\ (S) \Rightarrow X_1;\ (S) - P_{x_1} \Rightarrow P_{x_1};$

$1 \Rightarrow (S);\ (S) \Rightarrow (\beta);\ (S) \Rightarrow (\gamma);\ (S) \Rightarrow \lambda\,].$

A_5 : $[\,-1 \Rightarrow (\beta);\ -Y_1 \Rightarrow Y_1\,].$

A_6 : $[\,-1 \Rightarrow (\gamma);\ -Y_2 \Rightarrow Y_2\,].$

A_7 : $[\,Y_2 \Rightarrow X_2;\ Y_1 \Rightarrow Y_2;\ X_2 \Rightarrow Y_1;\ -1 \Rightarrow \lambda\,].$

A_8 - оператор, выполняющий деление и засылки $t^2 \Rightarrow R;\ B_{15} \Rightarrow (S)$:

$[\,Y_1 \Rightarrow (S);\ [21] \Rightarrow [\varphi_0];\ \delta - h \Rightarrow X_2;\ 1 - h^2 \Rightarrow (S);\ -h^2 \Rightarrow (S);$

$-h^2 \Rightarrow (R);\ \ell_3 \cdot (R) \Rightarrow (S);\ \ell_2 + (S) \Rightarrow (S);\ -\ell_1 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S);$

$1 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S);\ -1 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S);\ (S)\cdot X_2 \Rightarrow (S);$

$(S)\cdot Y_1 \Rightarrow (S);\ -2 - (S) \Rightarrow (S);\ 0 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S);$

$(S)\cdot Y_2 \Rightarrow (S);\ (S) \Rightarrow X_2;\ (S)\cdot X_2 \Rightarrow (S);\ (S) \Rightarrow (R);\ B_{15} \Rightarrow (S)\,].$

$A\,(i)$: $[\,(S)\cdot(R) + B_{15-2i} \Rightarrow (S)\,].$

A_{10} : $[\,\pi/2 - (S) \Rightarrow (S)\,].$

A_{11} : $[\,(S)\cdot(\beta)\cdot(\gamma) \Rightarrow (S);\ \text{Норм}\ (S) \Rightarrow X_2;\ N \Rightarrow P_{x_2}\,].$

Подпрограмма вычисления функций $\ln u$, $|u|$, $\frac{1}{|u|}$, I.

$П_{ф}$=0 Зона МБ $2\bar{2}$

Адрес		Команда			
WW	WX	Z	3W	30	$X_1 \Rightarrow (S) \lrcorner$ $\underline{\ln u}$
	WY	Z	4W	Y3	$(S) \Rightarrow Y_1$
WZ	W0	Z	XX	Z0	$0 \Rightarrow (F)$
	W1	0	W4	00	БП $\Gamma^{\to 1}$
W2	W3	Z	01	Z0	$1 \Rightarrow (F) \lrcorner$ $\underline{\lvert u\rvert}$
	W4	Z	23	0X	$(F) \Rightarrow \lambda \lrcorner 1$
XW	XX	Z	3Z	30	$X_2 \Rightarrow (S) \lrcorner$ $\underline{1/\lvert u\rvert}$
	XY	Z	4Z	Y3	$(S) \Rightarrow Y_2$
XZ	X0	Z	3Z	40	$(S) \cdot X_2 \Rightarrow (S)$
	X1	Z	3W	23	$X_1 \Rightarrow (R)$
X2	X3	Z	3W	43	$(S) + (R) \cdot X_1 \Rightarrow (S)$
	X4	0	40	10	УП-0 $\Gamma^{\to 2}$
YW	YX	Z	3Z	YX	Норм $(S) \Rightarrow X_2$; $N \Rightarrow (S)$
	YY	Z	2X	Y3	$(S) \Rightarrow (\beta)$
YZ	Y0	Z	3Z	30	$X_2 \Rightarrow (S)$
	Y1	0	20	40	$(S) \cdot a_3 \Rightarrow (S)$
Y2	Y3	0	21	33	$(S) + a_2 \Rightarrow (S)$
	Y4	0	4X	4X	$(S) \cdot (R) + a_1 \Rightarrow (S)$
ZW	ZX	0	4Y	4X	$(S) \cdot (R) + a_0 \Rightarrow (S)$
	ZY	Z	2X	Z0	$(\beta) \Rightarrow (F)$
ZZ	Z0	0	0Y	10	УП-0 $\Gamma^{\to 10}$
	Z1	0	0X	1X	УП-$\bar{1}$ $\Gamma^{\to 11}$
Z2	Z3	0	22	40	$(S) \cdot 1/\sqrt{3} \Rightarrow (S)$
	Z4	0	0Y	00	БП $\Gamma^{\to 10}$
0W	0X	0	3W	40	$(S) \cdot \sqrt{3} \Rightarrow (S) \lrcorner 11$
	0Y	Z	3W	Y3	$(S) \Rightarrow X_1 \lrcorner 10$
0Z	00	Z	2X	Y0	Сдв (S) на $(\beta) \Rightarrow (S)$
	01	Z	3Z	40	$(S) \cdot X_2 \Rightarrow (S)$

Адрес		Команда			
02	03	Z	3W	40	$(S) \cdot X_1 \Rightarrow (S)$
	04	Z	24	33	$(S) - 1 \Rightarrow (S)$
1W	1X	0	32	40	$(S) \Rightarrow (R)$; $5/16\,(S) \Rightarrow (S)$
	1Y	0	3Z	33	$(S) - 3/8 \Rightarrow (S)$
1Z	10	Z	ZW	4X	$(S) \cdot (R) + 1/2 \Rightarrow (S)$
	11	Z	24	4X	$(S) \cdot (R) - 1 \Rightarrow (S)$
12	13	Z	3W	40	$(S) \cdot X_1 \Rightarrow (S)$
	14	Z	24	40	$-(S) \Rightarrow (S)$
2W	2X	Z	23	Z0	$\lambda \Rightarrow (F)$
	2Y	0	2Z	XX	$[2\bar{T}] \Rightarrow [\varphi_0]$
2Z	20	0	ZY	0X	a_3
	21	1	W1	W0	a_2
22	23	0	2Y	W3	$\left.\right\} 1/\sqrt{3}$
	24	Z	00	X3	
3W	3X	1	W2	YZ	$\left.\right\} \sqrt{3}$
	3Y	0	0Z	11	
3Z	30	0	ZZ	ZZ	$\left.\right\} -3/8$
	31	0	XX	XX	
32	33	0	1Z	4Z	$\left.\right\} 5/16$
	34	1	3Y	3Y	
4W	4X	Z	11	YX	a_1
	4Y	1	Y1	X3	a_0
4Z	40	Z	23	Z0	$\lambda \Rightarrow (F) \lrcorner 2$
	41	Z	Z0	13	УП-1 $\Gamma^{\to}$ Вх. $\boxed{\text{VII}}$ ИП-4
42	43	0	00	2X	Ω_4
	44	0	43	00	БП
КС		0	00	Z4	
		Z	Z0	3Z	

Подпрограмма вычисления функций $\ln u$, $|u|$, $\frac{1}{|u|}$, II.

$П_ф=0$ Зона МБ $2\bar{1}$

Адрес	Команда		Адрес	Команда	
WW WX	Z 3W YX	Норм$(S)\Rightarrow X_1$ ↲3	02 03	0 20 XX	$[20]\Rightarrow[\Phi_0]$
WY	Z 33 3X	$(S)-P_X\Rightarrow(S)$	04	0 3W 34	$\sqrt{3}/2$
WZ W0	Z 33 Y3	$(S)\Rightarrow P_X$ ↲4	1W 1X	0 30 00	a_3
W1	0 WX Y0	$0\Rightarrow(S)$	1Y	0 1Z Z3	
W2 W3	Z 3Z Y3	$(S)\Rightarrow X_2$	1Z 10	0 YY YY	a_4
W4	Z 23 Z0	$\lambda\Rightarrow(F)$	11	Z Y0 24	
XW XX	0 X0 10	УП-0 ↱5	12 13	0 2Y 14	a_5
XY	Z Z0 00	БП ↱Вх.УШ ИП-4	14	Z YY W0	
XZ X0	Z 33 30	$P_X\Rightarrow(S)$ ↲5	2W 2X	0 ZW W2	α_6
X1	Z 2X Y3	$(S)\Rightarrow(\beta)$	2Y	0 14 Y1	α_7
X2 X3	0 Y0 10	УП-0 ↱12	2Z 20	0 WX 1X	УП-Т ↱3
X4	Z 2X YX	Норм$(S)\Rightarrow(\beta)$	21	Z 3Z 40	$(S)\cdot X_2\Rightarrow(S)$
YW YX	Z Y4 33	$(S)+3\ell_n\Rightarrow(S)$	22 23	Z 3W YX	Норм$(S)\Rightarrow X_1$; $N\Rightarrow(S)$
YY	Z 24 40	$-(S)\Rightarrow(S)$	24	Z 33 33	$(S)+P_X\Rightarrow(S)$
YZ Y0	Z 33 Y3	$(S)\Rightarrow P_X$ ↲12	3W 3X	Z 2X 33	$(S)+(\beta)\Rightarrow(S)$
Y1	Z 3W 30	$X_1\Rightarrow(S)$	3Y	0 W0 00	БП ↱4
Y2 Y3	0 04 3X	$(S)-\sqrt{3}/2\Rightarrow(S)$	3Z 30	0 44 WY	$\tilde{\lambda}_2$
Y4	0 ZY 13	УП-1 ↱13	31	0 ZX 43	a_8
ZW ZX	Z 1X ZX	$(F)+3\ell_n\Rightarrow(F)$	32 33	0 3W Y4	$\tilde{\lambda}_1$
ZY	Z 3W 30	$X_1\Rightarrow(S)$ ↲13	34	0 00 00	свободные ячейки
ZZ Z0	0 33 4Z	$(S)\cdot\lambda_1^{\ominus}\Rightarrow(S)$	4W 4X	0 00 00	
Z1	Z 01 3X	$(S)-1\Rightarrow(S)$	4Y	0 00 00	
Z2 Z3	0 31 40	$(S)\Rightarrow(R)$; $a_8\cdot(S)\Rightarrow(S)$	4Z 40	0 00 00	
Z4	0 2Y 33	$a_7+(S)\Rightarrow(S)$	41	0 00 00	
0W 0X	0 2X 4X	$a_6+(S)\cdot(R)\Rightarrow(S)$	42 43	0 00 00	
0Y	0 12 4X	$a_5+(S)\cdot(R)\Rightarrow(S)$	44	0 00 00	
0Z 00	0 1Z 4X	$a_4+(S)\cdot(R)\Rightarrow(S)$	KC	0 00 Z3	
01	0 1W 4X	$a_3+(S)\cdot(R)\Rightarrow(S)$		1 0X 1Z	

Подпрограмма вычисления функций $\ln u$, $|u|$, $\frac{1}{|u|}$, III.

$П_ф=0$ Зона МБ 20

Адрес		Команда	
WW	WX	0 33 X0	} $\ln 3$
	WY	Z 00 XW	
WZ	W0	1 00 00	$a_1 = 3$
	W1	0 00 00	} свободные ячейки
W2	W3	0 00 00	
	W4	Z 24 30	$-1 \Rightarrow (S)$ ↲ 2
XW	XX	Z 2Y Y3	$(S) \Rightarrow (\gamma)$
	XY	Z 4Z 40	$(S) \cdot Y_2 \Rightarrow (S)$
XZ	X0	Z 4Z Y3	$(S) \Rightarrow Y_2$
	X1	Z 4W 3X	$(S) - Y_1 \Rightarrow (S)$ ↲ 7
X2	X3	0 Z0 10	УП-0 ↱ 8
	X4	0 Z0 1X	УП-Т ↱ 8
YW	YX	Z 4Z 30	$Y_2 \Rightarrow (S)$
	YY	Z 3Z Y3	$(S) \Rightarrow X_2$
YZ	Y0	Z 4W 30	$Y_1 \Rightarrow (S)$
	Y1	Z 4Z Y3	$(S) \Rightarrow Y_2$
Y2	Y3	Z 3Z 30	$X_2 \Rightarrow (S)$
	Y4	Z 4W Y3	$(S) \Rightarrow Y_1$
ZW	ZX	Z 24 30	$-1 \Rightarrow (S)$
	ZY	Z 23 Y3	$(S) \Rightarrow \lambda$
ZZ	Z0	Z 4W 30	$Y_1 \Rightarrow (S)$ ↲ 8
	Z1	0 21 XX	$[21] \Rightarrow [\varphi_0]$
Z2	Z3	0 XW 11	} $-3 \ln \tilde{\lambda}_2$
	Z4	Z 0X WY	
0W	0X	0 2W W3	} $-3 \ln \tilde{\lambda}_1$
	0Y	1 44 2W	
0Z	00	0 WW WW	} a_2
	01	Z WW Y3	

Адрес		Команда	
02	03	0 00 00	свободная ячейка
	04	0 0Z 4X	$a_2 + (S) \cdot (R) \Rightarrow (S)$
1W	1X	0 W0 4X	$a_1 + (S) \cdot (R) \Rightarrow (S)$
	1Y	0 0W 4W	$-3 \ln \lambda_1^{\ominus} + (S) \cdot (R) \Rightarrow (S)$
1Z	10	0 04 Y0	Сдв (S) на $-1 \Rightarrow (S)$
	11	Z 33 Y0	Сдв (S) на $P_x \Rightarrow (S)$
12	13	0 WW 23	$\ln 3 \Rightarrow (R)$
	14	Z 2X 43	$(S) + (\beta) \cdot (R) \Rightarrow (S)$
2W	2X	Z 3W YX	Норм $(S) \Rightarrow X_1$
	2Y	Z 33 3X	$(S) - P_x \Rightarrow (S)$
2Z	20	Z 33 Y3	$(S) \Rightarrow P_x$
	21	Z 01 30	$1 \Rightarrow (S)$
22	23	Z 2X Y3	$(S) \Rightarrow (\beta)$
	24	Z 2Y Y3	$(S) \Rightarrow \gamma$
3W	3X	Z 23 Y3	$(S) \Rightarrow \lambda$
	3Y	Z 4W 30	$Y_1 \Rightarrow (S)$
3Z	30	0 40 13	УП-1 ↱ 6
	31	0 40 10	УП-0 ↱ 6
32	33	Z 24 30	$-1 \Rightarrow (S)$
	34	Z 2X Y3	$(S) \Rightarrow (\beta)$
4W	4X	Z 4W 40	$(S) \cdot Y_1 \Rightarrow (S)$
	4Y	Z 4W Y3	$(S) \Rightarrow Y_1$
4Z	40	Z 4Z 30	$Y_2 \Rightarrow (S)$ ↲ 6
	41	0 X1 13	УП-1 ↱ 7
42	43	0 X1 10	УП-0 ↱ 7
	44	0 W4 00	БП ↱ 2
КС		0 00 Z2	
		Z Y4 2Y	

Подпрограмма вычисления функций $\ln u$, $|u|$, $\frac{1}{|u|}$, IV.

$П_ф$=0

Адрес		Команда			
WW	WX	0	01	W2	B_{13}
	WY	0	11	YX	
WZ	W0	0	0Z	WW	B_{11}
	W1	0	XY	11	
W2	W3	0	03	W3	B_9
	W4	0	0X	0X	
XW	XX	0	0W	22	B_7
	XY	1	WZ	1W	
XZ	X0	0	1W	34	B_5
	X1	0	42	X2	
X2	X3	0	Z0	00	B_3
	X4	0	22	2W	
YW	YX	0	30	00	B_1
	YY	0	00	W4	
YZ	Y0	0	00	Z0	B_{15}
	Y1	1	01	4W	
Y2	Y3	1	WX	4X	$\pi/2$
	Y4	1	00	W1	
ZW	ZX	0	X0	0Y	$-b_1$
	ZY	0	3Z	X0	b_2
ZZ	Z0	Z	44	14	$-b_3$
	Z1	0	00	00	0
Z2	Z3	Z	ZW	20	$1-h \Rightarrow (S)$
	Z4	Z	3Z	Y3	$(S) \Rightarrow X_2$
0W	0X	Z	4W	40	$1-h^2 \Rightarrow (S)$
	0Y	Z	24	33	$-h^2 \Rightarrow (S)$
0Z	00	0	Z0	40	$-h^2 \Rightarrow (R); b_3 \cdot (R) \Rightarrow (S)$
	01	0	ZY	33	$b_2 + (S) \Rightarrow (S)$

Зона МБ 21

Адрес		Команда			
02	03	0	ZX	4X	$-b_1 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S)$
	04	0	YX	4X	$1 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S)$
1W	1X	Z	24	4X	$-1 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S)$
	1Y	Z	3Z	40	$(S)\cdot X_2 \Rightarrow (S)$
1Z	10	Z	4W	40	$(S)\cdot \Upsilon_1 \Rightarrow (S)$
	11	Z	ZW	20	$-2-(S) \Rightarrow (S)$
12	13	0	Z1	4X	$0 + (S)\cdot(R) \Rightarrow (S)$
	14	Z	4Z	40	$(S)\cdot \Upsilon_2 \Rightarrow (S)$
2W	2X	Z	3Z	Y3	$(S) \Rightarrow X_2$
	2Y	Z	3Z	40	$(S)\cdot X_2 \Rightarrow (S)$
2Z	20	0	YX	40	$(S)\cdot 1 \Rightarrow (S); (S) \Rightarrow (R)$
	21	0	YZ	30	$B_{15} \Rightarrow (S)$
22	23	0	20	Z0	$-2 / \ell_n \Rightarrow (S)$
	24	0	YZ	4Y	$(S)\cdot(R) + B_{13}^{\oplus} \Rightarrow (S)$
3W	3X	Z	Y4	ZX	$(F) + 3\ell_n \Rightarrow (F)$
	3Y	0	24	1X	УП-Т
3Z	30	Z	3Z	40	$(S)\cdot X_2 \Rightarrow (S)$
	31	Z	23	Z0	$\lambda \Rightarrow (F)$
32	33	0	4Y	13	УП-1 Г→9
	34	Z	24	40	$-(S) \Rightarrow (S)$
4W	4X	0	Y2	33	$(S) + \frac{\pi}{2} \Rightarrow (S)$
	4Y	Z	2X	40	$(S)\cdot(\beta) \Rightarrow (S)$ ┘9
4Z	40	Z	2Y	40	$(S)\cdot(\gamma) \Rightarrow (S)$
	41	Z	3Z	YX	Норм $(S) \Rightarrow X_2$
42	43	Z	4X	Y3	$(S) \Rightarrow P_{K_2}$
	44	Z	Z0	00	БП Г→ Вх. VIII ИП-4
КС		0	00	0W	
		Z	00	W3	

Литература.

1. Е.А.Жоголев. Система команд и интерпретирующая система для машины «Сетунь». Ж.вычисл. матем. и матем. физ., 1961, I, №3, 499-512.

2. Е.А.Жоголев, О логических структурах и математическом обслуживании малых цифровых автоматических машин. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, МГУ, 1963 г.

3. Е.А.Жоголев. Математическое обслуживание машины «Сетунь». Отчет ВЦ МГУ, 1961 г.

Приложение.

Ввод системы ИП-4.

$П_ф=0$

Адрес	Команда		Адрес	Команда	
WW WX	0 Z4 ZX	$(F)+3\ell_R \Rightarrow (F)$ ↲2	02 03	0 00 Z0	$-45\ell_R \Rightarrow (F)$
WY	0 Z1 0X	$(F) \Rightarrow \delta_1$	04	0 Z1 0X	$(F) \Rightarrow \delta_1$
WZ W0	0 Z3 Z0	$\delta_2 \Rightarrow (F)$	1W 1X	0 0Y Z0	$-15\ell_R \Rightarrow (F)$
W1	0 33 ZX	$(F)+\ell_R \Rightarrow (F)$	1Y	0 Z3 0X	$(F) \Rightarrow \delta_2$ ↲3
W2 W3	0 1Y 1X	УП-Т Г→3	1Z 10	0 Z3 Z0	$\delta_2 \Rightarrow (F)$ ↲1
W4	Z 1X XX	$[13] \Rightarrow [\varphi_{-1}]$	11	1 01 X0	$[Ввод] \Rightarrow [\varphi_1]$
XW XX	1 44 2X	Ω_5	12 13	1 22 X4	$[\varphi_1] \Rightarrow [H^{\oplus}]$
XY	0 00 00		14	1 22 XY	$[H^{\oplus}] \Rightarrow [\varphi_1]$
XZ X0	0 00 00		2W 2X	0 11 Y0	$0 \Rightarrow (S)$
X1	0 00 00		2Y	0 ZW Y3	$(S) \Rightarrow \alpha$
X2 X3	0 00 00		2Z 20	0 0X Z0	$-81\ell_R \Rightarrow (F)$
X4	0 00 00		21	Z WX 31	$a_i^{\oplus} \Rightarrow (S)$ ↲4
YW YX	0 00 00		22 23	0 Z0 Y0	Сдв(S) на $-9 \Rightarrow (S)$
YY	0 00 00		24	0 ZW 33	$(S)+\alpha \Rightarrow (S)$
YZ Y0	0 00 00		3W 3X	0 ZW Y3	$(S) \Rightarrow \alpha$
Y1	0 00 00		3Y	0 Z4 ZX	$(F)+3\ell_R \Rightarrow (F)$
Y2 Y3	0 00 00		3Z 30	0 21 1X	УП-Т Г→4
Y4	0 00 00		31	0 4X 13	УП-1 Г→5
ZW ZX	0 00 00	} α	32 33	0 01 Z0	$-80\ell_R \Rightarrow (F)$
ZY	0 00 00		34	0 21 00	БП Г→4
ZZ Z0	0 Z0 00	$-9\ell_R$	4W 4X	0 Z1 Z0	$\delta_1 \Rightarrow (F)$
Z1	0 00 00	δ_1	4Y	Z 1W 3Y	$(S)-КС_i^{\oplus} \Rightarrow (S)$
Z2 Z3	0 00 00	δ_2	4Z 40	0 WX 10	УП-0 ↱2
Z4	0 03 00	$3\ell_R$	41	0 00 2X	Ω_6
0W 0X	Z 00 00	$-81\ell_R$	42 43	0 10 00	БП Г→1
0Y	0 Y3 00	$-15\ell_R$	44	0 00 00	
0Z 00	Z 40 00	$-45\ell_R$	КС	0 00 00	
01	Z 01 X0	$[Ввод] \Rightarrow [\varphi_{-1}]$		Z XX 0Y	

Контрольные суммы.

$П_ф$=-1

Адрес		Команда	
WW	WX	0 00 Z1	КС [1$\bar{4}$]
	WY	Z Z2 X2	
WZ	W0	0 00 Z2	КС [1$\bar{3}$]
	W1	0 43 41	
W2	W3	0 00 ZZ	КС [1$\bar{2}$]
	W4	0 0Z 01	
XW	XX	0 00 Z2	КС [1$\bar{1}$]
	XY	Z Y3 01	
XZ	X0	0 00 Z0	КС [10]
	X1	0 YZ WX	
X2	X3	0 00 Z2	КС [11]
	X4	Z W3 43	
YW	YX	0 00 Z3	КС [12]
	YY	Z Y3 03	
YZ	Y0	0 00 Z2	КС [13]
	Y1	1 Y4 41	
Y2	Y3	0 00 0X	КС [14]
	Y4	0 43 4Z	
ZW	ZX	0 00 ZY	КС [2$\bar{4}$]
	ZY	0 ZW YY	
ZZ	Z0	0 00 0W	КС [2$\bar{3}$]
	Z1	Z 32 Y1	
Z2	Z3	0 00 Z4	КС [2$\bar{2}$]
	Z4	Z Z0 3Z	
0W	0X	0 00 Z3	КС [2$\bar{1}$]
	0Y	1 0X 1Z	
0Z	00	0 00 Z2	КС [20]
	01	Z Y4 2Y	

Адрес		Команда	
02	03	0 00 0W	КС [21]
	04	Z 00 W3	
1W	1X	0 00 00	
	1Y	0 00 00	
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	
КС		0 00 0Y	
		0 W0 W4	

Издано:

ВЫПУСК I.
ЖОГОЛЕВ Е.А. ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ДЛЯ МАШИНЫ «СЕТУНЬ».

Готовится выпуск 3. Франк Л.С, Рамиль Альварес X. ПОДПРОГРАММА ВЫЧИСЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ИНТЕГРАЛОВ ДЛЯ ИП-2.