



ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНЫЕ РЕГУЛИРУЕМЫЕ.

Расчет устойчивости способов

последовательных преобразований

ОСТ 92 0236-74

Издание официальное

Расп. 308 от 28.11.74 с 1.12.74

инв. № 748-1 10.12.74

УДК 62-50.001.24:681:3

Группа П-72

ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНЫЕ РЕГУЛИРУЕМЫЕ.

ОСТ 92

Расчет устойчивости способом
последовательных преобразований

0236-74

Взамен ОСТ 92.0236-72

Инструктивным письмом
от 12 мая 1974г. в 164 срок введения установлен
с 1 января 1975 г.

Стандарт распространяется на линейные системы, у которых
произведение максимального значения собственной круговой частоты
системы (ω , $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$) на период квантования (T , с) меньше 100.

Стандарт устанавливает метод расчета устойчивости линейных
регулируемых систем с постоянными коэффициентами, с одним перио-
дом квантования способом последовательных преобразований, а также
форму задания исходных данных и порядок расчета на универсальных
цифровых вычислительных машинах (ЦВМ).

Стандарт позволяет рассчитать устойчивость системы с точ-
ностью по величине демпфирования 0,0001 $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

Стандарт не исключает возможности применения других методов
для оценки устойчивости системы.

①

Проверен в 1978г. Срок действия продлен до 1/1-83.

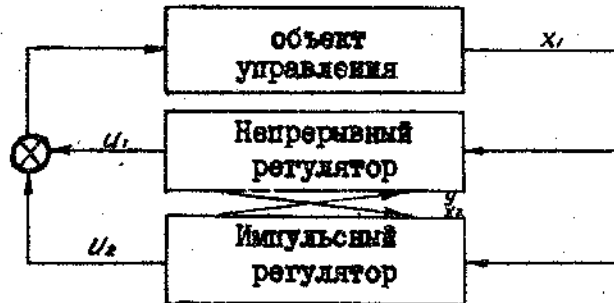
Издание официальное

Перепечатка воспрещена

Инв. № подл. 748
Подп. и дата 10.07.74
Вх. № 107
Инв. № подл.

1. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

1.1. Общая блок-схема замкнутой системы регулирования, для которой определяется устойчивость, изображена на схеме.



На схеме введены следующие обозначения сигналов:

X_1 - вектор непрерывного сигнала на выходе объекта управления;

X_2 - вектор сигнала на выходе непрерывного регулятора;

U - вектор сигнала на выходе импульсного регулятора;

U_1 - вектор управляющего сигнала с непрерывного регулятора;

U_2 - вектор управляющего сигнала с импульсного регулятора.

Под непрерывным регулятором понимается совокупность устройств, в которых преобразование входных сигналов и формирование сигналов управления осуществляется в непрерывном виде.

Под импульсным регулятором понимается совокупность устройств (цифровая машина), в которых преобразование входных сигналов и формирование сигналов управления осуществляются в импульсном (дискретном) виде.

Перед подачей на устройство суммирования импульсный сигнал должен быть преобразован в непрерывный. Настоящий метод применим в случае использования экстраполяторов нулевого порядка.

Подпись и дата

Взам. инв. №

Инв. № подл.

Подпись и дата

Инв. № подл.

10.10.74

1.2. Система регулирования задается дифференциальными и разностными уравнениями:

$$\begin{cases} A\dot{x}(t) = Bx(t) + Cx^*(t) + Dy^*(t); & (1) \\ ax(kT+T) + by(kT+T) = cx(kT) + dy(kT), & (2) \end{cases}$$

где x - вектор непрерывных фазовых координат;

y - вектор импульсных фазовых координат;

t - текущее время;

T - период квантования ($k = 0, 1, 2, \dots$);

$$x^*(t) = x(T[\frac{t}{T}]);$$

$$y^*(t) = y(T[\frac{t}{T}]);$$

$[\frac{t}{T}]$ - целая часть $\frac{t}{T}$;

$x^*(t)$ и $y^*(t)$ - члены, обусловленные наличием экстраполяторов, преобразующих импульсные сигналы управления после цифровой вычислительной машины;

A, B, C - матрицы коэффициентов порядка $n \times n$;

D - матрица коэффициентов порядка $n \times m$;

a, c - матрицы коэффициентов порядка $m \times n$;

b, d - матрицы коэффициентов порядка $m \times m$;

A, b - невырожденные матрицы;

n - число дифференциальных уравнений I-го порядка в системе (1);

m - число разностных уравнений I-го порядка в системе (2).

Система уравнений (1+2) может быть получена из производной дифференциально-разностной системы уравнений путем понижения порядка с введением дополнительных переменных. Если в составе дифференциально-разностной системы уравнений имеются одно или несколько алгебраических уравнений, то для приведения системы к виду (1) и (2) необходимо:

- выразить некоторые переменные из алгебраических уравнений;
- подставить эти переменные в другие уравнения системы;
- отбросить исходные алгебраические уравнения;

Подпись и дата	
Инв. № подл.	748
Г. выд. инв. № инв.	10.12.74
Должность и дата	

- привести полученную систему исходных уравнений к виду (1.2) путем понижения порядка с помощью введения дополнительных переменных.

1.3. Исходными данными для расчета устойчивости служат:

- матрицы коэффициентов A, B, C, D, a, b, c, d ;
- порядки матриц n, m ;
- период квантования T .

1.4. Определение устойчивости (неустойчивости) сводится к исследованию матрицы перехода S , связывающей состояние системы в момент времени $(kT+T)$ с состоянием в момент kT , согласно уравнению (1.2):

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}(kT+T) = S \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}(kT), \quad (3)$$

где S - матрица перехода на один период T .

1.5. Процедура вычисления матрицы S и расчета устойчивости изложена в п.п. 1.6 + 1.9.5.

1.6. Вычисляют промежуточные матрицы L_0, M_0 :

$$L_0 = \frac{T}{2^N} \left[E + \frac{1}{2!} \frac{A^T B T}{2^N} + \frac{1}{3!} \left(\frac{A^T B T}{2^N} \right)^2 + \dots + \frac{1}{(N+1)!} \left(\frac{A^T B T}{2^N} \right)^N \right], \quad (4)$$

$$\text{полагая } N=10, \quad \gamma=3. \quad M_0 = E + A^T B L_0 \quad (5)$$

1.7. Вычисляют матрицы L_i, M_i , где $i = 1, 2, 3, \dots, 10$, пользуясь соотношениями (6) и (7).

$$L_i = L_{i-1} [M_{i-1} + E]; \quad (6)$$

$$M_i = M_{i-1} + M_{i-1} \quad (7)$$

1.8. Составляют матрицу перехода S .

1.8.1. Для этого матрицу перехода системы (1) представляют в виде:

$$S = \begin{pmatrix} E & F \\ G & H \end{pmatrix}, \quad (8)$$

где E - матрица порядка $n \times n$

F - матрица порядка $n \times m$

G - матрица порядка $m \times n$

H - матрица порядка $m \times m$

1.8.2. Вычисляют матрицы E, F, G, H :

Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изм. № дубл.	Подпись и дата
748	10.10.74			

$$E = M_0 + L_0 A^{-1} C, \quad (9)$$

$$F = L_0 A^{-1} D, \quad (10)$$

$$G = b^{-1} [c - a(M_0 + L_0 A^{-1} C)], \quad (11)$$

$$H = b^{-1} [d - a L_0 A^{-1} D]. \quad (12)$$

1.9. Определение устойчивости системы.

1.9.1. Проверяют достаточное условие устойчивости для всех S_{ij} по формуле (13):

$$|S_{ij}| < \frac{1}{m+n}, \quad (13)$$

где S_{ij} - элементы матрицы S ; $ij = 1, 2, \dots (m+n)$.

Если величина $|S_{ij}|$ будет больше или равна $\frac{1}{m+n}$, хотя бы для одного значения i, j , то проверяют условие неустойчивости по формуле:

$$\left| \sum_{l=1}^{m+n} S_{li} \right| > n+m, \quad (14)$$

где $i = 1, 2, \dots (n+m)$,

1.9.2. В случае не выполнения условий устойчивости и неустойчивости вычисляют матрицу S_1 по формуле:

$$S_1 = S \times S \quad (15)$$

1.9.3. Проверяют матрицу S_1 на соответствие устойчивости по п. 1.8.1.

В случае невыполнения обоих условий устойчивости и неустойчивости вычисляют матрицу S_2 :

$$S_2 = S_1 \cdot S_1 \quad (16)$$

Процесс определения выполнения условий устойчивости и неустойчивости продолжают до получения матрицы S_{25} .

1.9.4. В случае невыполнения условий устойчивости и неустойчивости для матрицы S_{25} система находится на границе устойчивости.

1.9.5. Программа расчета устойчивости системы приведена в рекомендуемом приложении I.

Имя, № подл.	Подпись и дата
	Имя, инв. №
Имя, № подл.	Подпись и дата
	Имя, инв. №

748 10.07.74

2. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ НЕПРЕРЫВНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

2.1. Система регулирования задается дифференциальными уравнениями 2-го порядка:

$$A\ddot{x} + B\dot{x} + Cx = 0, \quad (17)$$

где x - вектор координат объекта управления и регулятора;

A, B, C - матрицы коэффициентов;

A, C - невырожденные матрицы.

2.2. Исходными данными для расчета устойчивости служат:

- матрицы коэффициентов A, B, C ;
- число уравнений вида (17).

2.3. Определение устойчивости (неустойчивости) системы сводится к последовательному преобразованию и анализу матриц A, B, C в порядке, указанном в п.п. 2.3.1 и 2.3.2.

2.3.1. По исходным матрицам уравнения (17) последовательно вычисляют матрицы A_i, B_i, C_i ($i=1, 2, 3 \dots 25$), связанные с исходными рекуррентными зависимостями:

$$\left. \begin{aligned} A'_i &= A_{i-1}(A_{i-1} - C_{i-1})^{-1}; \\ B'_i &= B_{i-1}(A_{i-1} - C_{i-1})^{-1}; \\ C'_i &= C_{i-1}(A_{i-1} - C_{i-1})^{-1}; \\ A_i &= 4.41 A'_i C'_i; \\ B_i &= 2.1 (A'_i B'_i + B'_i C'_i); \\ C_i &= E + (B'_i)^2 \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

где $A_0 = A$; $B_0 = B$; $C_0 = C$.

Примечание: Если $A_0 - C_0$ - вырожденная матрица, то необходимо перейти к матрицам $A_0 = \Delta^2 A$; $B_0 = \Delta B$; $C_0 = C$, где Δ - число, отличное от 0 и 1.

Подпись и дата

Взам. инв. № инв. № дубл.

Подпись и дата

Иав. № подл.

748 10.07.74

2.3.2. Определяют число корней с положительными вещественными частями для системы:

$$A_{25}\ddot{X} + B_{25}\dot{X} + C_{25}X = 0, \quad (19)$$

используя следующее соотношение:

$$\text{след } (C_{25}^{-1} \times B_{25}) = +\sqrt{1,1} (2n - 2K_{25}), \quad \text{или}$$

$$K_{25} = n - \frac{\text{след}(C_{25}^{-1} \times B_{25})}{2\sqrt{1,1}}, \quad (20)$$

где K_{25} — число корней.

Система устойчива, если разность (20) по модулю не превышает 0,0001.

2.3.3. Программа расчета устойчивости системы приведена в рекомендуемом приложении 2.

Исх. 5.01.74
2.7.74

И. к. к. р. 5.01.74
Резолюция

Изд. № подл.	Подпись и дата	Ген. инж. №	Инж. № дубл.	Подпись и дата
748	10.10.74			

ПРИЛОЖЕНИЕ I к ОСТ 92 0236-74

Рекомендуемое

ПРОГРАММА РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЦМ М-220, М-222, БЭСМ-6

I. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

I.1. Общая блок-схема программы изображена на черт. I.

I.2. Алгоритм расчета устойчивости системы реализуется в трех основных процедурах:

1. $MATR\ EXP(A, B, C, T, N);$
2. $ST(T, A, B, C, D, AM, BM, CM, DM, S, N, M);$
3. $KPYCT(T, A, B, C, D, AM, BM, CM, DM, NM)$

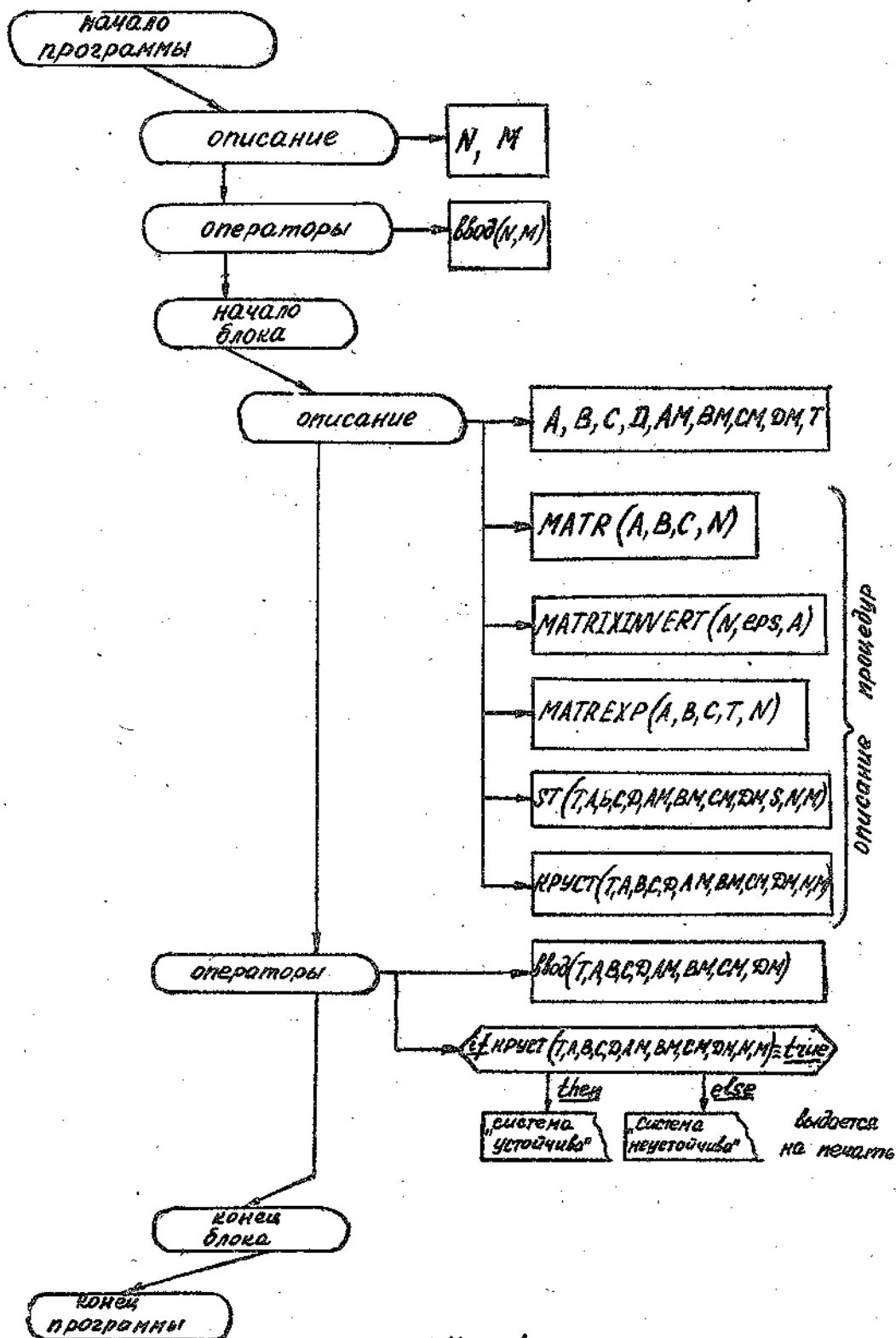
и в двух дополнительных процедурах:

4. $MATR(A, B, C, N);$
5. $MATRIXINVERT(N, EPS, A),$

где $MATR(A, B, C, N)$ - перемножение квадратных матриц, $MATRIXINVERT(N, EPS, A)$ - обращение матрицы.

Инв. № подл. 748	Подпись и дата 10.07.74	Взам. инв. № Инв. № дубл.	Подпись и дата
---------------------	----------------------------	------------------------------	----------------

Схема программы определения устойчивости



Имя, № подл.	Подпись и дата	Имя, № дубл.	Подпись и дата
748	10.07.74		

2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕДУР

2.1. Процедура $MATREXP(A, B, C, T, N)$ вычисляет матричный экспоненциал

$$B = e^{AT}$$

и интеграл от матричного экспоненциала

$$C = \int_0^T e^{A\tau} d\tau$$

по формулам (4) + (7) стандарта.

Блок-схема работы процедуры приведена на черт. 2.

Процедура $MATREXP$ использует процедуру $MATR$.

2.2. Процедура $ST(T, A, B, C, D, AM, BM, CM, DM, S, N, M)$ вычисляет матрицу перехода системы регулирования (I.1) на такт T по формулам (8) ÷ (12). и (ф). Блок-схема работы процедуры приведена на черт. 3. Формальные параметры $T, A, B, C, D, AM, BM, CM, DM, N, M$, указанные в "Описании комплекта числовой информации к программе определения устойчивости" (см. таблицу), задают систему регулирования; массив S - исходная матрица перехода $S(T)$.

Процедура ST использует процедуры $MATR$, $MATREXP$, $MATRIXINVERT$.

2.3. Процедура $KPUCST(A, B, C, D, T, AM, BM, CM, DM, N, M)$ выполняет расчет устойчивости системы по формулам (15) ÷ (16). Блок-схема работы изображена на черт. 4.

При выполнении одного из условий пп. 1.8-1.9 указателю процедуры присваивается одно из двух значений.

Подпись и дата

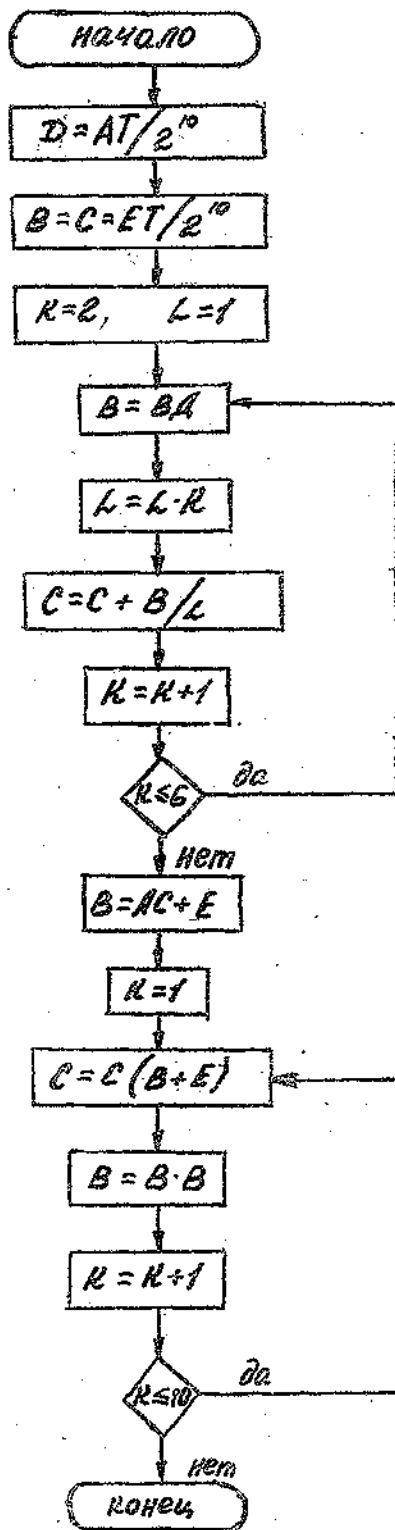
Взам. инв. № инв. № дубл.

Подпись и дата

Имп. № подл.

748 10.07.74

Блок-схема процедуры MATREXP (A, B, C, T, N)

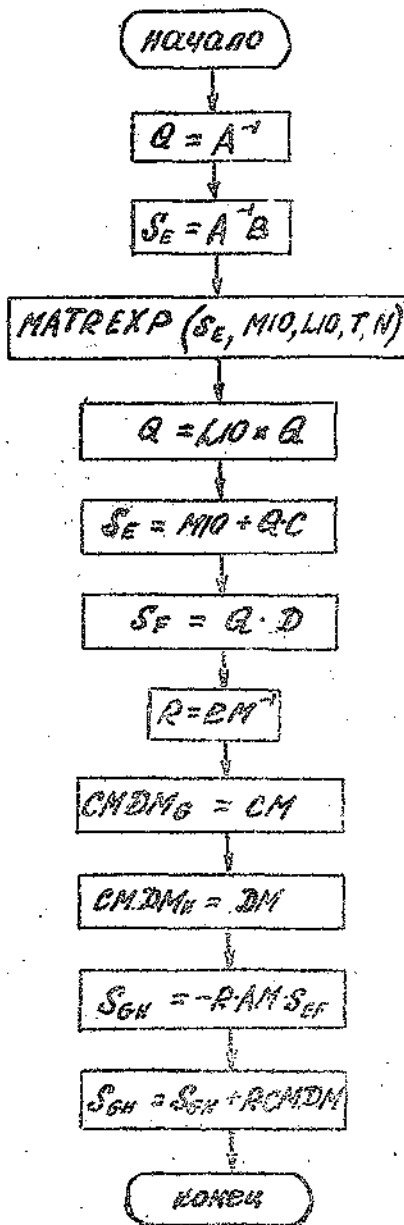


Черт. 2

Имя, № подл.	Подпис. и дата
748	16.07.74
Созм. инв. №	Имп. № дубл.

Блок-схема процедуры ST(T, A, B, C, D, AM, BM, CM, DM, S, N, M)

$$S = \begin{bmatrix} S_E & S_F \\ S_G & S_H \end{bmatrix}$$



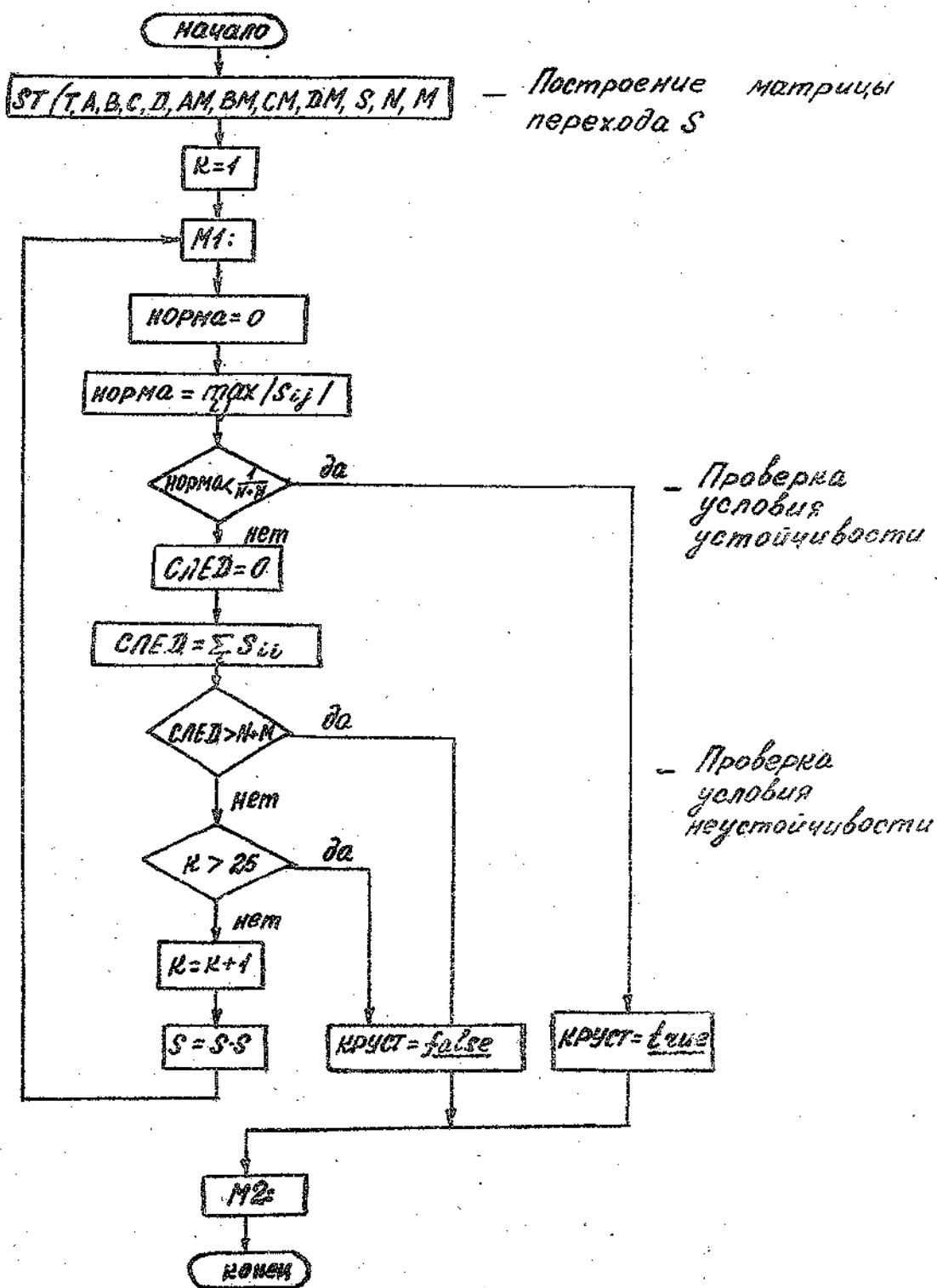
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дучл.	Подпись и дата
748	10.07.74			

Изм. № года	Подпись и дата	Изм. инв. №	Изм. № дубл.	Подпись и дата
748	10.07.74			

Описание комплекта числовой информации к программе определения устойчивости

Идентификатор	Описание	Размерность массива	Сопоставляющая обозначения переменной стандарту	Примечание
N	integer	-	n	Количество дифференциальных уравнений
M	integer	-	m	Количество разностных уравнений
T	real	-	t	Период квантования
A	array	[1:N, 1:N]	A	Матрицы коэффициентов системы
B	array	[1:N, 1:N]	B	
C	array	[1:N, 1:N]	C	
D	array	[1:N, 1:M]	D	
AM	array	[1:M, 1:N]	a	
BM	array	[1:M, 1:M]	b	
CM	array	[1:M, 1:N]	c	
DM	array	[1:M, 1:M]	d	

Блок-схема процедуры КРУСТ (Т, А, В, С, D, АМ, ВМ, СМ, ДМ, N, M)



Черт. 4.

Подпись и дата

Взам. инв. №

Инв. №

Подпись и дата

Инв. №

748 10.07.74

$KPUCT := \begin{cases} TRUE & - \text{если система устойчива,} \\ FALSE & - \text{если система неустойчива.} \end{cases}$

Процедура *KPUCT* использует процедуры *MATR* и *ST*.

2.4. Процедура *MATR* (*A, B, C, N*) вычисляет произведение квадратных матриц *A* и *B*, размерности $N \times N$ и результат пересылает в массив *C*. Допускается обращение вида: *MATR*(*A, A, A, N*).

2.5. Процедура *MATRIXINVERT* (*N, EPS, A*) выполняет обращение квадратных матриц размерности $N \times N$ без сохранения исходных матриц. Вычисление производится по стандартной программе обращения квадратных матриц, имеющейся в библиотеке транслятора. В некоторых стандартных программах обращения матрицы для оценки её вырожденности используется параметр *EPS*, поэтому он введен в список формальных параметров.

Программа расчета устойчивости (см. блок-схему на черт. 1), кроме описаний процедур, включает описание идентификаторов, заданных системе (1) согласно таблице. Результат счета выводится на печать ЦМ в виде строки "система устойчива" или "система неустойчива".

Изм. №	Подпис. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
748	10.07.74			

3. ПОДГОТОВКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ЦММ М-220, М-222

3.1. В программе используются следующие операторы (обозначения даны для транслятора системы ТА-1М):

- ввода [P0042 (...)];
- печати десятичных чисел [P1041 (...)];
- обращения квадратных матриц [P0037 (...)];
- печати строки [P0165 (...)].

3.2. При использовании другого типа транслятора эти операторы должны быть изменены на соответствующие.

3.3. Уравнения, описывающие систему регулирования, приводятся к виду (I), например, введением дополнительных переменных путем замены производных координат выше первого порядка. Приведение системы уравнений к нормальному виду не требуется.

3.4. Комплект числовых массивов с контрольными суммами составляется в следующем порядке: $N, M, T, A, B, C, D, AM, BM, CM, DM$.

3.5. После трансляции программы (время трансляции на ЦММ М-222 ~ 4 мин) автоматически вводятся массивы и передается управление на счет.

3.6. В начале программы осуществляется печать исходных данных в порядке, соответствующем вводу массивов.

3.7. В конце счета печатается результат оценки устойчивости системы. Для оценки устойчивости системы регулирования, описываемой системой уравнений четырнадцатого порядка ($N+M=14$), требуется ориентировочно 1 мин. работы ЦММ М-222.

Инв. № подл.	Подпись и дата
748	4/10.07.74
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подпись и дата	

4. программа расчета устойчивости для ЦВМ М-220, М-222.

```

BEGIN INTEGER N,M;
-----
P0042(N,M);
P1041(N,M);
-----
BEGIN ARRAY A,B,C[1:N,1:M],D[1:N,1:M],AM,CM[1:M,1:N],
-----
EM,OM[1:M,1:M];
REAL T;
-----
PROCEDURE MATR(A,B,C,N);VALUE N;INTEGER N;ARRAY A,B,C;
-----
BEGIN INTEGER I,J,K;ARRAY D[1:N,1:M];
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL MDO
-----
BEGIN D[I,J]:=0;FOR K:=1STEP 1UNTIL NDO
D[I,J]:=D[I,J]+A[I,K]*B[K,J]END ;
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP
-----
1UNTIL MDO C[I,J]:=D[I,J];
END MATR;
-----
PROCEDURE MATRIXINVERT(N,EPS,A);INTEGER N;REAL EPS;ARRAY A;
-----
BEGIN ARRAY B,C[1:N+2];P0037(A,B,C)END ;
PROCEDURE MATREXP(A,B,C,T,N);
-----
ARRAY A,B,C;REAL T;INTEGER N;
BEGIN ARRAY D[1:N,1:M];INTEGER I,J,K,L;
T:=T/1024;
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL MDO BEGIN
D[I,J]:=A[I,J]*T;
IF I=JTHEN B[I,J]:=TELSE B[I,J]:=0;
C[I,J]:=B[I,J]END ;
L:=1;
FOR K:=2STEP 1UNTIL 6DO BEGIN
MATR(B,D,B,N);L:=L*K;
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL MDO
C[I,J]:=C[I,J]+B[I,J]/L;END ;
MATR(A,C,B,N);

```

Подпись и дата

И.И. Н. Б.И.И.

Согласно

Подпись и дата

И.И. Н. Б.И.И.

19.07.74

746

```

FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO B[I,1]:=B[I,1]+1;
FOR K:=1STEP 1UNTIL 1000
BEGIN
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO
IF 1=0
THEN D[I,J]:=B[I,J]+1
ELSE D[I,J]:=B[I,J];
MATR(C,D,C,N);
MATR(B,B,B,N);
END ;
T:=T+1024;
END MATREXP;
PROCEDURE ST(T,A,B,C,D,AM,BM,CM,DM,S,N,M);
REAL T;INTEGER N,M;ARRAY A,B,C,D,AM,BM,CM,DM,S;
BEGIN INTEGER I,J,K,L;REAL EPS;EPS:=10-10;
BEGIN ARRAY Q,M10,L10[1:N,1:N];
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO Q[I,J]:=A[I,J];
MATRIXINVERT(N,EPS,Q);MATR(Q,B,S,N);
MATREXP(S,M10,L10,T,N);MATR(L10,Q,Q,N);MATR(Q,C,S,N);
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO
S[I,J]:=S[I,J]+M10[I,J];
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL MDO
BEGIN S[I,N+J]:=0;FOR K:=1STEP 1UNTIL NDO
S[I,N+J]:=S[I,N+J]+Q[I,K]*D[K,J]END ;END ;
BEGIN ARRAY R[1:M,1:M],CMDM[1:M,1:M+M1];
FOR I:=1STEP 1UNTIL MDO BEGIN FOR J:=1STEP 1UNTIL MDO BEGIN
R[I,J]:=BM[I,J];CMDM[I,N+J]:=DM[I,J]END ;
FOR K:=1STEP 1UNTIL NDO CMDM[I,K]:=CM[I,K]END ;
MATRIXINVERT(M,EPS,R);
FOR I:=1STEP 1UNTIL MDO FOR J:=1STEP 1UNTIL N+MDO

```

Подписан у. Барна

Инб. N 748

Взам. инб. N

Подписан у. Барна

Инб. N 748

10. 10.07.74

```

BEGIN SIN+1;J1:=0;
FOR K:=1STEP 1UNTIL MDO BEGIN FOR L:=1STEP 1UNTIL NDO
SIN+1,J1:=SIN+1,J1-REL,K7*AMCK,L1*SEL,ST;
SIN+1,J1:=SIN+1,J1+REL,K1*CMCK,K,JIEND ; END END END ST;
BOOLEAN PROCEDURE KPVCT(T,A,B,C,D,AM,BM,CM,DM,N,M);
REAL T;
INTEGER N,M;
ARRAY A,B,C,D,AM,BM,CM,DM;
COMMENT
.....KPVCT = TRUE - ЕСЛИ СИСТЕМА УСТОЙЧИВАЯ
.....KPVCT = FALSE - ЕСЛИ СИСТЕМА НЕУСТОЙЧИВАЯ;
BEGIN
REAL NORMA,СРЕД;
INTEGER I,J,K;
ARRAY S(1:N+M,1:N+M);
K:=1;
ST(T,A,B,C,D,AM,BM,CM,DM,S,N,M);
M1:
NORMA:=СРЕД:=0;
FOR I:=1STEP 1UNTIL N+MDO
FOR J:=1STEP 1UNTIL N+MDO
IF ABS(S(I,J))>NORMA THEN NORMA:=ABS(S(I,J));
IF NORMA<1/(N+M) THEN
BEGIN KPVCT:=TRUE ;GOTO M2END ;
FOR I:=1STEP 1UNTIL N+MDO
СРЕД:=СРЕД+S(I,I);
IF ABS(СРЕД)>N+M OR K>25 THEN
BEGIN KPVCT:=FALSE ;GOTO M2END ;
K:=K+1;
MATR(S,S,S,N+M);

```

Подпись и дата
 Инв. № 010
 Подпись и дата
 10.07.74
 Инв. № 010

GOTO M1;

M2:

END КРУСТ;

P0049(T, A, B, C, D, AM, BM, CM, DM);

P1041(T, A, B, C, D, AM, BM, CM, DM);

IF КРУСТ(T, A, B, C, D, AM, BM, CM, DM, N, M) = TRUE THEN

P0165(1, '++ СИСТЕМА УСТОЙЧИВА//хх');

ELSE

P0165(1, '++ СИСТЕМА НЕУСТОЙЧИВА//хх');

END ;

END ;

Инв. №подл.	Подпись и дата
748	10.07.94
Взят инв. №	Инв. № выд.
Подпись и дата	Подпись и дата

5. ПОДГОТОВКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТОВ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ЦМ БЭСМ-6

5.1. В программе используются следующие операторы (обозначения даны для транслятора системы БЭСМ (6) — АЛГОЛ):

- ввода $[INPUT (...)]$;
- вывода числовых значений и текста $[OUTPUT (...)]$;
- обращение квадратных матриц $[MATRIXINVERT (...)]$.

5.2. При использовании другого типа транслятора обозначения операторов должны быть соответственно изменены.

5.3. Система уравнений приводится к формуле (I) простым введением дополнительных переменных путем замены производных координат выше первого порядка. Приведение системы уравнений к нормальному виду не требуется.

5.4. Комплект числовых массивов составляется в следующем порядке: $N, M, T, A, B, C, D, AM, BM, CM, DM$.

5.5. В начале работы программой осуществляется печать исходных данных в порядке, соответствующем вводу массивов. В конце счета печатается результат оценки устойчивости системы.

Инд. № подл.	Подпись и дата
748	10.07.74
Взам. инв. № инв.	№ дубл.
Подпись и дата	

6. Программа расчета устойчивости на ЦВМ БЭСМ-6

```

BMS : MATRIXINVERT, MATRIXPERM;
BEGIN INTEGER N, M;
INPUT(N, M);
OUTPUT('E', N, M, '/');
BEGIN ARRAY A, B, C[1:N, 1:N], D[1:N, 1:M], AM, CM[1:M, 1:N],
      BM, DM[1:M, 1:M];
REAL T;
PROCEDURE MATR(A, B, C, N); VALUE N; INTEGER N; ARRAY A, B, C;
BEGIN INTEGER I, J, K; ARRAY D[1:N, 1:N];
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO
BEGIN D[I, J]:=0; FOR K:=1STEP 1UNTIL NDO
D[I, J]:=D[I, J]+A[I, K]*B[K, J]END ;
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP
1UNTIL NDO C[I, J]:=D[I, J];
END MATR;
PROCEDURE MATREXP(A, B, C, T, N);
ARRAY A, B, C; REAL T; INTEGER N;
BEGIN ARRAY D[1:N, 1:N]; INTEGER I, J, K, L;
T:=T/1024;
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO BEGIN
D[I, J]:=A[I, J]*T;
IF I=J THEN B[I, J]:=T ELSE B[I, J]:=0;
C[I, J]:=B[I, J]; END ;
L:=1;
FOR K:=2STEP 1UNTIL 600 BEGIN
MATR(B, D, B, N); L:=L*K;
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO
C[I, J]:=C[I, J]+B[I, J]/L; END ;
MATR(A, C, B, N);
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO B[I, I]:=B[I, I]+1;

```

Подпись и дата

Имя, И. В. В. В.

Всего, Имя, И. В. В.

Подпись и дата

Имя, И. В. В.

748 10.07.74

```

FOR K:=1STEP 1UNTIL 1DO
BEGIN
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO
IF I=J
THEN D[I,J]:=B[I,J]+1;
ELSE D[I,J]:=B[I,J];
MATR(C,D,C,N);
MATR(B,B,S,N);
END ;
T:=T+1024;
END MATREXP;
PROCEDURE ST(T,A,S,C,D,AM,BM,CM,DM,S,N,M);
REAL T; INTEGER N,M; ARRAY A,B,C,D,AM,BM,CM,DM,S;
BEGIN INTEGER I,J,K,L; REAL EPS; EPS:=10-10;
BEGIN ARRAY Q,M10,L10[1:N,1:N];
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO Q[I,J]:=A[I,J];
MATRIXINVERT(N,EPS,Q); MATR(Q,B,S,N);
MATREXP(S,M10,L10,T,N); MATR(L10,Q,Q,N); MATR(Q,C,S,N);
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO
S[I,J]:=S[I,J]+M10[I,J];
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL MDO
BEGIN S[I,N+J]:=0; FOR K:=1STEP 1UNTIL NDO
S[I,N+J]:=S[I,N+J]+Q[I,K]*D[K,J]END ;END ;
BEGIN ARRAY R[1:M,1:M],CMDM[1:M,1:M+N];
FOR I:=1STEP 1UNTIL MDO BEGIN FOR J:=1STEP 1UNTIL MDO BEGIN
R[I,J]:=BM[I,J]; CMDM[I,N+J]:=DM[I,J]END ;
FOR K:=1STEP 1UNTIL NDO CMDM[I,K]:=CM[I,K]END ;
MATRIXINVERT(M,EPS,R);
FOR I:=1STEP 1UNTIL MDO FOR J:=1STEP 1UNTIL N+MDO
BEGIN SIN+I,J]:=0;

```

Подпись и дата
 № 748
 10.07.77
 Подпись и дата
 10.07.77
 Подпись и дата
 10.07.77


```

FOR K:=1STEP 1UNTIL MDO BEGIN FOR L:=1STEP 1UNTIL NDO
S[N+1,J]:=S[N+1,J]-R[I,K]*AM[K,L]*S[L,J];
S[N+1,J]:=S[N+1,J]+R[I,K]*CMDM[K,J]END ; END END END ST;
BOOLEAN PROCEDURE КРУСТ(T,A,B,C,D,AM,BM,CM,DM,N,M);
REAL T;
INTEGER N,M;
ARRAY A,B,C,D,AM,BM,CM,DM;
COMMENT
.....КРУСТ = TRUE - ЕСЛИ СИСТЕМА УСТОЙЧИВАЯ
.....КРУСТ = FALSE - ЕСЛИ СИСТЕМА НЕУСТОЙЧИВАЯ;
BEGIN
REAL НОРМА,СЛЕД;
INTEGER I,J,K;
ARRAY S[1:N+M,1:N+M];
K:=1;
ST(T,A,B,C,D,AM,BM,CM,DM,S,N,M);
M1:
НОРМА:=СЛЕД:=0;
FOR I:=1STEP 1UNTIL N+MDO
FOR J:=1STEP 1UNTIL N+MDO
IF ABS(S[I,J])>НОРМА THEN НОРМА:=ABS(S[I,J]);
IF НОРМА<1/(N+M) THEN
BEGIN КРУСТ:=TRUE ;GOTO M2END ;
FOR I:=1STEP 1UNTIL N+MDO
СЛЕД:=СЛЕД+S[I,I];
IF ABS(СЛЕД)>N+M OR K>25 THEN
BEGIN КРУСТ:=FALSE ;GOTO M2END ;
K:=K+1;
MATR(S,S,S,N+M);
GOTO M1;

```

Ид. № подл.	Подпись и дата	Ид. № подл.	Подпись и дата	Ид. № подл.	Подпись и дата
748	10.07.74				

M2:

END КРУСТ;

INPUT (T, A, B, C, D, AM, BM, CM, DM);

OUTPUT ('E', T, A, B, C, D, AM, BM, CM, DM, '/');

IF КРУСТ (T, A, B, C, D, AM, BM, CM, DM, N, M) = TRUE THEN

OUTPUT ('T', 'СИСТЕМА УСТОЙЧИВА');

ELSE

OUTPUT ('T', 'СИСТЕМА НЕУСТОЙЧИВА');

END ;

END ;

SIGNAL231:

Инв. и подл.	Подпись и дата	Взам. инв. и дата	Инс. и дата	Подпись и дата
748	10.07.74			

**ПРОГРАММА РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ НЕПРЕРЫВНЫХ
СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЦЕМ М-220, М-222, БЭСМ-6**

1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

1.1. Общая блок-схема программы изображена на черт. 1.

1.2. Алгоритм расчета реализуется в процедуре ЧЮК (A, B, C, N).

Процедуры $MATR(A, B, C, N)$, $MATRIXINVERT(N, EPS, A)$ являются вспомогательными для процедуры ЧЮК и введены для удобства программирования.

2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕДУР

2.1. Процедура ЧЮК (A, B, C, N).

Блок-схема процедуры ЧЮК изображена на черт. 2. Процедура ЧЮК по приведенным формулам (18) + (20) определяет число положительных корней и при 25-кратном повторении цикла.

2.2. Процедура $MATR(A, B, C, N)$ вычисляет произведение квадратных матриц A и B размерности $N \times N$ и результат пересылает в массив C . Допускается обращение вида $MATR(A, A, A, N)$.

2.3. Процедура $MATRIXINVERT(N, EPS, A)$ выполняет обращение квадратных матриц размерности $N \times N$ без сохранения исходных матриц. Вычисление производится по стандартной программе обращения квадратных матриц, имеющейся в библиотеке транслятора. Так как в некоторых стандартных программах обращения матрицы для оценки ее вырожденности используется параметр ϵ , EPS введен в список формальных параметров.

Подпись и дата

Имя, инициалы, № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Имя, инициалы, № подл.

10.07.74

748

2.4. Программа, кроме описаний процедур ЧЮК, *MATR* и *MATRIXINVERT*, включает описание идентификаторов, задающих систему (I7) согласно таблице. Результат счета - значение идентификатора процедуры функции ЧЮК (A, B, C, N) выводится на печать.

3. ПОДГОТОВКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ НЕПРЕРЫВНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ЦЕМ М-220, М-222

3.1. В программе используются следующие операторы (обозначения даны для транслятора TA-IM):

- ввода $[P0042 (...)]$;
- печати десятичных чисел $[P1041 (...)]$;
- обращения квадратных матриц $[P0037 (...)]$.

При использовании другого типа транслятора эти операторы должны быть изменены на соответствующие.

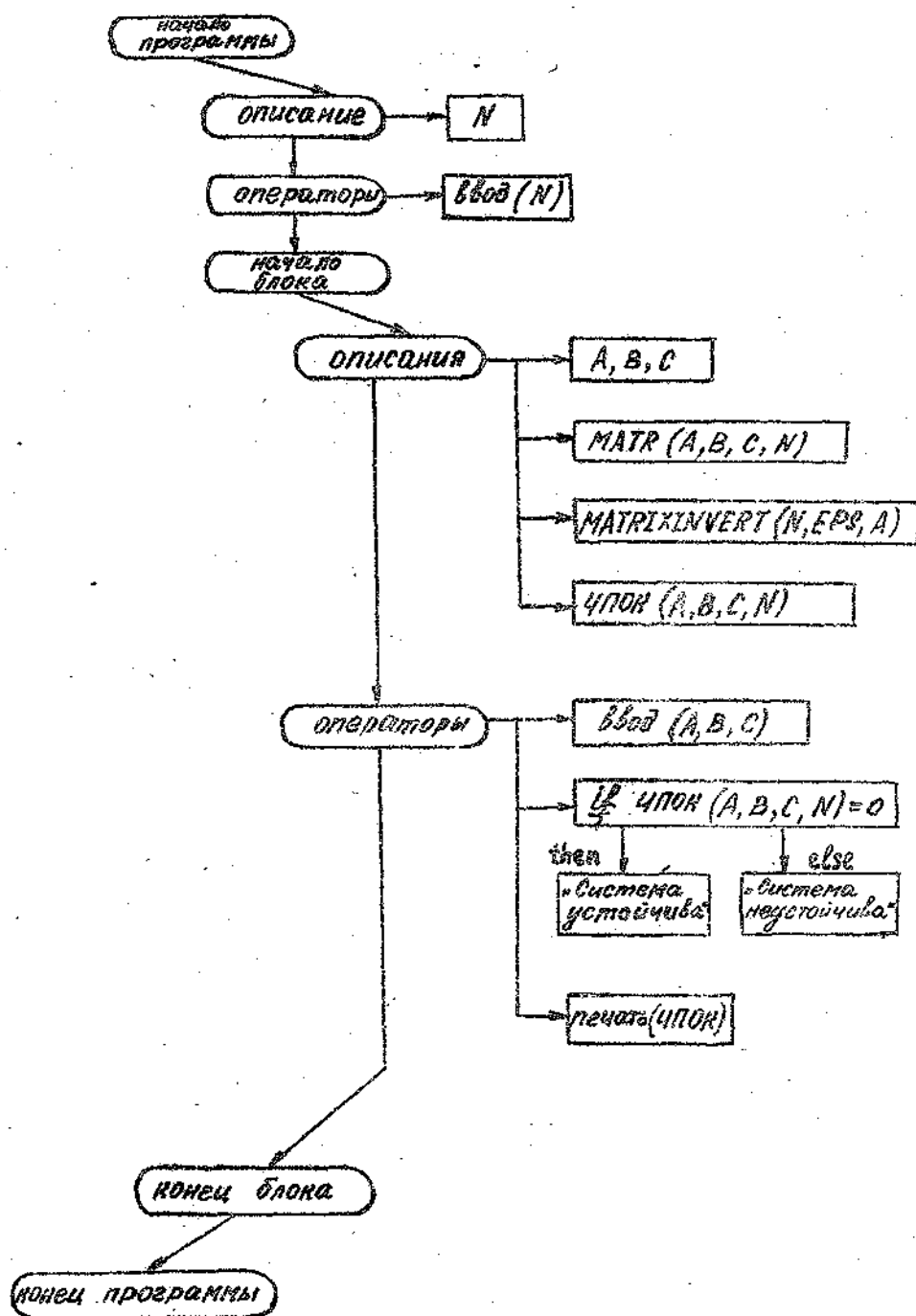
Система уравнений, описывающая предел регулирования, приводится к форме (I7).

Комплект числовых данных с контрольными суммами составляется в следующем порядке: N, A, B, C .

В конце счета печатается число положительных корней. Время счета для системы двенадцатого порядка ($2 \cdot N = 12$) на ЦЕМ М-222 составляет 10 сек.

Изм. № по:	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
748	4/12, 10.07.74			

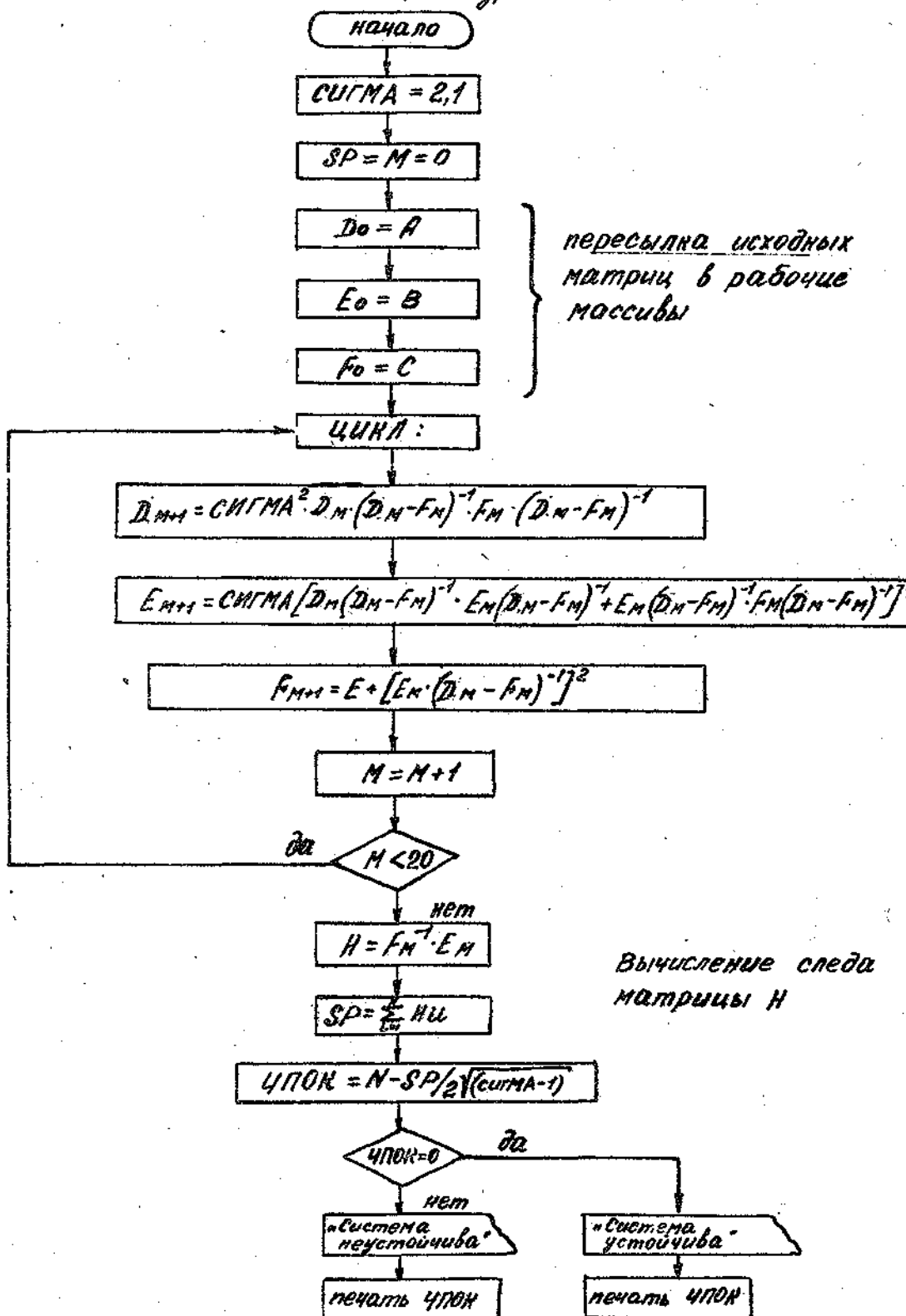
Схема программы определения
числа корней уравнения $\det \|AP^2 + BP + C\| = 0$
с положительными действительными
частями



Черт. 1

Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Интв. № дубл.	Подпись и дата
748	10.07.74			

Блок-схема процедуры ЧПОК



Черт. 2

Илр. №, по-я. 748
 Подпись и дата 10.10.74
 Взам. инв. №
 Илр. № дубл.
 Подпись и дата

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
748	10.07.74			

Описание комплекта числовой информации
и программе определения нормей с
положительной действительной частью

Идентификатор	Описание	Размерность массива	Совместимость с обозначение проекти стандарта	Примечание
N	integer	-	n	Количество дифференциальных уравнений второго порядка Матрицы коэффициентов системы уравнений $A\ddot{x} + B\dot{x} + Cx = 0$
A	array	[1:N, 1:N]	A	
B	array	[1:N, 1:N]	B	
C	array	[1:N, 1:N]	C	

4. Программа расчета устойчивости непрерывной системы регулирования для ЦВМ М-220, М-222

```

BEGIN INTEGER N; P0042(N); P1041(N);
BEGIN ARRAY A, B, C[1:N, 1:N];
PROCEDURE MATR(A, B, C, N); VALUE N; INTEGER N; ARRAY A, B, C;
BEGIN INTEGER I, J, K; ARRAY D[1:N, 1:N];
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO
BEGIN D[I, J]:=0; FOR K:=1STEP 1UNTIL NDO
D[I, J]:=D[I, J]+A[I, K]*B[K, J]END ;
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO C[I, J]:=D[I, J];
END MATR;
PROCEDURE MATRIXINVERT(N, EPS, A); INTEGER N; REAL EPS; ARRAY A;
BEGIN ARRAY B, C[1:N+2]; P0037(A, B, C)END ;
REAL PROCEDURE ЧПОК(A, B, C, N); INTEGER N; ARRAY A, B, C;
BEGIN
COMMENT ЧПОК = Ч (ИСЛО) ПО (ЛОЖИТЕЛЬНЫХ) К (ОРНЕЙ) ;
ARRAY D, E, F, G, H[1:N, 1:N];
REAL SP, СИГМА, EPS;
INTEGER I, J, M;
СИГМА:=2, 1;
M:=SP:=0;
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO BEGIN
D[I, J]:=A[I, J]; E[I, J]:=B[I, J]; F[I, J]:=C[I, J];END ;
ЦИКЛ: FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO
G[I, J]:=D[I, J]-F[I, J]; MATRIXINVERT(N, EPS, G); MATR(D, G, D, N);
MATR(E, G, E, N); MATR(F, G, F, N); MATR(D, F, G, N); MATR(E, F, N, N);
MATR(D, E, D, N); MATR(E, E, F, N);
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO
E[I, J]:=D[I, J]+H[I, J]; FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO BEGIN
F[I, I]:=F[I, I]+1; FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO BEGIN

```

Подпись и дата

Имя, № дубл.

Имя, № дубл.

Подпись и дата

Имя, № подл.

14.07.79


```

D[I, J] := G[I, J] * СИГМА^2;
E[I, J] := E[I, J] * СИГМА;
END END ;
M := M + 1; IF M < 20 THEN GO TO ЦИКЛ; MATRIXINVERT(N, EPS, F);
MATR(F, E, M, N); FOR I := 1 STEP 1 UNTIL N DO SP := SP + H[I, 1];
ЧПОК := N - SP / (2 * SQRT(СИГМА - 1));
END ЧПОК;
P0042(A, B, C); P1041(A, B, C);
P1041(ЧПОК(A, B, C, N));
END ; END ;

```

Инв. № подл. 748	Подпись и дата 10.07.74	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
---------------------	----------------------------	--------------	--------------	----------------

5. ПОДГОТОВКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ЦЕМ БЭСМ-6

5.1. В программе используются следующие операторы (обозначения даны для транслятора системы БЭСМ (6) - АЛГОЛ):

- ввода $[INPUT (...)]$;
- вывода числовых значений $[OUTPUT (...)]$
- обращение квадратных матриц $[MATRIXINVERT (...)]$.

При использовании другого типа транслятора эти операторы должны быть изменены на соответствующие. Система уравнений, описывающая процесс регулирования, приводится к форме (17).

Комплект числовых данных составляется в следующем порядке:

N, A, B, C .

В начале работы программы осуществляется печать исходных данных в порядке, соответствующем вводу массивов.

В конце счета печатается число положительных корней.

Инв. № подл. 748	Подпись и дата 12.07.74	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
---------------------	----------------------------	--------------	--------------	----------------

*6. Программа расчета устойчивости непрерывной системы
регулирования для БЭСМ-6*

```

БИБ :MATRIXINVERT,MATRIXPERM;
BEGIN INTEGER N;INPUT(N);OUTPUT('E',N,'/');
BEGIN ARRAY A,B,C[1:N,1:N];
PROCEDURE MATR(A,B,C,N);VALUE N;INTEGER N;ARRAY A,B,C;
BEGIN INTEGER I,J,K;ARRAY D[1:N,1:N];
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO
BEGIN D[I,J]:=0;FOR K:=1STEP 1UNTIL NDO
D[I,J]:=D[I,J]+A[I,K]*B[K,J]END
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO C[I,J]:=D[I,J];
END MATR;
REAL PROCEDURE ЧОКК(A,B,C,N);INTEGER N;ARRAY A,B,C;
BEGIN
COMMENT ЧОКК = Ч(ИСЛО) ПО(ЛОЖИТЕЛЬНЫХ) К(ОРНЕЙ) ;
ARRAY D,E,F,G,H[1:N,1:N];
REAL SP,СИГМА,EPS;
INTEGER I,J,M;
EPS:=10-10;
СИГМА:=2.1;
M:=SP:=0;
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO BEGIN
D[I,J]:=A[I,J];E[I,J]:=B[I,J];F[I,J]:=C[I,J];END ;
ЦИКА:FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO
G[I,J]:=D[I,J]-F[I,J];MATRIXINVERT(N,EPS,G);MATR(D,G,D,N);
MATR(E,G,E,N);MATR(F,G,F,N);MATR(D,F,G,N);MATR(E,F,H,N);
MATR(D,E,D,N);MATR(E,E,F,N);
FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO
E[I,J]:=D[I,J]+H[I,J];FOR I:=1STEP 1UNTIL NDO BEGIN
F[I,I]:=F[I,I]+1;FOR J:=1STEP 1UNTIL NDO BEGIN
D[I,J]:=G[I,J]*СИГМА+2;
E[I,J]:=E[I,J]*СИГМА;

```

Подпись и дата

Инд. № 748

Взам. инд. №

Подпись и дата

Инд. № 748

10.07.74

```

END END ;
M:=M+1; IF M<20 THEN GOTO ЦИКЛ: MATRIXINVERT(N, EPS, F);
MATR(F, E, M, N); FOR I:=1 STEP 1 UNTIL N DO SP:=SP+M*I, 1;
ЧПОК:=N-SP/(2*SQRT(СИГМА-1));
END ЧПОК;
INPUT(A, B, C);
OUTPUT('E', A, B, C, '/');
OUTPUT('T', 'M=', 'E', ЧПОК(A, B, C, N));
END ;END ;
SIGNAL231:

```

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
748	10.07.74			

Лист регистрации изменений

Стр. 36

Изм.	Номера страниц				Всего страниц в докум.	№ докум.	Исходящий № сопроводительного докум. и дата	Подпись	Дата
	измененных	замененных	новых	изъятых					
1	стр. 1	—	—	—	36	851.36-78		<i>Д. В. В.</i>	23/5/78

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
748	<i>Д. В. В.</i> 10.07.74			

СО Д Е Р Ж А Н И Е

1. Расчет устойчивости линейных систем регулирования	2
2. Расчет устойчивости непрерывных систем регулирования	6
3. Приложение 1. Программа расчета устойчивости систем с использованием ЦММ М-220, М-222, БЭСМ-6	8
4. Приложение 2. Программа расчета устойчивости непрерывных систем регулирования с использованием ЦММ М -220, М-222, БЭСМ-6	26

Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изм. №	Подпись и дата
748	10.07.74			