МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

Вычислительный центр
Е. А. Жоголев, П. Т. Титакаева

Стандартная подпрограмма решения задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений методом плавающих масштабов
(в системе ИП-2)

Серия:
Математическое обслуживание
машины «Сетунь»

Под общей редакцией В.А.Морозова
Выпуск 26

Москва-Махачкала
1969

Содержание

Введение.

Данная подпрограмма предназначена для решения задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений с автоматическим выбором шага методом Рунге-Кутта с видоизменением Гилла [1] в режиме плавающих масштабов [2] с использованием системы ИП-2 [3].

Особенностью подпрограммы является использование метода плавающих масштабов, наиболее эффективного для машин с фиксированной запятой и являющегося видоизменением метода постоянных множителей.

При составлении подпрограммы использовались векторные операции: соответствующие подпрограммы были составлены как стандартные в системе ИП-2.

По данной подпрограмме интегрировались системы 3 и 33 дифференциальных уравнений с автоматическим выбором шага, вычисление одного шага заняло для одной системы 3 сек., для другой — 1 мин.

§1. Метод плавающих масштабов.

Сущность этого метода заключается в следующем. Часть величин x, участвующих в решении задачи, представляется в виде:

$$x = X \cdot 3^{Px},$$

где P_x называется масштабом или порядком (P_x — целое число, положительное, отрицательное или нуль), а X — мантиссой числа x, причем $|X| < 4{,}5$. В отличие от метода постоянных множителей масштаб здесь не предполагается постоянным.

Решение задачи разбивается на ряд этапов, в каждом из которых масштабы величин, участвующих в вычислениях, остаются постоянными, а при переходе от одного этапа вычислений к другому определенная часть программы при выполнении некоторых условий производит автоматическое изменение масштабов ряда величин.

Условия, определяющие смену масштабов, заключаются в том, что величина X после смены масштабов должна удовлетворять неравенству:

$$0 < r \leq |X| < R \leq 4{,}5$$

где значение R подбирается из тех соображений, чтобы в процессе вычислений на очередном этапе не произошло переполнения, а значение r определяется из соображений точности вычислений. При решении практических задач обычно берут $r = 0{,}5$; $R = 1{,}5$.

Если какая-либо величина в процессе своего изменения становится сравнительно небольшой по абсолютному значению, то тогда не нужно проверять выполнение условия $r < |X|$, чтобы не мешать величине x перейти через нуль, т.к. часто точное представление слишком малых величин не повышает точности вычислений. Поэтому задают минимальный порядок p_0: если $p_x \leq p_0$ проверяют выполнение условия $|X| < 1{,}5$; если же $p_x > p_0$, проверяют выполнение неравенства:

$$0{,}5 \leq |X| < 1{,}5$$

Если производить нормализацию результатов после выполнения каждого арифметического действия, то фактически введем программный путем режим плавающей запятой. Иначе, режим плавающей запятой является частным случаем метода плавающих масштабов, когда выполнение каждой арифметической операции составляет один этап вычислений. Метод постоянных множителей также является частным случаем метода плавающих масштабов, когда вся задача составляет один этап вычислений. Но в режиме плавающей запятой наряду с сильным упрощением составления программ происходит значительное замедление процесса счета (когда этот режим вводится программным путем). Поэтому при составлении стандартных подпрограмм для решения ряда типовых задач стараются выбрать такой метод решения, чтобы можно было преобразовать расчетные формулы к виду, удобному для применения метода плавающих масштабов. Этим методом и решалась данная задача — интегрирование системы обыкновенных дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутта-Гилла.

§2. Описание метода интегрирования системы дифференциальных уравнений.

Данная система дифференциальных уравнений:

$$\frac{dy_i}{dx}=f_i(y_1, y_2, \ldots, y_n) i=\overline{1,n} \qquad (1)$$

с начальными условиями:

$$y_i(x_0)=y_{i0}$$

интегрируется с помощью формул Рунге-Кутта с видоизменением Гилла. На одном шаге интегрирования эти формулы имеют вид:

$$\left.\begin{array}{l}
\left.\begin{array}{l}
k_{ij}=3^m hf_i(y_1, y_{2j}, \ldots, y_{nj}) \\
r_{i,j+1}=\delta_j(k_{ij}-q_{ij}) \\
y_{i,j+1}=y_{ij}+3^{-m} r_{i,j+1} \\
q_{i,j+1}=q_{ij}+3^{m+1}(3^{-m} r_{i,j+1})-\delta_j k_{ij}
\end{array}\right\} \text{для } j=0,1,2 \\
k_{i3}=3^m hf_i(y_{13}, y_{23,} \ldots, y_{n3}) \\
r_{i4}=\delta_3(k_{i3}-q_{i3}) \\
y_{i4}=y_{i3}+3^{-m} r_{i,4} \\
q_{i4}=q_{i3}+3^{m+1}(3^{-m} r_{i,4})-\delta_3 k_{i3}
\end{array}\right\} i=\overline{1,n} \quad (2)$$

причем $\delta_0=\frac{1}{2}$, $\delta_1=1-\sqrt{\frac{1}{2}}$, $\delta_2=1+\sqrt{\frac{1}{2}}$, $\delta_3=\frac{1}{6}$.

В этих формулах h является величиной шага интегрирования, y_{i0} — решение в некоторой точке $x_i=x_k$, q_{i0} — погрешность округления на предыдущем k-ом шаге интегрирования, y_{i4} — решение в точке $x_{k+1}=x_k+h$, q_{i4} — погрешность округления на данном $(k+1)$ -ом шаге интегрирования. Поэтому y_{i0} и q_{i0} равны соответственно y_{i4} и q_{i4} предыдущего шага интегрирования. В начальный момент величины y_{i0} равны соответствующим начальным данным, а $q_{i0}=0$. Множитель 3^m вводится для уменьшения влияния ошибок округления. Если бы вычисления производились без округления, то погрешность округления на данном шаге просто равнялась бы нулю. Достоинство этих формул и заключается в том, что ошибка округления на данном шаге учитывается на следующем шаге.

Приведем эти формулы к виду, удобному для использования метода плавающих масштабов.

Величины y_{ij} представим в виде: $y_{ij}=3^{Pi}Y_{ij}$.

В таком же виде можно представить и величины r_{ij}:

$$r_{ij}=3^{Pi}R_{ij} ;$$

Тогда из формул (2) получаем:

$$Y_{i,j+1}=Y_{ij}+3^{-m}R_{i,j+1}$$

В соответствии с этим после замены:

$$k_{ij}=3^{Pi}K_{ij}\ ,\ q_{ij}=3^{Pi}Q_{ij}$$

и некоторых элементарных преобразований формулы (2) примут вид:

$$\left.\begin{array}{l}\left.\begin{array}{l}K_{ij}=3^{m+p_n+l_{ij}-P_i}H\cdot F_{ij}\\ R_{i,j+1}=\delta_j(K_{ij}-Q_{ij}),Y_{i,j+1}=\\ =Y_{iy}+3^{-m}R_{i,j+1}\\ Q_{i,j+1}=Q_{ij}+3^{m+1}(3^{-m}R_{i,j+1})-\delta_j K_{ij}\end{array}\right\}\text{для } j=0,1,2\\ K_{i3}=3^{m+p_n+l_{ij}-P_i}H\cdot F_{ij}\\ R_{i4}=\delta_3(K_{i3}-2Q_{i3})\\ Y_{i4}=Y_{i3}+3^{-m}R_{i,4}\\ Q_{i4}=Q_{i3}+3^{m+1}(3^{-m}R_{i,4})-3\delta_3 k_{i3}\end{array}\right\} i=\overline{1,n}\quad (3)$$

В этих соотношениях $h=3^{Pn}H$, $f_{ij}(y_{1j},y_{2j},\dots y_{nj})=3^{l}_{ij}F_{ij}$, причем $0,5<H<1,5$; $0,5<|F_{ij}|<1,5$.

В качестве одного этапа вычислений целесообразно считать выполнение одного шага интегрирования, после осуществления которого будет производиться нормализация величин y_{ij} так, чтобы после смены масштабов Y_{i0} удовлетворяли неравенству: $0,5<|Y_{i0}|<1,5$ если $P_i>P_0$, а при $p_i\le p_0$ удовлетворяли неравенству $|Y_{i0}|<1,5$.

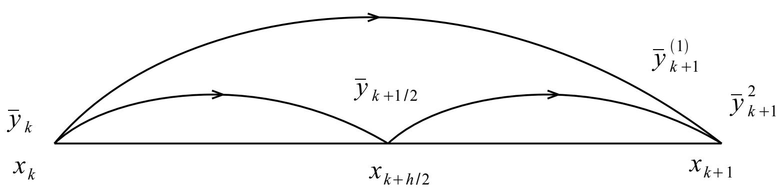
Таким образом, на одном шаге интегрирования масштабы P_i остаются неизмененными, а все действия будут производиться с фиксированной запятой.

Для того, чтобы при реализации одного шага интегрирования не произошло переполнения, достаточно, чтобы выполнилось неравенство:

$$m+P_n+l_{ij}-P_i\leq-2 \tag{4}$$

Если это неравенство не выполняется, то следует уменьшить величину шага интегрирования. Вычисление правых частей системы (1) в зависимости от их сложности можно производить как в режиме плавающей запятой, так и с использованием метода плавающих масштабов.

Пусть в точке x_k известно решение $\bar{y}_k=\bar{y}(x_k)$ и задана исходная величина шага h. Сначала по $\bar{y}_k$ и h по формулам (3) находится решение в точке $x_{k+1}=x_k+h$, т.е. $\bar{y}^{(1)}_{k+1}\approx\bar{y}(x_{k+1})$. Затем снова, исходя из точки x_k, по $\bar{y}_k$ и $h/2$ по формулам (3) вычисляем $\bar{y}_{k+1/2}\approx\bar{y}(x_k+h/2)$ и по значению $\bar{y}_{k+1/2}$ и $h/2$ вычисляем, исходя из точки $x_k+h/2$, значение $\bar{y}^2_{k+1}\approx$ $\approx\bar{y}[(x_k+h/2)+h/2]$.



По полученным значениям $\bar{y}^{(1)}_{k+1}$ и $\bar{y}^{(2)}_{k+2}$ у находится мера точности. В качестве меры точности принимается величина (4):

$$M[\bar{y}^{(2)}_{k+1}; \Delta\bar{y}^{(2)}_{k+1}; p_0] = \max_{2 \le i \le n} \beta(y^{(2)}_i; \Delta y^{(2)}_i; p_0),$$

где величина $|\Delta y^{(2)}_i| = |y^{(2)}_i - y^{(1)}_i|$ является оценкой абсолютной погрешности определения величины $y_i \approx y_i(x_{k+1})$ (i-ой коипоненты вектора решения y_{k+1}). Величина β определяется следующим образом:

$$\beta(y_i; \Delta y_i; p_0) = |\Delta y_i| 3^{-\max(P_{ij}; P_0)},$$

где p_i — троичный порядок величины y_i. Отсюда следует, что величина $\beta(y_i; \Delta y_i; p_0)$ при $p_i > p_0$ фактически будет оценкой относительной погрешности величины y_i.

При программировании более удобно использовать эту величину в несколько модифицированном виде:

$$M^*[\bar{y}^{(2)}_{k+1}; \Delta\bar{y}^{(2)}_{k+1}; p_0] = 3^P_0 M[\bar{y}^{(2)}_{k+1}; \Delta\bar{y}^{(2)}_{k+1}; p_0] = \max_{2 \le i \le n} \beta^*(y^{(2)}_i; \Delta y^{(2)}_i; p_0),$$

где $\beta^*(y_i; \Delta y_i; p_0) = |\Delta y_i| 3^{-max(P_{ij}; P_0; 0)}$

При $p_i \le p_0$ будет выполнено соотношение $\beta^*(y_i; \Delta y_i; p_0) = |\Delta y_i|$, β^* будет оценкой абсолютной погрешности определения величины y_i.

При $p_i > p_0$ величина β^* является оценкой относительной погрешности величины y_i, умноженной на 3^{P_0} .

Пусть найдена мера точности M^* для значений $\bar{y}_{k+1}^{(2)}$ и $\bar{y}_{k+1}^{(1)}$; теперь проверяем справедливость неравенства:

$$M^*[\bar{y}_{k+1}^{(2)}; \Delta \bar{y}_{k+1}^{(2)}; p_0] \le E \cdot 3^{P_0} = \varepsilon \qquad (5)$$

Если это неравенство справедливо, то считается, что шаг интегрирования «удовлетворен». Если это неравенство не выполнено, то величина шага интегрирования h делится пополам и производится соответствующий пересчет с шагом $h_1 = h/2$; получаем два новых значения решения в точке $x_{k+1} = x_k + h$:

$$\bar{y}_{k+1}^{(1)} \approx \bar{y}(x_{k+1}) \text{ , } \bar{y}_{k+1}^{(2)} \approx \bar{y}(x_{k+1})$$

для них вычисляется своя мера точности и проверяется справедливость неравенства (5). Если оно снова не выполнено, происходит новое измельчение шага интегрирования, и весь процесс повторяется до выполнения неравенства (5). После его удовлетворения полагаем:

$$\bar{y}_{k+1}^{(2)} \approx \bar{y}(x_k + h_0)$$

где $h_\nu = \frac{h}{2^\nu}$ — то значение шага интегрирования, при котором было выполнено неравенство (5), ν — число измельчений шага h $(h_0 = h)$, $\nu = 0, 1, 2, \ldots$; выбирается еще новое значение шага для следующего этапа интегрирования, для этого величина M^* сравнивается с $\varepsilon_1 = \varepsilon/32$. Если $M^* > \varepsilon_1$, то новое значение шага равно h_ν; если же $M^* < \varepsilon_1$, то в предыдущей точке точность выдержана с некоторым запасом, поэтому можно ожидать,что на следующем шаге заданная точность ε будет обеспечена при большем значении шага интегрирования, в этом случае новое значение шага берется равным удвоенному значению шага,т.е. $2h_\nu$.

На этом один этап интегрирования заканчивается. При каждом обращении к вычислениям по формулам Рунге-Еутта-Гилла (3) проверяется справедливость неравенства (4), гарантирующего отсутствие переполнения на очередном шаге. В случае невыполнения этого неравенства происходит уменьшение шага делением на степень тройки (уменьшением порядка шага).

§3. Назначение и возможности подпрограммы.

Данная подпрограмма предназначена для интегрирования системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\frac{d\bar{y}}{dx} f(y) = \bar{f}(\bar{y})$$

с начальными условиями:

$$\bar{y}(x_0) = \bar{y}_0$$

Эта система интегрируется методом Рунге-Кутта с видоизменением Гилла с автоматическим выбором шага в системе ИП-2, в режиме плавающих масштабов.

Подпрограмма позволяет интегрировать систему как с заданным постоянным шагом h, так и с автоматическим выбором шага. В последнем случае шаг выбирается самой подпрограммой в зависимости от поведения решения так, чтобы в каждой точке отрезка интегрирования этот шаг был по возможности наибольшим при заданной допустимой погрешности решения на каждом шаге. Точность решения может оцениваться как по абсолютной, так и по относительной погрешности.

Поскольку данная подпрограмма предназначена для решения целого класса задач, то она реализует только ту часть алгоритма, которая является общей для всех задач этого класса. При решении каждой конкретной задачи данная подпрограмма работает совместно с некоторыми нестандартными операторами (подпрограммами), которые должны составляться применительно к каждой конкретной задаче. Такими нестандартными операторами являются:

оператор G_1 — программа обработки результатов на каждом шаге;

оператор G_2 — программа вычисления правых частей данной системы;

Подпрограмма использует 3 массива рабочих ячеек — массив M1, массив M2 и массив M3*. При обращении к данной подпрограмме пользователь должен задавать значение начального шага интегрирования, адреса входов в вышеуказанные операторы, режим работы подпрограммы и параметры, определяющие точность вычислений.

Предполагается, что при обращении к подпрограмме она вместе с ИП-2, со стандартными подпрограммами действий типа сложения, умножения и деления находится на магнитном барабане.

Обращение к подпрограмме имеет следующий вид:

$$\begin{array}{lll} (x_0): & \mathrm{ZY3Z3}; & (c)+3e_a \Rightarrow (F) \\ (x_1): & \mathrm{ZWY00}; & БП \Rsh^{Bx\,VI\;ИП-2} \end{array}$$

---

*Массивы M1, M2, M3 следуют в памяти последовательно друг за другом.

$$\left.\begin{array}{lll}
(x_2): & 0221Y; & A_{n/n} \\
(x_3): & ______ & A_{G_1} \\
(x_4): & ______ & A_{G_2} \\
(x_5): & ______ & A_h \\
(x_6): & ______ & A_y \\
(x_7): & ______ & ne_A \\
(x_8): & ______ & me_A \\
(x_9): & ______ & A_\varepsilon
\end{array}\right\}$$

Здесь:

$A_{n/n}$ – обобщенный адрес начала подпрограммы;

A_{G1} – обобщенный адрес входа в оператор G_1;

A_{G2} – обобщенный адрес входа в оператор G_2;

A_h – обобщенный адрес значения начального шага интегрирования;

A_y – обобщенный адрес начала массива M1, причем $A_y = 0M_yWW$; это означает, что начало M1 будет совпадать с началом зоны M_y магнитного барабана, и это существенно используется в подпрограмме;

n – порядок системы (размерность вектора $\bar{y}$);

m – число сохраняемых разрядов ошибок округления; так как при вычислениях с небольшой точностью ошибка округления на результат практически не влияет, то в этом случае рекомендуется m брать равным нулю. В случае вычислений с высокой точностью (5-ю и больше верными знаками) ошибка округления будет влиять на результат; $m \geq 0$

A_ε — обобщенный адрес величины, задающей точность интегрирования на каждом шаге.
Контроль точности ведется либо по абсолютной, либо по относительной погрешности [4]. В соответствии с этим ε задается в виде ненормализованного числа $\varepsilon = E \cdot 3^{P_0}$, где P_0 как порядок числа ε записывается в короткой ячейке, следующей за длинной, где располагается мантисса E, и определяет границу перехода от абсолютной погрешности к относительной, а ненормализованная мантисса E задает степень точности вычислений.

При вычислениях с постоянным шагом интегрирования следует величину ε задавать равной нулю; в этом случае подпрограмма использует только один массив рабочих ячеек M1.

Каждый из массивов M1, M2, M3 рабочих ячеек имеет длину $3n$ длинных ячеек, так что подпрограмма при счете с автоматическим выбором шага использует весь сплошной массив рабочих ячеек длиною $9n$ длинных ячеек, а с постоянным шагом — всего $3n$ длинных ячеек.

Массив M1 используется подпрограммой для хранения векторов y и Q, необходимых при счете по формулам (3), §2. Компоненты вектора $\bar{y}$, представлены с плавающей запятой в системе ИП-2 [3]:

$$y_i = Y_i \cdot 3^{Pi}, \ i = \overline{1, n}$$

порядок P_i располагается в короткой ячейке, следующей за длинной, где хранится мантисса Y_i. Компоненты вектора $\bar{Q}$ представлены с фиксированной запятой и его i-я компонента Q_i хранится в длинной ячейке, следующей за ячейкой, где хранится порядок i-ой компоненты вектора $\bar{y}$, т.е.

$$A_{Qi} = A_{yi} + 6e_F \ ,$$

где A_{yi} — обобщенный адрес yi, A_{Qi} — обобщенный адрес Q_i.

$i+1$ – я компонента вектора у располагается за i-ой компонентой вектора $\bar{Q}$, а $i+1$-я компонента вектора $\bar{Q}$ — за $i+1$-ой компонентой вектора $\bar{y}$, т.е. расстояние в памяти между соседними компонентами вектора $\bar{y}$ и соответственно $\bar{Q}$ равно 3 длинным ячейкам:

$$A_{y_{i+1}} = A_{y_i} + 9e_F \ , \ A_{Q_{i+1}} = A_{Q_i} + 9e_F$$

Как было указано выше, начало массива M1 совпадает с началом зоны M_y магнитного барабана, поэтому при указанном расположении компонент вектора $\bar{y}$ и $\bar{Q}$ в массиве M1 i-ые компоненты векторов $\bar{y}$ и $\bar{Q}$ расположены всегда в одной зоне магнитного барабана, или мантисса и порядок любой компоненты вектора $\bar{y}$ расположены в одной зоне магнитного барабана.

В массиве М2 хранятся векторы $\bar{y}_k$ и $\bar{Q}_k$ (см.ниже); расположение их в массиве М2 соответствует полностью расположению векторов $\bar{y}$ и $\bar{Q}$ в массиве М1. В массиве М3 хранятся векторы $\bar{y}_{k+1}$ и $\bar{y}_{k+1/2}$ (см. §2), компоненты которых представлены с плавающей запятой в системе ИП-2; и расположение их в памяти массива М3 соответствует расположению векторов $\bar{y}$ и $\bar{Q}$ в массиве М1 с той лишь разницей, что порядки компонентов вектора $\bar{y}_{k+1/2}$ располагаются во второй половине длинных ячеек, отведенных для хранения порядков компонент вектора $\bar{y}_{k+1}$ (тем самым сэкономлено n-длинных ячеек).

Приведем характеристику массивов:

Наименование массива	Начало массива	Состав массива
М1	$A_{M1}=A_y$	$\bar{y}$; $\bar{Q}$
М2	$A_{M2}=A_y+9ne_F$	$\bar{y}_k$; $\bar{Q}_k$
М3	$A_{M3}=A_y+18ne_F$	$\bar{y}_{k+1}$; $\bar{y}_{k+1/2}$

Здесь векторы имеют следующий смысл:

$\bar{y}$ — аргументы правых частей данной системы дифференциальных уравнений;

$\bar{Q}$ — промежуточный результат;

$\bar{y}_k$, $\bar{Q}_k$ — значения векторов $\bar{y}$ и $\bar{Q}$ после k-го шага интегрирования (иначе, начальные данные для данного $k+1$-го шага интегрирования), $\bar{y}_k \approx \bar{y}(x_k)$ — решение системы в точке x_k, а $\bar{Q}_k$ — погрешность округлений в точке x_k;

$\bar{y}_{k+1}$ — значение вектора в точке $x=x_k+h$, где h — предполагаемая длина очередного шага интегрирования;

$\bar{y}_{k+1/2}$ — значение вектора $\bar{y}$ в точке $x=x_k+h/2$. При составлении программы нестандартных частей (операторов) может потребоваться знание расположения этих векторов в массивах M1, M2, M3. Ниже приводится таблица обобщенных адресов i-ых компонент указанных векторов $(i=\overline{1,n})$:

Наименование вектора	Адрес i-ой компоненты вектора
$\bar{y}$	$A_y+9(i-1)e_F$
$\bar{Q}$	$A_y+(9i-3)e_F$
$\bar{y}_k$	$A_{M2}+9(i-1)e_F$
$\bar{Q}_k$	$A_{M2}+(9i-3)e_F$
$\bar{y}_{k+1}$	$A_{M3}+9(i-1)e_F$
$\bar{P}\,\bar{y}_{k+1/2}$	$A_{M3}+(9i-4)e_F$
$\bar{y}_{k+1/2}$	$A_{M3}+(9i-3)e_F$

Как видно из таблицы, порядки $P_{\bar{y}_{k+1/2}}$ вектора $\bar{y}_{k+1/2}$ хранятся в ячейках, предшествующих длинным ячейкам, отведенным для хранения соответствующих мантисс $\bar{Y}_{k+1/2}$ вектора $\bar{y}_{k+1/2}$.

Назначение нестандартных операторов.

Нестандартный оператор G_1, когда к нему обращаются, производит необходимую на данном шаге обработку результатов интегрирования, которые хранятся в группе $\bar{y}$ массива M1, а также решает вопрос об окончании интегрирования системы.

Оператор G_1 может использовать под рабочие ячейки массивы M2 и M3.

Нестандартный оператор G_2, предназначенный для вычисления правых частей системы, использует в качестве аргумента вектор $\bar{y}$, хранящийся в массиве M1. К оператору G_2 данная подпрограмма обращается каждый раз за вычислением значения правой части i-го дифференциального уравнения $(i=1,2,\ldots,n)$ причем значение i указывается по обобщенному адресу:

$$A_i = 02y4x\ .$$

Результаты вычислений i-ой правой части оператор G_i должен поместить в ячейку Z32 основной зоны ИП-2.

Обращение к указанным операторам производится с помощью обобщенного перехода.

Следует иметь в виду, что в момент обращения к ним содержимое ячейки M_0 основной зоны ИП-2 не соответствует содержимому зоны Φ_0 оперативной памяти.

Возврат от этих операторов в данную подпрограмму должен осуществляться следующим образом: первой командой операторов G1, G2 должна быть команда: $(S)\Rightarrow\Theta_{G_i}$; должны они заканчиваться тремя стандартными строками обобщенного перехода:

$$
\begin{array}{lll}
(x_0): & \mathrm{ZY3Z3}; & (c)+3e_a\Rightarrow(F) \\
(x_1): & \mathrm{ZWY00}; & \text{БП} \curvearrowright^{Bx\,VI\ \text{ИП}-2} \\
(x_2): & 00000; & \Theta_{Gi}
\end{array}
$$

Содержимое зоны Φ_0, имеющееся к моменту возврата в данную подпрограмму от этих операторов данной подпрограммой на магнитном барабане не запоминается.

В случае необходимости это следует сделать перед возвратом в данную подпрограмму.

Подпрограмма имеет две части — основную и формирующую. Изменение основной программы в зависимости от изменения параметров осуществляется в формирующей части.

Вся программа занимает 10 зон магнитного барабана (с 14 по 24), из них основная часть занимает 7 зон полностью (с 14 по 21) и ячейки с WX по 0Y зоны 22, остальные ячейки 22 зоны и зоны 23, 24 занимает формирующая часть, которая работает только один раз; после ее работы зоны магнитного барабана, занимаемые ею, могут быть использованы для других целей в нестандартной части.

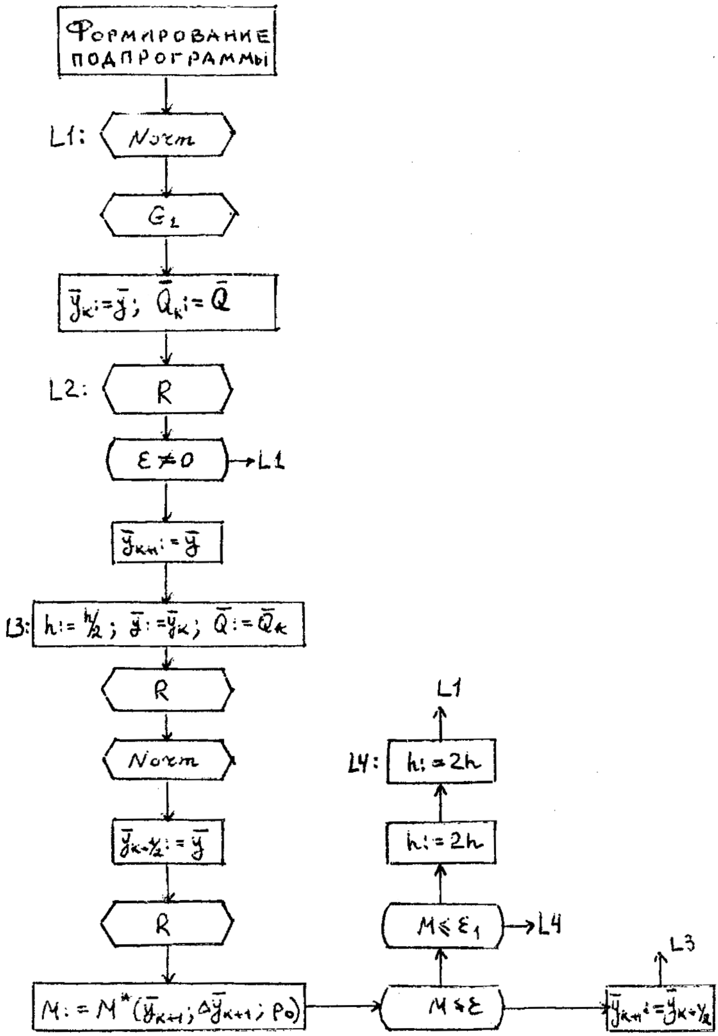
При интегрировании с постоянным шагом $(\varepsilon=0)$ основная часть занимает 5 зон магнитного барабана (с 14 по 2Z), остальные 5 зон (с 20 по 24) могут быть использованы в нестандартной части. В начале работы засылка начальных данных на место вектора $\bar{y}$ массива $\mathrm{M1}$ и нулей на место вектора $\bar{Q}$ того же массива должна быть произведена в нестандартной части пользователем данной подпрограммы.

<u>Ввод подпрограммы.</u>

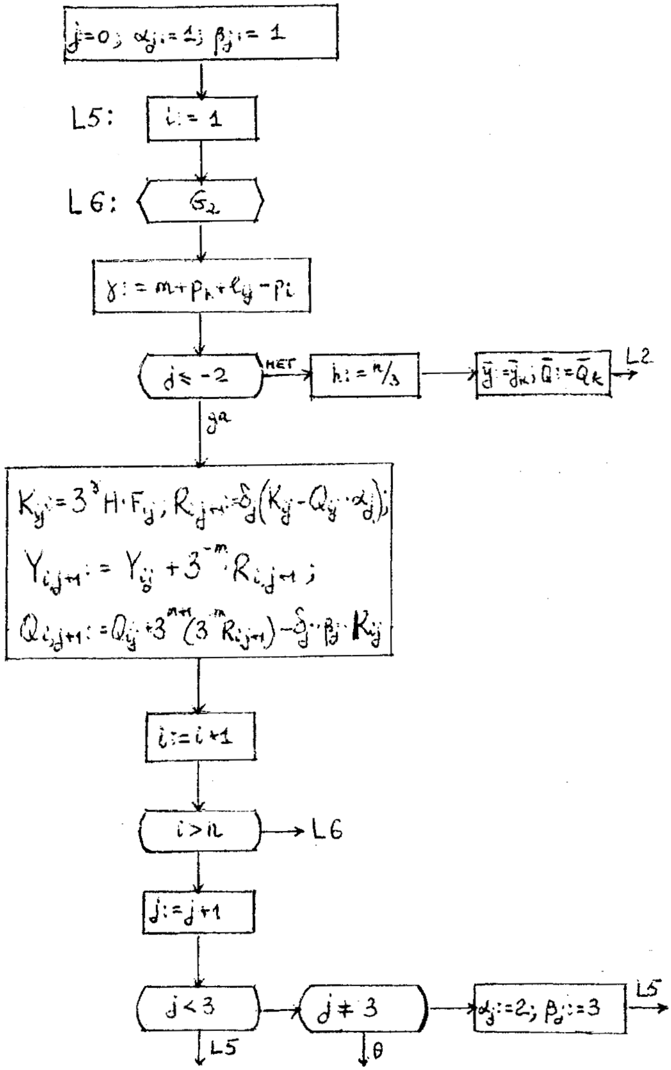
Подпрограмма вводится в автоматическом режиме нажатием кнопки «Начальный пуск». При правильном вводе происходит останов по $(C)=04\mathrm{У}$ и $(K)=\mathrm{Z002X}$, после чего можно ввести программу нестандартной части и начать счет задачи.

При неправильном вводе какой-либо зоны подпрограммы происходит останов по $(C)=000$ и $(K)=0012\mathrm{X}$: повторно ввести «Пуском» неправильно введенную зону.

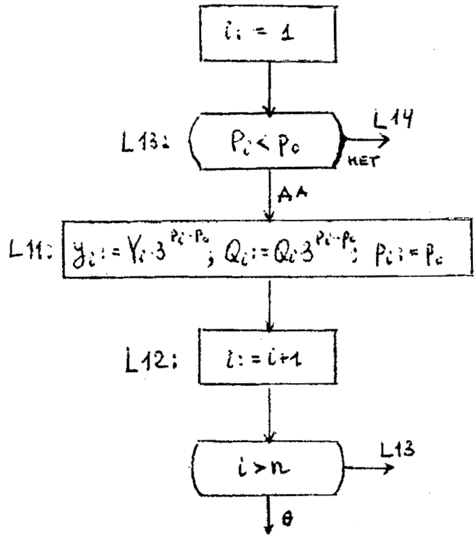
§4. Блок-схема подпрограммы.

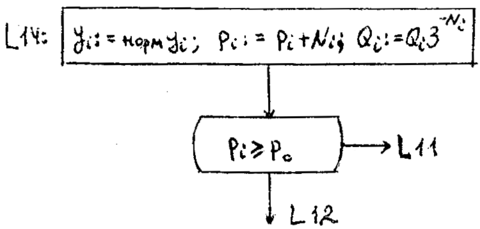


Блок-схема оператора R.



Блок-схема оператора NORM.





В данной блок-схеме оператор «формирование подпрограммы» настраивает подпрограмму по значениям параметров подпрограммы, задаваемых при обращении к ней.

Оператор *R* производит однократное вычисление по формулам Рунге-Кутта-Гилла. Оператор *Norm* осуществляет нормализацию результатов для тех величин y_i, у которых порядок $p_i > p_0$, а когда $p_i \le p_0$ (результат близок к нулю) проверяет справедливость неравенства $|y_i| < 1{,}5$.

Как видно из блок-схемы, при $\varepsilon = 0$ происходит интегрирование с постоянным шагом; величина шага в этом случае может уменьшаться в 3 раза, 9 раз и т.д. (по степеням тройки) до выполнения неравенства $m + p_h + l_{ij} - p_i \le -2$.

Литература.

1. Gill S.A., Process for the step-by-step integration of the differential equations in an automatic digital computing machine, Proc. Of the Cambrige Philos Sos, 1951, v47,№1.
2. Е.А.Жоголев, Г.С.Росляков, Н.П.Трифонов, М.Р.Шура-Бура. Система стандартных подпрограмм. Госиздат физико-математической литературы, Москва, 1958.
3. Жоголев Е.А. Интерпретирующая система ИП-2, выпуск 19, данной серии, 1967.
4. Жоголев Е.А. Программа интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений 2-го порядка методом Штермера.

Приложение I. Подпрограмма интегрирования системы дифференциальных уравнений.

Ввод подпрограммы.

Адрес Команда

$П_ф=0$

Адрес		Команда	
WW	WX	0 00 04	Σ_{14}
	WY	Z 24 14	
WZ	W0	0 00 0W	Σ_{2W}
	W1	1 21 WW	
W2	W3	0 00 01	Σ_{2X}
	W4	0 Z0 W3	
XW	XX	0 00 0Y	Σ_{2Y}
	XY	1 40 14	
XZ	X0	0 00 Z3	Σ_{2Z}
	X1	1 1Y 01	
X2	X3	0 00 Z0	Σ_{20}
	X4	0 YY 41	
YW	YX	0 00 02	Σ_{21}
	YY	0 WY 31	
YZ	Y0	0 00 Z4	Σ_{22}
	Y1	0 Y3 2Y	
Y2	Y3	0 00 0X	Σ_{23}
	Y4	1 X1 WX	
ZW	ZX	0 00 0W	Σ_{24}
	ZY	0 W3 WW	
ZZ	Z0	0 00 00	
	Z1	0 00 00	
Z2	Z3	0 ZZ 00	$M=-10$
	Z4	0 Z3 ZX	$(S)-\Sigma_j \leftarrow 2$
0W	0X	0 ZZ 3Y	
	0Y	0 31 10	УП-0 $\rightarrow 3$
0Z	00	0 01 2X	Ω_1
	01	0 Z3 Z0	Вход

Адрес Команда

$П_ф=0$

Адрес		Команда	
02	03	Z 01 X0	$[n/n] \Rightarrow [\Phi_z] \leftarrow 4$
	04	Z 3W X4	$[\Phi_z] \Rightarrow [N_j]$
1W	1X	Z 3W XY	$[N_j] \Rightarrow [\Phi_z]$
	1Y	0 23 30	Суммирование зоны Φ_z
1Z	10	0 4Y Z0	
	11	0 22 23	
12	13	0 WX 44	
	14	0 20 ZX	
2W	2X	0 13 1X	
	2Y	0 3X 13	
2Z	20	0 03 Z0	
	21	0 13 00	
22	23	0 00 00	3^{-9}
	24	0 30 00	
3W	3X	0 Z3 Z0	$2M \Rightarrow (F)$
	3Y	0 Z3 ZX	
3Z	30	0 Z4 00	БП $\rightarrow 2$
	31	0 Z3 Z0	$\leftarrow 3$ $M+\ell_A \Rightarrow M$
32	33	0 00 ZX	
	34	0 Z3 0X	
4W	4X	0 03 1X	УП-Z $\rightarrow 4$
	4Y	Z 00 2X	Ω_2
4Z	40	0 00 00	
	41	0 00 00	
42	43	0 00 00	
	44	0 00 00	
KC		0 00 00	
		0 12 13	

Подпрограмма нормализации *Norm*.

Адрес Команда

$П_ф$=1

Адрес		Команда			
WW	WX	Z	2X	XX	$[2X]\Rightarrow[\Phi_z]$ ↲вх
	WY	Z	Z0	Z0	$[M_y]\Rightarrow[\Phi_0]$ ↲5
WZ	W0	1	00	XY	
	W1	1	X4	Z0	$-81\ell_A\Rightarrow(F)$
W2	W3	1	W0	31	$P_i-P_0\Rightarrow(S)$ ↲1
	W4	1	40	3X	
XW	XX	1	1Y	1X	УП-Z → 3
	XY	1	WW	31	$y_i\Rightarrow(S)$; const
XZ	X0	1	41	10	УП-0 → 6
	X1	1	WW	YY	Норм $(S)\Rightarrow y_i$
X2	X3	1	XY	20	$-N_i\Rightarrow\tau_1$; $\overline{81\ell_A}$
	X4	Z	00	Y3	
YW	YX	1	W2	31	$Q_i\cdot3^{-N_i}\Rightarrow Q_i$
	YY	Z	00	Y0	
YZ	Y0	1	W2	Y4	
	Y1	1	W0	31	$P_i+N_i\Rightarrow P_i$
Y2	Y3	Z	00	3X	
	Y4	1	W0	Y4	
ZW	ZX	1	40	3X	$(S)-P_0\Rightarrow(S)$
	ZY	1	1Y	1X	УП-Z → 3
ZZ	Z0	Z	10	30	$-n+\ell_A\Rightarrow-n$
	Z1	1	44	33	
Z2	Z3	Z	10	Y3	
	Z4	1	3X	10	УП-0 → 4
0W	0X	Z	0X	ZX	$(F)+9\ell_A\Rightarrow(F)$
	0Y	1	W3	1X	УП-Z → 1
0Z	00	Z	Z0	Z0	$[\Phi_0]\Rightarrow[M_y]$
	01	1	00	X4	

Зона МБ 14

Адрес Команда

$П_ф$=1

Адрес		Команда			
02	03	1	44	ZX	$(F)+\ell_A\Rightarrow M_y$
	04	Z	Z0	0X	
1W	1X	1	W0	00	БП → 5
	1Y	Z	00	Y3	$P_i-P_0\Rightarrow\tau_1$ ↲3
1Z	10	1	WW	31	$y_i\cdot3^{P_i-P_0}\Rightarrow y_i$
	11	Z	00	Y0	
12	13	1	WW	Y4	
	14	1	41	10	УП-0 → 6
2W	2X	1	40	30	$P_0\Rightarrow P_i$
	2Y	1	W0	Y4	
2Z	20	1	W2	31	$Q_i\cdot3^{P_i-P_0}\Rightarrow Q_i$
	21	Z	00	Y0	
22	23	1	W2	Y4	
	24	1	Z0	00	БП → 2
3W	3X	Z	Z0	Z0	$[\Phi_0]\Rightarrow[M_y]$ ↲4
	3Y	1	00	X4	
3Z	30	Z	1W	XX	$[1W]\Rightarrow[\Phi_z]$
	31	Z	0X	30	БП → θ
32	33	Z	Y4	00	
	34	0	00	00	св.
4W	4X	0	00	00	E; ε
	4Y	0	00	00	
4Z	40	0	00	00	P_0
	41	1	W0	Y4	$(S)\Rightarrow P_i$ ↲6
42	43	1	23	00	БП → 7
	44	0	01	00	ℓ_A
КС		0	00	04	
		Z	24	14	

Подпрограмма Р пересылки векторов, II.

Зона МБ 2W

Адрес		Команда	
$П_ф$=0			
WW	WX	0 00 00	$n\ell_A$
	WY	Z 2W 30	
WZ	W0	0 4W 20	$0M_x\Delta_x\Rightarrow A_x$; A_x
	W1	0 WZ Y3	$0M_y\Delta_y\Rightarrow A_y$; A_y
W2	W3	0 W1 Z0	$[M_y]\Rightarrow[\varphi_2]$
	W4	Z 00 XY	; Δ_y
XW	XX	0 W0 Z0	$[M_x]\Rightarrow[\varphi_1]$ ←1
	XY	1 00 XY	
XZ	X0	0 10 Y0	
	X1	0 4W 20	$0\Delta_x000\Delta_y00\Rightarrow\Delta_x,\Delta_y$
X2	X3	0 W2 Y3	
	X4	0 W3 Z0	
YW	YX	1 00 31	$X_i\Rightarrow Y_i$; $\varkappa_0$
	YY	0 W4 Z0	
YZ	Y0	Z 00 Y4	; $\varkappa_1$
	Y1	0 W3 Z0	
Y2	Y3	1 04 31	$P_{X_i}\Rightarrow P_{Y_i}$; $\varkappa_2$
	Y4	0 W4 Z0	
ZW	ZX	Z 04 Y4	; $\varkappa_3$
	ZY	0 W3 Z0	; $\varkappa_4$
ZZ	Z0	1 1X 31	$Q_{X_i}\Rightarrow Q_{Y_i}$; C_0
	Z1	0 W4 Z0	
Z2	Z3	Z 1X Y4	; C_1
	Z4	0 10 Z3	
0W	0X	0 WX ZX	$n-\ell_A\Rightarrow n$
	0Y	0 WX 0X	
0Z	00	0 24 10	УП-0 Г→4
	01	0 WZ 30	

Адрес		Команда	
$П_ф$=0			
02	03	0 32 33	$A_xA_y+9\ell_F9\ell_F\Rightarrow(S)$
	04	0 W4 Z0	$\Delta_y\Rightarrow(F)$; $\bar{4}4\ell_A$
1W	1X	0 4W 20	$0M_x\Delta_x0M_y\Delta_y\Rightarrow A_xA_y$
	1Y	0 WZ Y3	
1Z	10	0 04 ZX	$(F)-4\bar{4}\Rightarrow(F)$; $4\ell_A$
	11	0 2Y 1X	УП-Z Г→3
12	13	0 W1 Z0	
	14	Z 0Z X4	$[\varphi_2]\Rightarrow[M_y-1]$
2W	2X	Z 00 XY	
	2Y	0 W3 Z0	$\Delta_x-4\bar{4}\Rightarrow(F)$ ←3
2Z	20	0 04 ZX	
	21	0 XX 10	УП-0 Г→1
22	23	0 X0 00	БП Г→2
	24	0 W1 Z0	$[\varphi_2]\Rightarrow[M_y]$ ←4
3W	3X	Z 00 X4	
	3Y	Z 1W XX	$[1W]\Rightarrow[\varphi_2]$
3Z	30	Z 0X 30	БП Г→θ
	31	Z Y4 00	
32	33	0 00 10	$9\ell_F$
	34	0 00 10	$9\ell_F$
4W	4X	0 44 44	C_2
	4Y	0 44 44	
4Z	40	0 3W Y0	$2^{-5}\cdot3^3$; ε_1
	41	1 ZW 31	
42	43	0 00 00	
	44	0 Z4 00	C
КС		0 00 0W	
		1 21 WW	

Подпрограмма R, I.

Зона МБ 2X

Адрес Команда

$П_ф=0$

Адрес		Команда			
WW	WX	Z	1X	XX	$[1X] \Rightarrow [\Phi_Z]$ ← 12
	WY	Z	WX	00	БП → Вх Y шп-2(L7)
WZ	W0	0	00	00	своб.
	W1	0	00	00	
W2	W3	0	00	00	K
	W4	0	00	00	
XW	XX	0	00	00	γ_i; γ
	XY	0	00	00	
XZ	X0	0	02	00	$2\ell_A$
	X1	0	00	00	$(m+1)\ell_A$
X2	X3	0	X0	00	α_0
	X4	0	X0	00	β_0
YW	YX	0	2W	WW	δ_0
	YY	Z	WW	WW	
YZ	Y0	0	1Z	Z2	δ_1
	Y1	Z	X0	42	
Y2	Y3	1	W1	1Y	δ_2
	Y4	1	30	WY	
ZW	ZX	0	1W	WW	δ_3
	ZY	Z	WW	WW	
ZZ	Z0	Z	00	XX	$\varkappa_1 = Z M_y XX$
	Z1	1	4X	Z0	$i + \ell_A \Rightarrow i$ ← 3
Z2	Z3	Z	W1	ZX	
	Z4	1	4X	0X	
0W	0X	0	10	ZX	$i - n \Rightarrow (F)$; $9\ell_A$
	0Y	0	21	13	УП-1 → 4
0Z	00	1	4Y	Z0	$\Delta_i + 9\ell_A \Rightarrow (F)$
	01	0	0X	ZX	

Адрес Команда

$П_ф=0$

Адрес		Команда			
02	03	0	44	1X	УП-Z → L6
	04	1	X4	30	$\varkappa_i + \ell_A \Rightarrow (S)$
1W	1X	Z	W1	33	
	1Y	0	41	00	БП → 6
1Z	10	0	00	00	$-n\ell_A$
	11	0	00	00	$-m\ell_A$
12	13	Z	30	00	α_3
	14	Z	00	00	β_3
2W	2X	0	00	00	h
	2Y	0	00	00	
2Z	20	0	00	00	
	21	1	34	Z0	$j + 3\ell_A \Rightarrow (F)$ ← 4
22	23	Z	Y3	ZX	
	24	0	31	1X	УП-Z → L5
3W	3X	1	30	13	УП-1 → 5
	3Y	0	12	30	$\alpha_3\beta_3 \Rightarrow \alpha_j\beta_j$ ← 1
3Z	30	1	4Z	Y3	
	31	1	34	0X	$(F) \Rightarrow j$ ← 5
32	33	0	ZW	31	$\delta \Rightarrow \delta_j$
	34	1	42	Y3	
4W	4X	Z	W1	Z0	$\ell_A \Rightarrow i$
	4Y	1	4X	0X	
4Z	40	0	Z0	30	$\varkappa_1 \Rightarrow \varkappa_i$; $\bar{9}\ell_A$ ← 6
	41	1	X4	Y3	
42	43	Z	21	Z0	$-81\ell_A \Rightarrow \Delta_i$ ← L6
	44	1	4Y	0X	
KC		0	00	01	
		0	Z0	W3	

Подпрограмма R, II.

Зона МБ 2Y

Адрес Команда

$П_ф=1$

Адрес		Команда	
WW	WX	Z Y3 Z3	БП $\Gamma \to G_2$
	WY	Z WY 00	
WZ	W0	0 00 00	A_{G_2}
	W1	0 2X XX	$[2X] \Rightarrow [\Phi_0] \leftarrow \theta G_2$
W2	W3	1 4Y Z0	$\Delta_i \Rightarrow (F)$
	W4	Z 32 30	$F_{ij} H \Rightarrow K$
XW	XX	0 2W 40	
	XY	0 W2 Y3	
XZ	X0	Z 4X 30	$\ell_{ij} + P_k + m \Rightarrow (S)$
	X1	0 20 33	
X2	X3	0 11 3X	
	X4	0 00 00	$[M_y] \Rightarrow [\Phi_2]; \varkappa_i$
YW	YX	0 W0 3Y	$(S) - P_i \Rightarrow \gamma$
	YY	0 XX Y3	
YZ	Y0	0 X0 33	$\gamma + 2\ell_A \Rightarrow (S)$
	Y1	0 WX 13	УП-1 $\Gamma \to 2$
Y2	Y3	0 W2 30	$K \cdot 3^{\gamma} \Rightarrow K$
	Y4	0 XX Y0	
ZW	ZX	0 W2 Y3	
	ZY	1 40 23	$\delta_j (K + \alpha_j Q_{ij}) 3^{-m} \Rightarrow \tau$
ZZ	Z0	0 W2 44	
	Z1	1 42 40	
Z2	Z3	0 11 Y0	
	Z4	0 XW Y3	
0W	0X	0 WW 34	$y_{ij} + \tau \Rightarrow y_{ij}$
	0Y	0 WW Y4	
0Z	00	0 W2 30	
	01	1 42 40	

Адрес Команда

$П_ф=1$

Адрес		Команда	
02	03	1 41 40	$K \delta_j \beta_j \Rightarrow K$
	04	0 W2 Y3	
1W	1X	0 XW 30	$Q_{ij} + 3^{m+1} \tau + K \Rightarrow Q_{ij}$
	1Y	0 X1 Y0	
1Z	10	0 W2 33	
	11	0 W2 34	
12	13	0 W2 Y4	
	14	1 X4 Z0	$[\Phi_2] \Rightarrow [M_y]$
2W	2X	0 00 X4	
	2Y	Z 1X XX	$[1X] \Rightarrow [\Phi_2]$
2Z	20	0 Z1 00	БП $\Gamma \to 3$
	21	0 2X XX	$[2X] \Rightarrow [\Phi_0] \leftarrow$ Вх. R
22	23	1 33 Y3	$(S) \Rightarrow \theta$
	24	0 40 Z0	$-9\ell_A \Rightarrow (F)$
3W	3X	0 X2 30	$\alpha_0 \beta_0 \Rightarrow (S)$
	3Y	0 30 00	БП $\Gamma \to 1$
3Z	30	Z Y3 Z3	БП $\Gamma \to \theta$
	31	Z WY 00	
32	33	0 00 00	θ
	34	0 00 00	j
4W	4X	0 00 00	i
	4Y	0 00 00	Δi
4Z	40	0 00 00	α_j
	41	0 00 00	β_j
42	43	0 00 00	δ
	44	0 00 00	
КС		0 00 0Y	
		1 40 14	

Начало подпрограммы P, I.

Зона МБ 2Z

Адрес Команда

$П_ф=1$

Адрес		Команда	
WW	WX	0 20 30	↲ L7
	WY	Z W1 3X	$\frac{h}{3} \Rightarrow h$
WZ	W0	0 20 Y3	
	W1	0 2X X3	$[\Phi_0] \Rightarrow [2X]$
W2	W3	Z Y3 Z3	
	W4	Z WY 00	БП ↱ P; $\bar{y}_к \Rightarrow \bar{y}$
XW	XX	0 2Z X3	
	XY	0 00 00	$A_{y_к}$; $\bar{Q}_к \Rightarrow \bar{Q}$
XZ	X0	0 00 00	A_y
	X1	1 4X 00	БП ↱ L2
X2	X3	Z 4Y 03	↲ Вх. P
	X4	Z YY 00	$A_x \Rightarrow \theta$
YW	YX	0 1W 20	
	YY	Z 2X Y3	
YZ	Y0	Z 4Y 03	
	Y1	0 20 00	$A_y \Rightarrow \beta$
Y2	Y3	Z 2Y Y3	
	Y4	0 1W X3	$[\Phi_0] \Rightarrow [1W]$
ZW	ZX	0 2W XX	$[2W] \Rightarrow [\Phi_0]$
	ZY	Z 31 20	$\bar{\pi}_{\varphi_y} \Rightarrow (S)$
ZZ	Z0	1 00 10	УП-0 ↱ 1
	Z1	0 Z0 30	
Z2	Z3	0 YX Y3	$C_0 \Rightarrow \varkappa_0$
	Z4	Z W1 3X	
0W	0X	0 Y3 Y3	$\varkappa_0 - \ell_A \Rightarrow \varkappa_2$
	0Y	1 13 00	БП ↱ 2; $\bar{y}_{к+1/2} \Rightarrow \bar{y}_{к+1}$
0Z	00	Z 2X 30	$\theta \Rightarrow (S)$ ↲ 1
	01	Z 31 20	$\bar{\pi}_{\varphi_x} \Rightarrow (S)$

Адрес Команда

$П_ф=1$

Адрес		Команда	
02	03	0 WY 10	УП-0 ↱ $\bar{y} \Rightarrow \bar{y}_к$; $\bar{y}_к \Rightarrow y$.
	04	1 13 1X	УП-Z ↱ 2; $\bar{y} \to \bar{y}_{к+1}$
1W	1X	0 Z3 30	
	1Y	0 Y0 Y3	$C_1 \Rightarrow \varkappa_1$; $\bar{y} = \bar{y}_{к+1/2}$
1Z	10	Z W1 3X	
	11	0 ZX Y3	$\varkappa_1 - \ell_A \Rightarrow \varkappa_3$
12	13	0 44 30	↲ 2
	14	0 ZY Y3	$C \Rightarrow \varkappa_4$
2W	2X	0 WY 00	БП ↱ Вх
	2Y	Z Y3 Z3	Начало ↲ 41
2Z	20	Z WY 00	БП ↱ N
	21	0 14 WX	
22	23	Z Y3 Z3	
	24	Z WY 00	БП ↱ G_1
3W	3X	0 00 00	A_{G_1}
	3Y	Z Y3 Z3	↲ θ_{G_1}
3Z	30	Z WY 00	БП ↱ P; $\vec{y} \Rightarrow \vec{y}_к$
	31	0 2Z X3	$\vec{Q} \Rightarrow \vec{Q}_к$
32	33	0 00 00	A_y
	34	0 00 00	$A_{y_к}$
4W	4X	Z Y3 Z3	↲ 42
	4Y	Z WY 00	БП ↱ R
4Z	40	0 2Y 21	
	41	0 14 XX	$[14] \Rightarrow [\Phi_0]$
42	43	0 4W 30	$\varepsilon \Rightarrow (S)$
	44	1 2Y 10	УП-0 ↱ 41
KC		0 00 Z3	
		1 1Y 01	

Вычисления с шагом h до выполнения условия $M \leq \varepsilon$.

Зона МБ 20

Адрес Команда

$П_ф$=1

Адрес		Команда			
WW	WX	Z	Y3	Z3	$\leftarrow \varepsilon \neq 0$
	WY	Z	WY	00	БП ↱ P
WZ	W0	0	2Z	X3	
	W1	1	00	00	A_y
W2	W3	0	00	00	$A_{y_{k+1}}$
	W4	0	1Z	XX	$[1Z] \Rightarrow [\Phi_0] \leftarrow L3$
XW	XX	0	WW	30	
	XY	Z	4Z	Y3	$\frac{1}{2} \Rightarrow V$
XZ	X0	Z	0Y	Z0	
	X1	Z	43	0X	
X2	X3	Z	4Y	03	
	X4	Z	XY	00	
YW	YX	0	2X	2W	$\frac{h}{2} \Rightarrow h$
	YY	0	1Z	W0	
YZ	Y0	0	2X	2W	
	Y1	0	2X	X3	$[\Phi_0] \Rightarrow [2X]$
Y2	Y3	Z	Y3	Z3	
	Y4	Z	WY	00	БП ↱ P; $\bar{y}_k \Rightarrow \bar{y}$
ZW	ZX	0	2Z	X3	$\bar{Q}_k \Rightarrow \bar{Q}$
	ZY	0	00	00	A_{y_k}
ZZ	Z0	0	00	00	A_y
	Z1	Z	Y3	Z3	
Z2	Z3	Z	WY	00	БП ↱ R
	Z4	0	2Y	21	
0W	0X	Z	Y3	Z3	
	0Y	Z	WY	00	БП ↱ N
0Z	00	0	14	WX	
	01	Z	Y3	Z3	

Адрес Команда

$П_ф$=1

Адрес		Команда			
02	03	Z	WY	00	БП ↱ P
	04	0	2Z	X3	$\bar{y} \Rightarrow \bar{y}_{k+\frac{1}{2}}$
1W	1X	Z	00	00	A_y
	1Y	0	00	00	$A_{y_{k+1}}$
1Z	10	Z	Y3	Z3	
	11	Z	WY	00	БП ↱ R
12	13	0	2Y	21	
	14	Z	WX	00	БП ↱ L8
2W	2X	Z	4Y	03	
	2Y	Z	XY	00	
2Z	20	0	14	4W	$\varepsilon - M \Rightarrow u$
	21	0	1Y	23	
22	23	Z	00	32	
	24	Z	32	30	$u \Rightarrow (S)$
3W	3X	1	33	1X	УП-Z ↱ 1
	3Y	Z	Y3	Z3	
3Z	30	Z	WY	00	БП ↱ L10
	31	0	22	WX	
32	33	Z	Y3	Z3	$\leftarrow 1$
	34	Z	WY	00	БП ↱ P
4W	4X	0	2Z	X3	$\bar{y}_{k+\frac{1}{2}} \Rightarrow \bar{y}_{k+1}$
	4Y	0	00	00	$A_{y_{k+1}}$
4Z	40	Z	00	00	$A_{y_{k+1}}$
	41	1	W1	00	БП ↱ L3
42	43	0	00	00	
	44	0	00	00	Своб.
KC		0	00	Z0	
		0	YY	41	

Определение меры точности М.

Зона МБ 21

Адрес Команда

$П_ф$=1

Адрес		Команда	
WW	WX	1 X0 30	$A_y+9\ell_F \Rightarrow A_y$ ←┘L8
	WY	1 41 33	
WZ	W0	1 X0 Y3	
	W1	1 Y1 30	$A_{y_{k+1}}+9\ell_F \Rightarrow A_{y_{k+1}}$
W2	W3	1 41 33	
	W4	1 Y1 Y3	
XW	XX	Z 4Y 03	$y_i \Rightarrow V$
	XY	Z XY 00	
XZ	X0	0 00 00	A_y
	X1	Z 00 Y1	
X2	X3	Z 00 4Z	
	X4	Z 43 30	$P_i \Rightarrow \tau$
YW	YX	1 44 Y3	
	YY	Z 4Y 03	$\Delta y_i \Rightarrow V$
YZ	Y0	Z XY 00	
	Y1	0 00 00	$A_{y_{k+1}}$
Y2	Y3	0 1Y XY	
	Y4	Z 00 4Z	
ZW	ZX	1 4Y 30	$P_0-P_i \Rightarrow (S)$
	ZY	1 44 3X	
ZZ	Z0	1 Z4 13	УП-1 ┌→2
	Z1	Z 43 33	$\beta^+ \Rightarrow V$
Z2	Z3	Z 43 Y3	
	Z4	Z 4Y 03	←┘2 $M-\lvert\beta^+\rvert \Rightarrow u$
0W	0X	Z XY 00	
	0Y	1 00 32	
0Z	00	0 1Y 23	
	01	Z 00 32	

Адрес Команда

$П_ф$=1

Адрес		Команда	
02	03	Z 32 30	$u \Rightarrow (S)$
	04	1 13 13	УП÷1 ┌→3
1W	1X	Z 4Z 30	$\beta^+ \Rightarrow M$
	1Y	1 32 Y3	
1Z	10	Z 43 30	
	11	1 4X Y3	
12	13	1 40 Z0	←┘3 $\tau_n+\ell_A \Rightarrow \tau_n$
	14	Z W1 ZX	
2W	2X	1 40 0X	
	2Y	1 WX 1X	УП-Z ┌→L18
2Z	20	1 32 30	$M \Rightarrow V$
	21	Z 4Z Y3	
22	23	1 4X 30	
	24	Z 43 Y3	
3W	3X	Z 1X X3	$[\Phi_2] \Rightarrow [1X]$
	3Y	Z 1W XX	$[1W] \Rightarrow [\Phi_2]$
3Z	30	1 43 30	БП ┌→θ
	31	Z Y4 00	
32	33	0 00 00	M
	34	0 00 00	
4W	4X	0 00 00	
	4Y	0 00 00	P_0
4Z	40	0 00 00	$-(n-1)\ell_A;\ \tau_n$
	41	0 00 10	$9\ell_F$
42	43	0 20 2X	$A_{воз.}$
	44	0 00 00	τ
KC		0 00 02	
		0 WY 31	

Выбор нового шага при $M \le \varepsilon$. Подпрограмма Ф, I.

Зона МБ 22

Адрес Команда

$П_ф$=1

Адрес		Команда	
WW	WX	Z 4Y 03	$\varepsilon_1 - M \Rightarrow u$ ↵ L10
	WY	Z XY 00	
WZ	W0	0 2W 4Z	
	W1	0 1Y 23	
W2	W3	Z 00 32	
	W4	1 0Y 30	$2 \Rightarrow V$
XW	XX	Z 4Z Y3	
	XY	Z W1 Z0	
XZ	X0	Z 43 0X	
	X1	Z 32 30	$u \Rightarrow (S)$
X2	X3	1 Y3 1X	УП-Z → 2
	X4	Z 4Y 03	$2h \Rightarrow h$
YW	YX	Z XY 00	
	YY	0 2X 2W	
YZ	Y0	0 1Z W0	
	Y1	0 2X 2W	
Y2	Y3	Z 4Y 03	$2h \Rightarrow h$
	Y4	Z W3 00	
ZW	ZX	0 2X 2W	
	ZY	0 1Z W0	
ZZ	Z0	0 2X 2W	
	Z1	0 2X X3	$[\Phi_0] \Rightarrow [2X]$
Z2	Z3	Z Y3 Z3	БП → L1
	Z4	Z WY 00	
0W	0X	0 2Z 2Y	
	0Y	0 20 00	2 норм
0Z	00	0 00 00	
	01	0 00 00	

Адрес Команда

$П_ф$=1

Адрес		Команда	
02	03	0 00 00	своб
	04	0 00 00	
1W	1X	0 00 00	
	1Y	Z 4Y 03	$A_{G_1} \Rightarrow u_1$ ↵ Ф
1Z	10	Z YY 00	
	11	0 1W 20	
12	13	Z 33 Y3	
	14	Z 4Y 03	$A_{G_2} \Rightarrow u_2$
2W	2X	0 20 00	
	2Y	Z 34 Y3	
2Z	20	Z 4Y 03	$A_h \Rightarrow P_u$
	21	0 20 00	
22	23	Z 4X Y3	
	24	Z 4Y 03	$A_y \Rightarrow P_V$
3W	3X	0 20 00	
	3Y	Z 43 Y3	
3Z	30	Z 4Y 03	$ne_A \Rightarrow V_1$
	31	0 20 00	
32	33	Z 40 Y3	
	34	Z 4Y 03	$me_A \Rightarrow V_2$
4W	4X	0 20 00	
	4Y	Z 41 Y3	
4Z	40	Z 4Y 03	$A_\varepsilon \Rightarrow (S)$
	41	0 20 00	
42	43	1 23 XX	$[23] \Rightarrow [\Phi_1]$
	44	0 00 00	своб
КС		0 00 Z4	
		0 Y3 2Y	

Подпрограмма Ф, II.

Зона МБ 23

Адрес Команда

$П_ф=1$

Адрес		Команда			
WW	WX	0	0Y	00	$\bar{2}\ell_A$
	WY	0	00	00	
WZ	W0	0	00	00	своб.
	W1	0	00	00	
W2	W3	Z	2Y	Y3	$A_\varepsilon \Rightarrow \beta$ ← 1
	W4	0	2Y	XX	$[2У] \Rightarrow [\varphi_0]$
XW	XX	Z	34	30	$\varphi(A_{G_2})$
	XY	0	W0	Y3	
XZ	X0	0	2Y	X3	$[\varphi_0] \Rightarrow [2У]$
	X1	Z	40	30	
X2	X3	1	WX	Y0	$9ne_F \Rightarrow \mathcal{U}_2$
	X4	Z	34	Y3	
YW	YX	Z	43	33	$A_{y_к} \Rightarrow M_0$
	YY	Z	44	Y3	
YZ	Y0	0	20	XX	$[20] \Rightarrow [\varphi_0]$
	Y1	0	ZY	Y3	
Y2	Y3	Z	34	33	$\varphi(A_{y_к})$
	Y4	Z	34	Y3	
ZW	ZX	0	W3	Y3	
	ZY	0	1Y	Y3	
ZZ	Z0	0	4Y	Y3	$\varphi(A_{y_{к+1}})$
	Z1	0	40	33	
Z2	Z3	0	40	Y3	
	Z4	Z	43	30	
0W	0X	0	Z0	Y3	
	0Y	0	W1	33	$\varphi(A_y)$
0Z	00	0	W1	Y3	
	01	Z	43	30	

Адрес Команда

$П_ф=1$

Адрес		Команда			
02	03	0	1X	33	
	04	0	1X	Y3	
1W	1X	0	20	X3	$[\varphi_0] \Rightarrow [20]$
	1Y	0	2Z	XX	$[2Z] \Rightarrow [\varphi_0]$
1Z	10	Z	44	30	
	11	0	XY	Y3	$\varphi(A_{y_к})$
12	13	0	34	Y3	
	14	Z	43	30	
2W	2X	0	X0	Y3	$\varphi(A_y)$
	2Y	0	33	Y3	
2Z	20	Z	33	30	$\varphi(A_{G_1})$
	21	0	3X	Y3	
22	23	0	2Z	X3	$[\varphi_0] \Rightarrow [2Z]$
	24	Z	2Y	Z0	$[M_\varepsilon] \Rightarrow [\varphi_0]$
3W	3X	0	00	XY	
	3Y	Z	2Y	30	
3Z	30	Z	21	20	$\Delta_\varepsilon \Rightarrow \mathcal{U}_1$
	31	Z	X4	Y0	
32	33	Z	33	Y3	
	34	Z	33	Z0	$E \Rightarrow (S)$
4W	4X	0	00	31	
	4Y	0	04	Z1	$P_0 \Rightarrow (F)$
4Z	40	0	14	XX	$[14] \Rightarrow [\varphi_0]$
	41	0	4W	Y3	$(S) \Rightarrow E$
42	43	1	24	XX	$[24] \Rightarrow [\varphi_1]$
	44	1	W3	00	БП → 1
КС		0	00	0X	
		1	X1	WX	

Подпрограмма Ф, III.

Зона МБ 24

Адрес Команда

$П_ф=1$

Адрес		Команда	
WW	WX	0 00 00	
	WY	0 00 00	своб.
WZ	W0	0 00 00	
	W1	0 40 0X	$(F) \Rightarrow P_0$ $\leftarrow 1$
W2	W3	0 14 X3	$[\varphi_0] \Rightarrow [14]$
	W4	0 21 XX	$[21] \Rightarrow [\varphi_0]$
XW	XX	0 4Y 0X	$(F) \Rightarrow P_0$
	XY	Z 43 30	$\varphi(A_y)$
XZ	X0	0 X0 Y3	
	X1	Z 34 30	$\varphi(A_{y_{k+1}})$
X2	X3	0 Y1 Y3	
	X4	0 0X Y0	$\bar{3}\ell_A$
YW	YX	Z 40 3X	
	YY	Z W1 33	$\varphi(-n-1)$
YZ	Y0	0 40 Y3	
	Y1	0 21 X3	$[\varphi_0] \Rightarrow [21]$
Y2	Y3	Z 4X 30	$P_u \Rightarrow A_h$
	Y4	1 Z0 Y3	
ZW	ZX	Z 4Y 03	
	ZY	Z XY 00	
ZZ	Z0	0 00 00	A_h $(A_h) \Rightarrow h$
	Z1	Z 00 Y1	
Z2	Z3	0 2X 2W	
	Z4	Z 41 30	
0W	0X	Z W1 33	$m+\ell_A \Rightarrow m+1$
	0Y	0 X1 Y3	
0Z	00	1 0Y Y0	$\varphi(-n;-m)$
	01	Z 4Z 3X	

Адрес Команда

$П_ф=1$

Адрес		Команда	
02	03	0 1Z Y3	
	04	Z 43 Z0	$M_y \Rightarrow V_2$
1W	1X	Z 41 0X	
	1Y	Z 41 30	
1Z	10	0 Z0 33	$\varphi(A_y)$
	11	0 Z0 Y3	
12	13	0 2X X3	$[\varphi_0] \Rightarrow [2X]$
	14	0 2W XX	$[2W] \Rightarrow [\varphi_0]$
2W	2X	Z 40 30	$\varphi(n)$
	2Y	0 WX Y3	
2Z	20	0 2W X3	$[\varphi_0] \Rightarrow [2W]$
	21	0 4Z 30	
22	23	Z 4Z Y3	$2^{-6} \Rightarrow V$
	24	1 X4 Z0	
3W	3X	Z 43 0X	
	3Y	Z 4Y 03	
3Z	30	Z XY 00	
	31	0 14 4W	$\varepsilon \cdot 2^{-5} \Rightarrow \varepsilon_1$
32	33	0 1Z W0	
	34	0 2W 4Z	
4W	4X	0 2W X3	$[\varphi_0] \Rightarrow [2W]$
	4Y	Z 1W XX	$[1W] \Rightarrow [\varphi_2]$
4Z	40	Z W0 Z3	
	41	Z YC 00	БП $\rightarrow$ 41
42	43	0 2Z 2Y	
	44	1 W1 00	БП $\rightarrow$ 1
KC		0 00 0W	
		0 W3 WW	

Приложение II. Тест-пример; программа тест-примера.

С помощью данной подпрограммы интегрировалась система трех дифференциальных уравнений:

$$\frac{dy_1}{dx}=1 ;$$

$$\frac{dy_2}{dx}=y_3 ;$$

$$\frac{dy_3}{dx}=-y_3 ;$$

с начальными условиями:

$$y_1(0)=0 , \quad y_2(0)=1 , \quad y_3(0)=-1 .$$

Точное решение данной системы:

$$y_1(x)=x , \quad y_2=e^{-x} , \ y_3=-e^{-x}$$

Данная система интегрировалась с автоматическим выбором шага с точностью $\varepsilon=3\cdot 3^{-13}\approx 2\cdot 10^{-6}$, т.е. $p_0=1$, $E=3^{-13}$. Начальный шаг $h=0{,}243$; $m=2$.

Получены значения решения в 9 точках (см.таблицу 1). Как видно из таблицы 1, начальный шаг уменьшился в 27 раз (произошло уменьшение порядка шага на 3 единицы для выполнения неравенства $m+p_h+l_{ij}-p_i\leq-2$, гарантирующего отсутствие переполнения), после чего начальный шаг стал равным 0,081. Данная система интегрировалась также с постоянным шагом (для этого положили $\varepsilon=0$); как видно из таблицы 2, начальный шаг стал равным 0,081, после чего переполнения не должно быть и с этим шагом получены значения решения системы в 9 точках.

Прилагается программа операторов G_1, G_2 и обращение к основной подпрограмме при автоматическом выборе шага. Программы G_1 и G_2 вводятся «Начальным пуском»; после их ввода (всего 2 зоны) произойдет останов по $(C)=04Y$ и $(K)=Z002X$; теперь «Пуском» (система ИП-2 с переводами 3/10 и основная подпрограмма должны быть введены до ввода программ G_1, G_2) можно начать счет задачи.

Для наглядности приведено также расположение векторов (см. §3) в массивах M1, M2, M3 рабочих ячеек.

Таблица 1

$y_1(x_0)=x_0=$	+000000+0I
$y_2(x_0)=$	+I00000+0I
$y_3(x_0)=$	−I00000+0I
$y_1(x_1)=x_1=$	+899999−02
$y_2(x_1)=$	+99I040+00
$y_3(x_1)=$	−99I040+00
$y_1=x_2$	+27000I−0I
$y_2=$	+97336I+00
$y_3=$	−97336I+00
$y_1=x_3=$	+390000−0I
$y_2=$	+96I75I+00
$y_3=$	−96I75I+00
$y_1=x_4=$	+47000I−0I
$y_2=$	+954087+00
$y_3=$	−954087+00
$y_1=x_5=$	+63000I−0I
$y_2=$	+938943+00
$y_3=$	−938943+00
$y_1=x_6=$	+736668−0I
$y_2=$	+92898I+00
$y_3=$	−92898I+00
$y_1=x_7=$	+807779−0I
$y_2=$	+922399+00
$y_3=$	−922399+00
$y_1=x_8=$	+95000I−0I
$y_2=$	+909373+00
$y_3=$	−909373+00
$y_1=x_9=$	+I04482+00
$y_2=$	+900792+00
$y_3=$	−900792+00

Таблица 2

+000000+0I
+I00000+0I
−I00000+0I
+899999−02
+99I040+00
−99I040+00
+I80000−0I
+982I6I+00
−982I6I+00
+270000−0I
+97336I+00
−97336I+00
+360000−0I
+964640+00
−964640+00
+450000−0I
+955998+00
−955998+00
+540000−0I
+947432+00
−947432+00
+630000−0I
+938943+00
−938943+00
+720000−0I
+93053I+00
−93053I+00
+8I0000−0I
+922I94+00
−922I94+00

Расположение векторов в массивах рабочих ячеек.

Адрес		Команда		
WW	WX	0 00 00	y_1	$M1: \bar{y}, \bar{Q}$
	WY	0 00 00		
WZ	W0	0 00 00		
	W1	0 00 00		
W2	W3	0 00 00	Q_1	
	W4	0 00 00		
XW	XX	0 00 00	y_2	
	XY	0 00 00		
XZ	X0	0 00 00		
	X1	0 00 00		
X2	X3	0 00 00	Q_2	
	X4	0 00 00		
YW	YX	0 00 00	y_3	
	YY	0 00 00		
YZ	Y0	0 00 00		
	Y1	0 00 00		
Y2	Y3	0 00 00	Q_3	
	Y4	0 00 00		
ZW	ZX	0 00 00	$y_{1,k}$	$M2: \bar{y}_k, \bar{Q}_k$
	ZY	0 00 00		
ZZ	Z0	0 00 00		
	Z1	0 00 00		
Z2	Z3	0 00 00	$Q_{1,k}$	
	Z4	0 00 00		
0W	0X	0 00 00	$y_{2,k}$	
	0Y	0 00 00		
0Z	00	0 00 00		
	01	0 00 00		

Адрес		Команда		
02	03	0 00 00	$Q_{2,k}$	
	04	0 00 00		
1W	1X	0 00 00	$y_{3,k}$	
	1Y	0 00 00		
1Z	10	0 00 00		
	11	0 00 00		
12	13	0 00 00	$Q_{3,k}$	
	14	0 00 00		
2W	2X	0 00 00	$y_{1,k+1}$	$M3: \bar{y}_{k+1}, \bar{y}_{k+1/2}$
	2Y	0 00 00		
2Z	20	0 00 00		
	21	0 00 00	$y_{1,k+1/2}$	
22	23	0 00 00		
	24	0 00 00		
3W	3X	0 00 00	$y_{2,k+1}$	
	3Y	0 00 00		
3Z	30	0 00 00		
	31	0 00 00	$y_{2,k+1/2}$	
32	33	0 00 00		
	34	0 00 00		
4W	4X	0 00 00	$y_{3,k+1}$	
	4Y	0 00 00		
4Z	40	0 00 00		
	41	0 00 00	$y_{3,k+1/2}$	
42	43	0 00 00		
	44	0 00 00		
КС		0 00 00		
		0 00 00		

Ввод теста.

Адрес Команда

$П_ф=0$

Адрес		Команда			
WW	WX	0	00	0Z	Σ_{3x}
	WY	0	4W	3Z	
WZ	W0	0	00	0Z	Σ_{3y}
	W1	0	0W	14	
W2	W3	0	ZZ	30	$-1 \Rightarrow y_2$ 5
	W4	Z	YW	Y3	
XW	XX	Z	3W	X3	$[\varphi_z] \Rightarrow [3W]$
	XY	Z	1W	XX	$[1W] \Rightarrow [\varphi_z]$
XZ	X0	Z	4Y	Z3	БП вх
	X1	Z	Y3	00	
X2	X3	0	3X	WX	
	X4	0	00	00	
YW	YX	0	00	00	
	YY	0	00	00	
YZ	Y0	0	00	00	
	Y1	0	00	00	
Y2	Y3	0	00	00	
	Y4	0	00	00	
ZW	ZX	0	30	00	1
	ZY	0	00	00	
ZZ	Z0	0	X0	00	−1
	Z1	0	00	00	
Z2	Z3	0	0Y	00	$M=-2$
	Z4	0	Z3	ZX	$(S)-\Sigma_j \Rightarrow (S)$ 2
0W	0X	0	W2	3Y	
	0Y	0	31	10	УП-0 3
0Z	00	0	01	2X	Ω_1
	01	0	Z3	Z0	$M \Rightarrow (F)$

Адрес Команда

$П_ф=0$

Адрес		Команда			
02	03	Z	01	X0	$[n/n] \Rightarrow [\varphi_z]$ 4
	04	Z	3Z	X4	$[\varphi_z] \Rightarrow [N_j]$
1W	1X	Z	3Z	XY	$[N_j] \Rightarrow [\varphi_z]$
	1Y	0	23	30	Суммирование зоны φ_z
1Z	10	0	4Y	Z0	
	11	0	22	23	
12	13	0	WX	44	
	14	0	20	ZX	
2W	2X	0	13	1X	
	2Y	0	3X	13	
2Z	20	0	03	Z0	
	21	0	13	00	
22	23	0	00	00	3^{-9}
	24	0	30	00	
3W	3X	0	Z3	Z0	$2M \Rightarrow (F)$ 1
	3Y	0	Z3	ZX	
3Z	30	0	Z4	00	БП 2
	31	0	Z3	Z0	$M+e_A \Rightarrow M$
32	33	0	00	ZX	
	34	0	Z3	0X	
4W	4X	0	03	1X	УП-Z 4
	4Y	Z	00	2X	Ω_2
4Z	40	Z	00	XX	$[0] \Rightarrow [\varphi_z]$
	41	0	ZW	30	$1 \Rightarrow y_1$
42	43	Z	XW	Y3	
	44	0	W3	00	БП 5
KC		0	00	0X	
		0	W3	2W	

Программа нестандартной части.

Зона МБ 3х

Адрес Команда

$П_ф=1$

Адрес		Команда	Примечание
WW	WX	Z Y3 Z3	← Вх; БП → ПМСДУ
	WY	Z WY 00	
WZ	W0	0 22 1Y	
	W1	0 3X X4	A_{G_1}
W2	W3	0 3X 14	A_{G_2}
	W4	0 3X 02	A_h
XW	XX	0 3W WW	A_y
	XY	0 03 00	n
XZ	X0	0 02 00	m
	X1	0 3X 1Z	A_ε
X2	X3	0 00 00	св.
	X4	1 XX 30	← G_1; $A_y \Rightarrow \varkappa_1$
YW	YX	1 Y3 Y3	
	YY	Z Y3 Z3	← 1; БП → 3↗10
YZ	Y0	Z WY 00	
	Y1	0 42 Z4	
Y2	Y3	0 3W WW	A_y ; $\varkappa_1$
	Y4	0 00 1X	n
ZW	ZX	1 Y3 30	$\varkappa_1 + 9\ell_F \Rightarrow \varkappa_1$
	ZY	1 00 33	
ZZ	Z0	1 Y3 Y3	
	Z1	1 01 3X	$(S) - A_{y_{n+1}} \Rightarrow (S)$
Z2	Z3	1 YY 1X	УП−Z → 1
	Z4	Z Y3 Z3	БП → Θ_{G_1}
0W	0X	Z WY 00	
	0Y	0 2Z 3Y	
0Z	00	0 00 10	$9\ell_F$
	01	0 3W ZW	$A_{y_{n+1}}$

Адрес Команда

$П_ф=1$

Адрес		Команда	Примечание
02	03	0 22 X1	$h = 0{,}243$
	04	1 0X 44	
1W	1X	0 0Z 00	
	1Y	0 00 00	св.
1Z	10	0 00 00	$\varepsilon = 3 \cdot 3^{-13}$
	11	0 00 30	
12	13	0 01 00	
	14	0 2Y XX	$[24] \Rightarrow [\Phi_0]$ ← G_2
2W	2X	0 4X 30	$i \Rightarrow (S)$
	2Y	Z W1 3X	$(S) - \ell_A \Rightarrow (S)$
2Z	20	1 4X 10	УП−0 → 2
	21	Z W1 3X	$(S) - \ell_A \Rightarrow (S)$
22	23	Z WX 13	УП−1 → Вх $\bar{Y}$ ИП-2
	24	Z 4Y 03	$y_2 \Rightarrow u$
3W	3X	Z XY 00	
	3Y	0 3W YW	
3Z	30	1 00 31	
	31	Z Y3 Z3	← 4; БП → Θ_{G_2}
32	33	Z WY 00	
	34	0 2Y W1	
4W	4X	Z 4Y 03	← 2; $1 \Rightarrow u$
	4Y	Z XY 00	
4Z	40	0 3Y X2	
	41	1 00 43	
42	43	1 31 00	БП → 4
	44	0 00 00	св.
КС		0 00 0Z	
		0 4W 3Z	

Зона МБ 3Y

Адрес	Команда	
$П_ф$=1		
WW WX	0 3W XX	
WY	1 WY Y0	
WZ W0	0 YW 3X	$-y_2 \Rightarrow u$
W1	Z 32 Y3	
W2 W3	0 Y0 30	
W4	Z 4X Y3	
XW XX	Z Y3 Z3	
XY	Z WY 00	БП $\to \theta_{G_2}$
XZ X0	0 2Y W1	
X1	0 00 00	
X2 X3	0 30 00	
X4	0 00 00	1
YW YX	0 00 00	
YY	0 00 00	
YZ Y0	0 00 00	
Y1	0 00 00	
Y2 Y3	0 00 00	
Y4	0 00 00	
ZW ZX	0 00 00	
ZY	0 00 00	
ZZ Z0	0 00 00	
Z1	0 00 00	
Z2 Z3	0 00 00	
Z4	0 00 00	
0W 0X	0 00 00	
0Y	0 00 00	
0Z 00	0 00 00	
01	0 00 00	

Адрес	Команда
$П_ф$=1	
02 03	0 00 00
04	0 00 00
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
KC	0 00 0Z
	0 0W 14

Серия: Математическое обслуживание машины «Сетунь».

Выпуск 1.
Жоголев Е.А. ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ МАШИНЫ «СЕТУНЬ».

Выпуск 2.
Фурман Г.А. ИНТЕРПРЕТИРУЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДЕЙСТВИЙ С КОМПЛЕКСНЫМИ ЧИСЛАМИ (ИП-4).

Выпуск 3.
Франк Л.С., Рамиль Альварес Х. ПРОГРАММА ВЫЧИСЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ИНТЕГРАЛОВ ДЛЯ ИП-2. Уточнение к выпуску 3 опубликовано в выпуске 19.

Выпуск 4.
Жоголев Е.А., Есакова Л.В. ИНТЕРПРЕТИРУЩАЯ СИСТЕМА ИП-3. Поправка к выпуску 4 опубликована в выпуске 9.

Выпуск 5.
Фурман Г.А. ПОДПРОГРАММА ВЫЧИСЛЕНИЯ ВСЕХ КОРНЕЙ МНОГОЧЛЕНА ДЛЯ ИП-4.

Выпуск 6.

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

Выпуск 7.

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

Выпуск 8.

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

Выпуск 9.

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

Выпуск 10.

Жоголев Е.А., Лебедева Н.Б. СИМПОЛИЗ 64 — ЯЗЫК ДЛЯ ПРОГРАМ-МИРОВАНИЯ В СИМВОЛИЧЕСКИХ ОБОЗНАЧЕНИЯХ.

Выпуск 11.

Прохорова Г.В. ПОДПРОГРАММЫ ВВОДА И ВЫВОДА ЧИСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ИП-5. Изменение к выпуску 11 опубликовано в выпуске 17.

Выпуск 12.

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

Выпуск 13.

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

Выпуск 14.

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

Выпуск 15.

Федорченко В.Е. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАВНОМЕРНЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ НА МАШИНЕ «СЕТУНЬ».

Выпуск 16.

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

Выпуск 17.

Гордонова В.И. СТАНДАРТНАЯ ПОДПРОГРАММА ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ И СОБСТВЕННЫХ ВЕКТОРОВ ВЕЩЕСТВЕННОЙ МАТРИЦЫ, ИМЕЮЩЕЙ ТОЛЬКО ВЕЩЕСТВЕННЫЕ СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ (в системе ИП-3).

Выпуск 18.

Титакаева П.Т. СТАНДАРТНАЯ ПОДПРОГРАММА RKG РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В СИСТЕМЕ ИП-3.

Выпуск 19.

Жоголев Е.А. ИНТЕРПРЕТИРУЮЩАЯ СИСТЕМА ИП-2.

Выпуск 20.

Черепенникова. Ю.Н. СТАНДАРТНАЯ ПОДПРОГРАММА ВЫЧИСЛЕНИЯ ОПРЕДЕЛИТЕЛЯ (в системе ИП-2)

Выпуск 21.

Гордонова В.И. ТИПОВАЯ ПРОГРАММА РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ С СИММЕТРИЧНОЙ ПОЛОЖИТЕЛЬНО ОПРЕДЕЛЕННОЙ МАТРИЦЕЙ МЕТОДОМ КВАДРАТНОГО КОРНЯ (ЛАУСК)

Выпуск 22.

Титакаева П. Т. СТАНДАРТНАЯ ПОДПРОГРАММА GI ВЫЧИСЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ИНТЕГРАЛОВ В СИСТЕМЕ ИП-3.

Выпуск 23.

Гойхман Г.Я. СТАНДАРТНАЯ ПРОГРАММА ОБРАЩЕНИЯ МАТРИЦЫ МЕТОДОМ ОКАЙМЛЕНИЯ (в системе ИП-3).

Выпуск 24.

Дрейер А.А., Черепенникова Ю.Н. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ЭЦВМ «СЕТУНЬ».

Выпуск 25.

Жоголев Е.А., Есакова Л.В. ИНТЕРПРЕТИРУЮЩАЯ СИСТЕМА ИП-3 (издание второе, исправленное).