



**ИНСТИТУТ  
ГОРНОГО ДЕЛА**

**ИМЕНИ**

**А. А. Скочинского**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ИССЛЕДОВАНИЮ  
И ПРОЕКТИРОВАНИЮ С И С Т Е М  
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
УГЛЕДОБЫВАЮЩИМИ МАШИНАМИ  
С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПРИВОДАМИ  
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ РЕЗАНИЯ  
И МЕХАНИЗМОВ ПОДАЧИ**

**МОСКВА**

**1985**

Министерство угольной промышленности СССР  
Академия наук СССР  
Ордена Октябрьской Революции  
и ордена Трудового Красного Знамени  
Институт горного дела им. А. А. Скочинского

---

Утверждены  
заместителем директора  
института  
Ю. Л. Худиным  
14 декабря 1983 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ИССЛЕДОВАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ  
СИСТЕМ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
УГЛЕДОБЫВАЮЩИМИ МАШИНАМИ  
С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПРИВОДАМИ  
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ РЕЗАНИЯ  
И МЕХАНИЗМОВ ПОДАЧИ



Москва  
1985

Методические рекомендации по исследованию и проектированию систем автоматического управления угледобывающими машинами с регулируемым приводом исполнительных органов резания и механизмов подачи разработаны отделом электропривода ИГД им. А. А. Скочинского совместно с кафедрой автоматизации производственных процессов Карагандинского политехнического института. В них приведены алгоритмы расчета мощности электродвигателя исполнительного органа резания и выбора передаточного отношения для редуктора резания, а также математические модели угледобывающих машин, элементов систем управления ими и программные средства, позволяющие решить задачи анализа динамических процессов, происходящих в конструктивных элементах машины, привода и системы управления.

Методические рекомендации разработали инж. Н. И. Пименов (ИГД им. А. А. Скочинского, разделы 1-4) и инж. Б. Н. Фешин (КарПИИ, разделы 5-8, приложения) под научным руководством канд. техн. наук Э. Г. Крауса.

Рекомендации предназначены сотрудникам проектно-конструкторских и научно-исследовательских институтов, проектирующим угледобывающие механизированные комплексы и системы управления ими.

---

---

В методических рекомендациях на основе принципов системного подхода к вопросам разработки объектов и систем управления ими предлагается итерационная процедура расчета конструктивных параметров, статических и динамических характеристик угледобывающих машин (УМ) с управляемыми приводами исполнительных органов резания и механизмов подачи.

Рекомендуется при проектировании УМ и системы управления ею осуществлять следующие этапы:

выбор основных параметров исполнительных органов резания [1];

выбор спектров эксплуатационной нагруженности трансмиссий [2];

расчет мощности электродвигателей постоянного тока для привода исполнительных органов УМ;

формирование математических моделей УМ;

имитационное моделирование УМ на ЭВМ при вариации конструктивных параметров машины и внешних возмущений;

анализ статических и динамических характеристик УМ, полученных в результате имитационного моделирования, и анализ моделей УМ как объектов управления;

формирование критериев качества, функциональных схем и математических моделей систем автоматического управления (САУ) УМ с фиксированной структурой управляющих устройств;

оптимизация и анализ конструктивных параметров, статических и динамических характеристик УМ и САУ УМ;

принятие решений о приемлемости параметров УМ или о необходимости их корректировки.

## 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Определение статических нагрузок привода УМ необходимо для выбора электродвигателей, проверки их по нагреву, расчета рационального передаточного отношения и надежностных параметров машины [3,4]. В существующих руководящих материалах [5] даны рас-

четы УМ только с неуправляемыми электроприводами исполнительных органов резания. Однако к настоящему времени выполнено значительное количество работ [3, 4, 6, 7] по исследованию процессов формирования нагрузок на исполнительном органе резания УМ с управляемыми электроприводами.

Результаты этих работ использованы при разработке методических рекомендаций по выбору параметров регулируемых электродвигателей УМ со шнековым исполнительным органом.

1.2. В рекомендациях при выборе проектировочного расчетного режима работы УМ исходим из условий обеспечения наибольшей производительности УМ и уменьшения удельных энергозатрат на отделение угля от массива исполнительным органом резания. При этом достигается лучшая сортность отбитого угля и минимальное пылеобразование. Теоретически выполнение исходного условия осуществимо при полном использовании установочной мощности электродвигателя резания [8] и постоянной оптимальной толщине стружки  $h_{opt}$  во всем диапазоне предполагаемых изменений статических нагрузок. Значение  $h_{opt}$  (табл. I) принимается в зависимости от мощности разрабатываемого пласта и конструктивных особенностей исполнительного органа резания [9].

Т а б л и ц а I

Мощность пласта, м	Диапазон изменения максимальной толщины стружки, см
0,8...1,0	4,5...6,3
1,0...1,6	5,5...7,7
2,0...3,5	6,3...9,0

Спротивляемость угля резанию  $A$ , характеризующая способность углей противостоять механическим воздействиям, возникающим при резании, является случайной нормально распределенной величиной по длине лавы  $L$  [2, 7, 10].

На рис. I изображены относительные зависимости линейных скоростей резания  $\bar{V}_p$  и подачи  $\bar{V}_n$  УМ при работе с постоянными мощностью двигателя резания  $P_{дв.p}$  и толщиной стружки  $h_{opt}$  от относительной длины лавы  $\bar{L}$  с упорядоченной сопротивляемостью угля резанию  $A$  (ось  $A/A_{max}$ ). Для этой лавы отношение  $\lambda = A_{min}/A_{max} = 4$ , где  $A_{min}$ ,  $A_{max}$  — соответственно минимальное и максимальное

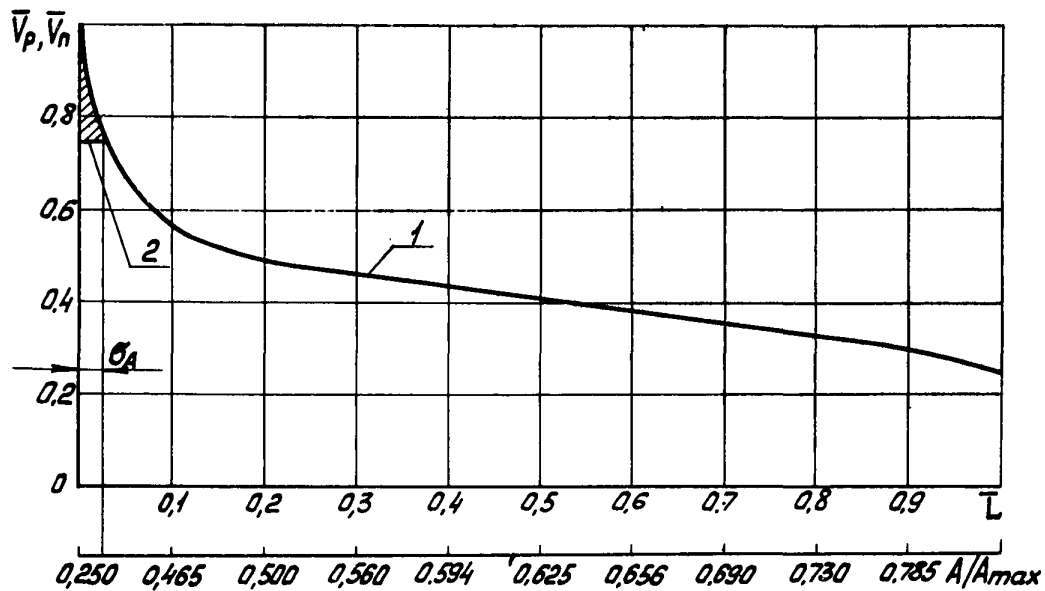


Рис.1. Скоростные характеристики УМ в лаге: 1 - теоретическая при  $P_{дв} = const$ ,  $\eta_{онт} = const$ ; 2 - расчетная проектировочная при работе на участке  $A_{min} + \sigma_A$  с  $V_p = const$ ;  $\eta_{онт} = const$

значения  $A$ . Особенностью подобных скоростных характеристик в лавах с другим отношением  $\lambda$  является резкое увеличение  $\bar{V}_p$  и  $\bar{V}_n$  в зоне малых нагрузок соответствующих  $A$ , изменяющимся в диапазоне  $A_{min} \dots A_{min} + \sigma_A$ , где  $\sigma_A$  — среднеквадратичное отклонение  $A$  от его математического ожидания. Расчеты показывают, что при работе с постоянными скоростями резания и подачи в зоне малых нагрузок недоиспользование установочной мощности двигателя (заштрихованная зона на рис. 1) составляет  $1 \dots 1,5\%$ , а диапазон регулирования скорости двигателя уменьшается в  $1,2 \dots 1,3$  раза вверх от номинальной, что существенно влияет на упрощение конструкции редукторов исполнительных органов резания и увеличивает надежность работы двигателя.

С учетом изложенного и существующих ограничений максимальной допустимой скорости резания  $V_{p, max\ доп}$  за проектировочный расчетный режим работы УМ, который должен выполнять управляемый электропривод, принимается:  $V_{p, max\ расч} = const, P_{дв, p} = var, \eta_{онт} = const$  на участке лавы с  $A$ , изменяющимся в диапазоне  $A_{min} \dots A_n$ ;  $P_{дв, p} = const, \eta_{онт} = const, V_p = var$  на участке лавы с  $A$ , изменяющимся в диапазоне  $A_n \dots A_{max}$ , где  $A_n$  — проектировочное значение сопротивляемости угля резанию в условиях разрабатываемого пласта.

На рис. 2 изображены возможные проектировочные скоростные характеристики УМ при различных значениях заданной суточной производительности  $Q_{сут}$ . Кривая 1 представляет собой скоростную характеристику УМ при принятом расчетном режиме работы с предельной производительностью  $Q_{пред}$ . Увеличение заданной производительности  $Q_{сут} > Q_{пред}$  (кривая 3 на рис. 2) влечет за собой невыполнение принятого проектировочного расчетного режима, так как в этом случае недоиспользуется установочная мощность двигателя. При  $Q_{сут} > Q_{пред}$  точка  $\Pi_1$  перемещается в точку  $\Pi_3$ , в пределе точка  $\Pi_3$  будет иметь координаты  $\{V_{p, max\ доп}, A_{max}\}$ . Этому будет соответствовать значение  $A_n = A_{max}$ , и тогда для проектировочного расчетного режима регулирование скорости резания теряет смысл.

Определение координат точки  $\Pi_3$  при соответствующих значениях  $Q_{сут}$  приводится в разделе 3 данных рекомендаций.

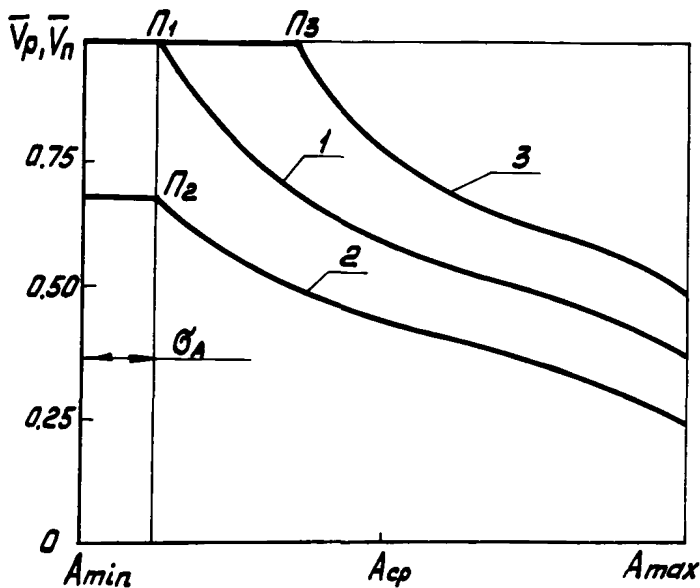


Рис. 2. Проектировочные скоростные характеристики УМ при заданной производительности: 1 -  $Q_{сут} = Q_{пред}$  ; 2 -  $Q_{сут} < Q_{пред}$  ; 3 -  $Q_{сут} > Q_{пред}$

## 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ, ОГРАНИЧЕНИЯ И ДОПУЩЕНИЯ

При выборе параметров электродвигателей исполнительного органа резания УМ с управляемыми приводами используют данные, приведенные в табл.2.

Таблица 2

Наименование данных	Обозначение	Единица измерения	Примечание
I	2	3	4
Мощность разрабатываемых пластов:			
максимальная	$H_{max}$	м	
минимальная	$H_{min}$	м	



Продолжение табл.2

1	2	3	4
Диаметр шнека исполнительного органа	$D_{ш}$	м	
Сопrotивляемость угля резанию, средняя	$A_{ср}$	Н/м	Указываются крупкоастические свойства разрабатываемого угольного пласта: крупность, вязкость...
Производительность УМ, суточная	$Q_{сут}$	т/сут	
Максимально допустимая скорость резания	$V_{р. max доп}$	м/с	Обусловливается требованиями техники безопасности ведения очистных работ
Ширина захвата	$B$	м	
Плотность угля	$\gamma$	т/м <sup>3</sup>	
Кoэффициент полезного действия редуктора исполнительного органа резания	$\eta_{р.р}$		
Кoэффициент машинного времени	$K_M$		
Число добычных смен	$m_{д}$		
Продолжительность добычной смены	$T_c$	с(мин)	

2.1. По заданной мощности пластов  $H_{max}$  и  $H_{min}$  определяется количество типоразмеров УМ. Расчетная мощность пласта находится по формуле

$$H_p = \frac{H_{max} - H_{min}}{2}.$$

2.2. Основной характеристикой изменчивости статической нагрузки на валу исполнительного органа резания является распределение  $A$  по длине лавы. За расчетную модель лавы принята лава с нормальным законом распределения  $A$  [9,10]. На рис.3 приведены зависимости  $A_{max}$  и  $A_{min}$  от средней сопротивляемости угля резанию  $A_{ср}$  для наиболее часто встречающихся случаев.

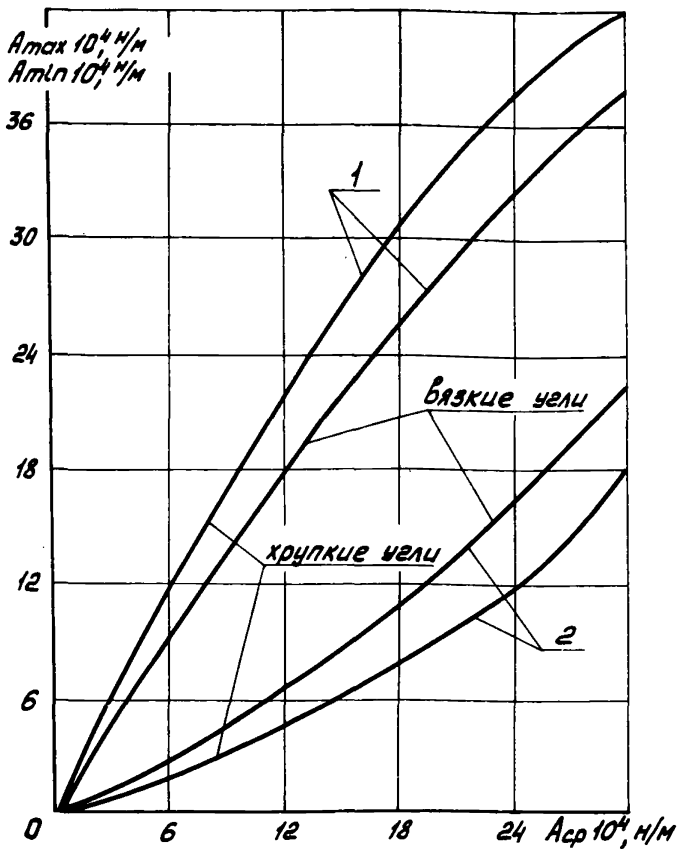


Рис. 3. Зависимость вероятных значений максимальной (1) и минимальной (2) сопротивляемости углю резания от их средних значений

### 3. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА РЕЗАНИЯ

3.1. Средняя расчетная мощность электродвигателя  $P_{дв.р}$  (кВт) составляет

$$P_{дв.р} = P_p + P_{погр} ,$$

где  $P_p$  - мощность, необходимая для резания угля, кВт;

$P_{погр}$  - мощность, необходимая для погрузки угля исполнительным органом, кВт.

3.1.1. Расчетная мощность  $P_p$  определяется по формуле

$$P_p = \frac{F_{A_n} \cdot V_{p, \max \text{ расч}}}{100 \eta_{p,p}},$$

где  $F_{A_n}$  - средняя сила резания на исполнительном органе УМ при  $A = A_{n_1}$ , Н/м;

$V_{p, \max \text{ расч}}$  - максимальная расчетная скорость резания, м/с.

Значение  $\eta_{p,p}$  при расчете принимается не менее 0,8.

3.1.2. Среднюю силу резания  $F_{A_n}$  находят по формуле

$$F_{A_n} = F_{A_{cp}} \frac{A_n}{A_{cp}},$$

где  $F_{A_{cp}}$  - средняя сила резания при  $A = A_{cp}$ , Н [I].

3.1.3. Мощность  $P_{погр}$  рассчитывается по уравнению

$$P_{погр} = \frac{F_{погр} V_{p, \max \text{ расч}}}{1000},$$

где  $F_{погр}$  - сопротивляемость угля погрузке, вычисляемая по эмпирическому выражению, Н [I].

3.2. Проектировочное значение  $A_n$  рассчитывают, исходя из заданной производительности УМ в такой последовательности.

3.2.1. Вычисляют среднюю скорость подачи УМ  $V_{п, ср}$ , м/с:

$$V_{п, ср} = \frac{Q_{сут}}{K_M m_{\partial} T_c H_p B \gamma}.$$

3.2.2. Определяют максимальную расчетную скорость подачи УМ  $V_{п, \max \text{ расч}}$ , м/с:

$$V_{п, \max \text{ расч}} = \frac{V_{п, ср}}{V_{п, ср, отн}},$$

где  $V_{п, ср, отн}$  - средняя относительная скорость подачи УМ. Находится из зависимости  $V_{п, ср, отн} = f(A/A_{\max})$  (рис.4). Для рассматриваемого случая (кривые 1 и 2 на рис.2)  $V_{п, ср, отн}$  соответствует  $(A_{\min} + \phi_A) / A_{\max}$ .

3.2.3. Вычисляют максимальную расчетную скорость резания:

$$V_{p, \max \text{ расч}} = \frac{3,33 D_u V_{п, \max \text{ расч}}}{m_3 k_{cp}} \leq V_{p, \max \text{ доп}},$$

где  $h_{cp}$  - средняя толщина стружки, м:

$$h_{cp} = \frac{2h_{opt}}{\pi};$$

$m_z$  - количество резцов в линии резания,  $m_z = 1 \dots 3$ .

3.2.4. Если  $V_{p. max расч} \leq V_{p. max доп}$ , то  $A_n = A_{min} + \zeta_A$ .  
 При  $V_{p. max расч} > V_{p. max доп}$  принимается  $V_{p. max расч} = V_{p. max доп}$  с последующим перерасчетом  $V_{п. max расч}$  по приведенной выше формуле. Находят  $V_{п. ср. отн} = V_{п. ср} / V_{п. max расч}$ , а по графику  $V_{п. ср. отн} = f(A/A_{max})$  (см. рис. 4) значение  $A/A_{max}$ .

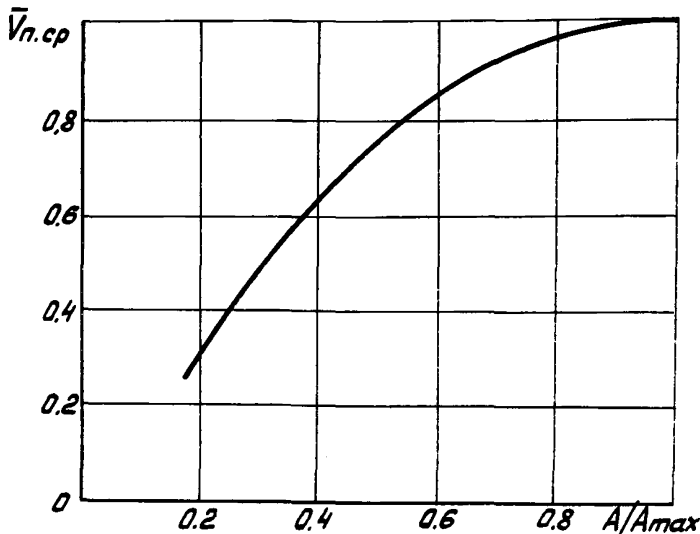


Рис. 4. Зависимость средней относительной скорости подачи УМ от отношения  $A/A_{max}$ .

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОГО ОТНОШЕНИЯ ДЛЯ РЕДУКТОРА РЕЗАНИЯ

4.1. Электродвигатель исполнительного органа резания выбирается по ГОСТу на ряды комбайновых электродвигателей с учетом условия  $P_{дв} \geq P_{дв.р}$  и рациональных для конструкции УМ соотношений габаритных размеров двигателя и редуктора резания, так как при одинаковой мощности габаритные размеры двигателя растут с умень-

шением номинальной скорости, но при этом снижается значение передаточного отношения редуктора, что приводит к уменьшению габаритных размеров последнего.

4.2. Передаточное отношение редуктора резания рассчитывается по формуле

$$i = \frac{M_{p. экв}}{M_{p. н}} K_1 K_2,$$

где  $M_{p. экв}$  - эквивалентный крутящий момент на валу исполнительного органа, Н·м;

$$M_{p. экв} = \sqrt{\left( \sum_{i=1}^n M_{p_i}^2 t_i \right) / \left( \sum_{i=1}^n t_i \right)},$$

$n$  - число рассматриваемых участков в диапазоне  $\{A_{min} \dots A_{max}\}$  изменения  $A$ , заданного его законом распределения по длине лавы;

$M_{p_i}$  - среднее значение крутящего момента на  $i$ -м участке:

$$M_{p_i} = \frac{M_{p_i min} + M_{p_i max}}{2},$$

$M_{p_i min}, M_{p_i max}$  - минимальный и максимальный крутящие моменты, соответственно при минимальной  $A_{min i}$  и максимальной  $A_{max i}$ ; сопротивляемостях угля резанию на  $i$ -м рассматриваемом участке;

$t_i$  - время действия момента  $M_{p_i}$  на  $i$ -м участке;

$M_{p. н}$  - номинальный крутящий момент принятого электродвигателя, Н·м;

$K_1$  - коэффициент, учитывающий изменение возможной тепловой нагрузки (момента) двигателя в зависимости от временных параметров режима работы привода: среднего значения продолжительности цикла и продолжительности включения ПВ%;

$K_2$  - коэффициент усиления нагрузки в двигателе по сравнению с нагрузками на исполнительном органе.

Значения коэффициента  $K$ , для выбранного двигателя принимаются по результатам экспериментальных исследований,  $K_2$  - по рекомендациям [2], а затем уточняются при математическом моделировании УМ на ЭВМ.

## 5. ФОРМИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УМ

5.1. Математические модели УМ формируются с целью оценки показателей, характеризующих статические и динамические режимы работы элементов привода и трансмиссии проектируемой УМ при вариации возмущающих воздействий и конструктивных параметров двигателей и элементов трансмиссии.

5.2. Под статическими характеристиками, которые могут быть получены при математическом моделировании на ЭВМ, понимают:

коэффициенты динамичности передач "производственный механизм-приводной двигатель";

зависимость установившихся и максимальных значений якорных токов, упругих моментов трансмиссии, моментов на валах двигателей, угловых скоростей валов двигателей и производственных механизмов (исполнительных органов резания и механизмов подачи УМ), линейных скоростей перемещения УМ, толщин стружки, температур якорных обмоток и потребляемой мощности двигателей от сопротивления угля резанию, моментов инерции исполнительных органов, электромагнитных и электромеханических постоянных времени электродвигателей, жесткости кинематических передач, амплитуды напряжения на якорных обмотках приводных двигателей механизмов подачи и исполнительных органов резания.

Под динамическими характеристиками понимают:

зависимости выходных координат машины, якорных токов, упругих и электродвижущих моментов, угловых и линейных скоростей, толщин стружки, температур якорных обмоток от времени при известном характере изменения возмущающих и управляющих воздействий – соответственно, сопротивляемости угля резанию и напряжений на якорных обмотках двигателей;

среднеквадратичные отклонения и математическое ожидание перечисленных выше координат при случайном характере изменения основного возмущения – сопротивляемости угля резания.

5.3. При математическом моделировании на ЭВМ предполагается, что УМ может работать при следующих эксплуатационных условиях:

спокойное залегание пластов, сопротивляемость угля резанию является случайным процессом с нормальным законом распределения;

имеются вкрапления твердых пород и горно-геологические нарушения, воспринимаемые УМ как экстренные возмущения. В этом случае  $A$  и связанные с ним интегральные оценки свойств системы

"угольный забой - УМ" описываются детерминированными (ступенчатыми, импульсными, гармоническими) функциями.

5.4. В процесс формирования математических моделей УМ входят следующие процедуры:

принятие гипотез о характере изменения основного возмущения и взаимодействии УМ с забоем;

выбор механических и электромеханических расчетных схем УМ;

выбор нелинейных математических соотношений, описывающих расчетные схемы УМ;

выбор упрощенных линеаризованных соотношений, описывающих расчетные схемы УМ;

построение программных аналогов математических моделей;

расчет параметров математических моделей и их программных аналогов.

5.5. Свойства угольного массива, разрушаемого УМ, описываются обобщенным показателем сопротивляемости угля разрушению  $M(A, t)$  [6]. Считаем возможными две гипотезы о взаимодействии УМ с забоем. В первой предполагается, что приведенный момент сил резания  $M_{c.p}(t)$  на валах приводных двигателей исполнительных органов резания и сопротивление подаче  $F_{c.n}(t)$ , приведенное к валу приводного двигателя механизма подачи, зависят от  $M(A, t)$  и толщины стружки  $h(t)$  [6]:

$$M_{c.p_1}(t) = M_{c.p.o_1} + C_1 M(A, t) h(t), \quad (5.1)$$

$$M_{c.p_2}(t) = M_{c.p.o_2} + C_2 M(A, t) h(t), \quad (5.2)$$

$$F_{c.n}(t) = F_{c.n_0} + C_3 M(A, t) h(t) + C_4 F_{тр}, \quad (5.3)$$

где  $M_{c.p.o_1}$ ,  $M_{c.p.o_2}$ ,  $F_{c.n_0}$  - составляющие момента сил резания и сопротивления подаче (их значения не зависят от толщины стружки);

$C_1, C_2, C_3, C_4$  - эмпирические коэффициенты;

$F_{тр}$  - сила трения между опорными лыжами УМ и скребковым конвейером.

Во второй гипотезе учитывается колебательный характер движения машины с помощью гармонических функций  $M_n(t)$ ,  $F_n(t)$ , зависящих от угловой скорости исполнительных органов, т.е.:

$$M_{c.p_1}(t) = M_{c.p.o_1} + C_1 M(A, t) h(t) M_n(t), \quad (5.4)$$

$$M_{c.p_2}(t) = M_{c.p.o_2} + C_2 M(A, t) h(t) M_n(t), \quad (5.5)$$

$$F_{c.n}(t) = F_{c.n_0} + C_3 M(A, t) h(t) F_n(t) + C_4 F_{тр}. \quad (5.6)$$

В первом приближении обобщенный показатель сопротивляемости углю разрушению  $M(A, t)$  прямо пропорционален сопротивляемости углю резанию  $A$ .

Обозначения физических величин формул (5.1)...(5.6), а также используемые ниже в моделях УМ, приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Обозначение физической величины или параметра	Наименование физической величины или параметра	Единица измерения
1	2	3
$\Delta_{p_1}, \Delta_{p_2}, \Delta_n$	Приводные двигатели первого, второго исполнительного органа резания и механизма подачи	
МП	Механизм подачи	
$ИО_1, ИО_2$	Первый и второй исполнительные органы резания	
$M_{\partial_1}, M_{\partial_2}, M_{\partial_n}$	Электродвижущие моменты на валах $\Delta_{p_1}, \Delta_{p_2}$ и $\Delta_n$	Н·м
$P_n$	Тяговое усилие на валу $\Delta_n$	Н
$M_{c.p_1}, M_{c.p_2}$	Моменты сил резания на $ИО_1$ и $ИО_2$ , приведенные к валам $\Delta_{p_1}, \Delta_{p_2}$	Н·м
$F_{c.n}$	Сопротивление подаче, приведенное к валу $\Delta_n$	Н
$J_1, J_5$	Приведенные моменты инерции якорей $\Delta_{p_1}$ и $\Delta_{p_2}$ в двухмассных расчетных схемах УМ	кг·м <sup>2</sup>
$J_2, J_6$	Приведенные к валу соответствующего двигателя моменты инерции исполнительных органов $ИО_1$ и $ИО_2$ в двухмассных расчетных схемах УМ	кг·м <sup>2</sup>
$J_3$	Приведенный момент инерции якоря $\Delta_n$ в двухмассных расчетных схемах УМ	кг·м <sup>2</sup>
$J_4$	Приведенный к валу $\Delta_n$ момент инерции УМ в ее двухмассной расчетной схеме	кг·м <sup>2</sup>
$J'_1, J'_5$	Приведенные моменты инерции систем $\Delta_{p_1} - ИО_1, \Delta_{p_2} - ИО_2$ в одномассных расчетных схемах УМ (приводятся к валам двигателей)	кг·м <sup>2</sup>
$J'_3$	Приведенный момент инерции системы $\Delta_n - УМ$ в одномассной расчетной схеме УМ	кг·м <sup>2</sup>
$\omega_{1p_1}, \omega_{5p_1}$	Угловые скорости валов $\Delta_{p_1}, \Delta_{p_2}$	рад/с



I	2	3
$\omega_{2p_1}, \omega_{5p_2}$	Угловые скорости валов $ИО_1, ИО_2$	рад/с
$\omega_{3n}, \omega_{4n}$	Угловые скорости валов $\Delta_n$ и тяговой звезды механизма подачи	рад/с
$V_n$	Линейная скорость подачи УМ	м/с
$U_{p_1}, U_{p_2}$	Напряжение на зажимах якорных обмоток $\Delta_{p_1}$ и $\Delta_{p_2}$	В
$U_n$	Напряжение на зажимах якорной обмотки $\Delta_n$	В
$U_B$	Напряжение на независимой обмотке возбуждения какого-либо двигателя	В
$I_{p_1}, I_{p_2}$	Токи в якорных обмотках двигателей $\Delta_{p_1}$ и $\Delta_{p_2}$	А
$I_n$	Ток в якорной обмотке двигателя подачи $\Delta_n$	А
$I_{ш}, I_B$	Токи в шунтовой и независимой обмотке возбуждения какого-либо двигателя	А
$C_E$	Электрическая конструктивная постоянная какого-либо двигателя	В.А
$L_c, L_{ш}, L_B, L_{я}$	Индуктивность серийной, шунтовой, независимой и якорной обмоток двигателя	Г
$\omega_c, \omega_{ш}$	Количество витков серийной и шунтовой обмоток двигателя	шт.
$M$	Взаимная индуктивность серийной и шунтовой обмоток двигателя	Г
$C_M$	Механическая постоянная двигателя	Н.м.рад/с
$\Phi$	Магнитный поток одного полюса двигателя	Т
$R_{я}$	Активное сопротивление обмотки якоря двигателя	Ом
$R_{ш}, R_B$	Активное сопротивление шунтовой и независимой обмоток двигателя	Ом
$r_3$	Радиус тяговой звезды механизма подачи	м
$i$	Передаточное отношение редуктора	
$m_k$	Масса угледобывающей машины	кг
$\varphi_{1p_1}, \varphi_{5p_2}$	Угол поворота валов $\Delta_{p_1}$ и $\Delta_{p_2}$	рад
$\varphi_{2p_1}, \varphi_{5p_2}$	Угол поворота валов $ИО_1$ и $ИО_2$	рад
$\varphi_{3n}$	Угол поворота вала $\Delta_n$	рад
$\varphi_{4n}$	Угол поворота вала тяговой звезды механизма подачи	рад
$\Delta\varphi_{к.п}$	Кинематическая погрешность передач какого-либо редуктора	рад

I	2	3
$C_{12}, C_{56}, C_{34}$	Приведенная жесткость передач соответственно редуктора $\Delta p_1, \Delta p_2$ и $\Delta n$	Н.м/рад
$\beta_{12}, \beta_{56}, \beta_{34}$	Коэффициенты вязкого трения в редукторах	Н.м/рад/с
$M_{с.р.01}, M_{с.р.02}$	Постоянные составляющие в $M_{с.р.1}$ и $M_{с.р.2}$	Н.м
$F_{с.п0}$	Постоянная составляющая в $F_{с.п}$	Н
$C_1, C_2$	Эмпирические коэффициенты в уравнениях (5.1), (5.2), (5.4), (5.5)	I/м
$C_3$	Эмпирический коэффициент в уравнениях (5.3) и (5.6)	I/м <sup>2</sup>
$C_4$	Эмпирический коэффициент в уравнениях (5.3) и (5.6)	

Примечание. К обозначениям параметров может добавляться индекс, указывающий тип производственного механизма. Например:  $C_{м.р.1}$  - механическая постоянная двигателя первого исполнительного органа резания.

5.6. Расчетные электромеханические схемы УМ (рис. 5 и 6) с управляемыми электроприводами исполнительных органов резания и механизма подачи сформированы с учетом следующих допущений [3,4,6]:

в интервале времени перемещения УМ вдоль забоя статические характеристики разрушаемого пласта остаются в среднем неизменными;

влияние реакции якоря, вихревых токов и гистерезиса на электромеханические и тепловые процессы приводных двигателей исполнительных органов резания и механизма подачи можно не учитывать при анализе расчетных схем УМ;

значения индуктивностей обмоток якорей, дополнительных полюсов и компенсационных обмоток приводных двигателей УМ могут быть приняты постоянными.

Расчетная схема приводного электродвигателя постоянного тока (см.рис.6) представляет собой схему двигателя смешанного возбуждения с дополнительной обмоткой независимого возбуждения. Это позволяет легко получить расчетные схемы двигателей с последовательным, независимым и смешанным возбуждениями, если в исходные математические модели УМ ввести масштабные коэффициенты, исключая влияние отсутствующих обмоток возбуждения.

Расчетная двухмассная механическая схема типа "производственный механизм - приводной двигатель" (рис. 5, а) в отличие от одномассной (рис. 5, б) позволяет учесть в моделях УМ жесткость кинематических передач, зазоры, упругие моменты, сухое и вязкое трение. Одномассные модели используются в том случае, когда параметры трансмиссий при дальнейших расчетах УМ остаются постоянными.

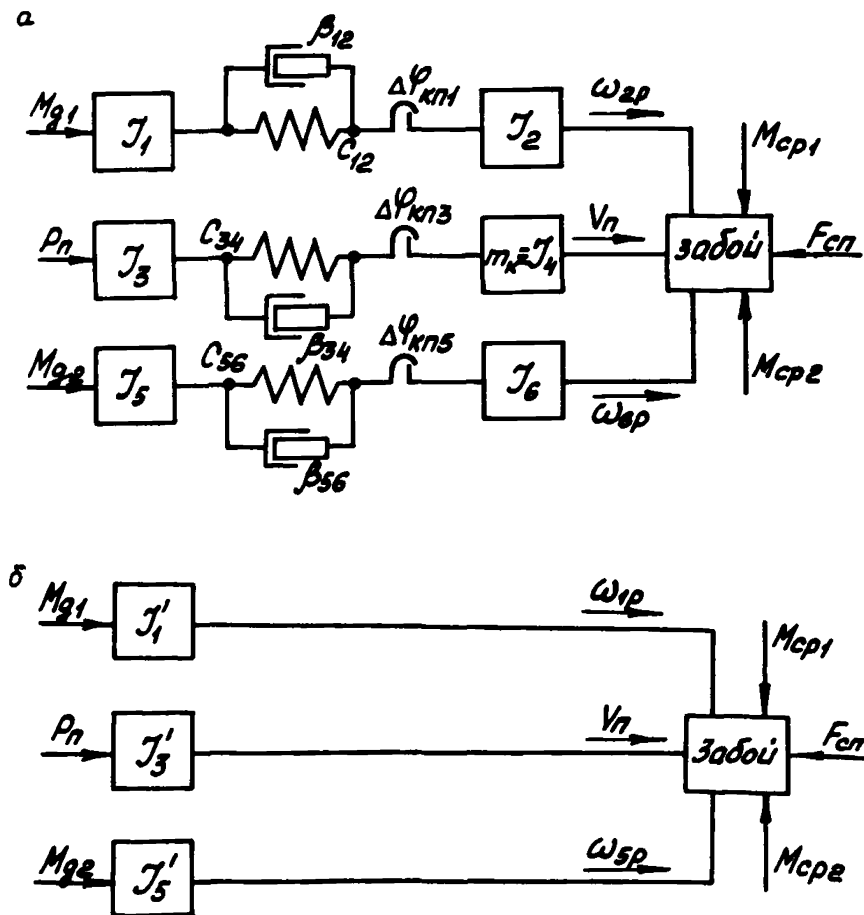


Рис. 5. Расчетные двухмассные (а) и одномассные (б) схемы УМ

5.7. Под математической моделью УМ будем понимать совокупность аналитических, численных и графических соотношений, описывающих механические, электромеханические и тепловые процессы, происходящие в УМ при изменении возмущающих и управляющих воздействий.

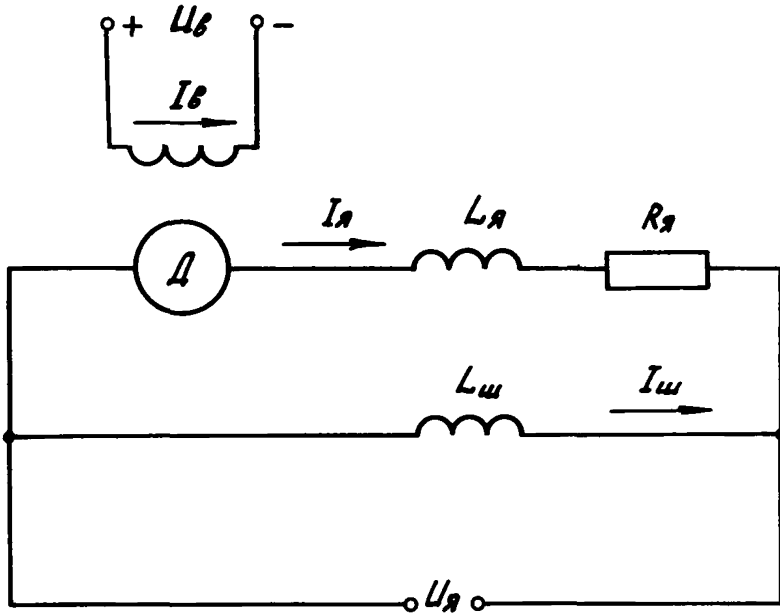


Рис. 6. Расчетная схема приводного электродвигателя постоянного тока

В табл.4 приводятся нелинейные уравнения, описывающие упомянутые процессы в УМ. Математические модели УМ на основе уравнений табл.4 формируются следующим образом.

5.7.1. В систему уравнений (I)...(47) вместо индекса  $\ell$  подставляется индекс  $P_1$  для привода первого исполнительного органа резания, индекс  $P_2$  - для второго и индекс  $n$  - для привода механизма подачи. В зависимости от типа приводного двигателя масштабные коэффициенты  $\gamma_{\ell_1}$ ,  $\gamma_{\ell_2}$ ,  $\gamma_{\ell_3}$  двигателей постоянного тока с независимой обмоткой возбуждения принимают значения  $\gamma_{\ell_1} = \gamma_{\ell_2} = 0$ ,  $\gamma_{\ell_3} = I$ ; для двигателей с последовательным (серийным) возбуждением  $\gamma_{\ell_1} = I$ ,  $\gamma_{\ell_2} = \gamma_{\ell_3} = 0$ ; а смешанного возбуждения  $\gamma_{\ell_1} = \gamma_{\ell_2} = I$ ,  $\gamma_{\ell_3} = 0$ .

Характеристика модели	Нелинейные уравнения, описывающие модель УМ	Номер уравнения	Примечание
1	2	3	4
<p>Модель, учитывающая жесткость и зазоры кинематических передач, сухое и вязкое трение, индуктивность обмоток</p>	<p>Модели электромагнитных процессов в приводных двигателях постоянного тока</p> $\left[ r_{\ell} L_{c\ell} + L_{\pi\ell} \right] \frac{dI_{\ell}}{dt} = U_{\ell}(t) - C_{E\ell} \Phi_{\ell}(I_{\ell}) \omega_{\ell}(t) - I_{\ell}(t) R_{\pi\ell} - r_{\ell} M_{\ell} \frac{dI_{\omega\ell}}{dt}$ $r_{\ell_2} L_{\omega\ell} \frac{dI_{\omega\ell}}{dt} = \left[ U_{\ell}(t) - R_{\omega\ell} I_{\omega\ell}(t) - M_{\ell} \frac{dI_{\ell}}{dt} \right] r_{\ell_2}$ $r_{\ell_3} L_{\delta\ell} \frac{dI_{\delta\ell}}{dt} = \left[ U_{\delta\ell}(t) - I_{\delta\ell}(t) R_{\delta\ell} \right] r_{\ell_3}$ $M_{g\ell}(t) = C_{M\ell} \Phi_{\ell}(I_{\ell}) I_{\ell}(t)$ $M_{\ell} = (\omega_{c\ell} / \omega_{\omega\ell}) L_{\omega\ell} = (\omega_{\omega\ell} / \omega_{c\ell}) L_{c\ell}$ $\Phi_{\ell} = f_{11}(I_{\ell})$ $L_{\pi\ell} = f_{12}(I_{\ell})$ $M_{g\ell} = f_{13}(I_{\ell})$ $L_{\pi\ell} = f_{14}(d\Phi_{\ell}/dI_{\ell})$	<p>(1)</p> <p>(2)</p> <p>(3)</p> <p>(4)</p> <p>(5)</p> <p>(6)</p> <p>(7)</p> <p>(8)</p> <p>(9)</p>	<p>Расчетная схема представлена на рис.6.</p> <p>Функции (6)...(9) для двигателей смешанного и последовательного возбуждения задаются графически или таблично. Для двигателей с независимой обмоткой возбуждения:</p> <p>в функциях (1) и (4)</p> <p><math>C_{E\ell} \Phi_{\ell}(I_{\ell}) = K_{E\ell} = const</math>,</p> <p><math>C_{M\ell} \Phi_{\ell}(I_{\ell}) = K_{M\ell} = const</math>,</p> <p>зависимость (8) при <math>U_{\delta\ell} = const</math> является линейной, а <math>L_{\pi\ell} = const</math>.</p>

1	2	3	4
	<p>Модели механических процессов в системе "привод-исполнительный орган резания", "привод-механизм подачи" (рис.5,а)</p> <p>Для первого или второго исполнительного органа резания:</p> $M_{g_{i_e}}(t) - M_{c_{i_e}}''(t) - M_{c_{i_e}}'''(t) - M_{j_e}' \left[ 1 + \beta_{3_e} \operatorname{sign}(M_{i_{j_e}}) \right] = I_i \frac{d\omega_{i_e}}{dt}, \quad (I0)$ $M_{i_{j_e}}'(t) - M_{i_{j_e}}''(t) - M_{c_{j_e}}'''(t) = I_j d\omega_{j_e}/dt. \quad (II)$ <p>Для механизма подачи:</p> $M_{g_n}(t) - M_{c_{3_n}}''(t) - M_{c_{3_n}}'''(t) - M_{3_{4_n}}' \left[ 1 + \beta_{3_n} \operatorname{sign}(M_{3_{4_n}}) \right] = I_3 \frac{d\omega_{3_n}}{dt}, \quad (I2)$ $M_{3_{4_n}}'(t) - M_{c_{4_n}}''(t) - M_{c_{4_n}}'''(t) = \frac{r_2}{i_n} \left[ m_k \frac{dV_n}{dt} + F_{c.n}(A, t) \right]. \quad (I3)$ <p>Составляющие моментов в уравнениях (I0)...(I3) рассчитываются по уравнениям:</p> $M_{12_{P_1}}'(t) = M_{12_{P_1}} + \beta_{12_{P_1}} (dM_{12_{P_1}}/dt) \quad (I4)$ $M_{12_{P_1}}(t) = C_{12} \left( \varphi_{1_{P_1}}(t) - \varphi_{2_{P_1}}(t) - \Delta\varphi_{k.n_{P_1}} - \frac{\Delta\varphi_{3_{P_1}}}{2} \right), \text{ при } \left  \varphi_{1_{P_1}} - \varphi_{2_{P_1}} - \Delta\varphi_{k.n_{P_1}} \right  > \frac{\Delta\varphi_{3_{P_1}}}{2} \quad (I5)$ $M_{12_{P_1}}(t) = 0, \text{ при } \left  \varphi_{1_{P_1}}(t) - \varphi_{2_{P_1}}(t) - \Delta\varphi_{k.n_{P_1}} \right  < \Delta\varphi_{3_{P_1}} / 2$		<p>В уравнения (I0)...(3I) вместо <math>i, j</math> подставляются индексы, принятые в схеме на рис.5,а. Соответственно <math>i = 1</math> и <math>j = 2</math> для первого исполнительного органа резания; <math>i = 5</math> и <math>j = 6</math> для второго. Не описанные ранее обозначения переменных и параметров в (I0)...(39):</p> <p><math>M_{12_{P_1}}, M_{56_{P_2}}</math> - упругие моменты с учетом внутреннего вязкого трения между <math>\Delta_{P_1}</math> и <math>ИО_1</math>, <math>\Delta_{P_2}</math> и <math>ИО_2</math>;</p> <p><math>M_{c_{1_{P_1}}}, M_{c_{3_{P_1}}}</math> и <math>M_{c_{2_{P_1}}}, M_{c_{5_{P_2}}}</math> - соответственно моменты сухого трения на валах <math>\Delta_{P_1}, \Delta_{P_2}</math> и <math>ИО_1, ИО_2</math>;</p>

I	2	3	4
	$M_{c_{1p_1}}''(t) =  M_{c_{p_1}}  \operatorname{sign}(\omega_{1p_1}(t)),$ $M_{c_{1p_1}}'''(t) = \beta_{1p_1} \omega_{1p_1}(t),$ $M_{c_{2p_1}}''(t) =  M_{c_{2p_1}}  \operatorname{sign}(\omega_{2p_1}(t)),$ $M_{c_{2p_1}}'''(t) = \beta_{2p_1} \omega_{2p_1}(t),$	(16)	$M_{c_{5p_2}}'''$ , $M_{c_{5p_2}}'''$ и $M_{c_{2p_1}}'''$ ,
	$M_{56p_2}(t) = C_{56}(\varphi_{5p_2}(t) - \varphi_{6p_2}(t) - \Delta\varphi_{k.np_2} - \Delta\varphi_{3p_2}/2), \text{ при }  \varphi_{5p_2} - \varphi_{6p_2} - \Delta\varphi_{k.np_2}  > \frac{\Delta\varphi_{3p_2}}{2}$	(17)	$M_{c_{5p_2}}'''$ - соответственно
	$M_{56p_2} = 0, \text{ при }  \varphi_{5p_2} - \varphi_{6p_2} - \Delta\varphi_{k.np_2}  < \Delta\varphi_{3p_2}/2,$	(18)	моменты вязкого трения
	$M_{56p_2}'(t) = M_{56p_2} + \beta_{56p_2} (dM_{56p_2}/dt),$	(19)	на валах $\Delta_{p_1}$ , $\Delta_{p_2}$ и
	$M_{c_{5p_2}}''(t) = \beta_{5p_2} \omega_{5p_2}(t)$	(20)	$и O_1, O_2$ ;
	$M_{c_{5p_2}}'''(t) =  M_{c_{5p_2}}  \operatorname{sign} \omega_{5p_2}(t)$	(21)	$M_{c_{3n}}''$ ; $M_{c_{3n}}''$ , $M_{c_{4n}}''$ ,
	$M_{c_{6p_2}}''(t) =  M_{c_{6p_2}}  \operatorname{sign} \omega_{6p_2}(t)$	(22)	$M_{c_{4n}}'''$ - моменты сухого
	$M_{c_{6p_2}}'''(t) = \beta_{6p_2} \omega_{6p_2}(t)$	(23)	и вязкого трения на ва-
	$M_{34n}'(t) = M_{34n} + \beta_{34n} (dM_{34n}/dt)$	(24)	лах приводного двигате-
	$M_{34n}(t) = C_{34}(\varphi_{3n}(t) - \varphi_{4n}(t) - \Delta\varphi_{k.nn} - \Delta\varphi_{3.n}/2), \text{ при }  \varphi_{3n} - \varphi_{4n} - \Delta\varphi_{k.nn}  > \frac{\Delta\varphi_{3.n}}{2}$	(25)	ля механизма подачи
	$M_{34n}(t) = 0, \text{ при }  \varphi_{3n} - \varphi_{4n} - \Delta\varphi_{k.nn}  \leq \Delta\varphi_{3.n}/2$	(26)	и тяговой звезды;
		(27)	$M_{c_{2p_1}}'(t) = M_{c_{p_1}}(A, t)$ ;
			$M_{c_{5p_2}}'(t) = M_{c_{p_2}}(A, t)$ ;
			$\beta_{3l}$ , $\beta_{3n}$ , $\beta_{12p_1}$ , $\beta_{1p_1}$ ,
			$\beta_{2p_1}$ , $\beta_{56p_2}$ , $\beta_{5p_2}$ ,
			$\beta_{6p_2}$ , $\beta_{34n}$ , $\beta_{3n}$ , $\beta_{4n}$ -
			- эмпирические коэффици-
			енты, при выборе кото-
			рых можно воспользоват-
			ся рекомендациями [7,
			II...I5];
			$C_{12}$ , $C_{25}$ , $C_{11}$ , $C_{12}$ -
			- весовые коэффициен-
			ты в (34)...(36);

1	2	3	4
	$M_{c_{3n}}''(t) =  M_{c_{3n}}''  \operatorname{sign} \omega_{3n}(t),$ $M_{c_{3n}}'''(t) = \beta_{3n} \omega_{3n}(t),$ $M_{c_{4n}}''(t) =  M_{c_{4n}}''  \operatorname{sign} \omega_{4n}(t),$ $M_{c_{4n}}'''(t) = \beta_{4n} \omega_{4n}(t).$	(28)	$\tau_p$ - время запаздывания при стружкообразовании; $i_j$ - число заходов шнека исполнительного органа; $\varphi_{V_n}$ - начальная функция, равная нулю для случая нахождения УМ в покое; $K_{\tau p}$ - коэффициент трения между опорными лыжами УМ и ставом конвейера, Нс/м; $\omega_{p_0}$ - установившаяся скорость вала исполнительного органа резания, рад/с; $m$ - порядок аппроксимирующей системы уравнений.
	<p>Модели взаимодействия УМ с разрушаемым угольным массивом</p> $M_{c_{p_i}}(t) = M_{a_{p_i}} + C_i h(t) M(A, t) M_n(t), \quad i = 1, 2,$ $F_{c_n}(t) = F_{a_n} + C_3 h(t) M(A, t) F_n(t) + C_4 F_{\tau p}(t).$	(29)	
	<p>Функция, учитывающие колебательный характер взаимодействия УМ с разрушаемым угольным массивом:</p> $M_{n_1}(t) = K_{M_{1P_1}} + K_{M_{2P_1}} \sum_s C_{1s} \sin(s \omega_{2P_1}(t) t + \theta_{1s}),$ $M_{n_2}(t) = K_{M_{1P_2}} + K_{M_{2P_2}} \sum_s C_{2s} \sin(s \omega_{2P_2}(t) t + \theta_{2s}),$ $F_n(t) = K_{F_1} + K_{F_{21}} \sum_{z_1} C_{z_1} \sin(z_1 \omega_{2P_1}(t) t + \theta_{z_1}) + K_{F_{22}} \sum_{z_2} C_{z_2} \sin(z_2 \omega_{2P_2}(t) t + \theta_{z_2}),$ $F_{\tau p}(t) = K_{\tau p} V_n(t).$	(30)	
	<p>Модели стружкообразования</p> $\left. \begin{aligned} dh/dt &= V_n(t) - V_n(t - \tau_p), \quad (V_n(t) = \varphi_{V_n}(t) \text{ при } \tau_p \leq t \leq 0, \\ \tau_p &= 2\pi i_p / \omega_{p_0}(t) i_j. \end{aligned} \right\}$	(31)	
		(32)	
		(33)	
		(34)	
		(35)	
		(36)	
		(37)	
		(38)	



I	2	3	4
	<p>Аппроксимирующий аналог уравнения (38):</p> $\left. \begin{aligned} dh/dt &= V_n(t) - \lambda_m(t), \\ d\lambda_1/dt &= (m/\tau_p)(V_n(t) - \lambda_1(t)), \\ d\lambda_2/dt &= (m/\tau_p)(\lambda_1(t) - \lambda_2(t)), \\ &\vdots \\ d\lambda_m/dt &= (m/\tau_p)(\lambda_{m-1}(t) - \lambda_m(t)), \\ \lambda_m(t) &\approx V_n(t - \tau_p), \lambda_i(t_0) = \lambda_{i_0}, i = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \right\}$	(39)	
<p>Модели, не учитывающие диссипативные потери</p>	<p>В уравнениях (10), (17), (19), (20), (23), (25), (26), (29), (31) коэффициенты <math>\beta_{ij}</math>, <math>\beta_i</math>, <math>\beta_j</math> и соответствующие моменты равны нулю.</p>	(40)	
<p>Модели, не учитывающие кинематические погрешности и зазоры редукторных передач</p>	<p>В уравнениях (10), (12) коэффициенты <math>b_{3\ell} = 0</math>, а уравнения (14), (15), (17)...(31) заменяются следующими:</p> $M'_{12\rho_1}(t) = M_{12\rho_1}(t) = C_{12}(\varphi_{1\rho_1}(t) - \varphi_{2\rho_1}(t))$ $M'_{56\rho_2}(t) = M_{56\rho_2}(t) = C_{56}(\varphi_{5\rho_2}(t) - \varphi_{6\rho_2}(t))$ $M'_{34}(t) = M_{34}(t) = C_{34}(\varphi_{3n}(t) - \varphi_{4n}(t))$	(41) (42) (43)	

I	2	3	4
<p>Модели, не учитывающие жесткость кинематических связей. Им соответствует расчетная схема рис. 5, б</p>	<p>Уравнения (I0), (II), (I2) и (I3) заменяются следующими:</p> $M_{g_e}(t) - M'_{c_{p_e}}(A, t) = I'_e d\omega_{i_e} / dt$ $M_{g_n}(t) - \frac{z_2}{i_n} F_{c.n}(A, t) = \frac{z_2}{i_n} m_k \frac{dV_n}{dt}$ $C d\tau / dt + A_p \tau = Q$ $Q = 1000 \Delta P = 1000 (P_1 - P_2)$ $P_1 = f(U, I)$ $P_2 = f(M_{g_e}, \omega_e)$	<p>(44)</p> <p>(45)</p> <p>(46)</p> <p>(47)</p> <p>(48)</p> <p>(49)</p>	<p>В уравнениях (46) и (47) <math>P_1</math> и <math>P_2</math> - соответственно подводимая к двигателю мощность, ВА, и мощность на валу кВт;</p> <p><math>\tau</math> - превышение температуры якорных обмоток двигателя над температурой окружающей среды, град;</p> <p><math>Q</math> - количество тепла, сообщаемого двигателю в единицу времени, Дж/с;</p> <p><math>C</math> - теплоемкость двигателя, Дж/град;</p> <p><math>A_p</math> - теплоотдача двигателя, Дж/с.град.</p>
<p>Модели, учитывающие нагрев двигателя</p>			

5.7.2. В зависимости от поставленной задачи выбирается двухмассная или одномассная расчетная схема, принимается решение о необходимости учета в модели УМ одного или двух исполнительных органов резания.

5.7.3. Двухмассная модель составляется из уравнений табл. 4 (I)...(38). Некоторые упрощения двухмассных моделей проводятся с помощью уравнений (40)...(43).

5.7.4. Одномассные модели составляются из уравнений (I)...(9), (32)...(39).

5.7.5. Для учета тепловой нагрузки двигателей к любой модели может быть добавлена система уравнений (46) и (47).

5.7.6. Если принимается гипотеза о возможности пренебрежения колебательным характером движения машины, то в уравнениях (34)...(36) масштабные коэффициенты принимают значения:  $K_{M_1 P_1} = K_{M_1 P_2} = K_{F_1} = 1$ ,  $K_{M_2 P_1} = K_{M_2 P_2} = K_{F_{21}} = K_{F_{22}} = 0$ . В противном случае все упомянутые коэффициенты равны единице.

Пример формирования нелинейной математической модели УМ приведен в приложении I.

5.8. Линеаризованные модели УМ в форме систем обыкновенных дифференциальных уравнений позволяют: оценивать статику и динамику УМ в окрестности некоторого стационарного режима, осуществить анализ моделей УМ как многосвязных объектов управления; сформировать линеаризованную модель САУ УМ с фиксированной структурой управляющих устройств и проводить их параметрическую настройку; сделать выводы о соответствии параметров и характеристик выбранных приводных двигателей, исполнительных органов резания, механизма подачи и трансмиссий требованиям, предъявляемым к проектируемой УМ.

В табл. 5 приводятся линеаризованные модели двухмассных и одномассных расчетных схем УМ с приводными двигателями независимого возбуждения.

5.9. Построение программных аналогов математических моделей УМ возможно на базе программирующих систем, ориентированных на решение линейных и нелинейных дифференциальных уравнений высокого порядка, при действии детерминированных или случайных возмущений. Иногда элементы математической модели могут быть заданы в форме передаточных функций, в графическом или табличном виде. Системой, удовлетворяющей перечисленным условиям моделирования УМ, является система машинного проектирования САУ, разработанная МЭИ [16] и названная МАСС. Особенность этой системы – максимально

упрощенный язык общения пользователя с ЭВМ. Исходной информацией для цифрового моделирования является структурная схема объекта или системы. Схема – программный аналог, строится из блоков, выполняющих операции интегрирования, суммирования, умножения, дифференцирования, деления, смещения, запаздывания, вычисления тригонометрических функций типа синус, косинус и т.п., нелинейных функций типа "нечувствительность", "скачок", реле с гистерезисом. Подробные сведения о МАСС изложены в [16,17]. Некоторые программные аналоги математических моделей УМ на средствах МАСС приведены в приложении 2.

5.10. Расчет параметров математических моделей УМ и их программных аналогов включает в себя:

- определение основных номинальных значений параметров машины и электропривода;

- выбор характеристик статических и динамических режимов УМ, оценки которых необходимо получить путем моделирования на ЭВМ;

- выбор моделей управляющих, возмущающих воздействий УМ из множества приведенных в табл. 4 и 5;

- расчет параметров статических и динамических моделей машины и привода, формирование диапазона вариации параметров, подлежащих оптимизации по какому-либо критерию;

- задание и расчет начальных состояний УМ, предшествующих действию возмущений и изменению конструктивных характеристик элементов машины;

- расчет параметров программных аналогов математических моделей УМ.

5.11. Номинальные параметры УМ (табл.6) определяются заданием на ее проектирование и расчетами, порядок выполнения которых приведен в разделах I...4 настоящей работы. Информацию об оценках характеристик статических и динамических режимов работы УМ в функции от варьируемых конструктивных параметров машины и привода можно получить в результате экспериментальных исследований. На этапе проектирования УМ отсутствие достоверных данных о конструктивных параметрах компенсируется заданием их наиболее вероятных диапазонов значений. В результате моделирования на ЭВМ получают множество оценок (табл. 7) характеристик УМ в диапазоне вариации конструктивных параметров. Базовые значения и приращения варьируемых параметров (табл.8) рассчитываются по аналитическим и эмпирическим зависимостям или принимаются на основании априорной информации [3, 4, 6...14] по эксплуатации и проектированию УМ.

Характеристика модели	Линеаризованные модели УМ. Элементы векторов $X, \mu, f, Z$ . Уравнения для расчета элементов матриц $A, B, F, C$	Номер уравнения
1	2	3
Двухмассная модель, не учитывающая колебательный характер движения УМ	$\dot{X}(t) = AX(t) + B\mu(t) + Ff(t),$ $Z(t) = CX(t),$ <p><math>X, \mu, f, Z</math> - соответственно векторы координат пространства состояний, управлений, возмущений и наблюдаемых выходных координат УМ размерностью <math>N, N_\mu, N_f, N_z</math> ;  <math>A, B, F, C</math> - числовые матрицы соответственно размером <math>N \cdot N, N \cdot N_\mu, N \cdot N_f, N_z \cdot N</math>.</p>	(1) (2)
	<p>В уравнениях (1) и (2)  <math>N = N_x + N_\lambda + N_\gamma, N_x = 11, N_\lambda = 4, N_\gamma = 4, N_\mu = 2, N_f = 1, N_z = 6 \dots 10</math>  Элементы вектора <math>X(t)</math> :</p>	(3)
	$X_1(t) = \Delta I_{p_1}(t)$ - приращение тока в якорной обмотке $\Delta p_1$ ,	(4)
	$X_2(t) = \Delta \varphi_{p_1}(t)$ - приращение угла поворота вала $\Delta p_1$ ,	(5)
	$X_3(t) = \Delta \omega_{p_1}(t)$ - приращение угловой скорости вала $\Delta p_1$ ,	(6)
	$X_4(t) = \Delta \varphi_{2p_1}(t)$ - приращение угла поворота вала $10_1$ ,	(7)
	$X_5(t) = \Delta \omega_{2p_1}(t)$ - приращение угловой скорости вала $10_2$ ,	(8)
	$X_6(t) = \Delta I_n(t)$ - приращение тока в якорной обмотке $\Delta n$ .	(9)
	$X_7(t) = \Delta \varphi_{3n}(t)$ - приращение угла поворота вала $\Delta n$ .	(10)
	$X_8(t) = \Delta \omega_{3n}(t)$ - приращение угловой скорости вала $\Delta n$ .	(11)

I	2	3
	$X_9(t) = \Delta V_n(t)$ - приращение линейной скорости подачи УМ,	(I2)
	$X_{10}(t) = q_1(t) = \int \Delta V_n(t) dt$ - промежуточная переменная,	(I3)
	$X_{11}(t) = \Delta h(t)$ - приращение толщины стружки.	(I4)
	Элементы вектора $\lambda(t)$ , аппроксимирующего $\Delta V_n(t - \tau_p)$ :	
	$X_{12}(t) = \lambda_1(t), X_{13}(t) = \lambda_2(t), X_{14}(t) = \lambda_3(t), X_{15}(t) = \lambda_4(t)$ .	(I5)
	Элементы вектора $\eta(t)$ , аппроксимирующего $\Delta \omega_{2p_1}(t - \tau_p)$ :	
	$X_{16}(t) = \eta_1(t), X_{17}(t) = \eta_2(t), X_{18}(t) = \eta_3(t), X_{19}(t) = \eta_4(t)$ .	(I6)
	Элементы вектора $\mu(t)$ :	
	$\mu_1(t) = \Delta U_{p_1}(t)$ - приращение напряжения на якорной обмотке $\Delta p_1$ ,	(I7)
	$\mu_2(t) = \Delta U_n(t)$ - приращение напряжения на якорной обмотке $\Delta n$ .	(I8)
	Вектор $f(t)$ :	
	$f_1(t) = \Delta M(A, t)$ - приращение обобщенного показателя сопротивляемости углю разрушению.	(I9)
	Начальные условия для модели (I), (2):	
	$X_1(t_0) = I_{p_1}(t_0), X_2(t_0) = \varphi_{1p_1}(t_0), X_3(t_0) = \omega_{1p_1}(t_0)$ ,	(20)
	$X_4(t_0) = \varphi_{2p_1}(t_0), X_5(t_0) = \omega_{2p_1}(t_0), X_6(t_0) = I_n(t_0)$ ,	(21)
	$X_7(t_0) = \varphi_{3n}(t_0), X_8(t_0) = \omega_{3n}(t_0), X_9(t_0) = V_n(t_0)$ ,	(22)
	$X_{10}(t_0) = q_1(t_0) = C_{34} \varphi_{3n}(t_0) - \frac{r_2}{L_n} (F_{c.n_0} + C_3 h(t_0) M(A, t_0)), X_{11}(t_0) = h(t_0)$ ,	(23)

I	2	3
	$\lambda_1(t_0) = V_n(-\tau_p/m), \lambda_2(t_0) = V_n(-2\tau_p/m), \lambda_3(t_0) = V_n(-3\tau_p/m), \lambda_4(t_0) = V_n(-4\tau_p/m),$	(24)
	$\eta_1(t_0) = \omega_{2p_1}(-\tau_p/m), \eta_2(t_0) = \omega_{2p_1}(-2\tau_p/m), \eta_3(t_0) = \omega_{2p_1}(-3\tau_p/m), \eta_4(t_0) = \omega_{2p_1}(-4\tau_p/m).$	(25)
	В уравнениях (24) и (25):	
	$m = N_\lambda = N_\eta = 4$	(26)
	Ненулевые элементы матриц $A, B, F$ :	
	$a_{11} = -R_{\pi p_1}/L_{\pi p_1}, a_{13} = K_{E p_1}/L_{\pi p_1},$	(27)
	$a_{23} = 1, 0,$	(28)
	$a_{31} = K_{M p_1}/I_1, a_{32} = -C_{12}/I_1, a_{34} = C_{12}/I_1,$	(29)
	$a_{45} = 1, 0,$	(30)
	$a_{52} = C_{12}/I_2, a_{54} = -C_{12}/I_2,$	(31)
	$a_{66} = -R_{\pi n}/L_{\pi n}, a_{68} = K_{E n}/L_{\pi n},$	(32)
	$a_{78} = 1, 0,$	(33)
	$a_{86} = K_{M n}/I_3, a_{87} = -C_{34}/I_3, a_{8,10} = C_{34}/(I_3 \tau_3),$	(34)
	$a_{97} = i_n C_{34}/\tau_3 m_k, a_{9,10} = -i_n C_{34}/\tau_3^2 m_k, a_{9,11} = -C_3 M(A, t_0)/m_k,$	(35)
	$a_{10,9} = 1, 0,$	(36)
	$a_{11,15} = -1, 0, a_{11,9} = 1, 0, a_{11,5} = -V_{n0}/\omega_{2p_{10}}, a_{11,19} = V_{n0}/\omega_{2p_{10}},$	(37)
	$a_{12,9} = m/\tau_p, a_{12,12} = -m/\tau_p,$	(38)

I	2	3
	$a_{13,12} = m/\tau_p, a_{13,13} = -m/\tau_p,$	(39)
	$a_{14,13} = m/\tau_p, a_{14,14} = -m/\tau_p,$	(40)
	$a_{15,14} = m/\tau_p, a_{15,15} = -m/\tau_p,$	(41)
	$a_{16,15} = m/\tau_p, a_{16,16} = -m/\tau_p,$	(42)
	$a_{17,16} = m/\tau_p, a_{17,17} = -m/\tau_p,$	(43)
	$a_{18,17} = m/\tau_p, a_{18,18} = -m/\tau_p,$	(44)
	$a_{19,18} = m/\tau_p, a_{19,19} = -m/\tau_p,$	(45)
	$b_{71} = 1.0/L_{\pi p_1}, b_{62} = 1.0/L_{\pi n},$	(46)
	$F_{51} = -C_1 h(t_0)/I_2, F_{91} = -C_3 h(t_0)/m_K.$	(47)
	С учетом реальных условий эксплуатации УМ элементами вектора $Z(t)$ могут быть:	
	$X_4(t), X_3(t), X_5(t), X_6(t), X_8(t), X_9(t),$	(48)
	а при моделировании на ЭВМ:	
	$X_4(t), X_3(t), X_4(t), X_5(t), X_6(t), X_7(t), X_8(t), X_9(t), X_{11}(t).$	(49)
	Для (48) - $N_Z = 6$ , а для (49) - $N_Z = 10$ .	



I	2	3	
Двухмассная модель, учитывающая колеба- тельный характер движения УМ	$\dot{X}(t) = A(t)X(t) + B(t)\mu(t) + F(t)f(t),$	(50)	
	$Z(t) = C X(t).$	(51)	
	Элементы векторов $X(t)$ , $\mu(t)$ , $Z(t)$ , $f(t)$ , а также размерность матриц $A(t)$ , $B(t)$ , $F(t)$ , $C$ совпадают с соответствующими элементами предыдущей модели.		
	Элементы матриц $A(t)$ , $F(t)$ , отличные от соответствующих элементов $A$ и $F$ предыдущей модели:		
	$a_{511}(t) = \lambda_{1p_1}(t) C_1 / I_2, \quad a_{555}(t) = -\lambda_{3p_1}(t) C_1 / I_2,$	(52)	
	$a_{52} = C_{12} / I_2,$	(53)	
	$a_{95}(t) = -C_3 h(t_0) M(A, t_0) K_{\omega_{2p_1}}(t) / m_k,$	(54)	
	$a_{97} = C_{34} i_n / (m_k r_3), \quad a_{910} = -i_n C_{34} / (m_k r_3^2), \quad a_{99} = -C_4 K_{rp} / m_k,$	(55)	
	$a_{911}(t) = -C_3 M(A, t_0) K(\omega_{2p_1}, \omega_{6p_2}) / m_k,$	(56)	
	$F_{51}(t) = -\lambda_{2p_1}(t) C_1 / I_2,$	(57)	
$F_{91}(t) = -C_3 h(t_0) K(\omega_{2p_1}, \omega_{6p_2}) / m_k.$	(58)		
В (52)...(58) функции $\lambda_{1p_1}(t)$ , $\lambda_{2p_1}(t)$ , $\lambda_{3p_1}(t)$ , $\lambda_{3\omega}(t)$ , $K_{\omega_{2p_1}}(t)$ , $K_{\omega_{6p_2}}(t)$ , $K(\omega_{2p_1}, \omega_{6p_2})$ вычисляются по уравнениям:			
$\lambda_{1p_1}(t) = h(t) [K_{M_1p_1} + K_{M_2p_1} \sum_5 C_{15} \sin(s\omega_{2p_1}(t)t + \theta_{15})]$ при $h(t) = h(t_0)$ , $\omega_{2p_1}(t) = \omega_{2p_1}(t_0)$ ,	(59)		
$\lambda_{2p_1}(t) = M(A, t) [K_{M_1p_1} + K_{M_2p_1} \sum_5 C_{15} \sin(s\omega_{1p_1}(t)t + \theta_{15})],$	(60)		
при $\omega_{2p_1}(t) = \omega_{2p_1}(t_0)$ , $M(A, t) = M(A, t_0)$ ,			

1	2	3
Одномассная модель, не учитывающая коле- бательный характер движения УМ	$\lambda_{3p_1}(t) = M(A, t)[h(t)\lambda_{3\omega}(t)],$ при $M(A, t) = M(A, t_0), h(t) = h(t_0),$	(61)
	$\lambda_{3\omega}(t) = [K_{M_{2p_1}} \sum_5 C_{1s} st \cos(s\omega_{2p_1}(t)t + \theta_{1s})],$ при $\omega_{2p_1}(t) = \omega_{2p_1}(t_0),$	(62)
	$K_{\omega_{2p_1}}(t) = K_{F_{21}} \left[ \sum_{\tau_1} C_{\tau_1} t_{\tau_1} \cos(\tau_1 \omega_{2p_1}(t)t + \theta_{\tau_1}) \right],$ при $\omega_{2p_1}(t) = \omega_{2p_1}(t_0),$	(63)
	$K_{\omega_{6p_2}}(t) = K_{F_{22}} \left[ \sum_{\tau_2} C_{\tau_2} t_{\tau_2} \cos(\tau_2 \omega_{6p_2}(t)t + \theta_{\tau_2}) \right],$ при $\omega_{6p_2}(t) = \omega_{6p_2}(t_0),$	(64)
	$K(\omega_{2p_1}, \omega_{6p_2}) = [K_{F_1} + K_{F_{21}} \sum_{\tau_1} C_{\tau_1} \sin(\tau_1 \omega_{2p_1}(t)t + \theta_{\tau_1}) +$	(65)
	$+ K_{F_{22}} \sum_{\tau_2} C_{\tau_2} \sin(\tau_2 \omega_{6p_2}(t)t + \theta_{\tau_2})],$ при $\omega_{2p_1}(t) = \omega_{2p_1}(t_0), \omega_{6p_2}(t) = \omega_{6p_2}(t_0),$	(66)
	$\dot{X}(t) = AX(t) + B\mu(t) + Ff(t)$	(67)
	$Z(t) = CX(t).$	(67)
	В уравнениях (66) и (67): $N_x = 5, N_A = N_{\tau} = 4, N_{\mu} = 2, N_f = 1, N_z = 4$ или 5	(68)
	Элементы векторов $\dot{X}(t), \mu(t), f(t):$	
$X_1(t) = \Delta I_{p_1}(t)$ - приращение тока в якорной обмотке $\Delta_{p_1},$	(69)	
$X_2(t) = \Delta \omega_{1p_1}(t)$ - приращение угловой скорости вала двигателя $\Delta_{p_1},$	(70)	
$X_3(t) = \Delta I_n(t)$ - приращение тока в якорной обмотке $\Delta_n,$	(71)	
$X_4(t) = \Delta V_n(t)$ - приращение линейной скорости подачи УМ,	(72)	
$X_5(t) = \Delta h(t)$ - приращение толщины стружки,	(73)	

1	2	3
	$X_6(t) = \lambda_1(t), X_7(t) = \lambda_2(t), X_8(t) = \lambda_3(t), X_9(t) = \lambda_4(t) \approx \Delta V_n(t - \tau_p),$	(74)
	$X_{10}(t) = \eta_1(t), X_{11}(t) = \eta_2(t), X_{12}(t) = \eta_3(t), X_{13}(t) = \eta_4(t) \approx \Delta \omega_{\rho_1}(t - \tau_p),$	(75)
	$\mu_1(t_0) = \Delta U_p(t)$ - приращение напряжения на якорной обмотке $\Delta_{\rho_1}$ .	(76)
	$\mu_2(t_0) = \Delta U_n(t)$ - приращение напряжения на якорной обмотке $\Delta_n$ .	(77)
	$f_1(t) = \Delta M(A, t)$ - приращение обобщенного показателя сопротивляемости угля разрушению.	(78)
	Начальные условия для модели (66), (67):	
	$X_1(t_0) = I_{\rho_1}(t_0), X_2(t_0) = \omega_{\rho_1}(t_0), X_3(t_0) = I_n(t_0), X_4(t_0) = V_n(t_0), X_5(t_0) = u(t_0),$	(79)
	$\lambda_1(t_0) = V_n(-\tau_p/m), \lambda_2(t_0) = V_n(-2\tau_p/m), \lambda_3(t_0) = V_n(-3\tau_p/m), \lambda_4(t_0) = V_n(-4\tau_p/m),$	(80)
	$\eta_1(t_0) = \omega_{\rho_1}(-\tau_p/m), \eta_2(t_0) = \omega_{\rho_1}(-2\tau_p/m), \eta_3(t_0) = \omega_{\rho_1}(-3\tau_p/m), \eta_4(t_0) = \omega_{\rho_1}(-4\tau_p/m),$	(81)
	В уравнениях (80) и (81):	
	$m = N_{\lambda} = N_{\eta} = 4$	(82)
	Ненулевые элементы матриц $A, B, F$ в (66), (67):	
	$a_{11} = -R_{\rho_1} / L_{\rho_1}, a_{12} = -K_{E_{\rho_1}} / L_{\rho_1},$	(83)
	$a_{21} = K_{M_{\rho_1}} / I_1', a_{25} = -C_3 M(A, t_0) / I_1',$	(84)
	$a_{33} = -R_{\rho_n} / L_{\rho_n}, a_{34} = -K_{E_n} / L_{\rho_n} \tau_3,$	(85)
	$a_{43} = K_{M_n} i_n / m_K \tau_3, a_{45} = C_3 M(A, t_0) / m_K,$	(86)
	$a_{54} = 1.0, a_{59} = -1.0, a_{52} = -V_{n_0} / \omega_{\rho_1}, a_{5_{13}} = V_{n_0} / \omega_{\rho_1},$	(87)

I	2	3
	$a_{64} = m/\tau_p, a_{65} = -m/\tau_p, a_{76} = m/\tau_{p_1}, a_{77} = -m/\tau_p,$	(88)
	$a_{87} = m/\tau_p, a_{88} = -m/\tau_p, a_{98} = m/\tau_p, a_{99} = -m/\tau_p,$	(89)
	$a_{10_2} = m/\tau_p, a_{10_{10}} = -m/\tau_p, a_{11_{10}} = m/\tau_p, a_{11_{11}} = -m/\tau_p,$	(90)
	$a_{12_{11}} = m/\tau_p, a_{12_{12}} = -m/\tau_p, a_{13_{12}} = m/\tau_p, a_{13_{13}} = -m/\tau_p,$	(91)
	$b_{11} = 1.0/L_{\pi p_1}, b_{32} = 1.0/L_{\pi n},$	(92)
	$F_{21} = -C_1 h(t_0)/I_1', F_{41} = -C_3 h(t_0)/m_k.$	(93)
	С учетом реальных условий эксплуатации УМ элементами вектора $Z(t)$ могут быть:	
	$X_1(t), X_2(t), X_3(t), X_4(t),$	(94)
	а при моделировании на ЭВМ: $X_1(t), X_2(t), X_3(t), X_4(t), X_5(t).$	(95)
	Для (94) $-N_z = 4$ , а для (95) $-N_z = 5$ .	(96)
Одномассная модель, учитывающая колеба- тельный характер движения УМ	$\dot{X}(t) = A(t)X(t) + B(t)\mu(t) + F(t)f(t)$	(97)
	$Z(t) = C X(t).$	(98)
	Элементы векторов $X(t), \mu(t), f(t), Z(t)$ , а также размерность матриц $A(t), B, F(t), C$ совпадают с соответствующими элементами предыдущей модели.	

1	2	3
	<p>Элементы матриц <math>A(t)</math>, <math>F(t)</math>, отличные от соответствующих элементов <math>A</math> и <math>F</math> предыдущей модели:</p>	
	$a_{21} = K_{M_{P_1}} / I_1', \quad a_{25}(t) = -\lambda_{1P_1}(t) C_1 / I_1', \quad a_{22}(t) = -\lambda_{3P_1}(t) C_1 / I_1',$	(99)
	$a_{42} = -C_3 h(t_0) M(A, t_0) K_{\omega_{1P_1}}(t) / m_K, \quad a_{43} = K_{M_n} i_n / m_K \tau_3,$	(100)
	$a_{44} = -C_4 K_{TP} / m_K, \quad a_{45} = C_3 M(A, t_0) K(\omega_{1P_1}, \omega_{5P_2}) / m_K,$	(101)
	$F_{21} = -C_1 \lambda_{2P_1}(t) / I_1', \quad F_{41} = -C_5 h(t_0) K(\omega_{1P_1}, \omega_{5P_2}) / m_K.$	(102)
	<p>В уравнениях (99)...(102) функции <math>\lambda_{1P_1}(t)</math>, <math>\lambda_{2P_1}(t)</math>, <math>\lambda_{3P_1}(t)</math>, <math>\lambda_{3\omega}(t)</math> ... вычисляются по уравнениям:</p>	
	$\lambda_{1P_1}(t) = h(t) \left[ K_{M_{1P_1}} + K_{M_{2P_1}} \sum_s C_{1s} \sin(s\omega_{1P_1}(t)t + \theta_{1s}) \right], \text{ при } \omega_{1P_1}(t) = \omega_{1P_1}(t_0), h(t) = h(t_0),$	(103)
	$\lambda_{2P_1}(t) = M(A, t) \left[ K_{M_{1P_1}} + K_{M_{2P_1}} \sum_s C_{1s} \sin(s\omega_{1P_1}(t)t + \theta_{1s}) \right], \text{ при } \omega_{1P_1}(t) = \omega_{1P_1}(t_0), M(A, t) = M(A, t_0),$	(104)
	$\lambda_{3P_1}(t) = M(A, t) h(t) \lambda_{3\omega}(t), \text{ при } M(A, t) = M(A, t_0), h(t) = h(t_0),$	(105)
	$\lambda_{3\omega}(t) = K_{M_{2P_1}} \left[ \sum_s C_{1s} s t \cos(s\omega_{1P_1}(t)t + \theta_{1s}) \right], \text{ при } \omega_{1P_1}(t) = \omega_{1P_1}(t_0),$	(106)
	$K_{\omega_{1P_1}}(t) = K_{P_{21}} \left[ \sum_{\tau_1} C_{\tau_1} \tau_1 \cos(\tau_1 \omega_{1P_1}(t)t + \theta_{\tau_1}) \right], \text{ при } \omega_{1P_1}(t) = \omega_{1P_1}(t_0),$	(107)
	$K_{\omega_{5P_2}}(t) = K_{F_{22}} \left[ \sum_{\tau_2} C_{\tau_2} \tau_2 \cos(\tau_2 \omega_{5P_2}(t)t + \theta_{\tau_2}) \right], \text{ при } \omega_{5P_2}(t) = \omega_{5P_2}(t_0),$	(108)
	$K(\omega_{1P_1}, \omega_{5P_2}) = \left[ K_{F_1} + K_{P_{21}} \sum_{\tau_1} C_{\tau_1} \sin(\tau_1 \omega_{1P_1}(t)t + \theta_{\tau_1}) + K_{F_{22}} \sum_{\tau_2} C_{\tau_2} \sin(\tau_2 \omega_{5P_2}(t)t + \theta_{\tau_2}) \right],$	(109)
	<p>при <math>\omega_{1P_1}(t) = \omega_{1P_1}(t_0)</math>, <math>\omega_{5P_2}(t) = \omega_{5P_2}(t_0)</math>.</p>	

5.12. Начальные стационарные состояния моделей УМ выбирают проектировщиком из следующих условий:

УМ находится в неподвижном состоянии на некотором расстоянии от разрушаемого угольного массива. Двигатели отключены. Начальные условия моделей УМ равны нулю;

Т а б л и ц а 6

Наименование номинальных параметров УМ	Обозначение параметра	Единица измерения
Диаметр шнека исполнительного органа резания $ИО_1$	$D_1$	м
Число заходов шнека	$i_z$	
Число резцов в линии резания	$n_p$	шт.
Номинальная угловая скорость вала $ИО_1$	$\omega_{2p1n}$	рад/с
Номинальная угловая скорость вала $Д_{p1}$	$\omega_{1p1n}$	рад/с
Номинальная мощность двигателя $Д_{p1}$	$P_{p1n}$	кВт
Номинальный ток якорной обмотки $Д_{p1}$	$I_{p1n}$	А
Номинальное напряжение на якорной обмотке $Д_{p1}$	$U_{p1n}$	В
Номинальный упругий момент системы $Д_{p1} - ИО_1$	$M_{12n}$	Н
Передаточное отношение редуктора $Д_{p1}$	$i_p$	
Номинальная угловая скорость вала $Д_n$	$\omega_{3n}$	рад/с
Номинальная линейная скорость подачи УМ	$V_{пн}$	м/с
Номинальная мощность двигателя $Д_n$	$P_{пн}$	кВт
Номинальный ток якорной обмотки $Д_n$	$I_{пн}$	А
Номинальное напряжение на якорной обмотке $Д_n$	$U_{пн}$	В
Номинальный упругий момент системы $Д_n - МП$	$M_{34n}$	Н.м
Передаточное отношение редуктора $Д_n$	$i_n$	

Примечание. При двух исполнительных органах УМ задаются номинальные параметры для  $Д_{p2}$ ,  $ИО_2$  и системы  $Д_{p2} - ИО_2$

УМ разрушает угольный массив, равномерно перемещаясь со скоростью  $V_n(t_0)$ . В рассматриваемый начальный момент времени  $t_0$  из-

известно значение угловых скоростей  $\omega_{1p_1}(t_0)$  и  $\omega_{2p_2}(t_0)$ , математическое ожидание  $A$  и  $M(A, t_0)$ . В нелинейных моделях УМ все производные принимают равными нулю для момента времени  $t_0$  и полученную систему алгебраических уравнений решают относительно элементов вектора  $X(t_0)$  (см. табл. 4);

УМ находится в неподвижном состоянии. Шнеки исполнительных органов врублены в угольный массив. Последующий пуск двигателей исполнительных органов и механизмов подачи будет соответствовать появлению на исполнительном органе ИО<sub>1</sub> экстренных нагрузок. В начальный момент времени  $t_0$  известно значение толщины стружки  $h(t_0)$ . Остальные начальные значения координат машины и привода равны нулю.

5.13. Модели внешних возмущений  $M(A, t_0)$  при экстренных нагрузках на исполнительные органы УМ описываются как детерминированные ступенчатые функции

$$\overline{M(A, t)} = \overline{M(A, t)} 1(t), \quad (5.7)$$

или как линейно возрастающие функции времени

$$M(A, t) = K_M t, \quad (5.8)$$

или как сумма гармонических функций

$$M(A, t) = \sum_{i=1}^n \left[ \overline{M(A, t)} \sin(\omega_i t + \theta_i) \right], \quad (5.9)$$

или как произведение гармонических функций

$$M(A, t) = \prod_{i=1}^n \left[ \overline{M(A, t)} \sin(\omega_i t + \theta_i) \right]. \quad (5.10)$$

В уравнениях (5.7)...(5.10)

$\overline{M(A, t)}$  – амплитудное значение  $M(A, t)$ , в (5.7)  $\overline{M(A, t)} = (2...5) M(A, t_0)$  ;

$1(t)$  – единичная ступенчатая функция;

$K_M$  – коэффициент наклона, Н.м/с;  $K_M = 0, 1 \div 1, 0$ ;

$\omega$  – частота гармонических колебаний, рад/с.

Принимаем [7]  $\omega = 0,05$ ,  $n = 1000$ ,  $\omega_{max} = n\omega$ ,  $\omega_{max} = 50$  рад/с,  $\theta = 0... \pi$ .

5.14. Модели внешних возмущений  $M(A, t)$  при спокойном залегании угольного пласта и отсутствии горно-геологических нарушений описываются как случайные процессы с нормальным законом распределения, характеризуемые экспоненциальными корреляционными функциями

$$R(\tau) = D e^{-\alpha\tau}, \quad (5.11)$$

Т а б л и ц а 7

Обозначения элементов	Единица измерения	Оценки статических и динамических характеристик УМ – элементы вектора $\gamma$
1	2	3
$I_{p_1}(t), I_{p_2}(t)$	А	Зависимости тока в якорных обмотках $\Delta_{p_1}, \Delta_{p_2}$ от времени
$I_{p_1 \max}, I_{p_2 \max}$	А	Максимальные амплитудные значения тока в якорных обмотках $\Delta_{p_1}$ и $\Delta_{p_2}$
$I_n(t)$	А	Зависимость тока в якорной обмотке $\Delta_n$ от времени
$I_{n \max}$	А	Максимальная амплитуда тока в якорной обмотке $\Delta_n$
$t_{i_{p_1}}, t_{i_{p_2}}$	с	Продолжительность переходных процессов по току $I_{p_1}, I_{p_2}$ в якорных обмотках $\Delta_{p_1}, \Delta_{p_2}$
$t_{i_n}$	с	Продолжительность переходного процесса по току $I_n$ в якорной обмотке $\Delta_n$
$M_{g_{p_1}}(t), M_{g_{p_2}}(t), M_{g_n}(t)$	Н.м	Зависимости электромагнитных моментов на валах $\Delta_{p_1}, \Delta_{p_2}, \Delta_n$ от времени
$M_{g_{p_1 \max}}, M_{g_{p_2 \max}}, M_{g_{n \max}}$	Н.м	Максимальные электромагнитные моменты на валах $\Delta_{p_1}, \Delta_{p_2}, \Delta_n$
$t_{m_{g_{p_1}}}, t_{m_{g_{p_2}}}, t_{m_n}$	с	Продолжительность переходных процессов по $M_{g_{p_1}}, M_{g_{p_2}}, M_{g_n}$ на валах $\Delta_{p_1}, \Delta_{p_2}, \Delta_n$
$M_{12}(t), M_{56}(t), M_{34}(t)$	Н.м	Зависимости упругих моментов в кинематических передачах $\Delta_{p_1} - ИО_1, \Delta_{p_2} - ИО_2$ и $\Delta_n - МП$ от времени
$M_{12 \max}, M_{56 \max}, M_{34 \max}$	Н.м	Максимальные амплитудные значения упругих моментов $M_{12}, M_{56}, M_{34}$
$\omega_{1_{p_1}}(t), \omega_{5_{p_2}}(t), \omega_{3_n}(t)$	рад/с	Зависимости угловых скоростей валов двигателей $\Delta_{p_1}, \Delta_{p_2}, \Delta_n$ от времени
$\omega_{2_{p_1}}(t), \omega_{6_{p_2}}(t), \omega_{4_n}(t)$	рад/с	Зависимости угловых скоростей валов $ИО_1, ИО_2$ и тяговой звезды механизма подачи от времени
$t_{\omega_{1_{p_1}}}, t_{\omega_{5_{p_2}}}, t_{\omega_{3_n}}$	с	Продолжительность переходных процессов по $\omega_{1_{p_1}}, \omega_{5_{p_2}}, \omega_{3_n}$
$t_{\omega_{2_{p_1}}}, t_{\omega_{6_{p_2}}}, t_{\omega_{4_n}}$	с	Продолжительность переходных процессов по $\omega_{2_{p_1}}, \omega_{6_{p_2}}, \omega_{4_n}$



I	2	3
$V_n(t)$	м/с	Зависимость линейной скорости подачи УМ от времени
$t_{Vn}$	с	Продолжительность переходного процесса по $V_n$
$M_{g.p_1 cp}, M_{g.p_2 cp}, M_{g.n cp}$	Н.м	Средние моменты на валах $\Delta_{P_1}, \Delta_{P_2}, \Delta_n$ за время переходных процессов по $M_{g.p_1}, M_{g.p_2}, M_{g.n}$
$K_{M_{g_1}} = M_{g.p_1 max} / M_{g.p_1 cp}$		Коэффициент динамичности $\Delta_{P_1}$
$K_{M_{g_2}} = M_{g.p_2 max} / M_{g.p_2 cp}$		Коэффициент динамичности $\Delta_{P_2}$
$K_{M_n} = M_{g.n max} / M_{g.n cp}$		Коэффициент динамичности $\Delta_n$
$K_{j.p_1} = M_{12 max} / M_{12 n}$		Коэффициент загрузки кинематической передачи $\Delta_{P_1} - IO_1$
$K_{j.p_2} = M_{56 max} / M_{56 n}$		Коэффициент загрузки кинематической передачи $\Delta_{P_2} - IO_2$
$K_{j.n} = M_{34 max} / M_{34 n}$		Коэффициент загрузки кинематической передачи $\Delta_n - MP$
$\omega_{1P_1}, \omega_{1P_2}, \omega_{1n}$	А	Среднеквадратичные отклонения тока в якорных обмотках $\Delta_{P_1}, \Delta_{P_2}, \Delta_n$ от номинальных значений $I_{P_1 n}, I_{P_2 n}, I_{n n}$
$\omega_{M_{12}}, \omega_{M_{56}}, \omega_{M_{34}}$	Н.м	Среднеквадратичные отклонения упругих моментов от номинальных значений $M_{12 n}, M_{56 n}, M_{34 n}$
$\omega_{\omega_{1P_1}}, \omega_{\omega_{5P_2}}, \omega_{\omega_{3n}}$	рад/с	Среднеквадратичные отклонения угловых скоростей от номинальных значений $\omega_{1P_1 n}, \omega_{5P_2 n}, \omega_{3n n}$
$\tau_{P_1}(t), \tau_{P_2}(t), \tau_n(t)$	град	Зависимость температуры соответственно в якорных обмотках $\Delta_{P_1}, \Delta_{P_2}, \Delta_n$ от времени
$\tau_{P_1 max}, \tau_{P_2 max}, \tau_n max$	град	Максимальное значение температуры якорных обмоток соответственно $\Delta_{P_1}, \Delta_{P_2}, \Delta_n$
$P_{P_1 max}, P_{P_2 max}, P_n max$	кВт	Максимальные значения потребляемой мощности соответственно $\Delta_{P_1}, \Delta_{P_2}, \Delta_n$

Таблица 8

№ п/п	Наименование варьируемых конструктивных параметров УМ	Базовое обозначение параметра	Приращение к базовому значению	Единица измерения	Примечание
1	Индуктивность якорной обмотки $\Delta_{p_1}$	$L_{sp_1}$	$\Delta L_{sp_1} = \pm 50\% L_{sp_1}$	Г	Базовые значения параметров I...4 могут быть определены: по паспортным данным двигателя; расчетным путем [11]; экспериментально
2	Индуктивность якорной обмотки $\Delta_n$	$L_{sn}$	$\Delta L_{sn} = \pm 50\% L_{sn}$	Г	
3	Активное сопротивление якорной обмотки $\Delta_{p_1}$	$R_{sp_1}$	$\Delta R_{sp_1} = \pm 50\% R_{sp_1}$	Ом	
4	Активное сопротивление якорной обмотки $\Delta_n$	$R_{sn}$	$\Delta R_{sn} = \pm 50\% R_{sn}$	Ом	
5	Передаточное отношение редуктора				Базовые значения параметров 5...11 рассчитываются по номинальным параметрам УМ
5	Передаточное отношение редуктора				
6	$\Delta_{p_1}$	$i_p$	$\Delta i_p = \pm 25\% i_p$	кг.м <sup>2</sup>	
	$\Delta_n$	$i_n$	$\Delta i_n = \pm 25\% i_n$		
6	Момент инерции исполнительного органа резания $IO_1$	$J_2$	$\Delta J_2 = \pm 25\% J_2$	кг.м <sup>2</sup>	
7	Момент инерции якоря $\Delta_{p_1}$	$J_1$	$\Delta J_1 = \pm 25\% J_1$	кг.м <sup>2</sup>	
8	Момент инерции якоря $\Delta_n$	$J_3$	$\Delta J_3 = \pm 25\% J_3$	кг.м <sup>2</sup>	
9	Масса УМ	$m_k$	$\Delta m = \pm 25\% m_k$	кг	
10	Жесткость кинематических передач редуктора $\Delta_{p_1}$	$C_{12}$	$\Delta C_{12} = \pm 25\% C_{12}$	Н.м/рад	
11	Жесткость кинематических передач редуктора $\Delta_n$	$C_{34}$	$\Delta C_{34} = \pm 25\% C_{34}$	Н.м/рад	
12	Кинематическая погрешность передач какого-либо редуктора	$\Delta\varphi_{k, n\ell}$	$\Delta(\Delta\varphi_{k, n\ell} = \pm 25\% \Delta\varphi_{k, n\ell})$	рад	По [7]: $\Delta\varphi_{k, n\ell} = 0,3054 \text{ рад}^\ell$
13	Коэффициенты вязкого трения какого-либо редуктора	$\beta_{i\ell}$	$\beta_{i\ell} = \pm 25\% \beta_{i\ell}$		По [12]: $\beta_{i\ell} = 2\varepsilon \sqrt{C_{ij} i_{ij}^\ell}$ , где $\varepsilon = 0,15...0,25$ . Индекс $i, j; \ell$ определен выше.

Примечание. При двух исполнительных органах УМ варьируемые параметры второго исполнительного органа приводятся по аналогии с первым.

или экспоненциально-косинусными корреляционными функциями

$$R(\tau) = D e^{-\alpha\tau} \cos \omega\tau, \quad (5.12)$$

где  $D$  - дисперсия обобщенного показателя сопротивляемости угла разрушения,  $\text{Н}^2 \cdot \text{м}^2$ .

Значения  $\alpha$  и  $\omega$  для наклонных и пологих пластов средней мощности изменяются в диапазонах [12]:  $\alpha = 200 \dots 1000 \text{ с}^{-1}$ ,  $\omega = 100 \dots 2000 \text{ с}^{-1}$ .

5.15. Управляющие воздействия при моделировании УМ формируются как сигналы на выходах тиристорных преобразователей с передаточной функцией

$$W_{p\ell}(\rho) = \frac{K_\ell}{(T_{3\ell}\rho + 1)(T_{4\ell}\rho + 1)}, \quad (5.13)$$

где  $K_\ell$  - коэффициент усиления  $\ell$ -го тиристорного преобразователя,  
 $T_{3\ell}$ ,  $T_{4\ell}$  - постоянные времени  $\ell$ -го тиристорного преобразователя, с.

При  $T_{4\ell} > T_{3\ell}$  управляющее воздействие на выходе  $\ell$ -го преобразователя вычисляется по уравнению [13]

$$U_\ell(t) = U_{\ell n} (1 + C_1 e^{-t/T_3} - C_2 e^{-t/T_4}), \quad (5.14)$$

где

$$C_1 = \frac{T_3}{T_4 - T_3}, \quad C_2 = \frac{T_4}{T_4 - T_3}. \quad (5.15)$$

## 6. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УМ НА ЭВМ. АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК И МОДЕЛЕЙ УМ

6.1. Имитационное моделирование УМ заключается в проведении на ЭВМ численных экспериментов с уравнениями, описывающими объект и условия взаимодействия с внешней средой. Результаты экспериментов представляют графические, численные или аналитические зависимости показателей динамических и статических режимов УМ от конструктивных параметров машины и внешних возмущений. Представим множество моделей УМ в виде "черного ящика", изображенного на рис.7. Свойства моделей УМ описываются элементами вектора  $Y$ , имеющего размерность  $N_Y$ .

Факторы, воздействующие на объект, условно можно разделить на три группы:

содержащую варьируемые входные воздействия, управляющие и возмущающие (элементы вектора  $U$  размерностью  $N_U$ );

содержащую варьируемые параметры моделей (элементы вектора  $P$ , имеющего размерность  $N_p$ );

включающую в себя неизменяемые параметры моделей (элементы вектора  $S$ , имеющего размерность  $N_s$ ).

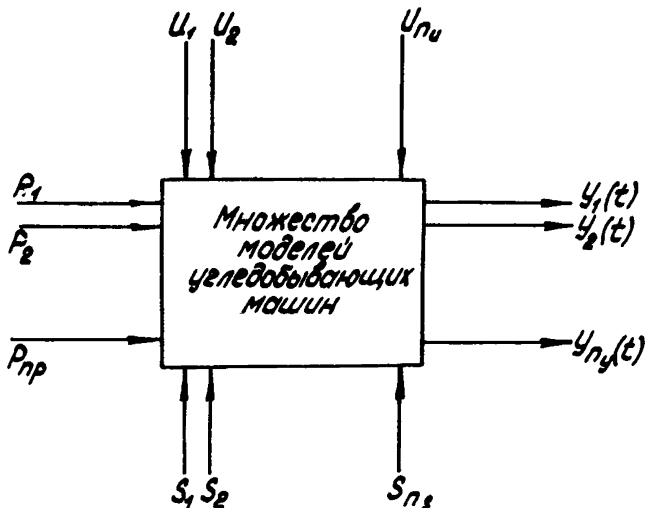


Рис. 7. УМ как объекты имитационного моделирования

Исследование УМ для оценки их статических и динамических характеристик заключается в получении зависимостей

$$Y(t) = f(P, U) \quad \text{при } s = \text{const}, t \rightarrow \infty, \quad (6.1)$$

$$Y(t) = f(P, U, t) \quad \text{при } s = \text{const}. \quad (6.2)$$

Элементы вектора  $Y$  представлены в табл.7, а вектора  $P$  в табл.8. Имитационное моделирование на ЭВМ позволяет рассчитать приближенные зависимости, аппроксимирующие (6.1) и (6.2).

6.2. Отдельный численный эксперимент представляет собой процедуру решения на ЭВМ систем дифференциальных уравнений при известном характере внешних возмущений. При этом на печать выводятся выходные координаты УМ – элементы векторов  $X$  и  $Z$  в моделях УМ. Интегрирование дифференциальных уравнений осуществляется в интервале времени  $t_i (t_0 \leq t_i \leq t_n)$ , который выбирается из соображений обеспечения окончания наиболее продолжительных переходных процессов в электроприводе и конструктивных элементах машины.

Предлагается следующая логическая последовательность процедур, реализующих процесс имитационного моделирования УМ.

6.3. Выбираются элементы вектора  $Y$  (табл.7), для которых необходимо получить зависимости (6.1), (6.2). Обзорный полный факторный эксперимент [13,18], позволяющий рассчитать (6.1), (6.2), выполним для ограниченного числа независимых переменных - элементов векторов  $P$  и  $U$  (для 2...5 переменных). Тогда модели УМ (см.табл.4 и 5) и их программные аналоги на средствах МАСС позволяют получить следующие аппроксимирующие (6.1), (6.2) соотношения:

для двухмассных моделей при  $t \rightarrow \infty$

$$\left. \begin{aligned}
 I_{p, \max} &= f_{11}(\Sigma_i), & V_n &= f_{31}(\Sigma_i), \\
 I_{p_1} &= f_{12}(\Sigma_i), & \eta &= f_{32}(\Sigma_i), \\
 I_{n, \max} &= f_{13}(\Sigma_i), & \omega_{1, p_1} &= f_{33}(\Sigma_i), \\
 I_n &= f_{14}(\Sigma_i), & \omega_{2, p_1} &= f_{34}(\Sigma_i), \\
 M_{12, \max} &= f_{21}(\Sigma_i), & t_{I, p_1} &= f_{35}(\Sigma_i), \\
 M_{34, \max} &= f_{22}(\Sigma_i), & t_{I, n} &= f_{36}(\Sigma_i), \\
 M_{g, p_1} &= f_{23}(\Sigma_i), & t_{M, g, p_1} &= f_{37}(\Sigma_i), \\
 M_{g, n} &= f_{24}(\Sigma_i), & t_{M, g, n} &= f_{38}(\Sigma_i), \\
 K_{M, g_1} &= f_{41}(\Sigma_i), & \tau_{p, \max} &= f_{51}(\Sigma_i), \\
 K_{M, n} &= f_{42}(\Sigma_i), & \tau_{n, \max} &= f_{52}(\Sigma_i), \\
 K_{3, p_1} &= f_{43}(\Sigma_i), & P_{p, \max} &= f_{61}(\Sigma_i), \\
 K_{3, n} &= f_{44}(\Sigma_i), & P_{n, \max} &= f_{62}(\Sigma_i),
 \end{aligned} \right\} \quad (6.3)$$

где  $\Sigma_i$  - вектор варьируемых параметров моделей УМ, который будет составлять:

при детерминированных возмущениях:

$$\left. \begin{aligned}
 i=1, \Sigma_1 &= \{J_1, J_2, M(A, t_0), T_{p_1}, T_n\}, \\
 i=2, \Sigma_2 &= \{J_1, J_2, U_{p_1}, U_n, M(A, t_0)\}, \\
 i=3, \Sigma_3 &= \{C_{12}, C_{34}, M(A, t_0), J_1, J_2\}, \\
 i=4, \Sigma_4 &= \{C_{12}, C_{34}, M(A, t_0), T_{p_1}, T_n\},
 \end{aligned} \right\} \quad (6.4)$$

при случайных возмущениях:

$$\left. \begin{aligned}
 i=5, \Sigma_5 &= \{J_1, J_2, M(A, t_0), G(M(A, t_0))\}, \\
 i=6, \Sigma_6 &= \{U_{p_1}, U_n, M(A, t_0), G(M(A, t_0))\}, \\
 i=7, \Sigma_7 &= \{C_{12}, C_{34}, M(A, t_0), G(M(A, t_0))\}, \\
 i=8, \Sigma_8 &= \{T_{p_1}, T_n, M(A, t_0), G(M(A, t_0))\},
 \end{aligned} \right\} \quad (6.5)$$

для одномассных моделей при  $t \rightarrow \infty$

$$\left. \begin{aligned} I_{p_1, \max} &= f_{15}(\Sigma_i), & V_n &= f_{39}(\Sigma_i), \\ I_{p_1} &= f_{16}(\Sigma_i), & h &= f_{310}(\Sigma_i), \\ I_{n, \max} &= f_{17}(\Sigma_i), & \tau_{p_1, \max} &= f_{33}(\Sigma_i), \\ I_n &= f_{18}(\Sigma_i), & \tau_{n, \max} &= f_{34}(\Sigma_i), \\ P_{p_1, \max} &= f_{63}(\Sigma_i), & P_{n, \max} &= f_{64}(\Sigma_i), \end{aligned} \right\} \quad (6.6)$$

где  $\Sigma_i$  будет:

при детерминированных возмущениях:

$$\left. \begin{aligned} i=9, \Sigma_9 &= \{J'_1, M(A, t_0), U_n, U_{p_1}, T_n\}, \\ i=10, \Sigma_{10} &= \{J'_3, M(A, t_0), U_n, U_p, T_{p_1}\}, \\ i=11, \Sigma_{11} &= \{T_{p_1}, M(A, t_0), T_n, U_p, U_n\}, \\ i=12, \Sigma_{12} &= \{T_{p_1}, T_n, J'_1, M(A, t_0)\}, \end{aligned} \right\} \quad (6.7)$$

при случайных возмущениях:

$$\left. \begin{aligned} i=13, \Sigma_{13} &= \{J'_1, M(A, t_0), \mathcal{G}(M(A, t_0)), U_n\}, \\ i=14, \Sigma_{14} &= \{J_3, M(A, t_0), \mathcal{G}(M(A, t_0)), U_n\}, \\ i=15, \Sigma_{15} &= \{T_{p_1}, M(A, t_0), \mathcal{G}(M(A, t_0)), U_{p_1}\}, \\ i=16, \Sigma_{16} &= \{T_{p_1}, T_n, M(A, t_0), \mathcal{G}(M(A, t_0))\}. \end{aligned} \right\} \quad (6.8)$$

В уравнениях (6.4); (6.5), (6.7), (6.8):

$T_{p_1} = L_{p_1}/R_{p_1}$ ;  $T_n = L_{p_n}/R_{p_n}$  — электромагнитные постоянные соответственно  $\Delta_{p_1}$  и  $\Delta_n$ ;

$\mathcal{G}(M(A, t_0))$  — среднеквадратичное отклонение  $M(A, t)$ , Н.М.

Вектор  $\Sigma_i$  может содержать и другие составляющие  $P$  и  $U$ , отличные от приведенных в (6.4), (6.5), (6.7), (6.8).

6.4. Уравнения (6.3) и (6.6) аппроксимируются алгебраическими полиномами следующего вида [13, 18]:

$$Y_x = f_x(Z_i, Z_j, Z_l, \dots) = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i Z_i + \sum_{i,j}^k \beta_{ij} Z_i Z_j + \dots, \quad (6.9)$$

где  $Z_i, Z_j, Z_l, \dots$  — нормированные (безразмерные) варьируемые факторы численных экспериментов — элементы векторов  $\Sigma_i$  в относительных единицах.

Обозначим соответственно естественное текущее, базовое значение и приращение варьируемого параметра  $\gamma_{пар_i(j, l)}$ ,  $\gamma_{б.пар_i(j, l)}$ ,  $\Delta \gamma_{пар_i(j, l)}$  При ортогональном планировании факторных экспериментов

$$\gamma_{пар_i(j, l)} = \gamma_{б.пар_i(j, l)} \pm \Delta \gamma_{пар_i(j, l)}.$$

Тогда  $Z_{i(j, \ell)}$  вычисляются по уравнению

$$Z_{i(j, \ell)} = \frac{\delta_{\text{пар}; i(j, \ell)} - \delta_{\text{б. пар}; i(j, \ell)}}{\Delta \delta_{\text{пар}; i(j, \ell)}}. \quad (6.10)$$

В табл.9 приводятся матрицы планирования полных факторных экспериментов типа  $2^m$ , где  $m = 2, \dots, 5$ .

Проведение численных экспериментов на ЭМ с применением теории оптимального планирования [13, 18] и стратегии полных факторных экспериментов характеризуется тем, что вычисления оценок  $Y_{\lambda}$  в точках матрицы планирования равнозначны. Это соответствует равенству нулю дисперсий  $Y_{\lambda}$  для строк матриц планирования. Тогда оценки (6.3), (6.6) и их аппроксимирующие аналоги (6.9) представляют детерминированное, а не стохастическое множество показателей статических и динамических режимов УМ.

6.5. Коэффициенты интерполяционных полиномов (6.9) для ортогональной матрицы планирования рассчитываются по известным уравнениям метода наименьших квадратов [13, 18]

$$b_0 = (\sum Y_{\lambda}) / 2^m, \quad i = 1, N, \quad (6.11)$$

$$b_j = (\sum Z_{i,j} Y_{\lambda}) / 2^m, \quad i = 1, N, \quad (6.12)$$

где  $N = 2^m$  - число расчетных точек матрицы планирования;

$m$  - количество варьируемых факторов в анализируемой модели УМ;

$Y_{\lambda}$  - один из элементов вектора  $Y$ , определенный в результате обработки результатов численного интегрирования моделей УМ;

$i$  - номер строки матрицы планирования,

$j$  - номер варьируемого фактора.

Проверка адекватности описания уравнением (6.9) области существования варьируемых факторов осуществляется путем сравнения численных значений  $Y_{\lambda}(x_0)$  в базовой точке матрицы планирования с значением коэффициента  $b_0$ . Должно выполняться условие:

$$(Y_{\lambda}(x_0) - \Delta Y_{\lambda p}) \leq b_0 \leq (Y_{\lambda}(x_0) + \Delta Y_{\lambda p}), \quad (6.13)$$

где  $\Delta Y_{\lambda p}$  - допустимое отклонение расчетного значения  $Y_{\lambda}$ .

Уравнение (6.9) может неадекватно описывать область существования варьируемых факторов из-за кривизны поверхности  $Y = f(p, U)$  в пределах матрицы планирования. Тогда для обеспечения условия (6.13) уменьшают шаг варьирования факторов  $\Delta \delta_{\text{пар}; i(j, \ell)}$  и проводят новую серию численных экспериментов с моделями УМ на ЭМ.

Т а б л и ц а 9

Номер эксперимента (точки матрицы планирования)	Нормированные факторы $Z_j$				
	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$
0	0	0	0	0	0
I	+I	+I	+I	+I	+I
2	-I	+I	+I	+I	+I
3	+I	-I	+I	+I	+I
4	-I	-I	-I	+I	+I
5	+I	+I	-I	+I	+I
6	-I	+I	-I	+I	+I
7	+I	-I	-I	+I	+I
8	-I	-I	-I	+I	+I
9	+I	+I	+I	-I	+I
10	-I	+I	+I	-I	+I
11	+I	-I	+I	-I	+I
12	-I	-I	+I	-I	+I
13	+I	+I	-I	-I	+I
14	-I	+I	-I	-I	+I
15	+I	-I	-I	-I	+I
16	-I	-I	-I	-I	+I
17	+I	+I	+I	+I	-I
18	-I	+I	+I	+I	-I
19	+I	-I	+I	+I	-I
20	-I	-I	+I	+I	-I
21	+I	+I	-I	+I	-I
22	-I	+I	-I	+I	-I
23	+I	-I	-I	+I	-I
24	-I	-I	-I	+I	-I
25	+I	+I	+I	-I	-I
26	-I	+I	+I	-I	-I
27	+I	-I	+I	-I	-I
28	-I	-I	+I	-I	-I
29	+I	+I	-I	-I	-I
30	-I	+I	-I	-I	-I
31	+I	-I	-I	-I	-I
32	-I	-I	-I	-I	-I



6.6. Численные эксперименты для строк матриц планирования типа приведенных в табл. 9 проводятся в объеме  $N = 2^m + 1$ , где  $m = 2, \dots, 5$ . Дополнительный эксперимент осуществляется при базовых значениях варьируемых факторов. Его результаты необходимы для проверки адекватности уравнения (6.9). В каждом отдельном численном эксперименте интегрируются уравнения, составляющие модели УМ при значениях варьируемых параметров, соответствующих точкам матрицы планирования.

6.7. Анализ характеристик моделей УМ заключается в построении интерполяционных полиномов (6.9), аппроксимирующих (6.3), (6.6). Далее с учетом (6.10) интерполяционные полиномы (6.9) преобразуют из безразмерной нормированной формы в естественную. Последняя используется для построения статических зависимостей  $Y_{\lambda} = f(\delta_{napi}(j, t))$  в двумерном или трехмерном пространстве.

Некоторые результаты имитационного моделирования УМ приведены в приложении 3.

6.8. Важным для решения задачи выбора оптимальных параметров управляющих устройств является вопрос оценки устойчивости моделей УМ. В приложениях 4 и 5 приводятся Фортран-программы NSBASM, NSSAY6, позволяющие оценить устойчивость линеаризованных моделей УМ как объектов управления по матрице  $A$ .

Для исследования областей устойчивости моделей УМ и САУ УМ может быть использован метод сеток. Область  $n$  варьируемых параметров ( $n = 2$  или  $3$ ) разбивается  $n$ -мерной сеткой. В каждом узле сетки оценивается устойчивость модели УМ или САУ УМ.

Рассмотрим пример. Будем считать, что область эксплуатации конкретной УМ являются пологие пласты средней мощности одного из бассейнов страны. Тогда можно считать известными [4] такие оценки свойств этих пластов, как:

минимальное и максимальное значения математического ожидания сопротивляемости угля резанию  $A_{min}$  и  $A_{max}$ ;

минимальное и максимальное значения среднеквадратичного отклонения сопротивляемости угля резанию  $\sigma(A_{min})$ ,  $\sigma(A_{max})$ . От  $A$  и  $\sigma(A)$  зависят отдельные коэффициенты моделей, представленных в табл. 4 и 5. В декартовых координатах  $\{\sigma(A), A\}$  область существования элементов моделей УМ, зависящих от  $\sigma(A)$ ,  $A$  (обозначим подобные элементы  $a_{ij}$ ), ограничивается предельными значениями  $A$  и  $\sigma(A)$ . Выбрав интервалы дискретизации  $\Delta\sigma(A)$  и  $\Delta A$ , разобьем область существования  $a_{ij}$  сеткой, имеющей  $N$  узлов, где

$$N = N_{\Delta\sigma} N_{\Delta A}, \quad (6.14)$$

$$N_{\Delta G} = (G(A_{max}) - G(A_{min})) / \Delta G(A), \quad (6.15)$$

$$N_{\Delta A} = (A_{max} - A_{min}) / \Delta A. \quad (6.16)$$

Далее выполняются следующие операции:

строится двумерная область существования  $S_{сущ}$  элементов  $a_{ij}$ ; путем определения границ изменения параметров, определения интервалов дискретизации, а также  $N$  по формуле (6.14);

в  $N$  узлах  $S_{сущ}$  проводятся вычисления:

с помощью программы *NSSAY6*, если необходимо установить только факт устойчивости или неустойчивости моделей;

с помощью программы *NSBASM*, если требуется оценить близость модели к границе устойчивости;

с помощью средств МАСС [16,17], если модель УМ нелинейна, получают временные зависимости  $X(t)$  на интервале времени  $T$ . По характеру изменения амплитудных значений элементов вектора  $X(t)$  при  $t \rightarrow t_n$  принимают решение об устойчивости нелинейной модели УМ в  $N_i$  узле  $S_{сущ}$ .

Выводы о свойствах области устойчивости моделей УМ делают путем анализа результатов во всех  $N$  узлах  $S_{сущ}$ .

## 7. ОПТИМИЗАЦИЯ САУ УМ

7.1. Функциональная схема САУ УМ может быть сформирована эвристически. При этом анализируется опыт эксплуатации систем управления УМ [6,12], а также электромеханических объектов в других отраслях промышленности [4,11,12], затем принимаются решения о возможных вариантах функциональных схем САУ УМ с различными фиксированными структурами управляющих устройств. В последующем необходимо для каждого варианта САУ УМ найти такие сочетания параметров управляющих устройств (настраиваемых параметров), которые обеспечивают оптимальные значения оценок, характеризующих качество работы САУ УМ.

Задача, решаемая в такой постановке, называется задачей оптимальной настройки САУ [19]. В настоящей работе рассматривается ее решение для САУ УМ с управляемыми приводами исполнительных органов резания и механизма подачи. Оптимальную настройку САУ УМ следует рассматривать как завершающую процедуру функционального проектирования, позволяющую уточнить предельные оценки качества САУ с теми или иными алгоритмами управления, исследовать влияние варьируемых параметров САУ на показатели надежности и долговечности машины и, наконец, принять решение о технически реализуемой структуре САУ УМ.

Оценками, характеризующими работу САУ УМ, могут являться показатели надежности и долговечности машины [20], а также связанные с ними прямые оценки качества динамических режимов УМ. Для управляемой УМ показатели надежности, долговечности и прямые оценки качества должны быть выше, чем у неуправляемой машины.

Традиционные постановки задач оптимальной настройки предполагают наличие моделей объекта, возмущений и управляющего устройства, а также методов и средств для вычисления оценок качества и сравнения результатов. Используя эту информацию в настоящей работе, кроме поиска совокупности параметров, обеспечивающих экстремум оценок качества, предлагается проведение исследований оценок, критериев и функционалов качества в области изменения настроечных параметров управляющего устройства при вариации параметров возмущающих воздействий. Исследование заключается в получении динамических характеристик выходных координат УМ, градиента и антиградиента прямых оценок качества динамических режимов, связанных с показателями надежности, долговечности машины и в поиске экстремумов функционалов надежности и долговечности. Определим множество подобных прямых оценок и показателей (критериев) как компоненты вектора  $\pi = \{\pi_i\}$ ,  $i = \overline{1, n_\pi}$  среди них также, как: коэффициенты динамичности; максимальные значения токов в якорных обмотках двигателей, упругие моменты трансмиссий, угловые скорости валов двигателей и исполнительных органов, температуры обмоток двигателей; среднеквадратичные значения перечисленных показателей, а также других, упоминавшихся в табл.7.

Математическая модель УМ как объекта управления по каналам возмущающих и управляющих воздействий в наиболее общем случае может быть представлена в форме нелинейных дифференциальных уравнений с запаздывающими координатами и постоянными коэффициентами, являющимися для  $i$ -го стационарного режима функциями конструктивных параметров привода и машины  $\alpha_{oy} = \{\alpha_{oy_i}\}$ ,  $i_{oy} = \overline{1, n_{oy}}$ .

Множество параметров управляющих устройств разделим на два непересекающихся подмножества: ненастраиваемых и настраиваемых параметров. Упорядоченное множество настраиваемых параметров представлено вектором  $\beta = \{\beta_i\}$ ,  $i = \overline{1, n_\beta}$ , а ненастраиваемых - вектором  $\gamma = \{\gamma_j\}$ ,  $j = \overline{1, n_\gamma}$ .

Каждый из настраиваемых параметров  $\beta_i$  изменяется в диапазоне

$$\beta_{i \min} \leq \beta_i \leq \beta_{i \max}. \quad (7.1)$$

Неравенства (7.1) определяют области технически возможных изменений настраиваемых параметров. Для наиболее общей нелинейной модели производственные условия функционирования УМ имитируются возмущающим воздействием, представляющим аддитивное (или мультипликативное) сочетание детерминированных и случайных функций с нормальным законом распределения. При описании САУ УМ линеаризованными моделями принцип суперпозиции позволяет исходную задачу разбить на две: в одном случае с детерминированными, а в другом – со случайными входными воздействиями. САУ УМ обеспечивает снижение динамической нагруженности конструктивных элементов машин и ее привода, это должно привести к повышению надежности и увеличению долговечности машины. Определим последние два понятия на основе известных научных теорий и руководящих технических материалов [14,20...22].

Надежность – это вероятность безотказной работы УМ между двумя капитальными ремонтами. Обозначим этот параметр  $\mathcal{C}N$ .

Долговечность – это период времени, в продолжении которого с вероятностью не ниже  $\mathcal{C}N$  угледобывающая машина будет находиться в работоспособном состоянии и не потребует капитальных ремонтов. Введем обозначение долговечности  $T_d$ , лет.

Доказано, что экономически и технически достаточным является обеспечение установленных проектных уровней надежности  $\mathcal{C}N_n$  и долговечности  $T_d$  горных машин [21] в период их эксплуатации, это позволяет определить функционал качества параметрической настройки САУ УМ как требование обеспечить выполнение следующих условий:

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{C}N_n &\leq J_{\mathcal{C}N}(\pi, \alpha_{oy}, \gamma, \beta) \leq 1, \\ T_{d_n} &\leq J_{T_d}(\pi, \alpha_{oy}, \gamma, \beta) \leq T_{d_m}, \end{aligned} \right\} \quad (7.2)$$

где  $T_{d_m}$  – так называемый уровень моральной долговечности машины [14];

$J_{\mathcal{C}N}$ ,  $J_{T_d}$  – уровни надежности и долговечности управляемой угледобывающей машины.

Достаточное условие нормальной работоспособности САУ сводится прежде всего к обеспечению ее устойчивости по всему множеству управляемых координат машины. Проверка этого условия при описании динамики САУ УМ линеаризованными системами обыкновенных дифференциальных уравнений легко осуществляется с помощью рассматриваемых выше методов. Трудности возникают при задании модели структурным способом, т.е. отдельно объект, управляющее устройство и уравнение связи между ними, или при описании динамики

САУ УМ нелинейными системами уравнений. В этом случае наиболее просто оценить устойчивость путем построения траекторий управляемых координат. С учетом специфики конкретных объектов - УМ с электроприводом - и численных методов моделирования динамики машины определим устойчивость САУ УМ как условия, при которых значения анализируемых координат машины в момент времени  $t \geq t_n$  не отличаются более, чем на допустимую ошибку  $\Delta X, \Delta Z$  от теоретически возможных значений  $X(t_n)$  и  $Z(t_n)$ , а на всем интервале  $t_0 \leq t_i \leq t_n$  (где  $t_i = i \Delta t$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $n$  - количество расчетных точек на интервале интегрирования моделей УМ, при  $i = n$  получим  $t_i = n \Delta t = t_n = T$ ) текущие значения  $X(t_i), Z(t_i)$  не превышают уровней безопасной работы машины. Например, для приводного двигателя механизма подачи должны выполняться следующие условия:

$$\left. \begin{aligned} I_n(t_i) = I_{уст}(t) &\leq (3 \dots 5) I_{n,n} = I_{max}, \text{ при } t_0 \leq t \leq T \\ I_n(t_i) &\leq I_{n,n}(t) = I_{уст}(t) \Big|_{t \rightarrow \infty} \end{aligned} \right\} \quad (7.3)$$

или с учетом допустимой погрешности

$$\left. \begin{aligned} |I_n(t_i) - I_{max}| &\leq \Delta I_n(t_i), \text{ при } t_0 \leq t_i \leq T, \\ |I_n(T) - I_{n,n}| &\leq \Delta I_n(T) \Big|_{T \rightarrow \infty}. \end{aligned} \right\} \quad (7.4)$$

Формулировка задачи оптимальной настройки САУ УМ как нелинейной задачи математического программирования с учетом (7.3) и (7.4), а также ограничений, накладываемых моделями объекта и возмущениями, примет вид:

$$\left. \begin{aligned} \dot{X}(t) &= f(A, B, F, f(t), \alpha_{oy}, \gamma, \beta, \mu(t)), X(t_0) = X_0, \\ Z(t) &= f(C, X(t)), Z(t_0) = Z_0, \\ \mu(t) &= f(f(t), X(t), Z_3(t), \alpha_{oy}, \gamma, \beta), \gamma_{oy} = \gamma_{oy}^0, \\ |X_{i_x}(t_i) - X_{i_x,max}| &\leq \Delta X_{i_x}(t_i), t_0 \leq t_i \leq T, i_x = \overline{1, N}, \\ |X_{i_x}(T) - X_{i_x,уст}| &\leq \Delta X_{i_x}(T), T \rightarrow \infty, i_x = \overline{1, n_p}, \\ \beta_{i_\beta, min} \leq \beta &\leq \beta_{i_\beta, max}, i_\beta = \overline{1, n_\beta}, \alpha_{oy} = \alpha_{oy}^0, \\ \mathcal{G}_{n_n} &\leq \mathcal{J}_{n_n}(\pi, \alpha_{oy}, \gamma, \beta) \leq 1, \\ T_{\partial n} &\leq \mathcal{J}_{T_2}(\pi, \alpha_{oy}, \gamma, \beta) \leq T_{\partial, n} \end{aligned} \right\} \quad (7.5)$$

В постановке (7.5) задача оптимальной настройки САУ УМ трудно разрешима, так как в настоящее время отсутствует аналитические или численно-аналитические модели функционалов  $\mathcal{J}_{n_n}$  и  $\mathcal{J}_{T_2}$ .

Имея численные значения компонентов вектора  $\pi$ , может косвенно сравнить значения функционалов  $J_{\sigma_n}$ ,  $J_{\sigma_0}$  для управляемых и неуправляемых УМ. Примем гипотезу адекватности линеаризованных моделей УМ и поставим более простые, чем (7.5), задачи исследования прямых показателей качества динамического функционирования УМ и САУ УМ в области настраиваемых параметров (7.1) для возможных условий работы машины:

экстремный режим, связанный с разрушением твердых включений (детерминированные экстремные возмущения), математическая постановка задачи будет:

$$\left. \begin{aligned} \dot{X}(t) &= AX(t) + B\mu(t) + F\mathcal{F}(t), X(t_0) = X_0; \\ F(t) &= f_1(t), f_1(t_0) = f_{10}, \mu(t_0) = \mu_0, \alpha_{oy} = \alpha_{oy}^0, \gamma_{oy} = \gamma_{oy}^0, \\ Z(t) &= CX(t), Z_3(t) = f_2(t), \varepsilon(t) = Z_3(t) - Z(t), \\ \mu(t) &= f_{\varphi}(\mathcal{F}(t), \varepsilon(t), Z_3(t), \beta, \gamma_{oy}, \alpha_{oy}), \\ \beta_{i_{\beta} \min} &\leq \beta_{i_{\beta}} \leq \beta_{i_{\beta} \max}, i_{\beta} = \overline{1, n_{\beta}}, \\ |X_{i_x}(t_i) - X_{i_x \max}| &\leq \Delta X_{i_x}(t_i), t_0 \leq t \leq T, \\ |X_{i_x}(T) - X_{i_x \text{ устр}}| &\leq \Delta X_{i_x}(T), T \rightarrow \infty \end{aligned} \right\} (7.6)$$

где  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$  - известные (прогнозируемые) функции времени;  
 $f_{\varphi}$  - функциональная зависимость, определяющая фиксированную структуру управляющего устройства;

расчетный режим, характеризуемый спокойным залеганием пласта и отсутствием горно-геологических нарушений (возмущающие воздействия - случайные процессы с нормальными законами распределения), математическая постановка задачи следующая:

$$\left. \begin{aligned} \dot{X}(t) &= AX(t) + B\mu(t) + F\mathcal{F}(t), X(t_0) = X_0, \mathcal{F}(t) = f_1(t), \\ f_1(t_0) &= f_{10}, \mu(t_0) = \mu_0, \alpha_{oy} = \alpha_{oy}^0, \gamma_{oy} = \gamma_{oy}^0, Z_3(t) = f_2(t), \\ Z(t) &= CX(t), \varepsilon(t) = Z_3(t) - Z(t), \\ \mu(t) &= f_{\varphi}(\varepsilon(t), Z_3(t), \mathcal{F}(t), \beta, \gamma_{oy}, \alpha_{oy}), \\ \beta_{i_{\beta} \min} &\leq \beta_{i_{\beta}} \leq \beta_{i_{\beta} \max}, i_{\beta} = \overline{1, n_{\beta}}, \\ \frac{\partial \pi_j}{\partial \beta_{i_{\beta}}} &\rightarrow \min, \pi = \{\pi_j\}, j = \overline{1, n_{\pi}}, \\ |X_{i_x}(t_i) - X_{i_x \max}| &\leq \Delta X_{i_x}(t_i), t_0 \leq t_i \leq T, \\ |X_{i_x}(T) - X_{i_x \text{ устр}}| &\leq \Delta X_{i_x}(T), T \rightarrow \infty, \\ X_{i_x}^2(t_0) &\leq \bar{X}_{i_x}^2(t_i), M[\mathcal{F}(t)] = f_3(t), M[\mathcal{F}(t), \mathcal{F}^T(t)] = Q, \mathcal{E}(t-\tau), \end{aligned} \right\} (7.7)$$

где  $f_3(t_0)$ ,  $Q_f$  - матрицы математических ожиданий и интенсивностей белого шума на выходе формирующих фильтров, имитирующих случайное возмущающее воздействие;

$\bar{X}_{i_x}^2(t_i)$ ,  $\bar{X}_{j_{i_x}}^2(t_i)$  - средний квадрат и допустимое среднеквадратическое отклонение  $i_x$ -й компоненты вектора  $X$  модели УМ.

7.2. Ограничим множество анализируемых функциональных схем и фиксированных структур САР следующими условиями:

в многосвязной САР реализуется принцип управления по отклонению;

динамические свойства УМ как многосвязного объекта управления описываются множеством стационарных двухмассеных линеаризованных моделей в форме обыкновенных дифференциальных уравнений;

вектор возмущающих воздействий представлен обобщенным показателем сопротивляемости углю разрушению  $M(A, t)$  и в зависимости от горно-геологических условий является детерминированной или случайной функцией времени;

в общем случае предполагается существование взаимовлияния не только привода механизма подачи на привод исполнительного органа резания, но и обратного влияния;

для управления используются только реально измеряемые элементы вектора выходных координат УМ;

фиксированные структуры управляющих устройств приводов исполнительных органов резания и механизма подачи ограничены непрерывными, типовыми алгоритмами, пропорциональными, пропорционально-интегральными и пропорционально-интегрально-дифференциальными.

Функциональная и структурная схемы САУ изображены на рис.8, где приняты следующие обозначения: ПДР, ПДП - привода исполнительного органа резания и механизма подачи; УУР, УУП - управляющие устройства приводов резания и подачи; СРР, СРП - блоки, учитывающие взаимовлияние приводов подачи и резания, резания и подачи;  $Z_{3,p}$ ,  $Z_{3,n}$  - векторы задающих воздействий по каналам приводов резания и подачи;  $\varepsilon_p(t)$ ,  $\varepsilon_n(t)$  - векторы отклонения по соответствующим каналам  $\varepsilon_p(t) = Z_{3,p}(t) - Y_p(t)$ ,  $\varepsilon_n(t) = Z_{3,n}(t) - Y_n(t)$ , где  $Y_p(t)$  и  $Y_n(t)$  - выходные, регулируемые координаты УМ по соответствующим каналам;  $\mu_p(t)$ ,  $\mu_n(t)$  - векторы управляющих воздействий;  $M(A, t)$  - обобщенный показатель сопротивляемости углю разрушению.

Из элементов вектора  $Y(t)$  для формирования управляющих воздействий используются реально измеряемые координаты: токи якорных обмоток, углы  $\omega$  скорости двигателей и исполнительных органов,

а также линейная скорость подачи УМ. Динамические параметры переходных режимов УМ, связанные с их надежностью и долговечностью, будут являться функциями реально измеряемых элементов вектора  $Y(t)$ , хотя можно строить структуру САУ УМ, считая именно эти параметры регулируемыми координатами САУ УМ.

Среди серийных САУ УМ, нашедших применение на шахтах [22], а также экспериментальных САУ УМ с управляемыми приводами резания и подачи [6] получили распространение функциональные схемы, в которых управляемыми координатами являются токи якорных обмоток приводных двигателей (или ток статора асинхронного двигателя исполнительного органа). Такие САУ призваны обеспечить максимальное использование по нагрузке двигателей исполнительного органа. Устанавливаемый уровень нагрузки при этом ограничивается нагревом электродвигателей, зависящим главным образом от значения потребляемого тока. Функциональная схема подобной системы изображена на рис.9, где  $\Delta_p$  и  $\Delta_n$  - приводные двигатели резания и подачи, ИО и МП - исполнительный орган резания и механизм подачи, ТИДР и ТИДП - тиристорные преобразователи приводных двигателей резания и подачи, УУР и УУП - управляющие устройства (регуляторы), ДТР и ДТП - датчики тока двигателя резания и подачи, ЗУР и ЗУП - задающие устройства двигателей резания и подачи. Взаимосвязь и взаимовлияние контуров САУ осуществляется через координаты двигателей, редукторов и системы "УМ-забой" ( $\omega_{1p}$ ,  $\omega_{2p}$ ,  $M_{12}$ ,  $M_{34}$ ,  $\eta$ ,  $V_n$  и т.п.), которые при оптимальной настройке САУ с фиксированной структурой управляющих устройств оцениваются с целью обеспечения допустимого диапазона их вариации.

Другой вариант функциональной схемы многосвязной САУ УМ можно реализовать с помощью принципа подчиненного регулирования. Одна из возможных функциональных схем подобной многосвязной САУ УМ изображена на рис.10. Построенная по этой схеме САУ УМ обеспечивает стабилизацию скорости двигателя исполнительного органа резания и упругого момента  $M_{12}$  в трансмиссии  $\Delta_p$  - ИО путем изменения угловых скоростей валов двигателей исполнительного органа резания  $\Delta_p$  и механизма подачи  $\Delta_n$ . На рис.10: РСДР, РМР - соответственно регуляторы скорости двигателя резания и упругого момента в трансмиссии  $\Delta_p$  - ИО; РГДР, РГДП - регуляторы тока приводных двигателей исполнительного органа резания  $\Delta_p$  и механизма подачи  $\Delta_n$ .

7.3. При решении задач оптимальной настройки САУ УМ с фиксированной структурой управляющих устройств по прямым показателям



качества, будем ориентироваться на программные средства МАСС [16, 17].

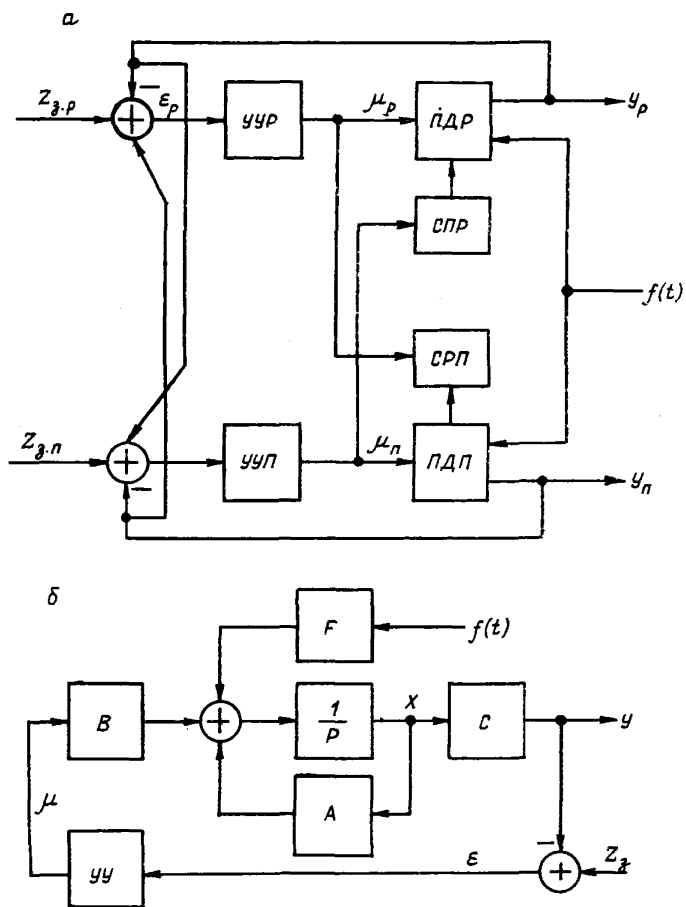


Рис.8. Функциональная (а) и структурная (б) схемы САУ УМ

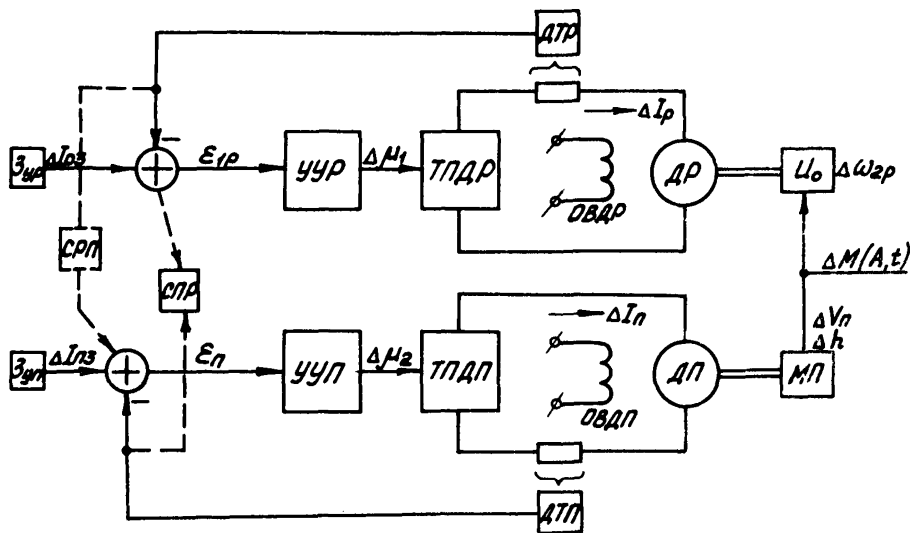


Рис. 9. Функциональная схема многосвязной САУ нагрузкой УМ

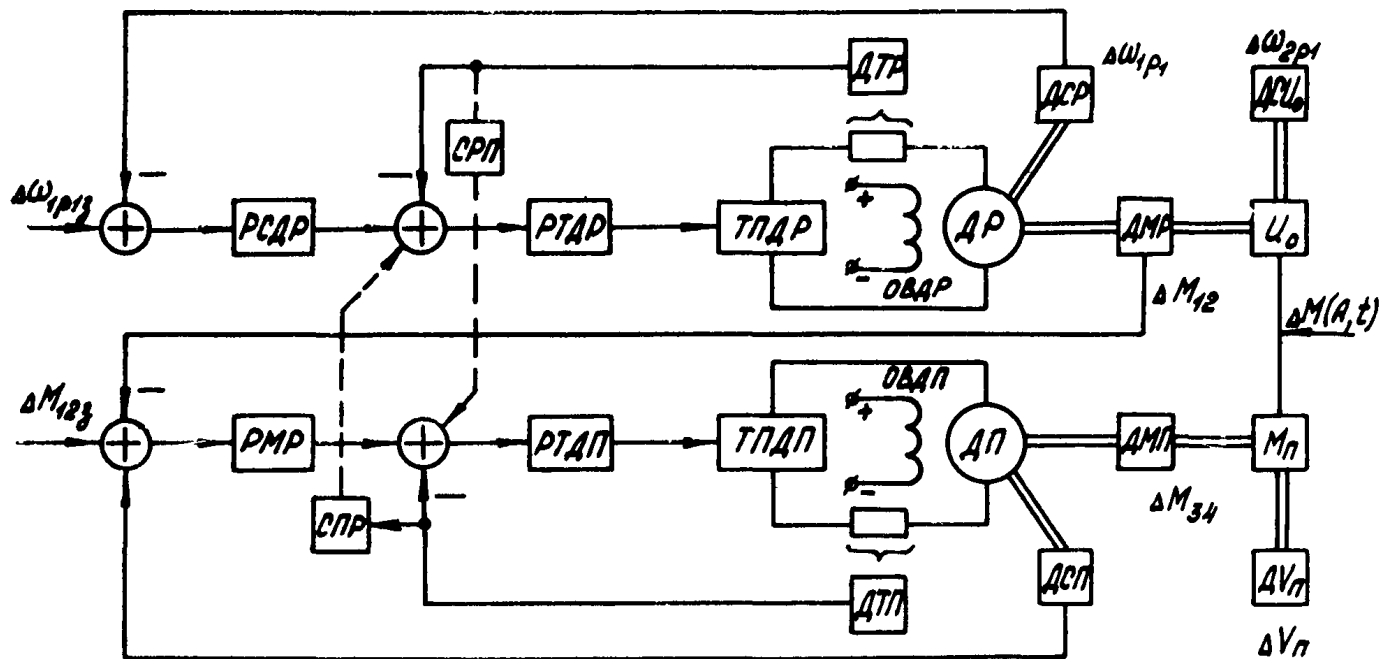


Рис. 10. Функциональная многосвязная САУ упругим моментом  $M_{12}$  УМ

Исходная информация:

линеаризованные модели УМ, полученные по описанной выше методике в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений;  
модели тиристорных преобразователей (5.13), (5.14), (5.15);  
модели управляющих устройств с фиксированной структурой:

П-регулятора

$$\mu_i(P) = K_{p_i} \varepsilon_i(P), \quad (7.8)$$

ПИ-регулятора

$$\mu_i(P) = \varepsilon_i \left[ K_{p_i} + \frac{K_{n_i}}{T_{n_i} P} \right] \varepsilon_i(P), \quad (7.9)$$

ПИД-регулятора

$$\mu_i(P) = \varepsilon_i(P) \left[ K_{p_i} + \frac{K_{n_i}}{T_{n_i} P} + T_{d_i} \frac{P}{T_{\varphi_i} P + 1} \right], \quad (7.10)$$

где  $K_{p_i}$ ,  $K_{n_i}$ ,  $T_{n_i}$ ,  $T_{d_i}$  - настраиваемые параметры регуляторов,  
 $T_{\varphi_i}$  - постоянная времени фильтра;  
 $P$  - переменная Лапласа;

$\varepsilon_i(P), \mu_i(P)$  - изображение по Лапласу отклонения  $i$ -регулируемой координаты УМ и управляющего воздействия в САУ УМ;

модели блоков сравнения

$$\varepsilon_i(P) = Z_3(P) - Z(P); \quad (7.11)$$

модели перекрестных связей СПР, СРП (см. рис. 7 и 9), описываемые уравнениями типа (7.8)...(7.10);

модели датчиков тока двигателей исполнительных органов резания ДТР и двигателя механизма подачи ДТП, датчиков упругих моментов ДМР и ДМП, датчиков угловых скоростей валов двигателей ДСР и ДСП: апериодические звенья первого порядка с фиксированными параметрами;

модели задающих воздействий  $Z_3(t)$ : ступенчатые или близкие к ним апериодические функции с малой постоянной времени;

модели возмущающих воздействий  $\Delta M(A, t)$ : в режимах экстремного нагружения машины  $\Delta M(A, t)$  - ступенчатые, импульсные или гармонические функции; в условиях спокойного залегания шпаста и отсутствия горно-геологических нарушений  $\Delta M(A, t)$  - случайный процесс с нормальным законом распределения;

диапазоны вариации настраиваемых параметров управляющих устройств

$$K_{p_i \min} \leq K_{p_i} \leq K_{p_i \max}, \quad (7.12)$$

$$K_{n_i \min} \leq K_{n_i} \leq K_{n_i \max}, \quad (7.13)$$

$$T_{n_i \min} \leq T_{n_i} \leq T_{n_i \max}, \quad (7.14)$$

$$T_{d_i \min} \leq T_{d_i} \leq T_{d_i \max}; \quad (7.15)$$

перечень (табл.7) прямых оценок качества работы САУ УМ, а также модели критериев качества САУ УМ в виде интегральных квадратичных оценок [23]

$$J_{\ell} = \int_{t_0}^{t_n} \varepsilon_{\ell}(t) dt \approx \sum_{t_0}^{t_n} \varepsilon_{\ell}(t_i) \quad (7.16)$$

при детерминированных возмущениях, а при случайных возмущениях в виде среднеквадратичных отклонений регулируемых координат УМ от их установившихся значений

$$J_{\ell} = \sigma_{\ell} = \sqrt{D_{\ell}}, \quad (7.17)$$

где  $D_{\ell}$  - дисперсия  $\ell$ -й регулируемой координаты УМ.

7.4. Оценки качества работы САУ УМ, такие как: максимальные амплитудные значения якорных токов двигателей, упругие моменты, угловые скорости валов двигателей, установившиеся значения и продолжительность переходных процессов тех же координат, а также (7.16), (7.17) определяются по результатам численного интегрирования моделей УМ  $X(t_i)$ , где  $t_0 \leq t_i \leq T$ .

7.5. Используемые выше для исследования моделей УМ методы полных факторных экспериментов [13,18] в задаче оптимальной настройки САУ УМ рекомендуются для поиска экстремума функций (7.16), (7.17), прямых показателей качества работы УМ (см.табл.7) и исследования их в области настраиваемых параметров САУ УМ (7.12)... (7.15). Последовательность действий инженера-проектировщика, исследователя САУ УМ при ее оптимальной настройке сводится к выполнению следующих действий:

для функциональной схемы анализируемой САУ УМ строится модель на основе описанной выше информации;

варьируемыми параметрами САУ УМ будут являться  $n_{\beta}$  настраиваемых параметров управляющих устройств. Они образуют  $n_{\beta}$ -мерную поверхность, в которой оценки качества работы САУ УМ могут принимать различные значения в зависимости от сочетания настраиваемых параметров, изменяющихся в диапазоне (7.1), (7.12)...(7.15). В  $n_{\beta}$ -мерной области настраиваемых параметров выбирается исходная базовая точка. Ее координаты первоначально выбираются равными

$$\beta_{i_s} = (\beta_{i \max} + \beta_{i \min})/2, \quad (7.18)$$

где  $\beta_{i \max}$ ,  $\beta_{i \min}$  - максимальное и минимальное значение  $i$ -го настраиваемого параметра;

в окрестности базовой точки строят матрицу планирования по типу табл.9;

в базовой точке оценивают устойчивость модели УМ. Для линеаризованной модели УМ оценку устойчивости проводят с помощью программ *NSSAY6*, *NSBASM*. Устойчивость нелинейных моделей УМ оценивается по условиям типа (7.3), (7.4). В этом случае в базовой точке необходимо рассчитать динамические процессы  $X(t)$ ,  $Z(t)$  УМ. Если модель УМ в базовой точке неустойчива, то проверяют устойчивость УМ для всех  $2^{2^k}$  точек матрицы планирования. Любая из  $2^{2^k}$  точек матрицы, в которой модель УМ устойчива, может использоваться для продолжения процесса оптимальной настройки САУ УМ. Существуют следующие пути поиска новой базовой точки в случае неустойчивости модели УМ в окрестности матрицы планирования;

изменяют приращения варьируемых параметров  $\Delta\beta_i$  управляющих устройств и строят новую матрицу планирования;

за базовую принимают точку исходной матрицы планирования, в которой модель УМ близка к области устойчивости [19,23];

для поиска настраиваемых параметров, обеспечивающих экстремум оценок качества (7.16), (7.17), организуются процедуры направленного поиска. При этом можно использовать любую численную процедуру поиска условного экстремума функций многих переменных типа (7.16), (7.17): метод Гаусса-Зейделя, метод градиента и его модификации, метод крутого восхождения, методы случайного поиска [18,24].

## 8. ВОПРОСЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УМ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИМИ

Современные УМ представляют собой сложные гидроэлектромеханические устройства. Для их надежной, производительной и экономичной работы необходимо создавать системы, обеспечивающие оптимальное управление в статических и динамических режимах УМ, а также прогнозирование экстремных нагрузок на исполнительных органах резания и защиту от них конструктивных элементов машины. Поэтому в технические задания на проектирование УМ должны закладываться решения, которые позволят разработать управляемую машину требуемой производительности, обладающую технически и экономически обоснованными уровнями надежности и долговечности.

Системный подход к вопросам проектирования предполагает проведение анализа работы создаваемых управляемых машин во всех возможных режимах эксплуатации. Исследовать УМ в различных горно-геологических условиях на этапах конструирования можно только путем имитационного моделирования на ЭВМ. Подобные исследования требуют специальной подготовки методических основ, т.е. методик, моделей, алгоритмов и машинных программ, ориентированных на конкретный класс УМ и возможности вычислительных средств. Часть этих задач решается в настоящих методических рекомендациях.

В дальнейшем, с целью совершенствования процессов исследования и проектирования УМ, представляется целесообразным сосредоточить внимание на решении следующих проблем:

расчетах сил резания и подачи на исполнительных органах УМ с управляемыми приводами;

выборе оптимальных параметров электродвигателей и трансмиссий УМ с управляемыми приводами исполнительных органов резания и механизмов подачи при детерминированных и случайных возмущениях;

структурном синтезе оптимальных управлений динамическим функционированием УМ;

прогнозе экстренных возмущений в конструктивных элементах УМ; логическом построении процессов исследования и проектирования УМ;

разработке программно-алгоритмического обеспечения методик исследования, проектирования УМ и систем управления ими.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. ОСТ 12.47.601-73. Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах. Методика. Взамен ОСТ 24.070.03; введен 1.05.1984. - 184 с.

2. ОСТ 12.44.109-79. Комбайны очистные. Выбор спектров эксплуатационной нагруженности трансмиссий. Методика. Взамен ОСТ 24.070.06; введен 1.07.1979. - 28 с.

3. Докучкин А. В., Фролов А. Г., Позин Е.З. Выбор параметров вземочных машин. - М.: Наука, 1976. - 150 с.

4. Чиликин М. Г., Сандлер А. С. Общий курс электропривода. - М.: Энергоиздат, 1981. - 432 с.

5. ОСТ 24.070.16. Машины очистные. Комбайны. Выбор параметров асинхронных двигателей по нагрузочной способности. Методика. Введен I.I.1971. - 20 с.

6. Бирьяк В. Ф. Основы динамического функционирования угледобывающих машин. Дис. докт. техн. наук / Карагандинский ПТИ, Караганда, 1971. Машинопись.

7. Докукин А. В., Красников Ю. Д., Хурган З. Я. Статистическая динамика горных машин. - М.: Машиностроение, 1978. - 238 с.

8. Позин Е. З. К методике оптимизации режимов работы исполнительных органов угледобывающих комбайнов. - Науч. сообщ./ Ин-т горн. дела им. А.А.Скочинского, 1973, вып. 106. Разрушение горных пород, с. 96-106.

9. Позин Е. З., Меламед В. З. О параметрах выемочных комбайнов. - Уголь, 1980, № II, с. 31-34.

10. Позин Е. З. Сопротивляемость углей разрушению режущим инструментом. - М.: Наука, 1972. - 238 с.

11. Андреев В. П., Сабинин Ю. А. Основы электропривода. - М.-Д.: Госэнергоиздат, 1963. - 770 с.

12. Стариков Б. Е., Азарх В. Е., Рабинович З. М. Асинхронный электропривод очистных комбайнов. - М.: Недра, 1981. - 286 с.

13. Ключев В. И. Ограничение динамических нагрузок электропривода. - М.: Энергия, 1971. - 320 с.

14. Солод Г. И., Шахова К. И., Русихин В. И. Повышение долговечности горных машин. - М.: Машиностроение, 1979. - 184 с.

15. Повышение прочности и долговечности горных машин / А.В.Докукин и др. - М.: Машиностроение, 1982. - 224 с.

16. Чхартишвили Г.С., Чхартишвили Л.П. Цифровое моделирование динамических систем. - М.: МЭИ, 1978. - 76 с.

17. Матричный анализ и синтез нелинейных систем. Методические указания по курсу "Матричное проектирование САУ"/Л.П.Чхартишвили, Г.С.Чхартишвили; МЭИ, М., 1978. - 44 с.

18. Адлер Ю. П., Маркова Е. Б., Грановский Ю. В. Планирование экспериментов при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976. - 280 с.

19. Автоматизация настройки систем управления / В.Ф.Ротач, В.Ф.Кузидин, А.С.Клюев и др.; под ред. В.Я.Ротача. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 272 с.



20. Молдавский Л.А., Финкельштейн З.Я., Верклов Г. А. Виды повреждений и долговечность трансмиссий горных машин. - М.: Недра, 1981. - 192 с.

21. Позин Е. З., Меламед В. З., Тон В. В. Разрушение углей выемочными машинами / Под ред. Е.З.Позина. - М.: Недра, 1984. - 288 с.

22. Зубков Л.А., Силаев В.И., Ененков Б.И. Аппаратура автоматизации очистных комбайнов. - М.: Недра, 1979. - 112 с.

23. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. - М.: Наука, 1972.- 768 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Формирование нелинейной двухмассной модели УМ

В качестве приводных двигателей исполнительных органов и механизма подачи примем двигатели постоянного тока с независимым возбуждением и управлением со стороны якорных обмоток. Будем считать справедливой гипотезу, в соответствии с которой можно пренебречь диссипативными потерями, кинематическими погрешностями и зазорами в редукторных передачах, а также колебательным характером движения машины и нагревом обмоток двигателей. Нелинейная математическая модель УМ формируется из уравнений (I), (32)...(38) с учетом значений коэффициентов  $\alpha_{\ell_1} = 0$ ,  $\alpha_{\ell_2} = 0$ ,  $\alpha_{\ell_3} = 1$ ,  $K_{M_1 P_1} = 1$ ,  $K_{M_1 P_2} = 1$ ,  $K_{F_1} = 1$ ,  $K_{M_2 P_1} = 0$ ,  $K_{M_2 P_2} = 0$ ,  $K_{F_{21}} = 0$ ,  $K_{F_{22}} = 0$ ;

для привода первого исполнительного органа резания:

$$L_{\pi P_1} \frac{dI_{P_1}}{dt} = U_{P_1}(t) - K_{E P_1} \omega_{1 P_1}(t) - I_{P_1}(t) R_{\pi P_1}, \quad (I)$$

$$J_1 \frac{d\omega_{1 P_1}}{dt} = K_{M_1 P_1} I_{P_1}(t) - C_{12} (\varphi_{1 P_1}(t) - \varphi_{2 P_1}(t)), \quad (2)$$

$$J_2 \frac{d\omega_{2 P_1}}{dt} = C_{12} (\varphi_{1 P_1}(t) - \varphi_{2 P_1}(t)) - M_{c. P_1}(A, t); \quad (3)$$

для привода второго исполнительного органа резания:

$$L_{\pi P_2} \frac{dI_{P_2}}{dt} = U_{P_2}(t) - K_{E P_2} \omega_{5 P_2}(t) - I_{P_2}(t) R_{\pi P_2}, \quad (4)$$

$$J_5 \frac{d\omega_{5 P_2}}{dt} = K_{M P_2} I_{P_2}(t) - C_{56} (\varphi_{5 P_2}(t) - \varphi_{6 P_2}(t)), \quad (5)$$

$$J_6 \frac{d\omega_{6 P_2}}{dt} = C_{56} (\varphi_{5 P_2}(t) - \varphi_{6 P_2}(t)) - M_{c. P_2}(t); \quad (6)$$

для привода механизма подачи:

$$L_{\pi n} \frac{dI_n}{dt} = U_n(t) - K_{E n} \omega_{3 n}(t) - I_n(t) R_{\pi n}, \quad (7)$$

$$J_3 \frac{d\omega_{3n}}{dt} = K_{Mn} I_n(t) - C_{34} (\varphi_{3n}(t) - \varphi_{4n}(t)), \quad (8)$$

$$\frac{z_3}{i_n} m_k \frac{dV_n}{dt} = C_{34} (\varphi_{3n}(t) - \varphi_{4n}(t)) - F_{c.n}(A, t) \frac{z_3}{i_n}; \quad (9)$$

для взаимодействия УМ с разрушаемым массивом:

$$\frac{dh}{dt} = V_n(t) - V_n(t - \tau_p), \quad (10)$$

$$M_{c.p_1}(A, t) = M_{a.p_1} + C_1 h(t) M(A, t), \quad (11)$$

$$M_{c.p_2}(A, t) = M_{a.p_2} + C_2 h(t) M(A, t), \quad (12)$$

$$F_{c.n}(A, t) = F_{a.n} + C_3 h(t) M(A, t). \quad (13)$$

Программные аналоги математических моделей УМ

1.1. После линеаризации и аппроксимации запаздывающих функций в нелинейных уравнениях приложения I получим линеаризованную модель УМ. Для УМ с одним исполнительным органом резания в модель будут входить следующие уравнения:

$$\Delta \dot{I}_{p_1}(t) = \frac{1}{L_{p_1}} (\Delta U_{p_1}(t) - \Delta I_{p_1}(t) R_{p_1} - K_{\varepsilon_{p_1}} \Delta \omega_{1p_1}(t)), \quad (I)$$

$$\Delta \dot{\varphi}_{1p_1}(t) = \Delta \omega_{1p_1}(t), \quad (2)$$

$$\Delta \dot{\omega}_{1p_1}(t) = \frac{1}{J_1} (K_{M_{p_1}} \Delta I_{p_1}(t) - C_{12} (\Delta \varphi_{1p_1}(t) - \Delta \varphi_{2p_1}(t))), \quad (3)$$

$$\Delta \dot{\varphi}_{2p_1}(t) = \Delta \omega_{2p_1}(t), \quad (4)$$

$$\Delta \dot{\omega}_{2p_1}(t) = \frac{1}{J_2} (C_{12} (\Delta \varphi_{1p_1}(t) - \Delta \varphi_{2p_1}(t)) - C_1 h(t_0) \Delta M(A, t) - C_1 M(A, t_0) \Delta h(t)), \quad (5)$$

$$\Delta I_n(t) = \frac{1}{L_{p_n}} (\Delta U_n(t) - \Delta I_n(t) R_{p_n} - K_{\varepsilon_n} \Delta \omega_{3n}(t)), \quad (6)$$

$$\Delta \dot{\varphi}_{3n}(t) = \Delta \omega_{3n}(t), \quad (7)$$

$$\Delta \dot{\omega}_{3n}(t) = \frac{1}{J_3} (K_{M_n} \Delta I_n(t) - C_{34} (\Delta \varphi_{3n}(t) - \frac{1}{\tau_3} q_1(t))), \quad (8)$$

$$\Delta \dot{V}_n(t) = \frac{i_n}{m_k \tau_3} (C_{34} (\Delta \varphi_{3n}(t) - \frac{1}{\tau_3} q_1(t)) - C_3 \frac{\tau_3}{i_n} h(t_0) \Delta M(A, t) - C_3 \frac{\tau_3}{i_n} M(A, t_0) \Delta h(t)), \quad (9)$$

$$\dot{q}_1(t) = \Delta V_n(t), \quad (10)$$

$$\Delta \dot{h}(t) = \Delta V_n(t) - \lambda_4(t) - \frac{V_{n_0}}{\omega_{2p_{10}}} \Delta \omega_{2p_1}(t) + \frac{V_{n_0}}{\omega_{2p_{10}}} \eta_4(t), \quad (11)$$

$$\dot{\lambda}_1(t) = (m/\tau_p) (\Delta V_n(t) - \lambda_1(t)), \quad (12)$$

$$\dot{\lambda}_2(t) = (m/\tau_p) (\lambda_1(t) - \lambda_2(t)), \quad (13)$$

$$\dot{\lambda}_3(t) = (m/\tau_p) (\lambda_2(t) - \lambda_3(t)), \quad (14)$$

$$\dot{\lambda}_4(t) = (m/\tau_p) (\lambda_3(t) - \lambda_4(t)), \quad (15)$$

$$\dot{\eta}_1(t) = (m/\tau_p) (\Delta \omega_{2p_1}(t) - \eta_1(t)), \quad (16)$$

$$\dot{\eta}_2(t) = (m/\tau_p)(\eta_1(t) - \eta_2(t)), \quad (17)$$

$$\dot{\eta}_3(t) = (m/\tau_p)(\eta_2(t) - \eta_3(t)), \quad (18)$$

$$\dot{\eta}_4(t) = (m/\tau_p)(\eta_3(t) - \eta_4(t)), \quad (19)$$

$$\Delta U_{P_1}(\rho) = \frac{K_{P_1}}{T_{3P_1}\rho + 1} \frac{1}{T_{4P_1}\rho + 1} \Delta U_{P_{t_0}}, \quad (20)$$

$$\Delta U_n(\rho) = \frac{K_n}{T_{3n}\rho + 1} \frac{1}{T_{4n}\rho + 1} \Delta U_{n_{t_0}}, \quad (21)$$

$$\Delta M(A, t) = K_f(1 - e^{-t/\tau_f}) M(A, t_0). \quad (22)$$

Последнее уравнение описывает основное возмущающее воздействие  $\Delta M(A, t)$ . Если  $\Delta M(A, t)$  — детерминированная функция, то в уравнении (22)  $\Delta M(A, t_0)$ ,  $K_f$ ,  $T_f$  — соответственно математическое ожидание сопротивления углю разрушению, коэффициент усиления и постоянная времени фильтра. При  $T_f \rightarrow 0$  функция  $\Delta M(A, t)$  близка к ступенчатой функции с установившейся амплитудой  $K_f \Delta M(A, t_0)$ .

1.2. С помощью средств МАСС уравнения (1)...(22) реализуются структурно функциональными блоками интегрирования, суммирования, умножения, деления, инерционного звена, блоков формирования постоянных и случайных воздействий. Исходной информацией для составления программного аналога (1)...(22) являются схемы моделей УМ (рис. 1, 2, 3), которые собраны по принципам структурного моделирования. Условные обозначения функциональных блоков соответствуют принятым в МАСС, а обозначения входной и выходной информации (сигналов) в отдельных точках схем — принятым в настоящей работе и соотношениях (1)...(22).

Достоинством метода структурного моделирования является наглядность формирования сигналов, простота изменения параметров УМ и полнота выходной информации — любой сигнал схемы может быть выдан на печать или использован для формирования дополнительного информационного сигнала. Например, к системе соотношений (1)...(22) можно добавить уравнения для вычисления упругих моментов  $\Delta M_{12}$ ,  $\Delta M_{34}$ , подводимой и потребляемой мощности приводных двигателей:

$$\Delta M_{12}(t) = C_{12}(\Delta \varphi_{1P_1}(t) - \Delta \varphi_{2P_1}(t)), \quad (23)$$

$$\Delta M_{34}(t) = C_{34}(\Delta \varphi_{3n}(t) - \Delta \varphi_{4n}(t)), \quad (24)$$

$$\Delta P_{P_1}(t) = \Delta U_{P_1}(t) \Delta I_{P_1}(t), \quad (25)$$

$$\Delta P_{p, \text{пор}}(t) = K_{M_{p_1}} \Delta I_{p_1}(t) \Delta \omega_{p_1}(t), \quad (26)$$

$$\Delta P_n(t) = \Delta U_n(t) \Delta I_n(t), \quad (27)$$

$$\Delta P_{n, \text{пор}}(t) = K_{M_n} \Delta I_n(t) \Delta \omega_{z_n}(t). \quad (28)$$

I.3. Программный аналог (I)...(28), названный SAY 231, приведен в приложении 6. Исходные данные и начальные условия SAY231 получены для УМ типа KI28П и представлены в таблице данного приложения.

I.4. Возможности МАСС могут быть расширены с помощью блоков пользователя S1, алгоритм которых записывается на языке Фортран как программа-функция. Блоки S1 позволяют формировать любые сочетания воздействий, имитирующих взаимодействие УМ с разрушаемым угольным массивом: аддитивные, мультипликативные, случайные, детерминированные, нелинейные и линейные (см. приложение 7, с.85). На рис.4 приводятся фрагменты структурной схемы САУ УМ с ПИ-регуляторами в качестве управляющих устройств. Программный аналог САУ УМ назван SAY251, он содержит блок пользователя S1, реализующий сложное возмущение:

$$f_2(t) = f_1(t) + Z_1 \sin(\omega_1 t) + Z_2 e^{-\omega_2 t} + Z_3 \omega_3 t, \quad (29)$$

где  $f_1(t)$  - случайная или детерминированная функция  $\Delta M(A, t)$ ;  $Z_1, \omega_1, \omega_2, \omega_3$  - постоянные параметры гармонической, показательной и возрастающей составляющих  $f_2(t)$ .

Программа SAY251 приводится в приложении 7.

I.5. Для получения программного аналога рассматриваемой модели УМ могут использоваться дифференциальные уравнения, приведенные в табл.5. Численное интегрирование этих уравнений возможно с помощью имеющихся в математическом обеспечении ЕС ЭВМ подпрограмм, реализующих методы Рунге-Кутты, Адамса и др.

I.6. На рис. I...4 приняты следующие обозначения функциональных блоков МАСС:

I - блок интегрирования,

K - блок постоянного воздействия (константа),

+ - блок суммирования,

G - блок усиления,

JN - блок нормального случайного воздействия,

AN - блок инерционного звена,

S1 - блок пользователя,

x - блок умножения.

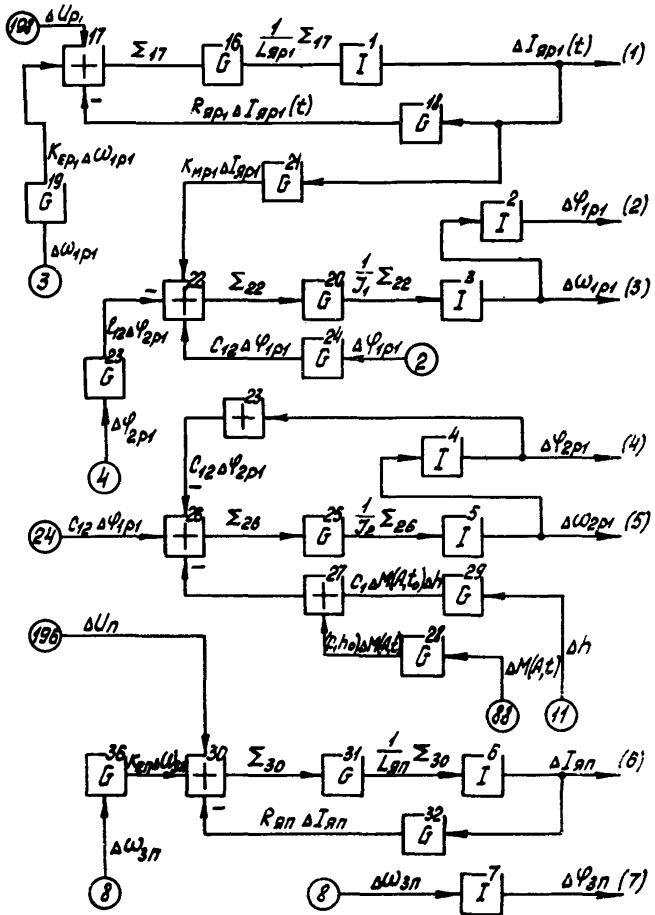


Рис. 1. Модель УМ SAV231. Схемы реализации уравнений (1)...(7)



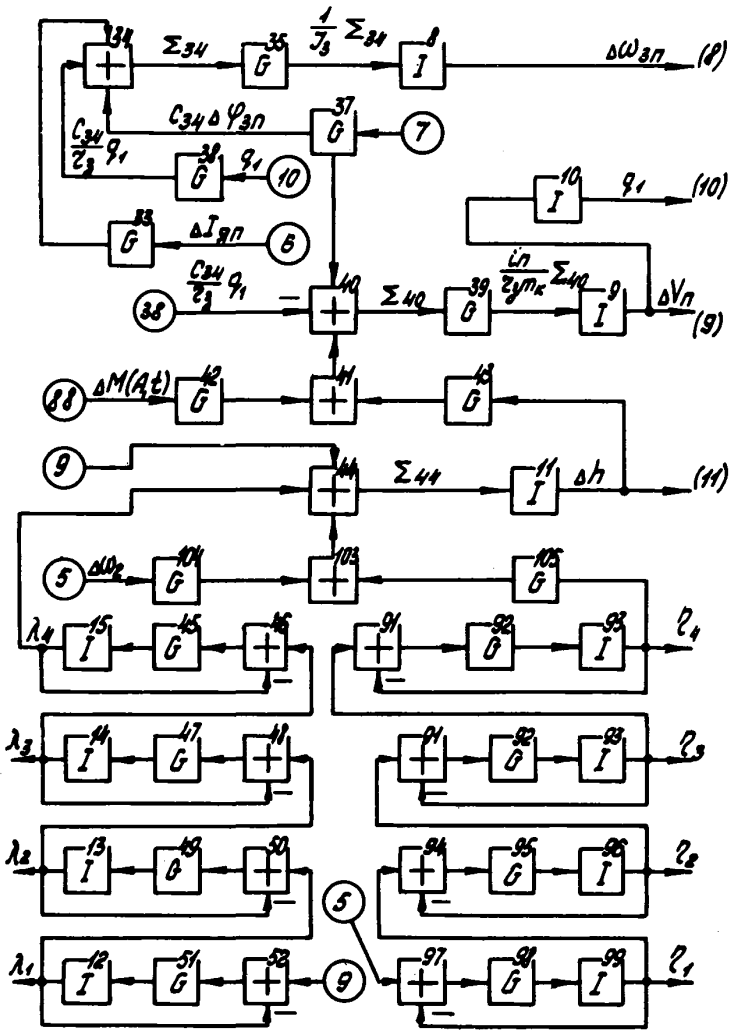
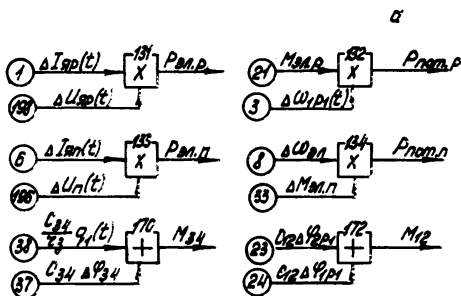


Рис. 2. Модель УМ SAY231 . Схемы реализации уравнений (8)...(19)



б

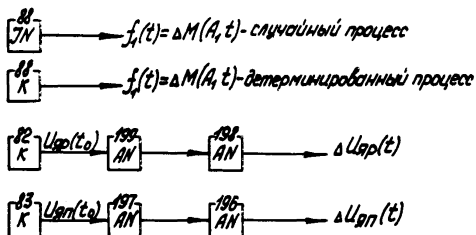
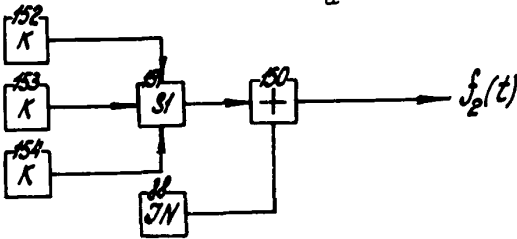


Рис.3. Модель УМ SAY231. Схемы: а - реализации уравнений (20)...(28); б - управляющих и возмущающих воздействий

а



б

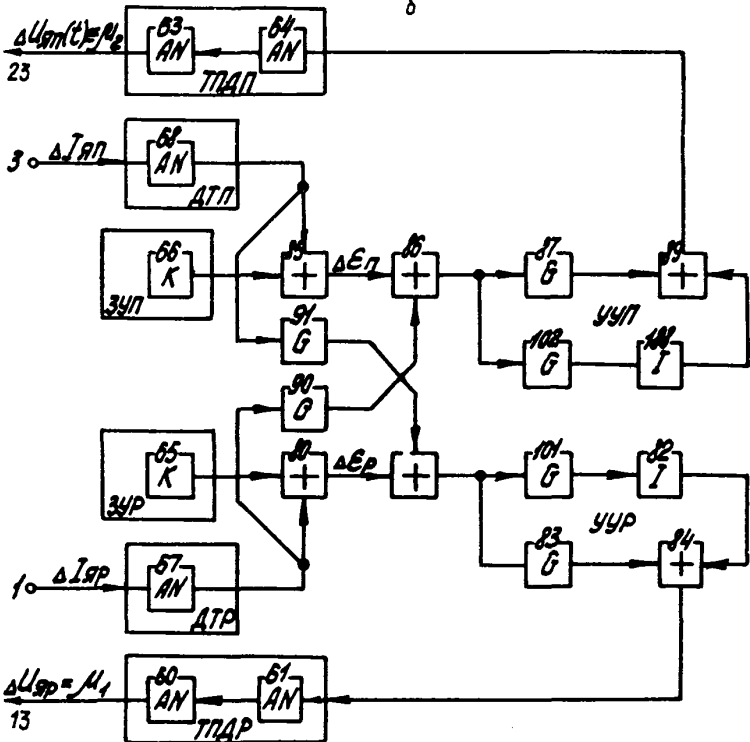


Рис. 5. Фрагменты структурной схемы САУ УМ: а - схема включения S1; б - многосвязный регулятор

## Параметры модели УМ SAY231

№ п/п	Обозначение параметра	Единица измерения	Значение параметра
1	2	3	4
I	$L_{ap}$	Г	$9,749 \cdot 10^{-8}$
2	$R_{ap}$	Ом	$9,1836 \cdot 10^{-2}$
3	$K_{Ep}$		10,8865
4	$\Delta I_p(t_0)$	А	350
5	$\Delta \varphi_{1p_1}(t_0), \Delta \varphi_{2p_1}(t_0)$	рад	0,0
6	$I_1$	кг·м <sup>2</sup>	15,75125
7	$C_{12}$	Н·м/рад	13877,32
8	$K_{MP_1}$		10,88651
9	$\Delta \omega_{1p_1}(t_0)$	рад/с	65,94
10	$I_2$	кг·м <sup>2</sup>	1,613
11	$\Delta \omega_{2p_1}(t_0)$	рад/с	4,71
12	$C_1$	1/м	33,42851
13	$h(t_0)$	м	0,06
14	$M(A, t_0)$	Н·м	200
15	$L_n$	Г	1,52
16	$R_{an}$	Ом	0,416
17	$K_{En}$		4,479
18	$\Delta I_n(t_0)$	А	95
19	$\Delta \varphi_{3n}(t_0), q(t_0)$		0,0
20	$I_3$	кг·м <sup>2</sup>	3,0122
21	$\tau_3$	м	0,388
22	$K_{Mn}$		4,479
23	$\Delta \omega_{3n}(t_0)$	рад/с	46,438
24	$C_{34}$	Н·м/рад	253,553
25	$i_n$		200

## Окончание приложения 2

## Окончание таблицы

I	2	3	4
26	$l_n$	$\text{I}/\text{M}^2$	2505,5
27	$m_k$	кг	20000,0
28	$\Delta V_n(t_0)$	м/с	0,09
29	$\tau_p$	с	0,666
30	$m$		4
31	$L_z$		2
32	$K_{p_1}, K_n$	В	1,0
33	$T_{z_{p_1}}$	с	0,10615
34	$T_{z_{p_1}}$	с	0,0530
35	$T_{z_n}$	с	0,0365
36	$T_{z_n}$	с	0,0182
37	$K_f$		1,0
38	$T_f$	с	0,0
39	$G(M(A, t_0))$	Н·м	50
40	$\Delta U_{p_1 t_0}$	В	37,5
41	$\Delta U_{n t_0}$	В	12,5

Результаты имитационного моделирования УМ.  
Фортран-программа NSIMIT

Для обработки результатов имитационного моделирования УМ предлагается Фортран-программа NSIMIT. Программа позволяет получить уравнение регрессии в нормализованном и естественном масштабах.

Ввод исходных данных в NSIMIT:

первая перфокарта содержит информацию о числе экспериментов  $N = 2^{MF}$  и количестве варьируемых факторов  $MF$ . Для NSIMIT принято  $MF = 2$  или  $MF = 3$ . Здесь же перфорируется пятизначный код эксперимента  $NOM$ . Формат ввода  $N, MF$  и  $NOM: 213, 15$ ;

последующие четыре (три, если  $MF = 2$ ) карты содержат текстовую информацию (не более 60 символов на одной карте). Эта информация характеризует эксперимент и выбирается пользователем из комментариев, приведенных в программе NSIMIT. Формат ввода:  $15A4$ ;

пятая перфокарта (четвертая, если  $MF = 2$ ) — это признаки печати  $IR1$  и  $IR2$ . Формат ввода:  $211$ .

Если  $IR1 = 1$  и  $IR2 = 1$ , то осуществляется печать матрицы планирования порядка  $N = 2^{MF}$  и описание эксперимента, получают информацию о численных значениях эксперимента в точках матрицы планирования и результаты обработки численных экспериментов в виде коэффициентов уравнений регрессии. Если  $IR1 \neq 1$ , то матрица планирования не печатается. При  $IR2 \neq 1$  не осуществляется печать описания эксперимента;

шестая перфокарта (пятая, если  $MF = 2$ ) содержит информацию о значении выходной переменной в базовой точке  $TI\phi$ ; о базовых значениях первого, второго и третьего (если  $MF = 3$ ) варьируемых факторов, соответственно  $XB, YB$  и  $ZB$  (если  $MF = 3$ ). Формат ввода:  $4F 14.7$ ;

седьмая перфокарта (или шестая, если  $MF = 2$ ) — это приращения к  $XB, YB$  и  $ZB$  (если  $MF = 3$ ) — соответственно  $EX, EY$  и  $EZ$  (если  $MF = 3$ ). Формат ввода:  $4F 14.7$ ;

восьмая и девятая (только восьмая, если  $MF = 2$ ) содержат численные значения экспериментов с УМ в точках матрицы планирования. Эти значения образуют массив  $TI(I), I = 1, N$ . Формат ввода элементов массива  $TI: 5F14.7$ ;

программа NSIMIT приведена в приложении 8, результаты имитационного моделирования УМ представлены в приложении 9.

## Фортран-программа NSBASM

Программа NSBASM представляет модифицированный вариант программы "Матрица объекта" (BASMAT)<sup>X</sup>. В ней изменены размерности массивов, что позволило исследовать матрицы  $A$  до 30 порядка, и дана дополнительная программная единица – подпрограмма NSRAM, позволяющая сильно разреженные матрицы  $A$ , т.е. матрицы, у которых число ненулевых элементов  $NN \leq (N \times N)/2$ , где  $N$  – порядок  $A$ , вводить в виде массива ненулевых элементов с последующим преобразованием его программно в квадратную матрицу  $A$ .

Функциональные возможности программы NSBASM описаны ниже. В приложениях IO и II даны программа NSBASM и подпрограммы NSCHRE, NSSTMS, NSSIME, NSPRDO, NSDET, NSCHRQ, NSRAM. Результаты работы NSBASM по анализу одномолекулярной модели УМ с матрицей  $A$  седьмого порядка приведены в приложении I2.

Ввод исходных данных в NSBASM возможен в двух вариантах:

ввод ненулевых элементов сильно разреженной матрицы  $A$  (признак  $IR = I$ );

ввод квадратной матрицы  $A$  построчно ( $IR \neq I$ ). На первой перфокарте исходных данных перфорируется текстовая информация (массив NAME(I),  $I = 1, 5$ ) из 20 символов, а также размерность  $N$  матрицы  $A$ . Формат ввода: 5A4.I2.

Вторая перфокарта содержит признак  $IR$ . Формат ввода: I2.

Третья перфокарта – число ненулевых элементов матрицы  $A$  –  $NT$ . Формат ввода: I3.

Далее вводится группа перфокарт, на которых перфорируются ненулевые элементы матрицы  $A$ , они составляют массив  $VE(I)$ ,  $I = 1, NT$ . В  $VE$  располагаются последовательно ненулевые элементы первого, второго и т.д. до  $N$ -го столбца матрицы  $A$ . Формат ввода элементов  $VE$ : 5F14.7.

Количество ненулевых элементов  $J$ -го столбца матрицы  $A$ , где  $J = 1, N$  описывается элементами массива  $KCT(J)$ ,  $J = 1, N$ . Эта информация перфорируется в формате 23I3.

Каждый элемент массива  $VE$  характеризуется номером строки матрицы  $A$ , в котором он находится. Сведения о всех  $NT$  ненулевых элементах  $A$  помещаются в массив  $LRI(I)$ ,  $I = 1, N$ . Формат ввода  $LRI$ : 23I3.

<sup>X</sup> Мелса Дж.Л., Джонс Ст.К. Программы в помощь изучающим теорию линейных систем управления: Пер. с англ. /ред. В.М. Герасимов. – М.: Машиностроение, 1981. – 200 с.

Последняя перфокарта исходных данных - это признаки *IDET*, *INV*, *NRM*, *ICP*, *IEIG*, *ISTM*. Формат ввода: 6I1. Этими признаками закодированы функциональные возможности *NSBASM*. Они заключаются в проведении следующих расчетов:

- определитель матрицы  $A$  ( $IDET = \Phi$ ),
- обратной матрицы  $A^{-1}$  ( $INV = \Phi$ ),
- результаты матрицы  $A$  ( $NRM = \Phi$ ),
- характеристического полинома для  $A$  ( $ISP = \Phi$ ),
- собственных значений  $A$  ( $IEIG = \Phi$ ),
- переходной матрицы от  $A$  ( $ISTM = \Phi$ ).

Неравенство какого-либо признака нулю исключает возможность проведения соответствующего расчета.

При вводе матрицы  $A$  обычным способом, т.е. когда  $IR \neq I$ , операторы *NSBASM*, связанные с обработкой массивов *VE*, *KCT*, *LRI* полностью игнорируются. Квадратичная матрица  $((A(I, J), J = I, N), I = I, N)$  вводится построчно в формате 5F14.7.



Фортран-программа *NSSAY6*

Программа позволяет оценить устойчивость модели УМ по матрице  $A$ , при этом дается однозначный отчет: "система с матрицей устойчива" или "система с матрицей  $A$  неустойчива". Программе *NSSAY6* дана в приложении I3. Ввод сильно разреженных матриц  $A$  осуществляется с помощью подпрограммы *NSRAM1*, являющейся аналогом представленной в предыдущем приложении подпрограммы *NSRAM*. Для сравнения подпрограммы *NSRAM* и *NSRAM1* приведены в приложении II, а в приложении I4 представлены результаты оценки устойчивости моделей УМ с матрицей  $A$  различного порядка с помощью программы *NSSAY6*.

Алгоритм *NSSAY6* построен на методах локализации собственных значений матрицы  $A$  и оценке норм вспомогательной матрицы  $B = = f(A)^X$ . Кроме задания матрицы  $A$  в *NSSAY6* требуется ввести параметр  $IK$ . Для моделей УМ  $5 \leq IK \leq 10$ .

---

X Чернецкий В.И., Дидул Г.А., Потапенко А.А. Математические ды и алгоритмы исследования автоматических систем. - Л.: гия, 1970. - 374 с.

Программа JAY231 . Аналог двухмассной модели УМ

```
// JOB NSSAY231
// *SSGN SYS014,(WKSTUD)
// *LBL IJSYSCL,'CL STUD'
// *SSGN SYSCLB,SYS014
// EXEC MACC
```

\*\*\* MACC \*\*\*  
МАШИННЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ

СТРУКТУРА

ВВОД СТРУКТУРЫ

ИМЯ ВЕЛИЧИНЫ	БЛОК	ТИП	ВХОД 1	ВХОД 2	ВХОД 3
	1	I	16	0	0
	16	G	17	0	0
	17	*	198	-19	-18
	18	G	1	0	0
	19	G	3	0	0
	20	G	22	0	0
	3	I	20	0	0
	22	*	21	-24	23
	24	G	2	0	0
	2	I	3	0	0
	21	G	1	0	0
	23	G	4	0	0
	4	I	5	0	0
	5	I	25	0	0
	25	G	26	0	0
	26	+	-23	24	-27
	27	+	29	28	0
	29	G	11	0	0
	28	G	88	0	0
	30	*	196	-32	-36
	31	G	30	0	0
	6	I	31	0	0
	32	G	6	0	0
	33	G	6	0	0
	34	+	38	-37	33
	35	G	34	0	0
	8	I	35	0	0
	36	G	8	0	0
	7	I	8	0	0
	37	G	7	0	0
	38	G	10	0	0
	9	I	39	0	0
	10	I	9	0	0
	39	G	40	0	0
	40	+	37	-38	-41
	41	+	42	43	0
	42	G	88	0	0
	43	G	11	0	0
	44	+	9	-15	0
	11	I	44	0	0
	15	I	45	0	0
	40	*	-15	14	0

Продолжение приложения 6

45	G	46	0	0
14	I	47	0	0
47	G	48	0	0
48	*	-14	13	0
13	I	49	0	0
49	G	50	0	0
50	*	-13	12	0
12	I	51	0	0
51	G	52	0	0
52	*	-12	9	0
88	K	0	0	0
82	K	0	0	0
199	AN	82	0	0
198	AN	199	0	0
83	K	0	0	0
197	AN	83	0	0
196	AN	197	0	0
170	*	37	-38	0
172	*	26	-23	0

:ПАРАМЕТРЫ

НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ И ПАРАМЕТРЫ

ИМЯ НУ/ПАР	БЛОК	НУ/ПАР1	ПАР2	ПАР3
	1	0.0	0.0	0.0
	10	0.10257E 03	0.0	0.0
	18	0.91836E-01	0.0	0.0
	19	0.10887E 02	0.0	0.0
	20	0.63680E-01	0.0	0.0
	3	0.0	0.0	0.0
	24	0.13877E 05	0.0	0.0
	2	0.0	0.0	0.0
	21	0.10887E 02	0.0	0.0
	23	0.13877E 05	0.0	0.0
	4	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	0.0	0.0
	25	0.61990E 00	0.0	0.0
	29	0.66557E 06	0.0	0.0
	31	0.69703E 02	0.0	0.0
	0	0.0	0.0	0.0
	32	0.61662E 00	0.0	0.0
	33	0.66798E 01	0.0	0.0
	35	0.33190E 00	0.0	0.0
	8	0.0	0.0	0.0
	36	0.66798E 01	0.0	0.0
	7	0.0	0.0	0.0
	37	0.25355E 03	0.0	0.0
	38	0.69369E 03	0.0	0.0
	10	0.0	0.0	0.0
	39	0.25770E-01	0.0	0.0
	42	0.29109E 00	0.0	0.0
	43	0.97213E 03	0.0	0.0
	11	0.0	0.0	0.0
	15	0.0	0.0	0.0
	45	0.80000E 01	0.0	0.0
	14	0.0	0.0	0.0
	47	0.80000E 01	0.0	0.0
	13	0.0	0.0	0.0
	49	0.80000E 01	0.0	0.0

Продолжение приложения 6

12	0.0	0.0	0.0
51	0.80000E 01	0.0	0.0
82	0.75000E 03	0.0	0.0
199	0.10000E 01	0.10615E 00	0.0
198	0.10000E 01	0.33078E-01	0.0
197	0.10000E 01	0.36530E-01	0.0
196	0.10000E 01	0.18200E-01	0.0
83	0.49000E 03	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0
28	0.20057E 01	0.0	0.0
88	0.20000E 03	0.0	0.0

:СТРУКТУРА

ВВОД СТРУКТУРЫ

ИМЯ ВЕЛИЧИНЫ ОПЕРАТОР СТРУКТУРЫ	БЛОК ЗАМЕНЕН	ТИП	ВХОД 1	ВХОД 2	ВХОД 3
44	*		9	-15	103
103	*		-106	105	0
93	*		92	0	0
92	*		91	0	0
91	*		96	-93	0
96	*		95	0	0
104	*		3	0	0
95	*		96	0	0
94	*		99	-96	0
99	*		98	0	0
98	*		97	0	0
97	*		102	-99	0
102	*		101	0	0
101	*		100	0	0
100	*		5	-102	0
105	*		93	0	0
131	*		1	198	0
132	*		3	21	0
133	*		6	196	0
134	*		8	33	0

:ПАРАМЕТРЫ

НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ И ПАРАМЕТРЫ

ИМЯ НУ/ПАР	БЛОК	НУ/ПАР1	ПАР2	ПАР3
106		0.19100E-01	0.0	0.0
105		0.19100E-01	0.0	0.0
92		0.60060E 01	0.0	0.0
95		0.60060E 01	0.0	0.0
98		0.60060E 01	0.0	0.0
101		0.60060E 01	0.0	0.0
45		0.60060E 01	0.0	0.0
47		0.60060E 01	0.0	0.0
49		0.60060E 01	0.0	0.0
51		0.60060E 01	0.0	0.0
1		0.39000E 03	0.0	0.0
3		0.63960E 02	0.0	0.0
5		0.67100E 01	0.0	0.0
6		0.98000E 02	0.0	0.0
8		0.46638E 02	0.0	0.0
9		0.90000E-01	0.0	0.0

Окончание приложения 6

11	0.60000E-01	0.0	0.0
12	0.90000E-01	0.0	0.0
13	0.90000E-01	0.0	0.0
14	0.90000E-01	0.0	0.0
15	0.90000E-01	0.0	0.0
93	0.47100E 01	0.0	0.0
96	0.47100E 01	0.0	0.0
99	0.47100E 01	0.0	0.0
102	0.47100E 01	0.0	0.0

ПАРАМЕТРЫ

НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ И ПАРАМЕТРЫ

ИМЯ НУ/ПАР	БЛОК	НУ/ПАР1	ПАР2	ПАР3
	18	0.91830E-01	0.0	0.0
	24	0.13877E 05	0.0	0.0
	23	0.13877E 05	0.0	0.0
	37	0.29355E 03	0.0	0.0
	38	0.69349E 03	0.0	0.0
	32	0.41660E 00	0.0	0.0
	83	0.12500E 02	0.0	0.0
	82	0.37500E 02	0.0	0.0
	88	0.20000E 03	0.0	0.0
	29	0.60857E 04	0.0	0.0
	43	0.97213E 03	0.0	0.0
	20	0.63480E-01	0.0	0.0
	25	0.61990E 00	0.0	0.0

ВВОД  
 РУНГЕ  
 МАГ  
 0.01000  
 ТОЧНОСТЬ  
 0.03000  
 ВРЕМЯ  
 2.00000  
 КОЛ-ВО Точек  
 100  
 БЛОКИ  
 1  
 3  
 5  
 6  
 11  
 8  
 9  
 24  
 ТАБЛИЦА  
 \*\*\*  
 : ИНТЕГРИРОВАНИЕ

Программа SAY251 . Аналог САУ УМ

```
// JOB NS
// ASSIGN SYS014,(WKSTUD)
// DLBL IJSYSCL,'CL STUD'
// ASSIGN SYSCLR,SYS014
// DLBL IJSYSRL,'RL STUD'
// ASSIGN SYSRLB,SYS014
// OPTION LINK
INCLUDE LMOD50
// EXEC FFORTRAN
```

DOS/ES FORTRAN IV V.M 2.2

OPTIONS IN EFFECT  
-----

LOAD =4

DECK NO

LIST YES

LISTX NO

DOS/ES FORTRAN IV V.M 2.2

51

DATE 26/04/

```
0001      FUNCTION S1(M)
0002      REAL REALS(1300)
0003      INTEGER INTS(1600)
0004      DIMENSION C(201),MTRX2(200),MTRX3(200),MTRX4(200)
0005      DIMENSION MTRX5(200),PAR1(200),PAR2(200),PAR3(200)
0006      COMMON REALS,INTS,IN,IPCH,IOUT
0007      EQUIVALENCE ( INTS( 1), I )
0008      EQUIVALENCE ( INTS( 355), MTRX2(1) )
0009      EQUIVALENCE ( INTS( 555), MTRX3(1) )
0010      EQUIVALENCE ( INTS( 755), MTRX4(1) )
0011      EQUIVALENCE ( INTS( 955), MTRX5(1) )
0012      EQUIVALENCE (REALS( 2), C(1) )
0013      EQUIVALENCE (REALS( 202), T )
0014      EQUIVALENCE (REALS( 203), DT )
0015      EQUIVALENCE (REALS( 267), PAR1(1) )
0016      EQUIVALENCE (REALS( 647), PAR2(1) )
0017      EQUIVALENCE (REALS( 647), PAR3(1) )
0018      J=MTRX2(I)
0019      K=MTRX3(I)
0020      L=MTRX4(I)
0021      CJ=C(J)
0022      CK=C(K)
0023      CL=C(L)
0024      P1=PAR1(I)
0025      P2=PAR2(I)
0026      P3=PAR3(I)
0027      Y1=CJ*(SIN(P1+T))
0028      Y2=CK*EXP(P2+T)
0029      Y3=CL*T
0030      S1=Y1+Y2+Y3
0031      RETURN
0032      END
```

// FHEC

\*\*\* МАСС \*\*\*  
 МАШИНЫ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ

СТРУКТУРА

ВВОД СТРУКТУРЫ

ИМЯ ВЕЛИЧИНЫ	БЛОК	ТИП	ВХОД 1	ВХОД 2	ВХОД 3
	1	I	12	0	0
	12	G	13	0	0
	13	*	60	-18	-14
	14	G	1	0	0
	15	G	1	0	0
	16	*	19	-74	-75
	17	G	16	0	0
	2	I	17	0	0
	18	G	2	0	0
	74	G	88	0	0
	75	G	5	0	0
	5	I	38	0	0
	38	*	4	-9	0
	9	I	39	0	0
	39	G	40	0	0
	40	*	39	8	0
	8	I	41	0	0
	41	G	42	0	0
	42	*	48	7	0
	7	I	44	0	0
	44	G	43	0	0
	43	*	47	6	0
	6	I	45	0	0
	46	*	4	-6	0
	45	G	46	0	0
	4	I	28	0	0
	28	G	27	0	0
	27	*	26	-76	-78
	76	G	5	0	0
	78	G	88	0	0
	26	G	3	0	0
	3	I	22	0	0
	22	G	23	0	0
	23	*	-24	-25	63
	25	G	3	0	0
	24	G	4	0	0
	88	JN	0	0	0
	63	AN	64	0	0
	64	AN	89	0	0
	60	AN	61	0	0
	61	AN	84	0	0
	68	AN	3	0	0
	67	AN	1	0	0
	65	K	0	0	0
	80	*	65	-67	0
	81	*	80	91	0

Продолжение приложения 7

83	б	81	0	0
84	*	82	83	0
66	к	0	0	0
85	*	66	-68	0
86	*	90	83	0
87	г	86	0	0
90	б	67	0	0
91	г	68	0	0
101	б	81	0	0
102	б	86	0	0
82	г	101	0	0
89	*	87	188	0
188	г	102	0	0

:ПАРАМЕТРЫ

НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ И ПАРАМЕТРЫ

ИМЯ МУ/НАР	БЛОК	МУ/ПАР1	ПАР2	ПАР3
	1	0.0	0.0	0.0
	2	0.0	0.0	0.0
	12	0.10257к 03	0.0	0.0
	14	0.91836к-01	0.0	0.0
	13	0.10887к 02	0.0	0.0
	17	0.37589к-01	0.0	0.0
	18	0.10887к 02	0.0	0.0
	74	0.20037к 01	0.0	0.0
	75	0.66857к 04	0.0	0.0
	3	0.0	0.0	0.0
	9	0.0	0.0	0.0
	39	0.80000к 01	0.0	0.0
	8	0.0	0.0	0.0
	41	0.80000к 01	0.0	0.0
	7	0.0	0.0	0.0
	44	0.80000к 01	0.0	0.0
	6	0.0	0.0	0.0
	45	0.80000к 01	0.0	0.0
	4	0.0	0.0	0.0
	28	0.23773к-01	0.0	0.0
	76	0.97213к 03	0.0	0.0
	78	0.48607к 01	0.0	0.0
	26	0.11516к 02	0.0	0.0
	3	0.0	0.0	0.0
	22	0.63703к 02	0.0	0.0
	23	0.41662к 00	0.0	0.0
	24	0.11546к 02	0.0	0.0
	4	0.0	0.0	0.0
	63	0.10000к 01	0.10013к 00	0.0
	64	0.10000к 01	0.33078к-01	0.0
	60	0.10000к 01	0.36330к-01	0.0
	61	0.10000к 01	0.18266к-01	0.0
	67	0.10000к 01	0.36330к-01	0.0
	68	0.10000к 01	0.33078к-01	0.0
	82	0.0	0.0	0.0
	65	0.50000к 01	0.0	0.0
	66	0.50000к 01	0.0	0.0
	188	0.0	0.0	0.0
	90	0.0	0.0	0.0
	91	0.0	0.0	0.0
	88	0.0	0.50000к 02	0.0



Продолжение приложения 7

102	0.10000E 03	0.0	0.0
101	0.10000E 01	0.0	0.0
83	0.21400E 01	0.0	0.0
87	0.57890E 01	0.0	0.0

:СТРУКТУРА

ВВОД СТРУКТУРЫ

ИМЯ ВЕЛИЧИНЫ	БЛОК	ТИП	ВХОД 1	ВХОД 2	ВХОД 3
ОПЕРАТОР СТРУКТУРЫ ЗАМЕНЕН					
38	*		-9	4	133
133	*		-134	135	0
134	G		2	0	0
135	G		123	0	0
121	+		126	-123	0
122	G		121	0	0
123	I		122	0	0
124	+		129	-126	0
125	G		124	0	0
126	I		125	0	0
127	+		132	-129	0
128	G		127	0	0
129	I		128	0	0
132	I		131	0	0
130	+		2	-132	0
131	G		130	0	0
150	*		88	151	0
ОПЕРАТОР СТРУКТУРЫ ЗАМЕНЕН					
74	G		150	0	0
ОПЕРАТОР СТРУКТУРЫ ЗАМЕНЕН					
78	G		150	0	0
ОПЕРАТОР СТРУКТУРЫ ЗАМЕНЕН					
88	JN		0	0	0
151	S1		152	153	154
152	K		0	0	0
153	K		0	0	0
154	K		0	0	0

:ПАРАМЕТРЫ

НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ И ПАРАМЕТРЫ

ИМЯ НУ/ПАР	БЛОК	НУ/ПАР1	ПАР2	ПАР3
133	0.13648E-02	0.0		0.0
134	0.13648E-02	0.0		0.0
122	0.60060E 01	0.0		0.0
125	0.60060E 01	0.0		0.0
128	0.60060E 01	0.0		0.0
131	0.60060E 01	0.0		0.0
39	0.60060E 01	0.0		0.0
41	0.60060E 01	0.0		0.0
44	0.60060E 01	0.0		0.0
45	0.60060E 01	0.0		0.0
1	0.33000E 03	0.0		0.0
2	0.63940E 02	0.0		0.0
3	0.95000E 02	0.0		0.0
4	0.90000E-01	0.0		0.0
5	0.60000E-01	0.0		0.0
6	0.90000E-01	0.0		0.0
7	0.90000E-01	0.0		0.0

Окончание приложения 7

8	0.90000E-01	0.0	0.0
9	0.90000E-01	0.0	0.0
123	0.47100E 01	0.0	0.0
126	0.47100E 01	0.0	0.0
129	0.47100E 01	0.0	0.0
132	0.47100E 01	0.0	0.0

: СТРУКТУРА

ВВОД СТРУКТУРЫ

ИМЯ ВЕЛИЧИНЫ	БЛОК	ТИП	ВХОД 1	ВХОД 2	ВХОД 3
ОПЕРАТОР СТРУКТУРЫ ЗАМЕНЕН					
	30	*	63	0	0

: ПАРАМЕТРЫ

НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ И ПАРАМЕТРЫ

ИМЯ МУ/ПАР	БЛОК	МУ/ПАР1	ПАР2	ПАР3
101	0.10000E 01	0.0		0.0
83	0.78900E 00	0.0		0.0
87	0.14000E 00	0.0		0.0
102	0.10000E 01	0.0		0.0
152	0.10000E 01	0.0		0.0
153	0.20000E 01	0.0		0.0
154	0.30000E 01	0.0		0.0
151	0.53000E 00	0:20000E 01		0:10000E 01

: ВВОД

РУНГЕ

ШАГ

0.003000

ТОЧНОСТЬ

0.050000

ВРЕМЯ

4.000000

КОЛ-ВО Точек

100

БЛОКИ

1

2

3

4

5

89

23

9

ТАБЛИЦА

\*\*\*

ИНТЕРВАЛ ВЫДАЧИ = ШАГУ ИНТЕГРИРОВАНИЯ

: ИНТЕГРИРОВАНИЕ

26/ 4/85 КНИГА F.NSIMIT

1.163 С SL

СОЗДАНА 27/02/85

AC

```

00 // OPTION LINK 0000
001 ACTION NOMAP 0001
002 INCLUDE 0002
003 CATALR NSIMIT 0003
004 /* 0004
005 // EXEC FORTRAN 0005
006 C ПРОГРАММА NSIMIT ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ 0006
007 C ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЭВМ 0007
008 C УГЛЕВОДОБЫВАЮЩИХ МАШИН 0008
009 DIMENSION IG(8,7),B(8),TI(8),ADEK1(4), 0009
010 * XEADK(4),ADEK(4),NUM(15),NUM1(15),NUM2(15),NUM3(15) 0010
011 DATA ADEK1/'ВЫПО','ЛМЯРЕ','ТСЯ',' ' 0011
012 DATA XEADK/'НЕ В','МПОЛ','МЯРЕ','СЯ ' 0012
013 READ(1,5198)N,MF,NOM 0013
014 READ(1,5205)(NUM(I),I=1,15) 0014
015 READ(1,5205)(NUM1(I),I=1,15) 0015
016 READ(1,5205)(NUM2(I),I=1,15) 0016
017 IF(MF.GT.2)GO T05665 0017
018 GO T05654 0018
019 5665 READ(1,5205)(NUM3(I),I=1,15) 0019
020 5654 READ(1,5206)IR1,IR2 0020
021 READ(1,5203)TIO,XB,YB,ZB 0021
022 READ(1,5204)EX,EY,EZ 0022
023 READ(1,5200)(TI(I),I=1,N) 0023
024 5204 FORMAT(SF14.7) 0024
025 5206 FORMAT(2I1) 0025
026 5198 FORMAT(2I3,I5) 0026
027 5200 FORMAT(SF14.7) 0027
028 5203 FORMAT(4F14.7) 0028
029 5205 FORMAT(15A4) 0029
030 PRINT5207,N,MF,TIO,NUM 0030
031 PRINT5209,(TI(I),I=1,N) 0031
032 WRITE(3,22233) 0032
033 22233 FORMAT(/10X,'РАЗОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ И ПРИРАЩЕНИЯ') 0033
034 5207 FORMAT(10X,'N=',I3,'MF=',I3,'TIO=',F14.7,2X,'НОМ=',I3) 0034
035 PRINT5213,XB,EX,YB,EY,ZB,EZ 0035

```

036	5213	FORMAT(5X,'XB=',E15.8,'EX=',E15.8/ +5X,'YB=',E15.8,'EY=',E15.8/ +5X,'ZB=',E15.8,'EZ=',E15.8/)	0036
037			0037
038			0038
039	5209	FORMAT(/10X,34НРЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ// *1P5E20.9)	0039
040			0040
041	C	ОПИСАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ МОДЕЛЕЙ УМ,ВАРЬИРУЕМЫХ ФАКТОРОВ,БАЗОВЫХ ЗНАЧЕНИЯ И ПРИРАЩЕНИЯ	0041
042	C		0042
043	C 1001	ТОК В ЯКОРНОЙ ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,А	0043
044	C 1002	МАКСИМУМ ТОКА ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ, А	0044
045	C 1003	ТОК В ЯКОРНОЙ ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,А	0045
046	C 1004	МАКСИМУМ ТОКА ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,А	0046
047	C 1007	ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОМЕНТ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,Н*М	0047
048	C 1008	МАКСИМУМ ЭЛ.МОМЕНТА ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,Н*М	0048
049	C 1009	ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОМЕНТ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,Н*М	0049
050	C 1109	МАКСИМУМ ЭЛ.МОМЕНТА ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,Н*М	0050
051	C 1012	УПРУГИЙ МОМЕНТ РЕДУКТОРА РЕЗАНИЯ,Н*М	0051
052	C 1013	МАКСИМУМ УПРУГОГО МОМЕНТА РЕДУКТОРА РЕЗАНИЯ,Н*М	0052
053	C 1014	УПРУГИЙ МОМЕНТ РЕДУКТОРА ПОДАЧИ,Н*М	0053
054	C 1114	МАКСИМУМ УПРУГОГО МОМЕНТА РЕДУКТОРА ПОДАЧИ,Н*М	0054
055	C 1015	УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,РАД/С	0055
056	C 1017	УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,РАД/С	0056
057	C 1018	ЛИНЕЙНАЯ СКОРОСТЬ ПОДАЧИ КОМБАЙНА,М/С	0057
058	C 1033	МОЩНОСТЬ ПОДВОДИМАЯ К ДВИГАТЕЛЮ РЕЗАНИЯ,В*А	0058
059	C 1034	МОЩНОСТЬ ПОДВОДИМАЯ К ДВИГАТЕЛЮ ПОДАЧИ,В*А	0059
060	C 1035	МОЩНОСТЬ ПОТРЕБЛЯЕМАЯ ДВИГАТЕЛЕМ РЕЗАНИЯ,В!	0060
061	C 1036	МОЩНОСТЬ ПОТРЕБЛЯЕМАЯ ДВИГАТЕЛЕМ ПОДАЧИ,В!	0061
062	C 1019	СТРУЖКА,М	0062
063	C 2001	ПОКАЗАТЕЛЬ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ УГЛЯ РАЗРУШЕНИЮ,Н*М	0063
064	C 2002	СРЕДНЕКВАДР.ОТКЛОНЕНИЕ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ УГЛЯ,Н*М	0064
065	C 2003	НАПРЯЖЕНИЕ НА ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,В	0065
066	C 2004	НАПРЯЖЕНИЕ НА ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,В	0066
067	C 2014	ПРИВЕДЕННЫЙ МОМЕНТ ИНЕРЦИИ ИСПОЛНИТ. ОРГАНА,КГ*М**2	0067
068	C		0068
069	C 2005	ПРИВЕДЕННЫЙ МОМЕНТ ИНЕРЦИИ УМ,КГ*М**2	0069
070	C 2007	МОМЕНТ ИНЕРЦИИ ЯКОРЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,КГ*М**2	0070
071	C 2006	МОМЕНТ ИНЕРЦИИ ЯКОРЯ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,КГ*М**2	0071
072	C 2008	СОПРОТ. ЯКОРНОЙ ОБМОТКИ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,ОМ	0072
073	C 2009	СОПРОТ. ЯКОРНОЙ ОБМОТКИ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,ОМ	0073

074	C 2010 ПРИВЕДЕННАЯ ЖЕСТКОСТЬ РЕДУКТОРА РЕЗАНИЯ, Н*М/РАД	0074
075	C 2011 ПРИВЕДЕННАЯ ЖЕСТКОСТЬ РЕДУКТОРА ПОДАЧИ, Н*М/РАД	0075
076	C БЛОК ПОСТРОЕНИЯ МАТРИЦЫ ПЛАНИРОВАНИЯ N*(N-1)	0076
077	DO 1 I=1,N	0077
078	1 IG(I,1)=(-1)**(I+1)	0078
079	L=N/4	0079
080	I1=0	0080
081	I=1	0081
082	DO 2 IL=1,L	0082
083	N1=I1+1	0083
084	N2=N1+1	0084
085	DO 4 I=N1,N2	0085
086	4 IG(I,2)=1	0086
087	N1=I+1	0087
088	N2=N1+1	0088
089	DO 6 I1=N1,N2	0089

26/ 4/85 КНИГА Р.НБИМТ

1.103 C SL СУЗАНА 27/02/85

40

090	6 IG(I1,2)=-1	0090
091	2 CONTINUE	0091
092	DO 7 I=1,N	0092
093	7 IG(I,4)=IG(I,1)*IG(I,2)	0093
094	IF(MF.GT,2)GOTO 9	0094
095	GOTO 11	0095
096	9 LX=N/8	0096
097	I2=0	0097
098	DO 20 IX=1,LX	0098
099	N1=I2+1	0099
100	N2=N1+3	0100
101	DO 24 I=N1,N2	0101
102	24 IG(I,3)=1	0102
103	N1=I+1	0103
104	N2=N1+3	0104
105	DO 26 I2=N1,N2	0105
106	26 IG(I2,3)=-1	0106

Продолжение приложения 8

1107	20	CONTINUE	0107
1108		DO 24 I=1,N	0108
1109		IG(I,5)=IG(I,1)*IG(I,3)	0109
1110		IG(I,6)=IG(I,2)*IG(I,3)	0110
1111	28	IG(I,7)=IG(I,1)*IG(I,2)*IG(I,3)	0111
1112	C	БЛОК ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ J40RM	0112
1113	11	FN=FLOAT(N)	0113
1114		S=0.	0114
1115		DO 30 I=1,N	0115
1116	30	S=S+I(I)	0116
1117		BO=S/FN	0117
1118	C	ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ	0118
1119		EPS=0.25*ABS(TIO)	0119
1120		TMIN=TIO-EPS	0120
1121		TMAX=TIO+EPS	0121
1122		IF(TMIN.LT.BO)GOTO 40	0122
1123		DO 3337 I=1,4	0123
1124	3337	ADEK(I)=XEADEK(I)	0124
1125		IXNEA=1	0125
1126		GOTO 46	0126
1127	40	IF(S<.LT.TMAX) GOTO 114	0127
1128		DO 3333 I=1,4	0128
1129	3333	ADEK(I)=XEADEK(I)	0129
1130		IXNEA=1	0130
1131		GOTO 46	0131
1132	114	S=0.0	0132
1133		DO 3331 I=1,4	0133
1134	3331	ADEK(I)=ADEK1(I)	0134
1135		IXNEA=0	0135
1136		DO 44 J=1,2	0136
1137		DO 49 I=1,N	0137
1138	49	S=S+I(I)*IG(I,J)	0138
1139		H(J)=S/FN	0139
1140		S=0.	0140
1141	44	CONTINUE	0141
1142		DO 51 I=1,N	0142
1143	51	S=S+I(I)*IG(I,4)	0143
1144		H(4)=S/FN	0144

1148	IF(MF,GT,2)GOTO 55	0145
1146	GOTO 53	0146
1147	55 S=0.	0147
1148	DO 61 I=1,N	0148
1149	61 S=S+TI(I)*IG(I,3)	0149
1150	B(3)=S/FN	0150
1151	S7=0.	0151
1152	S5=0.	0152
1153	S6=0.	0153
1154	DO 63 I=1,N	0154
1155	S5=S5+TI(I)*IG(I,5)	0155
1156	S6=S6+TI(I)*IG(I,6)	0156
1157	63 S7=S7+TI(I)*IG(I,7)	0157
1158	B(5)=S5/FN	0158
1159	B(6)=S6/FN	0159
1160	B(7)=S7/FN	0160
1161	C БЛОК ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ JNATUR	0161
1162	IF(MF,GT,2)GOTO 73	0162
1163	53 C4=B(4)/(EX+EY)	0163
1164	C0=B(1)*XB/EX=B(2)*YB/EY+C4*XB*YB	0164
1165	C1=B(1)/EX=C4*YB	0165
1166	C2=B(2)/EY=C4*XB	0166
1167	GOTO 93	0167
1168	73 B4XY=B(4)/(EX+EY)	0168
1169	B5XZ=B(5)/(EX+EZ)	0169
1170	B6YZ=B(6)/(EY+EZ)	0170
1171	C7=B(7)/(EX+EY+EZ)	0171
1172	C0=B(1)*XB/EX=B(2)*YB/EY=B(3)*ZB/EZ	0172
1173	*+B4XY*XB*YB+B5XZ*XB*ZB+B6YZ*YB*ZB+	0173
1174	*C7*XB*YB*ZB	0174
1175	C1=B(1)/EX=B4XY*YB-B5XZ*ZB+C7*ZB*YB	0175
1176	C2=B(2)/EY=B4XY*XB-B6YZ*ZB+C7*XB*ZB	0176
1177	C3=B(3)/EZ=B5XZ*XB-B6YZ*YB+C7*XB*YB	0177
1178	C4=B4XY-C7*ZB	0178
1179	C5=B5XZ-C7*YB	0179

6/ 4/85 КНИГА F.NDIMIT

1.163 C SL

СОЗДАНА 27/02/85

A

```

18-      C6=80YZ=C7*XB                      0180
181  C      БЛОК ПЕЧАТИ РЕЗУЛЬТАТОВ        0181
182      95 IF(I+1.EQ.1)GOTO 117           0182
183      GOTO 119                          0183
184      117 WRITE(3,121)                  0184
185      121 FORMAT(22X,28НМАТРИЦА ПЛ.ИРОВАНИЯ N=2**MF//) 0185
186      IF(M*.GT.2) GOTO 123              0186
187      GOTO 125                          0187
188      123 WRITE(3,127)                  0188
189      127 FORMAT(10X,49(1H*))           0189
19-      WRITE(3,131)                      0190
191      131 FORMAT(10X,1HI,5X,1HI,7(9X,1HI)/ 0191
192      *10X,1HI,2X,'I',2X,1HI,2X,'G1',1X,1HI, 0192
193      *2X,'G2',1X,1HI,2X,'G3',1X,1HI,2X,'G4', 0193
194      *1X,1HI,2X,'G5',1X,1HI,2X,'G6',1X,1HI, 0194
195      *2X,'G7',1X,1HI,10X,8(1HI,5X),1HI/ 0195
196      *10X,49(1H*))                     0196
197      DO 135 I=1,N                      0197
198      135 WRITE(3,133)I,IG(I,1),IG(I,2),IG(I,3), 0198
199      *IG(I,4),IG(I,5),IG(I,6),IG(I,7)   0199
20-      133 FORMAT(10X,1HI,5X,1HI,7(5X,1HI)/ 0200
201      *10X,8(1HI,2X,I2,1X),1HI/         0201
202      *10X,8(1HI,5X),1HI/              0202
203      *10X,49(1H*))                     0203
204      GOTO 119                          0204
205      125 WRITE(3,137)                  0205
206      137 FORMAT(22X,25(1H*))           0206
207      WRITE(3,139)                     0207
208      139 FORMAT(25X,4(1HI,5X),1HI/     0208
209      *25X,1HI,2X,'I',2X,1HI,2X,'G1',1X, 0209
21-      *1HI,2X,'G2',1X,1HI,2X,'G4',1X,1HI/ 0210
211      *25X,4(1HI,5X),1HI/            0211
212      *25X,25(1H*))                   0212
213      DO 141 I=1,N                      0213
214      141 WRITE(3,143)I,IG(I,1),IG(I,2),IG(I,4) 0214
215      143 FORMAT(22X,1HI,5X,1HI,3(5X,1HI)/ 0215

```



21*	*25X,4(1H1,2X,12,1X),1H1/	0216
21*	*25X,4(1H1,5X),1H1/	0217
21*	*25X,25(1H*)	0218
21*	119 IF(IK2.EQ.1)GOTO 145	0219
22	GOTO 147	0220
221	145 IF(X*.GT.2)GOTO 149	0221
22*	GOTO 151	0222
22*	149 WRITE(3,153)	0223
22*	153 FORMAT(10X,38HР-ДУБЛЯТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ/	0224
22*	*10X,34HВУХ МАССОВАЯ МОДЕЛЬ УГЛЕАБЫВАЮЩЕЙ/	0225
22*	*10X,4HМАШИНЫ/	0226
22*	*10X,4HУРАВНЕНИЕ РЕГРЕССИИ В НОРМАЛИЗОВАННОМ ВИДЕ/	0227
22*	*10X,'JNORM=BO+P1*G1+P2*G2+P3*G3'/	0228
22*	*16X,'+P4*G4+P5*G5+P6*G6+P7*G7'/	0229
23	*10X,40HУРАВНЕНИЕ РЕГРЕССИИ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ/	0230
231	*10X,'JNATUR=C0+C1*X+C2*Y+C3*Z'/	0231
23*	*17X,'+C4*X+Y+C5*X+Z+C6*Y+Z+C7*X-Y+Z'/	0232
23*	*10X,'G1,X,XB,FX-НОРМАЛИЗОВАННОЕ,ФАКТИЧЕСКОЕ, '/	0233
23*	*10X,'БАЗОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРИРАЩЕНИЕ ПЕРВОГО'/	0234
23*	*10X,'ВАРЬИРУЕМОГО ФАКТОРА'/	0235
23*	*10X,'G2,Y,YB,EY-НОРМАЛИЗОВАННОЕ,ФАКТИЧЕСКОЕ, '/	0236
23*	*10X,'БАЗОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРИРАЩЕНИЕ ВТОРОГО'/	0237
23*	*10X,'ВАРЬИРУЕМОГО ФАКТОРА'/	0238
23*	*10X,'G3,Z,ZB,EZ-НОРМАЛИЗОВАННОЕ,ФАКТИЧЕСКОЕ, '/	0239
24	*10X,'БАЗОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРИРАЩЕНИЕ'/	0240
24*	*10X,'ТРЕТЬЕГО ВАРЬИРУЕМОГО ФАКТОРА'/	0241
24*	*10X,'КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ 1'/	0242
24*	*10X,'G4=G1+G2,G5=G1+G3, '/	0243
24*	*10X,'G6=G2+G3,G7=G1+G2+G3'/)	0244
24*	46 CONTINUE	0245
24*	147 WRITE(3,155)	0246
24*	155 FORMAT(10X,'ОПИСАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ'/9X,21(1H*))	0247
24*	WRITE(3,156)	0248
24*	156 FORMAT(10X,'НАИМЕНОВАНИЕ ВЫХОДНОЙ КООРДИНАТЫ'/	0249
25	*10X,'J=JNATUR=JNORM :')	0250
251	WRITE(3,5777)(NUM(I),I=1,15)	0251
25*	WRITE(3,159)	0252
25*	159 FORMAT(/10X,'НАИМЕНОВАНИЕ ВАРИРУЕМЫХ ФАКТОРОВ'/	0253

Продолжение приложения 8

254	*10X,'X ;' )	0254
255	WRITE(3,5777)(NUM1(I),I=1,15)	0255
256	WRITE(3,161)	0256
257	161 FORMAT(/10X,'Y ;' )	0257
258	WRITE(3,5777)(NUM2(I),I=1,15)	0258
259	IF(MF.GT.2)GOTO 407	0259
260	GOTO 209	0260
261	407 WRITE(3,163)	0261
262	163 FORMAT(/10X,'Z ;' )	0262
263	WRITE(3,5777) (NUM3(I),I=1,15)	0263
264	209 WRITE(3,165)	0264
265	IF(IXNEA.EQ.1)GO TO 77746	0265
266	165 FORMAT(/17X,44НРЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ/)	0266
267	IF(MF.GT.2)GOTO 411	0267
268	GOTO 213	0268
269	211 WRITE(3,167)	0269

26/4/85 КНИГА F.NSIMIT

1.163 C SL

СОЗДАНА 27/02/85

DOC

270	167 FORMAT(7X,105(1H*))	0270
271	WRITE(3,169)	0271
272	169 FORMAT(7X,1HI,103X,1HI/	0272
273	*7X,1HI,35X,34НРЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ,34X,	0273
274	*1HI/7X,1HI,103X, 1HI/	0274
275	*7X,105(1H*))	0275
276	WRITE(3,170)	0276
277	170 FORMAT(7X,8(1HI,12X),1HI/7X,	0277
278	*1HI,5X,'T1',5X,1HI,5X,'T2',	0278
279	*5X,1HI,5X,'T3',5X,1HI,5X,'T4',5X,1HI,	0279
280	*5X,'T5',5X,1HI,5X,'T6',5X,1HI,5X,'T7',	0280
281	*5X,1HI,5X,'T8',5X,1HI/7X,8(1HI,12X),1HI/	0281
282	*7X,105(1H*))	0282
283	WRITE(3,173)(TI(I),I=1,4)	0283
284	173 FORMAT(7X,8(1HI,12X),1HI/7X,6(1HI,E12.6),	0284
285	*1HI/7X,8(1HI,12X),1HI/7X,105(1H*))	0285
286	WRITE(3,175)	0286

0287	175 FORMAT(7X,1HI,103X,1HI/	0287
0288	*7X,1HI,36X,30HЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ В JNORM,	0288
0289	*37X,1HI/7X,1HI,103X, 1HI/	0289
0290	*7X,105(1H*))	0290
0291	WRITE(3,177)	0291
0292	177 FORMAT(7X,8(1HI,12X),1HI/7X,	0292
0293	*1HI,5X,'B0',5X,1HI,5X,'B1',5X,1HI,	0293
0294	*5X,'B2',5X,1HI,5X,'B3',5X,1HI,	0294
0295	*5X,'B4',5X,1HI,5X,'B5',5X,1HI,	0295
0296	*5X,'B6',5X,1HI,5X,'B7',5X,1HI/	0296
0297	*7X,8(1HI,12X),1HI/7X,105(1H*))	0297
0298	N3=H-1	0298
0299	5777 FORMAT(12X,15A4)	0299
0300	WRITE(3,179)B0,(H(J),J=1,N3)	0300
0301	179 FORMAT(7X,8(1HI,12X),1HI/	0301
0302	*7X,1HI,E12.6,1HI,7(E12.6,1HI)/	0302
0303	*7X,8(1HI,12X),1HI/7X,105(1H*))	0303
0304	WRITE(3,181)	0304
0305	181 FORMAT(7X,1HI,103X, 1HI/7X,1HI,36X,	0305
0306	*31HЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ В JNATUR,36X,1HI/	0306
0307	*7X,1HI,103X, 1HI/7X,105(1H*))	0307
0308	WRITE(3,183)	0308
0309	183 FORMAT(7X,8(1HI,12X),1HI/7X,1HI,5X,'C0',	0309
0310	*5X,1HI,5X,'C1',5X,1HI,5X,'C2',5X,1HI,	0310
0311	*5X,'C3',5X,1HI,5X,'C4',5X,1HI,	0311
0312	*5X,'C5',5X,1HI,5X,'C6',5X,1HI,	0312
0313	*5X,'C7',5X,1HI/7X,8(1HI,12X),1HI/	0313
0314	*7X,105(1H*))	0314
0315	WRITE(3,185)C0,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7	0315
0316	185 FORMAT(7X,8(1HI,12X),1HI/	0316
0317	*7X,8(1HI,E12.6),1HI/7X,8(1HI,12X),1HI)	0317
0318	77746 WRITE(3,187)TIO,TMAX,EPS,TMIN,B0,(ADEK(I),	0318
0319	*I=1,4)	0319
0320	187 FORMAT(7X,105(1H*))	0320
0321	*7X,1HI,103X,1HI/	0321
0322	*7X,1HI,8X,'T0=',E12.6,17X,	0322
0323	*TMAX=T0+EPS=',E12.6,11X,	0323
0324	*УСЛОВИЕ АДЕКВАТНОСТИ',8X,1HI/	0324

Продолжение приложения 8

```

325      *7X,1HI,103X,1HI//X,1HI,5X,          0325
326      *EPS=0.25*TO=' ,E12.0,8X,          0326
327      *TMIN=TO-EPS=' ,E12.0,11X,         0327
328      *TMIN<BO<TMAX',10X,1HI/          0328
329      *7X,1HI,103X,1HI/                0329
330      *7X,1HI,8X,'BO=' ,E12.0,52X,4A4,12X, 0330
331      *1HI//7X,1HI,103X,1HI//X,105(1H*) 0331
332      GOTO 333                          0332
333      151 WRITE(3,205)                   0333
334      205 FORMAT(10X,3ВНРЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ/ 0334
335      *10X,41НОДНОМАССОВАЯ МОДЕЛЬ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ МАШИНЫ/ 0335
336      *10X,43НУРАВНЕНИЕ РЕГРЕССИИ В НОРМАЛИЗОВАННОМ ВИДЕ/ 0336
337      *10X,'JНОКН=BO+В1*G1+В2*G2+В4*G4'/ 0337
338      *10X,40НУРАВНЕНИЕ РЕГРЕССИИ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ/ 0338
339      *10X,'JNATUR=CO+C1*X+C2*Y+C4*X*Y'/ 0339
340      *10X,'G1,X,ХВ,ЕХ=НОРМАЛИЗОВАННОЕ,ФАКТИЧЕСКОЕ,'/ 0340
341      *10X,'БАЗОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРИРАЩЕНИЕ ПЕРВОГО'/ 0341
342      *10X,'ВАРЬИРУЕМОГО ФАКТОРА'/ 0342
343      *10X,'G2,Y,УВ,УЕ=НОРМАЛИЗОВАННОЕ,ФАКТИЧЕСКОЕ,'/ 0343
344      *10X,'БАЗОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРИРАЩЕНИЕ ВТОРОГО'/ 0344
345      *10X,'ВАРЬИРУЕМОГО ФАКТОРА'/ 0345
346      *10X,'КОЭФФИЦИЕНТ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ 1'/ 0346
347      *10X,10X,'G4=G1+G2'/) 0347
348      GOTO 46                          0348
349      213 WRITE(3,99167)                 0349
350      99167 FORMAT(7X,105(1H*))          0350
351      WRITE(3,215)                       0351
352      215 FORMAT(7X,1HI,103X, 1HI/      0352
353      *7X,1HI,35X,34НРЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, 0353
354      *34X,1HI//X,1HI,103X, 1HI//7X,105(1H*)) 0354
355      WRITE(3,217)                       0355
356      217 FORMAT(7X,4(1HI,24X),4X,1HI//7X,1HI, 0356
357      *11X,'T1',11X,1HI,11X,'T2',11X,1HI, 0357
358      *11X,'T3',11X,1HI,13X,'T4',13X,1HI/ 0358
359      *7X,4(1HI,24X),4X,1HI/           0359

```

26/04/85

КНИГА F.NSIMIT

1.163 C SL

СУДАНА 27/02/85

AD

360	*7X,105(1H*))	0360
0361	WRITE(3,219)(Y(I),I=1,N)	0361
0362	219 FORMAT(7X,4(1HI,44X),4X,1HI/7X,4(1HI,	0362
0363	*E24.14),4X,1HI/7X,4(1HI,24X),4X,1HI/7X,105(1H*))	0363
0364	WRITE(3,221)	0364
0365	221 FORMAT(7X,1HI,103X, 1HI/7X,1HI,36X,	0365
0366	*30ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ В JNORM,37X,	0366
0367	*1HI/7X,1HI,103X, 1HI/7X,105(1H*))	0367
0368	WRITE(3,223)	0368
0369	223 FORMAT(7X,4(1HI,24X),4X,1HI/7X,	0369
0370	*1HI,11X,'B0',11X,1HI,11X,'B1',11X,1HI,	0370
0371	*11X,'B2',11X,1HI,13X,'B4',13X,1HI/	0371
0372	*7X,4(1HI,24X),4X,1HI/7X,105(1H*))	0372
0373	WRITE(3,225)B0,B(1),B(2),B(4)	0373
0374	225 FORMAT(7X,4(1HI,24X),4X,1HI/7X,4(1HI,E24.14),4X,	0374
0375	*1HI/7X,4(1HI,24X),4X,1HI/7X,105(1H*))	0375
0376	WRITE(3,227)	0376
0377	227 FORMAT(7X,1HI,103X,1HI/7X,1HI,36X,	0377
0378	*32ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ В JNATUR	0378
0379	*.35X,1HI/7X, 1HI,103X,1HI/7X,105(1H*))	0379
0380	WRITE(3,229)	0380
0381	229 FORMAT(7X,4(1HI,24X),4X,1HI/7X,1HI,11X,'C0',	0381
0382	*11X,1HI,11X,'C1',11X,1HI,11X,'C2',11X,	0382
0383	*1HI,13X,'C4',13X,1HI/7X,4(1HI,24X),4X,1HI/7X,105(1H*))	0383
0384	WRITE(3,231)C0,C1,C2,C4	0384
0385	231 FORMAT(7X,4(1HI,24X),4X,1HI/7X,4(1HI,	0385
0386	*E24.14),4X,1HI/7X,4(1HI,24X),4X,1HI)	0386
0387	GOTO 77746	0387
0388	333 IF(IXNEA.EQ.1)GO TO66333	0388
0389	XMIN=XB-EX	0389
0390	YMIN=YB-EY	0390
0391	XMAX=XB+EX	0391
0392	YMAX=YB+EY	0392
0393	IF(MF.GT.2)GOTO666	0393
0394	AX1=C0+C2*YMIN	0394

0395	AX2=C0+C1*XMIN	0395
0396	BX1=C1+C4*YMIN	0396
0397	BX2=C2+C4*XMIN	0397
0398	XJB=C0+C1*XB+C2*YB+C4*XB*YB	0398
0399	XJMAX=C0+C1*XMAX+C2*YMAX+C4*XMAX*YMAX	0399
0400	XJMIN=C0+C1*XMIN+C2*YMIN+C4*XMIN*YMIN	0400
0401	BETA1=ATAN(BX1)/37.24577	0401
0402	BETA2=ATAN(BX2)/37.24577	0402
0403	XI1MI=AX1+BX1*XMIN	0403
0404	XI2MI=AX2+BX2*YMIN	0404
0405	XI1MA=AX1+BX1*XMAX	0405
0406	XI2MA=AX2+BX2*XMAX	0406
0407	WRITE(3,565)	0407
0408	WRITE(3,664)XJB,XJMAX,XJMIN	0408
0409	064 FORMAT(3ZX,'ПРИ XB,YB;JNATUR=',E24.16/	0409
0410	*26X,'ПРИ XMAX,YMAX;JNATUR=',E24.16/	0410
0411	*26X,'ПРИ XMIN,YMIN;JNATUR=',E24.16//)	0411
0412	WRITE(3,663)	0412
0413	063 FORMAT(40X,' СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ'//	0413
0414	*26X,'J1=AX1+BX1*X,ПРИ YMIN=CONST;XMIN<=X<=XMAX'/	0414
0415	*26X,'J2=AX2+BX2*Y,ПРИ XMIN=CONST;YMIN<=Y<=YMAX'//)	0415
0416	WRITE(3,662)AX1,BX1,BETA1,XI1MA,XI1MI,	0416
0417	*AX2,BX2,BETA2,XI2MA,XI2MI,	0417
0418	*XB,YB,XMAX,YMAX,EX,EY,XMIN,YMIN	0418
0419	062 FORMAT(28X,' ЧИСЛЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАВИСИМОСТЕЙ J1,J2'//	0419
0420	*7X,105(1H+)/	0420
0421	*7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/	0421
0422	*7X,1HI,6X,'J1,J2',7X,1HI,7X,'AXI',6X,1HI,7X,'BXI',6X,1HI,	0422
0423	*3X,'BETA,ГРАД',4X,1HI,5X,'JMAX',7X,1HI,5X,'JMIN',6X,1HI/	0423
0424	*7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/	0424
0425	*7X,105(1H+)/	0425
0426	*7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/	0426
0427	*7X,1HI,' J1=F(X),Y=CONST ',1HI,5(E16.10,1HI)/	0427
0428	*7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/	0428
0429	*7X,1HI,' J2=F(Y),X=CONST ',1HI,5(E16.10,1HI)/	0429
0430	*7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/	0430
0431	*7X,105(1H+)/	0431
0432	*7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/	0432

432	*7X,1HI,'XR=' ,E15.7,1HI,'YB=' ,E13.6,1HI,16X,1HI,'XMAX=' ,	0433
433	*E11.6,1HI,'YMAX=' ,E11.6,1HI,16X,1HI/7X,1HI,	0434
435	*18X,1HI,5(16X,1HI)/	0435
436	*7X,1HI,'EX=' ,E15.7,1HI,'EY=' ,E13.7,1HI,16X,1HI,'AMIN=' ,	0436
437	*E11.6,1HI,'YMIN=' ,E11.6,1HI,16X,1HI/	0437
438	*7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI) /7X,105(1H+)	0438
439	GOTO 6333	0439
440	ZMIN=7B+EZ	0440
441	AX1=C0+C2*YMIN+C3*ZMIN+C6*YMIN*ZMIN	0441
442	AX2=C0+C1*XMIN+C3*ZMIN+C5*XMIN*ZMIN	0442
443	AX3=C0+C1*XMIN+C4*YMIN+C4*XMIN*YMIN	0443
444	BX1=C1+C6*YMIN+C5*ZMIN+C7*YMIN*ZMIN	0444
445	BX2=C2+C6*XMIN+C6*ZMIN+C7*XMIN*ZMIN	0445
446	BX3=C3+C5*XMIN+C6*YMIN+C7*XMIN*YMIN	0446
447	ZMAX=ZB+EZ	0447
448	XJR=C0+C1*XB+C2*YB+C5*ZB+C4*XB*YB+	0448
449	*C5*XB*ZB+C6*YB*ZB+C7*XB*YB*ZB	0449

26/4/85

КНИГА F.NSIMIT

1.163 C SL

СУЗАНА 27/02/85

AOC

450	XJMAX=C0+C1*XMAX+C2*YMAX+C3*ZMAX+C4*XMAX*YMAX+	0450
451	*C5*XMAX*ZMAX+C6*YMAX*ZMAX+C7*XMAX*YMAX*ZMAX	0451
452	XJMIN=C0+C1*XMIN+C2*YMIN+C3*ZMIN+C4*XMIN*YMIN+	0452
453	*C5*XMIN*ZMIN+C6*YMIN*ZMIN+C7*XMIN*YMIN*ZMIN	0453
454	BETA1=ATAN(BX1)/57.29577	0454
455	BETA2=ATAN(BX2)/57.29577	0455
456	BETA3=ATAN(BX3)/57.29577	0456
457	XI1MA=AX1+BX1*XMAX	0457
458	XI1MI=AX1+BX1*XMIN	0458
459	XI2MI=AX2+BX2*YMIN	0459
460	XI3MI=AX3+BX3*ZMIN	0460
461	XI2MA=AX2+BX2*YMAX	0461
462	XI3MA=AX3+BX3*ZMAX	0462
463	WRITE(3,565)	0463
464	565 FORMAT(//40X,'ЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ JNATUR'//)	0464

Продолжение приложения 8

```

465      WRITE(3,564)XJB,XJMAX,XJMIN      0465
466 564 FORMAT(20X,'ПРИ XВ,УВ,ZВ:JNATUR=',E24.14/      0466
467 *26X,'ПРИ XМАХ,УМАХ,ZМАХ:JNATUR=',E24.14/      0467
468 *26X,'ПРИ XMIN,УMIN,ZMIN:JNATUR=',E24.14//)      0468
469 WRITE(3,563)      0469
470 563 FORMAT(40X,' СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ'//      0470
471 *25X,'J1=AX1+BX1*X,ПРИ:УMIN,ZMIN=CONST; XMIN<=X<=XМАХ'/      0471
472 *25X,'J2=AX2+BX2*Y,ПРИ:ХMIN,ZMIN=CONST; YMIN<=Y<=YМАХ'/      0472
473 *25X,'J3=AX3+BX3*Z,ПРИ:ХMIN,УMIN=CONST; ZMIN<=Z<=ZМАХ'//)      0473
474 WRITE(3,562)AX1,BX1,BETA1,XI1MA,XI1MI,      0474
475 *AX2,BX2,BETA2,XI2MA,XI2MI,AX3,BX3,BETA3,      0475
476 *XI3MA,XI3MI,XB,YB,ZB,XMAX,YMAX,ZMAX,      0476
477 *EX,EY,EZ,XMIN,УMIN,ZMIN      0477
478 562 FORMAT(28X,'ЧИСЛЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАВИСИМОСТЕЙ J1,J2,J3'//      0478
479 *7X,105(1H*)/      0479
480 *7X,1HI,10X,1HI/      0480
481 *7X,1HI,5X,'J1,J2,J3',5X,1HI,7X,'AXI',6X,1HI,/X,'BXI',6X,1HI,      0481
482 *3X,'BETA',ГРАД',6X,1HI,5X,'JIMAX',6X,1HI,5X,'JIMIN',6X,1HI/      0482
483 *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/      0483
484 *7X,105(1H*)/      0484
485 *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/      0485
486 *7X,1HI,'J1=F(X),Y,Z=CONST',1HI,5(E16.10,1HI)/      0486
487 *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/      0487
488 *7X,1HI,'J2=F(Y),X,Z=CONST',1HI,5(E16.10,1HI)/      0488
489 *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/      0489
490 *7X,1HI,'J3=F(Z),X,Y=CONST',1HI,5(E16.10,1HI)/      0490
491 *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/      0491
492 *7X,105(1H*)/      0492
493 *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/      0493
494 *7X,1HI,'XB=',E15.7,1HI,'YB=',E13.6,1HI,'ZB=',E13.6,1HI,'XMAX=',      0494
495 *7X,1HI,'YMAX=',E11.6,1HI,'ZMAX=',E11.6,1HI/      0495
496 *E11.6,1HI,'YMAX',1HI,5(16X,1HI)/      0496
497 *7X,1HI,'EX=',E15.7,1HI,'EY=',E13.6,1HI,'EZ=',E13.6,1HI,'XMIN=',      0497
498 *7X,1HI,'EY',E15.7,1HI,'EY',E13.6,1HI,'EZ',E13.6,1HI,      0498
499 *E11.6,1HI,'YMIN=',E11.6,1HI,'ZMIN=',E11.6,1HI/-      0499
500 *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/7X,105(1H*)}      0500
501 66333 STOP      0501
502 END      0502

```



503	// EXEC MDNR						0503
504	CATALR NSIMIT,&SYSMOD,SYSLNK						0504
505	/*						0505
506	// EXEC LNKEOT						0506
507	// EXEC						0507
508	8 3 222						0508
509	1001 ПУТОК В ЯКОРНОЙ ОБМОТКЕ АВИАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ, А						0509
510	2001 ПОКАЗАТЕЛЬ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ УГЛЯ РАЗРУШЕНИЮ, Н*М						0510
511	2006 МОМЕНТ ИНЕРЦИИ ЯКОРЯ АВИАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ, КГ*М**2						0511
512	2007 МОМЕНТ ИНЕРЦИИ ЯКОРЯ АВИАТЕЛЯ ПОДАЧИ, КГ*М**2						0512
513	11						0513
514	90.826	200.0	15.75125	3.012274			0514
515	50.0	3.937814	0.753068				0515
516	73.018	81.176	108.79	106.93	116.91		0516
517	28.447	123.01	107.26				0517
518	/*						0518
519	// EXEC						0519
520	8 3 222						0520
521	1015 ПУГЛОВАЯ СКОРОСТЬ ВАЛА АВИАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ, РАД/С						0521
522	2001 М(А,Т), Н*М						0522
523	2006 J ЯКОРЯ АВ. РЕЗАНИЯ, КГ*М**2						0523
524	2007 J ЯКОРЯ АВ. ПОДАЧИ, КГ*М**2						0524
525	64						0525
526	-8.0949	200.0	15.75125	3.012274			0526
527	50.0	3.93781	0.753068				0527
528	-2.0603	-2.6131	-4.9294	-3.7411	6.2238		0528
529	5.6068	-3.2429	-1.7419				0529
530	/*						0530
531	// EXEC						0531
532	8 3 222						0532
533	1003 ТОК В ЯКОРНОЙ ОБМОТКЕ АВИАТЕЛЯ ПОДАЧИ, А						0533
534	2001 М(А,Т), Н*М						0534
535	2006 J ЯКОРЯ АВ. РЕЗАНИЯ, КГ*М**2						0535
536	2007 J ЯКОРЯ АВ. ПОДАЧИ, КГ*М**2						0536
537	64						0537
538	30.181	200.0	15.75125	3.012274			0538
539	50.0	3.93781	0.753068				0539

Окончание приложения 8

0614	/*						0614
0615	// ЕХЕС						0615
0616	8 3 232						0616
0617	1001 ТОК В ЯКОРНОЙ ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ, А						0617
0618	2001 ПОКАЗАТЕЛЬ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ УГЛЯ РАЗРУШЕНИЮ, М*М						0618
0619	2006 МОМЕНТ ИМЕРЦИИ ЯКОРЯ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ, КГ*М**2						0619
0620	2014 ПРИВЕД. МОМЕНТ ИМЕРЦИИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА, КГ*М**2						0620
0621	11						0621
0622	81.771	200.0	15.75125	1.613			0622
0623	50.0	3.937814	0.40325				0623
0624	55.661	108.47	90.97	132.46	97.556		0624
0625	55.595	105.23	32.55				0625
0626	/*						0626
0627	// ЕХЕС						0627
0628	4 2 221						0628
0629	1003 ТОК В ЯКОРНОЙ ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ, А						0629

06/4/85 КНИГА F.NSIMIT

1.163 С SL СОЗДАНА 27/02/85

401

0630	2003 НАПРЯЖЕНИЕ НА ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ, В						0630
0631	2004 НАПРЯЖЕНИЕ НА ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ, В						0631
0632	11						0632
0633	30.181	37.5	12.5				0633
0634	7.5	2.5					0634
0635	35.826	36.551	11.751	12.473			0635
0636	/*						0636
0637	// ЕХЕС						0637
0638	4 2 221						0638
0639	1004 МАКСИМУМ ТОКА В ЯКОРНОЙ ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ, А						0639
0640	2003 НАПРЯЖЕНИЕ НА ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ, В						0640
0641	2004 НАПРЯЖЕНИЕ НА ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ, В						0641
0642	44						0642
0643	+265.82	37.5	12.5				0643
0644	7.5	2.5					0644
0645	264.92	264.92	268.51	268.51			0645

## Результаты имитационного моделирования УМ

// EXEC

0307

N# ВМ# ЗТИ0# 90,8459888 NOM#222

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

7,301799011E 01 8,117599487E 01 1,087899933E 02 1,069299027E 02 1,149099884E 02

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

2,0844699097E 01 1,230099945E 02 1,072599945E 02

БАЗОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ И ПРИРАЩЕНИЯ

XB# 0,20000000E 03EX# 0,30000000E 02

YB# 0,15731249E 02EY# 0,39378119E 01

ZB# 0,30122719E 01EZ# 0,75306797E 00

МАТРИЦА ПЛАНИРОВАНИЯ N#2\*\*MF

```

*****
I I I I I I I I I I
I I I G1 I G2 I G3 I G4 I G5 I G6 I G7 I
I I I I I I I I I I
*****
I I I I I I I I I I
I 1 I 1 I 1 I 1 I 1 I 1 I 1 I 1 I
I I I I I I I I I I
*****
I I I I I I I I I I
I 2 I -1 I 1 I 1 I -1 I -1 I 1 I -1 I
I I I I I I I I I I
*****
I I I I I I I I I I
I 3 I 1 I -1 I 1 I -1 I 1 I -1 I -1 I
I I I I I I I I I I

```

```

*****
I      I      I      I      I      I      I      I      I      I
I  4 I  -1 I  -1 I  1 I  1 I  -1 I  -1 I  1 I
I      I      I      I      I      I      I      I      I      I
*****
I      I      I      I      I      I      I      I      I      I
I  5 I  1 I  1 I  -1 I  1 I  -1 I  -1 I  -1 I
I      I      I      I      I      I      I      I      I      I
*****
I      I      I      I      I      I      I      I      I      I
I  6 I  -1 I  1 I  -1 I  -1 I  1 I  -1 I  1 I
I      I      I      I      I      I      I      I      I      I
*****
I      I      I      I      I      I      I      I      I      I
I  7 I  1 I  -1 I  -1 I  -1 I  -1 I  1 I  1 I
I      I      I      I      I      I      I      I      I      I
*****
I      I      I      I      I      I      I      I      I      I
I  8 I  -1 I  -1 I  -1 I  1 I  1 I  1 I  -1 I
I      I      I      I      I      I      I      I      I      I
*****

```

РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
 ДВУХМАССОВАЯ МОДЕЛЬ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ  
 МАШИНЫ

УРАВНЕНИЕ РЕГРЕССИИ В НОРМАЛИЗОВАННОМ ВИДЕ

$$JNORM = b_0 + b_1 * G_1 + b_2 * G_2 + b_3 * G_3 + b_4 * G_4 + b_5 * G_5 + b_6 * G_6 + b_7 * G_7$$

УРАВНЕНИЕ РЕГРЕССИИ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ

$$JNATUR = c_0 + c_1 * X + c_2 * Y + c_3 * Z + c_4 * X * Y + c_5 * X * Z + c_6 * Y * Z + c_7 * X * Y * Z$$

G1, X, XB, EX = НОРМАЛИЗОВАННОЕ, ФАКТИЧЕСКОЕ,  
 БАЗОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРИРАЩЕНИЕ ПЕРВОГО  
 ВАРЬИРУЕМОГО ФАКТОРА  
 G2, Y, YB, EY = НОРМАЛИЗОВАННОЕ, ФАКТИЧЕСКОЕ,  
 БАЗОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРИРАЩЕНИЕ ВТОРОГО  
 ВАРЬИРУЕМОГО ФАКТОРА  
 G3, Z, ZB, EZ = НОРМАЛИЗОВАННОЕ, ФАКТИЧЕСКОЕ,  
 БАЗОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРИРАЩЕНИЕ

808

ТРЕТЬЕГО ВАРИРУЕМОГО ФАКТОРА  
 КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ :  
 $G4 = G1 * G2, G5 = G1 * G3,$   
 $G6 = G2 * G3, G7 = G1 * G2 * G3$

ОПИСАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ  
 \*\*\*\*\*

НАИМЕНОВАНИЕ ВЫХОДНОЙ КООРДИНАТЫ  
 $J = JNATUR = JNORM$  ;  
 1001 ПОТОК В ЯКОРНОЙ ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ, А

НАИМЕНОВАНИЕ ВАРИРУЕМЫХ ФАКТОРОВ  
 X ;  
 2001 ПОКАЗАТЕЛЬ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ УГЛЯ РАЗРУШЕНИЮ, Н\*М

Y ;  
 2006 МОМЕНТ ИНЕРЦИИ ЯКОРЯ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ, КГ\*М\*\*2

Z ;  
 2007 МОМЕНТ ИНЕРЦИИ ЯКОРЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ, КГ\*М\*\*2

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ												
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8					
10.730180E	0210.811760E	0210.108790E	0310.106930E	0310.114910E	0310.284470E	0210.123010E	0310.107260E	031				

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ В JNORM

B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
0.929425E 02	0.119894E 02	-1.85549E 02	-7.466144E 00	0.758687E 01	-1.35639E 04	0.317338E 01	-1.00914E 02

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ В JNATUR

C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0.722051E 03	-0.251129E 01	-3.366651E 02	-1.59832E 03	0.243568E 00	0.711997E 00	0.146821E 02	-1.680599E-01

T0=0.929425E 02

TMAX=T0+EPS=0.113932E 03

УСЛОВИЕ АДЕКВАТНОСТИ

EPS=0.25\* T0=0.227065E 02

TMIN=T0-EPS=0.681195E 02

TMIN < B0 < TMAX

B0=0.929425E 02

ВЫПОЛНЯЕТСЯ

ЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ JNATUR.

ПРИ XB, YB, ZB: JNATUR= 0,92942582812900E 02  
 ПРИ XMAX, YMAX, ZMAX: JNATUR= 0,73018064406250E 02  
 ПРИ XMIN, YMIN, ZMIN: JNATUR= 0,24277090000000E 06

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

J1=AX1+BX1+X, ПРИ: YCIN, ZMIN=CONST; XMIN<=X<=XMAX  
 J2=AX2+BX2+Y, ПРИ: XMIN, ZMIN=CONST; YMIN<=Y<=YMAX  
 J3=AX3+BX3+Z, ПРИ: XMIN, YMIN=CONST; ZMIN<=Z<=ZMAX

ЧИСЛЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАВИСИМОСТЕЙ J1, J2, J3

```

*****
I
I      J1, J2, J3      I      AXI      I      BXI      I      БETA, ГРАД      I      JIMAX      I      JIMIN      I
I      I      I      I      I      I      I      I      I
*****
I      I      I      I      I      I      I      I      I
I      J1=F(X), Y, Z=CONST I 0,4363476363E 02 I 0,1574993134E 00 I 0,4726484789E-02 I 0,1230095823E 03 I 0,1072596588E 03 I
I      I      I      I      I      I      I      I      I
I      J2=F(Y), X, Z=CONST I 0,4254792023E 03 I -,1000720215E 02 I -,2547725629E-01 I 0,2844683838E 02 I 0,1072597504E 03 I
I      I      I      I      I      I      I      I      I
I      J3=F(Z), X, Y=CONST I 0,1077351270E 03 I -,2192077637E 00 I -,3766329768E-02 I 0,1069497333E 03 I 0,1072598677E 03 I
I      I      I      I      I      I      I      I      I
*****
I      I      I      I      I      I      I      I      I
I      XB= 0.2000000E 03 I YB= 0,157512E 02 I ZB= 0,301227E 01 I XMAX=,250000E 03 I YMAX=,196891E 02 I ZMAX=,376534E 01 I
I      I      I      I      I      I      I      I      I
I      EX= 0,5000000E 02 I EY= 0,393781E 01 I EZ= 0,753068E 00 I XMIN=,150000E 03 I YMIN=,118134E 02 I ZMIN=,225920E 01 I
I      I      I      I      I      I      I      I      I
*****
    
```

№ ВМФ= 3110# =8.0448992 НОМ#222

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

-24060299873E 00 =2.613099098E 00 =4.929399490E 00 =3.721099834E 00 =.223799706E 00

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

9.600799126E 00 =3.242899095E 00 =1.741899490E 00

БАЗОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ И ПРИРАЩЕНИЯ

XВ# 0.20000000E 02 EX# 0.90000000E 02  
 YВ# 0.15731249E 02 EY# 0.39378099E 01  
 ZВ# 0.30122719E 01 EZ# 0.75300797E 00

ОПИСАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ

\*\*\*\*\*

НАИМЕНОВАНИЕ ВЫХОДНОЙ КООРДИНАТЫ

J#JNATUR#JNORM I  
 1013ДУГЛОВАЯ СКОРОСТЬ ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ, РАД/С

НАИМЕНОВАНИЕ ВАРЬИРУЕМЫХ ФАКТОРОВ

- X I  
 2001 M(A,T), М\*М
- Y I  
 2006 J ЯКОРЯ ДВ. РЕЗАНИЯ, КГ\*М\*\*2
- Z I  
 2007 J ЯКОРЯ ДВ. ПОДАЧИ, КГ\*М\*\*2

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ



211

```

*****
I      T0=-.809490E 01      TMAX=T0+EPS=-.607117E 01      УСЛОВИЕ АДЕКВАТНОСТИ      I
I      EPS=0.25*T0=0.202372E 01      TMIN=T0-EPS=.101186E 02      TMIN<B0<TMAX      I
I      B0=-.809762E 00      НЕ ВЫПОЛНЯЕТСЯ      I
*****
FXEC                                         0627

```

N= 4MF= 2110= 30.1009998 NOM=221

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

3.582598877E 01    3.65099487E 01    1.175099945E 01    1.247299957E 01

БАЗОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ И ПРИРАЩЕНИЯ

XB= 0.37500000E 02EX= 0.75000000E 01  
 YB= 0.12500000E 02EY= 0.25000000E 01  
 ZB= 0.0                    EZ= 0.0

МАТРИЦА ПЛАНИРОВАНИЯ N=2+MF

```

*****
I      I      I      I      I
I      I      I      G1 I      G2 I      G4 I
I      I      I      I      I      I
*****
I      I      I      I      I
I      1 I      1 I      1 I      1 I
I      I      I      I      I
*****
I      I      I      I      I
I      1 I      -1 I      1 I      -1 I
I      I      I      I      I
*****

```

```

I      I      I      I      I
I      3 I      1 I      -1 I      -1 I
I      I      I      I      I      I
*****
I      I      I      I      I
I      4 I      -1 I      -1 I      1 I
I      I      I      I      I
*****

```

РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
 ОДНОМАССОВАЯ МОДЕЛЬ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ МАШИНЫ  
 УРАВНЕНИЕ РЕГРЕССИИ В НОРМАЛИЗОВАННОМ ВИДЕ  
 $JNORM = B0 + B1 * G1 + B2 * G2 + B4 * G4$   
 УРАВНЕНИЕ РЕГРЕССИИ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ  
 $JNATUR = C0 + C1 * X + C2 * Y + C4 * X * Y$   
 G1, X, XB, EX - НОРМАЛИЗОВАННОЕ, ФАКТИЧЕСКОЕ,  
 БАЗОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРИРАЩЕНИЕ ПЕРВОГО  
 ВАРИРУЕМОГО ФАКТОРА  
 G2, Y, YB, YE - НОРМАЛИЗОВАННОЕ, ФАКТИЧЕСКОЕ,  
 БАЗОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРИРАЩЕНИЕ ВТОРОГО  
 ВАРИРУЕМОГО ФАКТОРА  
 КОЭФФИЦИЕНТ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ I  
 $G4 = G1 * G2$

ОПИСАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ  
 \*\*\*\*\*

НАИМЕНОВАНИЕ ВЫХОДНОЙ КООРДИНАТЫ  
 $J = JNATUR = JNORM$  I  
 1003 ТОК В ЯКОРНОЙ ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ, А

НАИМЕНОВАНИЕ ВАРИРУЕМЫХ ФАКТОРОВ  
 X I  
 2003 НАПРЯЖЕНИЕ НА ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ, В

Y I  
 2004 НАПРЯЖЕНИЕ НА ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ, В

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

IIA

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

T1	T2	T3	T4
0.35825988769531E 02	0.56550994873047E 02	0.11750999650684E 02	0.12472999372754E 02

## ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ В JNORM

B0	B1	B2	B4
0.24170238037109E 02	-0.36175195639648E 00	0.12038242340088E 02	-0.73149536132813E 03

## ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ В JNATUR

C0	C1	C2	C4
-0.34231007080078E 02	-0.47732539474964E 01	0.48167982101640E 01	-0.40079743484966E 04

T0=0.501810E 02

TMAX=T0+EPS=0.377262E 02

УСЛОВИЕ АДЕКВАТНОСТИ

```

I EPS=0.25*Y0=0.754>25E 01 TMIN=Y0=EPS=0.246357E 02 TMIN<B0<YMAX I
I I I I
I B0=0.241502E 02 ВПОЛНЯЕТСЯ I
I I I
*****

```

ЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ JNATUR

```

ПРИ XB,YB;JNATUR= 0.24150207>1953125E 02
ПРИ XMAX,YMAX;JNATUR= 0.358259>82519>312E 02
ПРИ XMIN,YMIN;JNATUR= 0.1247297668457031E 02

```

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

```

J1=AX1+BX1+X,ПРИ;YMIN=CONST;XMIN<X<XMAX
J2=AX2+BX2+Y,ПРИ;XMIN=CONST;YMIN<Y<YMAX

```

ЧИСЛЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАВИСИМОСТЯ J1,J2

```

*****
I J1,J2 I AXI I BXI I BETA,ГРАА I JMAX I JMIN I
I I I I I I I I I
I I I I I I I I I
I J1=F(X),Y=CONST I0=1391096167E 02I=-.4813333601E-01I-.6394375909E-03I0.1175096226E 02I0.1247296238E 02I
I I I I I I I I I
I J2=F(Y),X=CONST I=-.5568<96814E 02I0.4815595627E 01I0.<384202182E-01I0.1810188243E 03I0.1247297668E 02I
I I I I I I I I I
I I I I I I I I I
I XB= 0.3750000E 02IYB= 0.125000E 02I IАМАХ= .450000E 02IYМАХ= .150000E 02I I
I I I I I I I I I
I EX= 0.7500000E 01IEY=0.2>00000E 01I IАМІН= .300000E 02IYМІН= .100000E 02I I
I I I I I I I I I
*****

```

## Фортран-программа NSBASM

911

26/04/85 КНИГА F.NSBASM

1.65 C SL СУЗДАНА 27/02/85

AOC

```

0000 // OPTION LINK 0000
0001 ACTION NOMAR 0001
0002 INCLUDE 0002
0003 CATALR NSBASM 0003
0004 /* 0004
0005 // EXEC FFORTRAN 0005
0006 C ПРОГРАММА**МАТРИЦА ОБЪЕКТА(BASMAT) 0006
0007 C ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПОДПРОГРАММЫ:CHREQ,SIMEQ, 0007
0008 C STMST,PROOT,DET,CHREQA 0008
0009 DIMENSION A(30,30),EIGR(30), 0009
0010 *EIGI(30),AINV(30,30)NAME(5), 0010
0011 *C(31) 0011
0012 *,A0B(30,30) 0012
0013 *,NA1(30),MA2(30),VE(450),KCT(30),LRI(450) 0013
0014 2001 FORMAT (5A4,I2) 0014
0015 2002 FORMAT (5E14,7) 0015
0016 2003 FORMAT (1P6E20,7) 0016
0017 2004 FORMAT (1H0,5X,'МАТРИЦА A:',/) 0017
0018 2005 FORMAT (1H0,5X,'ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЙ ПОЛИНОМ:', 0018
0019 *'ПО ВОЗРАСТАЮЩИМ СТЕПЕНЯМ B:/'/) 0019
0020 2006 FORMAT (1H0,5X,'СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ МАТРИЦЫ A:') 0020
0021 2007 FORMAT (7X,'ДЕЙСТВ ЧАСТЬ',7X,'ИММИНАЯ ЧАСТЬ',/) 0021
0022 2008 FORMAT (1H1,5X,'29ИПРОГРАММА **МАТРИЦА ОБЪЕКТА**') 0022
0023 2009 FORMAT (6X,'НАЗВАНИЕ ЗАДАЧИ=',5X,5A4) 0023
0024 2010 FORMAT (1H0,5X,'ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ МАТРИЦЫ'/) 0024
0025 2011 FORMAT (1H0,5X,'ОБРАТНАЯ МАТРИЦА'/) 0025
0026 2012 FORMAT (1H0,45(1H*)) 0026
0027 2013 FORMAT (6I1) 0027
0028 4 READ(1,2001,END=10)(NAME(I),I=1,5),N 0028
0029 READ(1,333)IR 0029
0030 333 FORMAT (I2) 0030
0031 IF(IR.EQ.1)GO TO 336 0031
0032 M=N 0032
0033 READ(1,386)NT 0033
0034 WRITE(3,9999)NT 0034
0035 9999 FORMAT (10X,'NT=',I3/) 0035

```

Продолжение приложения IO

0036	386	FORMAT(I3)	0036
0037		READ(1,42)(VE(I),I=1,NT)	0037
0038		WRITE(3,46)(VE(I),I=1,NT)	0038
0039	42	FORMAT(5F16.7)	0039
0040	44	FORMAT(5X,1PSE20.9)	0040
0041		READ(1,46)(KCT(I),I=1,M)	0041
0042		WRITE(3,48)(KCT(I),I=1,M)	0042
0043	46	FORMAT(23I3)	0043
0044	48	FORMAT(10X,23I3/)	0044
0045		READ(1,50)(LRI(I),I=1,NT)	0045
0046		WRITE(3,52)(LRI(I),I=1,NT)	0046
0047	52	FORMAT(10X, 23I3/)	0047
0048	50	FORMAT(23I3)	0048
0049		CALL NSRAM(VE,N,N,NT,KCT,LRI,A)	0049
0050		GO TO 9913	0050
0051	336	READ(1,2002)((A(I,K),K=1,N),I=1,N)	0051
0052	9913	READ(1,2013)IDET,INV,NRM,ICP,IG,ISTM	0052
0053		PRINT 2008	0053
0054		PRINT 2009,(NAME(I),I=1,5)	0054
0055		PRINT 2012	0055
0056		PRINT 2004	0056
0057		DO 2 I=1,N	0057
0058	2	PRINT 2003,(A(I,K),K=1,N)	0058
0059		IF(IDET.NE.0) GO TO 3	0059
0060		DO 55 I=1,N	0060
0061		DO 55 J=1,N	0061
0062		AOB(I,J)=A(I,J)	0062
0063	55	CONTINUE	0063
0064		CALL NSDET(AOB,N,DET)	0064
0065		D=DET	0065
0066		PRINT 2010	0066
0067		PRINT 2003,D	0067
0068	5	IF(INV.NE.0) GO TO 15	0068
0069		PRINT 2011	0069
0070		CALL NSSIME(A,C,N,AINV,C,IERR)	0070
0071		IF(IERR.EQ.0) GO TO 15	0071
0072		DO 20 I=1,N	0072
0073	20	PRINT 2009,(AINV(I,J),J=1,N)	0073
0074	15	CALL NSCHRE(A,N,C,NRM)	0074

075	CALL NSPMOD(N,C,EIGR,EIGI,+1)	0075
076	IF(ICP.NE.0) GO TO 30	0076
077	PRINT 2012	0077
078	PRINT 2005	0078
079	NN=N+1	0079
080	PRINT 2003,(C(I),I=1,NN)	0080
081	30 IF(IFIG.NE.0) GO TO 35	0081
082	PRINT 2012	0082
083	PRINT 2006	0083
084	PRINT 2007	0084
085	DO 3 I=1,N	0085
086	3 PRINT 2003,EIGR(I),EIGI(I)	0086
087	35 IF(ISTM.NE.0) GO TO 25	0087
088	CALL NSSIMS(N,A,EIGR,EIGI,ISTM)	0088
089	25 WRITE(3,7777)	0089

26/04/85 КНИГА F.NSBASM

1.45 C 5L СУЗАНА 27/02/85

AOC

090	7777 FORMAT(/10X,'РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЗАКОНЧЕНО',/10X,80(1N=)/)	0090
091	GO TO 4	0091
092	10 STOP	0092
093	END	0093
094	/*	0094
095	// EXEC MUMNR	0095
096	CATALR NSRASM,&SYSMOD,SYSLNK	0096
097	/*	0097
098	// EXEC LNKEDT	0098
099	// EXEC	0099
100	КОНТРОЛЬНЫЙ ПРИМЕР CN2 2	0100
101	1	0101
102	-5.0 0.05 0.2 -2.0	0102
103		0103
104	МОДЕЛЬ УМ С N=----- 7	0104
105	5	0105
106	16	0106

Окончание приложения IO

0107	-9.420043	0.6269496	-1116.679	-0.0013648	1.501501	0107
0108	-27.37319	0.1154585	-758.5972	1.0	-385.0267	0108
0109	-25.055	1.501501	-1.0	-1.501501	0.0013648	0109
0110	-1.501501					0110
0111	2 3 2 2 3 2 2					0111
0112	1 2 1 5 7 3 6 3 3 2 4 6 5 6 5 7					0112
0113						0113
0114	MOA YM C N=7 NTC=19 7					0114
0115	5					0115
0116	19					0116
0117	-9.420043	0.6269496	-1116.679	0.0005	-0.0013648	0117
0118	1.501501	-27.37319	0.1154585	-758.5972	0.0005	0118
0119	1.0	-385.0267	-25.055	0.0005	1.501501	0119
0120	-1.0	-1.501501	0.0013648	-1.501501		0120
0121	2 4 2 3 4 2 2					0121
0122	1 2 1 2 3 7 3 4 3 4 3 2 4 5 6 5 9 5 7					0122
0123						0123
0124	MOAELb YM C N=7----- 7					0124
0125	5					0125
0126	19					0126
0127	-9.420043	0.6269496	-1116.679	-0.0013648	1.501501	0127
0128	-27.37319	0.1154585	-758.5972	1.0	-481.2903	0128
0129	-31.31875	1.501501	-1.0	-1.501501	0.0013648	0129
0130	-1.501501					0130
0131	2 3 2 2 3 2 2					0131
0132	1 2 1 5 7 3 4 3 3 2 4 6 5 6 5 7					0132
0133						0133
0134	MOA YM C N=7 NTC=19 7					0134
0135	5					0135
0136	19					0136
0137	-9.420043	0.6269496	-1116.679	0.0005	-0.0013648	0137
0138	1.501501	-27.37319	0.1154585	-758.5972	0.0005	0138
0139	1.0	-481.2903	-31.31875	0.0005	1.501501	0139
0140	-1.0	-1.501501	0.0013648	-1.501501		0140
0141	2 4 2 3 4 2 2					0141
0142	1 2 1 2 3 7 3 4 3 4 3 2 4 5 6 5 6 5 7					0142
0143						0143
0144	MOA YM C N=7 NTC=19 7					0144



## Подпрограммы NSBASM

0007	CATALR NSCHRE	0003
0004	/*	0004
0004	// EXEC FFORTRAN	0005
0004	SUBROUTINE NSCHRE(A,N,C,NRM)	0006
0007	C  ЭТА ПОДПРОГРАММА НАХОДИТ КОЭФФИЦИЕНТЫ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО	0007
0008	C  ПОЛИНОМА С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА ЛЕ ВЕРРЬЕ (LEVERRIER)	0008
0009	COMMON ZED(30,30,30)	0009
0010	DIMENSION A(30,30),ATEMP(30,30),	0010
0011	*PROD(30,30)	0011
0012	*,C(31)	0012
0013	DATA ATEMP/900*0.0/	0013
0014	1000 FORMAT(1H0,5X,'МАТРИЧНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ',	0014
0015	*1СЛИТЕЛЯ РЕЗОЛВЕНТЫ МАТРИЦЫ A'/	0015
0016	*)	0016
0017	1001 FORMAT(1H0,5X,'МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ B**11/)	0017
0018	1002 FORMAT(1P6E20.7)	0018
0019	1003 FORMAT(1H0,45(1H*))	0019
0020	CALL NSCHRO(A,N,C)	0020
0021	DO 65 I=1,N	0021
0022	65 ATEMP(I,I)=1.0	0022
0023	70 DO 80 I=1,N	0023
0024	DO 80 J=1,N	0024
0025	80 ZED(N,I,J)=ATEMP(I,J)	0025
0026	IF(NRM.NE.0)GOTO71	0026
0027	WRITE(3,1003)	0027
0028	WRITE(3,1000)	0028
0029	M=N-1	0029
0030	WRITE(3,1001)M	0030
0031	DO 35 I=1,N	0031
0032	35 WRITE(3,1002)(ATEMP(I,J),J=1,N)	0032
0033	71 DO 40 I=1,N	0033
0034	DO 40 J=1,N	0034
0035	40 ATEMP(I,J)=A(I,J)	0035
0036	DO 10 I=1,N	0036
0037	NNN=N-I	0037
0038	IF(I.EQ.1) GOTO 55	0038
0039	IF(NRM.NE.0) GOTO 60	0039
0040	WRITE(3,1001)NNN	0040

Продолжение приложения II

```

0041      DO 45 J=1,N
0042      45 WRITE(3,1002)(ATEMP(J,K),K=1,N)
0043      60 NP=NNN+1
0044      DO 90 II=1,N
0045      DO 90 J=1,N
0046      90 ZED(NP,II,J)=ATEMP(II,J)
0047      DO 15 J=1,N
0048      DO 15 K=1,N
0049      PROD(J,K)=0.0
0050      DO 15 L=1,N
0051      15 PROD(J,K)=PROD(J,K)+A(J,L)*ATEMP(L,K)
0052      DO 13 J=1,N
0053      DO 13 K=1,N
0054      13 ATEMP(J,K)=PROD(J,K)
0055      55 DO 10 J=1,N
0056      10 ATEMP(J,J)=ATEMP(J,J)+C(NNN+1)
0057      RETURN
0058      END
0059      /*
0060      // EXEC MDMNR
0061      CATALR NSCHRE,&SYSMOD,SYSLNK
0062      /*

```

26/14/85 КНИГА F.NSCHRO 1.2 C SL СУЗДАНА 21/02/85 AOI

```

0000 // OPTION LINK
0001 ACTION NOMAP
0002 INCLUDE
0003 CATALR NSCHRO
0004 /*
0005 // EXEC FFORTRAN
0006 C ПОАПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ D(P)=P*I-A
0007 C CHREQA=NSCHRO
0008 SUBROUTINE NSCHRO(A,N,C)
0009 DIMENSION B(30,30),
0010 *J(31),C(31)
0011 *,A(30,30)
0012 *,BOB(30,30)

```

001*	*,NA1(30),MA2(30)	0013
001A	*,D(900)	0016
001*	NN=N+1 -	0015
001A	DO 20 I=1,N	0016
0017	20 C(I)=0.0	0017
001*	C(NN)=1.0	0018
001*	DO 14 M=1,N	0019
0020	KX=0	0020
0021	L=1	0021
0022	J(1)=1	0022
0023	GO TO 2	0023
0024	1 J(L)=J(L)+1	0024
0025	2 IF (L=M) 3,5,50	0025
002A	3 MM=M-1	0026
0027	DO 4 I=L,MM	0027
002*	II=I+1	0028
002*	4 J(II)=J(I)+1	0029
0030	5 DO 10 I=1,M	0030
0031	DO 10 KKK=1,M	0031
0032	NR=J(I)	0032
0033	NC=J(KKK)	0033
0034	10 B(I,KKK)=A(NR,NC)	0034
0035	KX=KX+1	0035
003A	DO 56 I=1,M	0036
0037	DO 56 JX=1,M	0037
003*	BOB(I,JX)=B(I,JX)	0038
0030	56 CONTINUE	0039
0040	CALL NSDET(BOB,M,DET)	0040
0041	D(KX)=DET	0041
0042	DO 6 I=1,M	0042
0043	L=M-I+1	0043
0044	IF(J(L)=(N-M+L)) 1,6,50	0044
0045	6 CONTINUE	0045
004A	M1=N-M+1	0046
0047	DO 14 I=1,KX	0047
004*	C(M1)=C(M1)+D(I)*(-1.0)**M	0048
0049	14 CONTINUE	0049
0050	RETURN	0050

Продолжение приложения II.

```

0051      50 PRINT 2000
0052      2000 FORMAT (1H0, 'ОШИБКА В CHREQA')
0053      RETURN
0054      END
0055 /*
0056 // EXEC MDMNR
0057 CATALR NSCHRQ,BSYSMOD,SYSLNK
0058 /*

```

```

0051
0052
0053
0054
0055
0056
0057
0058

```

26/04/85 КНИГА F.NSDET

1.1 C SL

СЗДАНА 21/02/85

AO:

```

0000 // OPTION LINK
0001 ACTION NOMAP
0002 INCLUDE
0003 CATALR NSDET
0004 /*
0005 // EXEC FFORTRAN
0006 SUBROUTINE NSDET(A,KC,DET)
0007 DIMENSION A(30,30),B(30,30)
0008 IREV=0
0009 DO 1 I=1,KC
0010 DO 1 J=1,KC
0011 1 B(I,J)=A(I,J)
0012 DO 20 I=1,KC
0013 K=I
0014 9 IF(B(I,K))10,11,10
0015 11 K=K+1
0016 IF(K=KC)9,9,51
0017 10 IF(I=K)12,14,51
0018 12 DO 13 M=1,KC
0019 TEMP=A(I,M)
0020 B(I,M)=B(K,M)
0021 13 B(K,M)=TEMP
0022 IREV=IREV+1

```

```

0000
0001
0002
0003
0004
0005
0006
0007
0008
0009
0010
0011
0012
0013
0014
0015
0016
0017
0018
0019
0020
0021
0022

```

124

0021	16 I1=1	0023
002A	IF(I1,GT,KC)GO TO 20	0024
002B	DO 17 M=1,KC	0025
002C	18 IF(B(M,I))19,17,19	0026
0027	19 TEMP=B(M,I)/B(I,I)	0027
002A	DO 16 N=1,KC,	0028
002D	16 B(M,N)=B(M,N)-B(I,N)*TEMP	0029
0030	17 CONTINUE	0030
0031	20 CONTINUE	0031
0032	DET*1.	0032
0033	DO 2 I=1,KC	0033
003A	2 DET=DET*B(I,I)	0034
003B	DET=(-1)**IREV*DET	0035
003A	RETURN	0036
0037	51 DET=0.	0037
003A	RETURN	0038
003D	END	0039
0040	/*	0040
0041	// EXEC MDMNR	0041
0042	CATALR NSDET,NSYSMOD,VSINK	0042
0043	/*	0043

26/06/85 КНИРА Р.НРАМ

1629 C BL СУЗНАНА 11/03/85

401

0000	// OPTION LINK	0000
0001	ACTION NOMAP	0001
0002	INCLUDE	0002
0003	CATALR NSRAM	0003
0004	/*	0004
0005	// EXEC FFORTRAN	0005
000A	SUBROUTINE NSRAM(VE,N,M,NY,KCY,LRI,A)	0006
0007	DIMENSION A(30,30),VE(40),KCY(30),LRI(450)	0007
0008	KX=1	0008
0009	KZ=KCY(1)	0009
1010	DO 1 J=1,M	0010
1011	DO 2 I=1,N	0011
1012	IF(KCY(J).EQ.0)GOTO 111	0012

Продолжение приложения II

0013	DO 3 IL=KX,K2	0013
0014	IF(I.EQ.LRI(IL))GOTO 8	0014
0015	A(I,J)=0:	0015
0016	GOTO 3	0016
0017	8 A(I,J)=VE(IL)	0017
0018	GOTO 2	0018
0019	3 CONTINUE	0019
0020	111 A(I,J)=0:	0020
0021	2 CONTINUE	0021
0022	KX=K2+1	0022
0023	K2=KCT(J+1)+K2	0023
0024	1 CONTINUE	0024
0025	RETURN	0025
0026	END	0026
0027	/*	0027
0028	// EXEC MDMNR	0028
0029	CATALR NSRAM, #SYSMOD, SYSLNK	0029
0030	/*	0030

26/04/85 КНИГА F.NSRAM1 0.5 SL СУЗАМА 11/03/85 400

0000	// OPTION LINK	0000
0001	ACTION NOMAP	0001
0002	INCLUDE	0002
0003	CATALR NSRAM1	0003
0004	/*	0004
0005	// EXEC FFORTRAN	0005
0006	SUBROUTINE NSRAM1(VE,N,M,NT,KCT,LRI,A)	0006
0007	DIMENSION A(20,20) ,VE(200) ,KCT(20) ,LRI(200)	0007
0008	KX=1	0008
0009	K2=KCT(1)	0009
0010	DO 1 J=1,M	0010
0011	DO 2 I=1,N	0011
0012	IF(KCT(J).EQ.0)GOTO 111	0012
0013	DO 3 IL=KX,K2	0013
0014	IF(I.EQ.LRI(IL))GOTO 8	0014

Продолжение приложения II

126

```

001*      A(I,J)=0.
001*      GOTO 3
001*      B A(I,J)=VE(IL)
001*      GOTO 2
001*      3 CONTINUE
002*      111 A(I,J)=0.
002*      2 CONTINUE
002*      KX=K2+1
002*      K2=KCT(J+1)+K2
002*      1 CONTINUE
002*      RETURN
002*      END
002* /*
002* // EXEC MPMNR
002* CATALR NSRAM1,BSYSMOD,SYSLNK
003* /*

```

```

0015
0016
0017
0018
0019
0020
0021
0022
0023
0024
0025
0026
0027
0028
0029
0030

```

76/04/85 КНИГА F.NSPROD

1.1 C SL СУЗАНА 21/02/85

Аое

```

000 // OPTION LINK
0001 ACTION NOMAP
0002 INCLUDE
0003 CATALR NSPROD
0004 /*
0004 // EXEC FFORTRAN
0004 SUBROUTINE NSPROD(N,A,U,V,IR)
0007 C ЭТА ПОДПРОГРАММА ИСПОЛЬЗУЕТ МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД
0008 C БЕРСТОУ (BAIRSTOW) ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ КОРНЕЙ ПОЛИНОМА
0009 DIMENSION A(30),U(30),V(30),
0010 +N(63),B(63),C(63)
0011 IREV=IR
0012 NC=N+1
0013 DO 1 I=1,NC
0014 1 N(I)=A(I)
0015 P=0.
0016 Q=0.

```

```

0000
0001
0002
0003
0004
0005
0006
0007
0008
0009
0010
0011
0012
0013
0014
0015
0016

```

Продолжение приложения II

0017	R=0.	0017
0018	3 IF (H(1))4,2,4	0018
0019	2 NE=NC-1	0019
0020	V(NC)=0.	0020
0021	U(NC)=0.	0021
0022	DO 1002 I=1,NC	0022
0023	1002 H(I)=H(I+1)	0023
0024	GOTO 3	0024
0025	4 IF (NC-1)5,100,5	0025
0026	5 IF (NC-2)7,6,7	0026
0027	6 R=H(1)/H(2)	0027
0028	GOTO 50	0028
0029	7 IF (NC-3)9,8,9	0029
0030	8 P=H(2)/H(3)	0030
0031	Q=H(1)/H(3)	0031
0032	GOTO 70	0032
0033	9 IF (ABS(H(NC-1)/H(NC))-ABS(H(2)/H(1)))10,19,19	0033
0034	10 IREV=-IREV	0034
0035	M=NC/2	0035
0036	DO 11 I=1,M	0036
0037	NL=NC+1-I	0037
0038	F=H(NL)	0038
0039	H(NL)=H(I)	0039
0040	11 H(I)=F	0040
0041	IF (Q)13,12,13	0041
0042	12 P=0.	0042
0043	GOTO 15	0043
0044	13 P=P/Q	0044
0045	Q=1./Q	0045
0046	15 IF (R)16,19,16	0046
0047	16 R=1./R	0047
0048	19 B=B+E=10	0048
0049	B(NC)=H(NC)	0049
0050	C(NC)=H(NC)	0050
0051	B(NC+1)=0.	0051
0052	C(NC+1)=0.	0052
0053	NP=NC-1	0053
0054	20 DO 49 J=1,1000	0054



054	DO 21 I1=1, NP	0055
05A	I=NC-11	0056
057	B(I)=H(I)+R*B(I+1)	0057
058	21 C(I)=B(I)+R*C(I+1)	0058
059	IF(ABS(B(1)/H(1))-E)>0, 50, 24	0059
060	24 IF(C(2))25, 22, 23	0060
061	22 R=R+1, 0	0061
069	GOTO 30	0062
063	23 R=R-B(1)/C(2)	0063
064	30 DO 31 I1=1, NP	0064
065	I=NC-11	0065
06A	B(I)=H(I)-P*B(I+1)-Q*B(I+2)	0066
067	37 C(I)=B(I)-P*C(I+1)-Q*C(I+2)	0067
068	IF (H(2))32, 31, 34	0068
069	31 IF(ABS(B(2)/H(1))-E) 33, 33, 34	0069
070	32 IF (ABS(B(2)/H(2))-E) 33, 33, 34	0070
071	33 IF(ABS(B(1)/H(1))-E) 70, 70, 34	0071
072	34 CBAR=C(2)-B(2)	0072
073	D=C(3)+Z-CBAR+C(4)	0073
074	IF (D)36, 35, 36	0074
075	35 P=P-2	0075
076	Q=Q*(Q+1)	0076
077	GOTO 49	0077
078	36 P=P+(B(2)+C(3)-B(1)*L(4))/D	0078
079	Q=Q+(-B(2)+CBAR+B(1)*C(3))/D	0079
080	49 CONTINUE	0080
081	E=E*10.	0081
082	GOTO 20	0082
083	50 NC=NC-1	0083
084	V(NC)=0.	0084
085	IF (IREV)51, 52,	0085
086	51 U(NC)=1./R	0086
087	GOTO 53	0087
088	52 U(NC)=R	0088
089	53 DO 54 I=1, NC	0089

Продолжение приложения II

26/04/85	КНИГА F.NSPROO	1.1.	C SL	СУЗКАНА 21/02/85	AO
090	54 H(I)=R(I+1)				0090
091	GOTO 4				0091
092	70 NC=NC-2				0092
093	IF(IREV)71,72,72				0093
094	71 QP=1./Q				0094
095	PP=P/(Q*4)				0095
096	GOTO 73				0096
097	72 QP=Q				0097
098	PP=P/2.				0098
099	73 F=PP*2+QP				0099
100	IF(F)74,75,75				0100
101	74 U(NC+1)=-PP				0101
102	U(NC)=-PP				0102
103	V(NC+1)=SQRT(-F)				0103
104	V(NC)=-V(NC+1)				0104
105	GOTO 76				0105
106	75 IF (QP)81,80,81				0106
107	80 U(NC+1)=-SQRT(F)				0107
108	GOTO 82				0108
109	81 U(NC+1)=-((PP/ABS(PP))+(ABS(PP)+SQRT(F)))				0109
110	82 CONTINUE				0110
111	V(NC+1)=0.				0111
112	U(NC)=QP/U(NC+1)				0112
113	V(NC)=0.				0113
114	76 DO 77 I=1,NC				0114
115	77 H(I)=R(I+2)				0115
116	GOTO 4				0116
117	100 RETURN				0117
118	END				0118
119	/*				0119
120	// EXEC MDNR				0120
121	CATALR NSPROO,&SYSMOD,SYSLNK				0121
122	/*				0122

0000	// OPTION LINK	0000
0001	ACTION NOMAP	0001
0002	INCLUDE	0002
0003	CATALR NSSIME	0003
0004	/*	0004
0005	// EXEC PFORTRAN	0005
0006	C   ЭТА ПОДПРОГРАММА С ПОМОЩЬЮ ПРОЦЕДУРЫ	0006
0007	C   ДИАГНОАЛИЗАЦИИ НАХОДИТ ДЛЯ ЗАДАННОЙ	0007
0008	C   МАТРИЦЫ ОБРАТНУЮ	0008
0009	SUBROUTINE NSSIME(A,XDOT,KC,AINV,X,IERR)	0009
0010	DIMENSION A(30,30),B(30,30),	0010
0011	*XDOT(31),X(31),AINV(30,30)	0011
0012	N=1	0012
0013	IERR=1	0013
0014	DO1I=1,KC	0014
0015	DO1J=1,KC	0015
0016	AINV(I,J)=0.0	0016
0017	1 B(I,J)=A(I,J)	0017
0018	DO2I=1,KC	0018
0019	AINV(I,I)=1.0	0019
0020	2 X(I)=XDOT(I)	0020
0021	DO3I=1,KC	0021
0022	COMP=0.0	0022
0023	K=I	0023
0024	6 IF(ABS(B(K,I))-ABS(COMP))5,5,4	0024
0025	4 COMP=B(K,I)	0025
0026	N=K	0026
0027	5 K=K+1	0027
0028	IF(K=KC)6,6,7	0028
0029	7 IF(B(N,I))8,51,8	0029
0030	8 IF(N=1)91,12,9	0030
0031	9 DO10M=1,KC	0031
0032	TEMP=B(I,M)	0032
0033	B(I,M)=B(N,M)	0033
0034	B(N,M)=TEMP	0034
0035	TEMP=AINV(I,M)	0035
0036	AINV(I,M)=AINV(N,M)	0036
0037	10 AINV(N,M)=TEMP	0037

Продолжение приложения II

```

0038      TEMP=X(I)                                0038
0039      X(I)=X(N)                                  0039
0040      X(N)=TEMP                                   0040
0041      12 X(I)=X(I)/B(I,I)                         0041
0042      TEMP=B(I,I)                                0042
0043      DO13 M=1,KC                                  0043
0044      AINV(I,M)=AINV(I,M)/TEMP                    0044
0045      13 B(I,M)=B(I,M)/TEMP                       0045
0046      DO16 J=1,KC                                  0046
0047      IF (J-I)14,16,14                             0047
0048      14 IF(B(J,I))15,16,15                         0048
0049      15 X(J)=X(J)-B(J,I)*X(I)                     0049
0050      TEMP=B(J,I)                                  0050
0051      DO17 N=1,KC                                  0051
0052      AINV(J,N)=AINV(J,N)-TEMP*AINV(I,N)          0052
0053      17 B(J,N)=B(J,N)-TEMP*B(I,N)                0053
0054      16 CONTINUE                                  0054
0055      3 CONTINUE                                   0055
0056      RETURN                                       0056
0057      51 PRINT 52                                  0057
0058      52 FORMAT(6X,'27H3AAAHHAH MATPИЦA CИHГУЛЯPHA) 0058
0059      IERR=0                                        0059
0060      RETURN                                       0060
0061      END                                         0061
0062 /*                                             0062
0063 // EXEC MDNR                                     0063
0064 CATALR NSS;ME;BSYSMOD/SYSLNK                    0064
0065 /*                                             0065

```

26/04/89 КННРА P.NSSYMS

1.2 C SL

СУЗМАНА 27/02/88

401

```

0000 // OPTION LINK                                0000
0001 ACTION NOMAP                                  0001
0002 INCLUDE                                        0002
0003 CATALR NSSYMS                                  0003

```

0004	/*	0004
0004	// EXEC FFORTRAN	0005
0004	SUBROUTINE NSSTMB(N,A,EIGR,EIGI,IKNOW)	0006
0007	C ЭТА ПОДПРОГРАММА С ПОМОЩЬЮ ТЕОРЕМЫ РАЗЛОЖЕНИЯ	0007
0008	C СИЛЬВЕСТРА(SYLVESTER) ОПРЕДЕЛЯЕТ ПЕРЕХОДНУЮ	0008
0009	C МАТРИЦУ СОСТОЯНИЯ	0009
0010	COMMON CNI(30,30,30)	0010
0011	DIMENSION A(30,30),EIGR(30),EIGI(30),	0011
0012	*BPS(30,30)	0012
0013	COMPLEX CA(30,30),CA1(30,30),	0013
0014	*CA2(30,30),YCA(30,30),DENOM(30),	0014
0015	*CEIG(30)	0015
0016	1000 FORMAT(1M0,5X,'ЭЛЕМЕНТЫ ПЕРЕХОДНОЙ МАТРИЦЫ',	0016
0017	*'СОСТОЯНИЯ')	0017
0018	1001 FORMAT(1M0,5X,'МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ',	0018
0019	*5H EXP(,1PE13.6,7H)T* COS(,1PE13.6,2H)T/)	0019
0020	1002 FORMAT(1P6E20.7)	0020
0021	1003 FORMAT(1M0,5X,'МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ',	0021
0022	*5H EXP(,1PE13.6,7H)T* SIN(,1PE13.6,2H)T/)	0022
0023	1004 FORMAT(1M0,5X,'МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ',	0023
0024	*5H EXP(,1PE13.6,2H)T/)	0024
0025	1005 FORMAT(1M0,45(1H*))	0025
0026	IF(IKNOW.NE.0)GOTO 800	0026
0027	PRINT 1005	0027
0028	800 DO 10 K=1,N	0028
0029	CEIG(K)=CMPLX(EIGR(K),EIGI(K))	0029
0030	DO 10 L=1,N	0030
0031	10 CA(K,L)=CMPLX(A(K,L),0.0)	0031
0032	I=1	0032
0033	IF(IKNOW.NE.0)GOTO 700	0033
0034	PRINT 1000	0034
0035	700 DO 15 K=1,N	0035
0036	15 DENOM(K)=CEIG(I)-CEIG(K)	0036
0037	DO 500 J=1,N	0037
0038	IF(J=I)100,300,200	0038
0039	100 IF(J=I)110,110,130	0039
0040	200 IF(I=1)300,300,400	0040
0041	300 IF(J=1)110,110,130	0041
0042	400 IF(J=1)110,150,150	0042

Продолжение приложения II

0041	110 DO 5 K=1,N	0043
0042	DO 5 L=1,N	0044
0043	9 CA1(K,L)=CA(K,L)	0045
0044	DO 20 K=1,N	0046
0047	CA1(K,K)=CA(K,K)=CEIG(J)	0047
0048	DO 20 L=1,N	0048
0049	20 CA1(K,L)=CA1(K,L)/DENOM(J)	0049
0050	GOTO 500	0050
0051	150 DO 40 K=1,N	0051
0052	DO 40 L=1,N	0052
0053	40 CA2(K,L)=CA(K,L)	0053
0054	DO 25 K=1,N	0054
0055	CA2(K,K)=CA(K,K)=CEIG(J)	0055
0056	DO 25 L=1,N	0056
0057	25 CA2(K,L)=CA2(K,L)/DENOM(J)	0057
0058	DO 30 K=1,N	0058
0059	DO 30 L=1,N	0059
0060	TCA(K,L)=(0.0,0.0)	0060
0061	DO 30 M=1,N	0061
0062	30 TCA(K,L)=TCA(K,L)+CA1(K,M)*CA2(M,L)	0062
0063	DO 35 K=1,N	0063
0064	DO 35 L=1,N	0064
0065	35 CA1(K,L)=TCA(K,L)	0065
0066	500 CONTINUE	0066
0067	IF(AIMAG(CEIG(I)))45,50,45	0067
0068	45 IM=I	0068
0069	I=I+1	0069
0070	IF(IKNOW.NE.0)GOTO 801	0070
0071	PRINT 1001,(EIGR(I),EIGI(I))	0071
0072	801 DO 65 K=1,N	0072
0073	DO 65 L=1,N	0073
0074	65 SPS(K,L)=REAL(CA1(K,L))*2	0074
0075	DO 66 K=1,N	0075
0076	DO 66 L=1,N	0076
0077	CHI(IM,K,L)=SPS(K,L)	0077
0078	66 CONTINUE	0078
0079	IF(IKNOW.NE.0)GOTO 802	0079
0080	DO 80 K=1,N	0080
0081	80 PRINT 1002,(SPS(K,L),L=1,N)	0081

0082	PRINT 1003,EIGR(I),EIGI(I)	0082
0083	802 DO 55 K=1,N	0083
0084	DO 55 L=1,N	0084
0085	55 SPS(K,L)=AIMAG(CA1(K,L))*Z.0	0085
0086	DO 56 K=1,N	0086
0087	DO 56 L=1,N	0087
0088	CHI(I,K,L)=SPS(K,L)	0088
0089	56 CONTINUE	0089

26/06/85

КНИГА F.NBSYMS

1.2 C SL

СУДАНА 27/02/85

AOC

0090	IF(IKNOW.NE.0) GOTO 600	0090
0091	DO 85 K=1,N	0091
0092	85 PRINT 1002,(SPS(K,L),L=1,N)	0092
0093	GOTO 600	0093
0094	50 IF(IKNOW.NE.0)GOTO 894	0094
0095	PRINT 1004,EIGR(I)	0095
0096	804 DO 60 K=1,N	0096
0097	DO 60 L=1,N	0097
0098	60 SPS(K,L)=REAL(CA1(K,L))	0098
0099	DO 61 K=1,N	0099
0100	DO 61 L=1,N	0100
0101	CHI(I,K,L)=SPS(K,L)	0101
0102	61 CONTINUE	0102
0103	IF(IKNOW.NE.0)GOTO 600	0103
0104	75 PRINT 1002,(SPS(K,L),L=1,N)	0104
0105	600 IF(I.GE.N)RETURN	0105
0106	I=I+1	0106
0107	GOTO 700	0107
0108	END	0108
0109	/*	0109
0110	// EXEC MMNR	0110
0111	CATALR NBSYMS,BSYSMOD,SYSLNK	0111
0112	/*	0112

Результаты анализа устойчивости моделей УМ  
с помощью программы MSBASM

ПРОГРАММА \*\*МАТРИЦА ОБЪЕКТА\*\*  
НАЗВАНИЕ ЗАДАЧИ= КОРТРОЛЬНЫИ ПРИМЕРСН2

\*\*\*\*\*  
МАТРИЦА А

-5.0000000E 00      4.9999997E-02  
1.9999999E-01      -2.0000000E 00

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ МАТРИЦЫ

9.9899960E 00

ОБРАТНАЯ МАТРИЦА

-2.0020014E-01      -5.0050020E-03  
-2.0020023E-02      -3.0050068E-01

\*\*\*\*\*  
МАТРИЧНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ЧИСЛИТЕЛЯ РЕЗОЛВЕНТЫ МАТРИЦЫ А

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ S\*\*1

1.0000000E 00      0.0  
0.0      1.0000000E 00

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ S\*\*0

2.0000000E 00      4.9999997E-02  
1.9999999E-01      5.0000000E 00

\*\*\*\*\*  
ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЙ ПОЛИНОМ=НО ВОЗРАСТАЮЩИМ СТЕПЕНЯМ S

9.9899960E 00      7.0000000E 00      1.0000000E 00

\*\*\*\*\*

СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ МАТРИЦЫ А  
АБСЛВТ ЧАСТЬ      МНИМАЯ ЧАСТЬ

-1.9966688E 00      0.0  
-5.0033302E 00      0.0

\*\*\*\*\*

ЭЛЕМЕНТЫ ПЕРЕХОДНОЙ МАТРИЦЫ СОСТОЯНИЯ

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ EXP(-1.996669E 00) T

0.6518903E-02      9.2889201E-01

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ EXP(-5.003330E 00) T

-0.6518903E-02      1.1079346E-03

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЗАКОНЧЕНО



\*\*\*\*\*

NT = 16

-9.420042992E 00	6.209495487E-01	-1.116678955E 03	-1.364799915E-03	1.501500130E 00
-2.737318420E 01	1.124584885E-01	-7.585971680E 02	1.000000000E 00	-3.850266113E 02
-2.505497268E 01	1.501500130E 00	-1.000000000E 00	-1.501500130E 00	1.364799915E-03
-1.501500130E 00				
2 3 2 2 3 2 2				
1 2 1 3 7 3 4 3 3 2 4 6 5 6 5 1				

ПРОГРАММА \*\*МАТРИЦА ОБЪЕКТА\*\*  
 НАЗВАНИЕ ЗАДАЧИ= МОДЕЛЬ УМ С N#7-\*\*\*

\*\*\*\*\*

МАТРИЦА А

-9.4200430E 00	-1.1166790E 03	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0					
6.2694955E-01	0.0	0.0	0.0	-3.8502661E 02	0.0
0.0					
0.0	0.0	-2.7373184E 01	-7.5859717E 02	0.0	0.0
0.0					
0.0	0.0	1.1545849E-01	0.0	-2.5054993E 01	0.0
0.0					
0.0	-1.3647999E-03	0.0	1.0000000E 00	0.0	-1.0000000E 00
1.3647999E-03					
0.0	0.0	0.0	0.0	1.5015001E 00	-1.5015001E 00
0.0					
0.0	1.5015001E 00	0.0	0.0	0.0	0.0
-1.5015001E 00					

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ МАТРИЦЫ

-1.2207500E 06

ОБРАТНАЯ МАТРИЦА

-1,1931115E-07	1,3950422E 00	-9,1678381E-02	-2,1735332E 01	-6,9547028E 01	4,6318399E 01
-6,3215375E-02					
-8,9551136E-04	-1,3455253E-02	7,7337793E-04	1,8335650E-01	5,8668286E-01	-3,9073116E-01
3,3327018E-04					
-2,9103830E-11	-6,9849193E-10	-3,2395008E-02	9,8083317E-01	-2,4574738E 01	1,6366776E 01
-2,2337437E-02					
1,8189894E-12	2,9103830E-11	-1,4928276E-04	-3,5392339E-02	8,8675604E-01	-5,9057879E-01
8,0602290E-04					
-1,7053026E-13	-2,7284841E-12	-1,4928263E-04	-3,5392325E-02	-1,1324537E-01	7,5621312E-02
-1,0293543E-04					
-1,1368684E-13	-1,8189894E-12	-1,4928263E-04	-3,5392333E-02	-1,1324537E-01	-5,9057913E-01
-1,0293540E-04					
-8,9551229E-04	-1,3455268E-02	7,7337888E-04	1,8335674E-01	5,8668351E-01	-3,9073163E-01
-6,6546804E-01					

\*\*\*\*\*

МАТРИЧНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ЧИСЛИТЕЛЯ РЕЗОЛВЕНТЫ МАТРИЦЫ А

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ S=6

1,0000000E 00,	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0					
0,0	1,0000000E 00	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0					
0,0	0,0	1,0000000E 00	0,0	0,0	0,0
0,0					
0,0	0,0	0,0	1,0000000E 00	0,0	0,0
0,0					
0,0	0,0	0,0	0,0	1,0000000E 00	0,0
0,0					
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0000000E 00
0,0					
1,0000000E 00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

## МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ S\*\*5

3.0370160E 01	-1.1166790E 03	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0					
6.2694955E-01	3.9796204E 01	0.0	0.0	-3.8502661E 02	0.0
0.0					
0.0	0.0	1.2423019E 01	-7.5859717E 02	0.0	0.0
0.0					
0.0	0.0	1.1545849E=01	3.9796204E 01	-2.5034993E 01	0.0
0.0					
0.0	-1.3647999E-03	0.0	1.0000000E 00	3.9796204E 01	-1.0000000E 00
1.3647999E-03					
0.0	0.0	0.0	0.0	1.5015001E 00	3.8294693E 01
0.0					
0.0	1.3015001E 00	0.0	0.0	0.0	0.0
3.8294693E 01					

## МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ S\*\*4

1.7807300E 02	-3.5920422E 04	0.0	0.0	4.2495106E 05	0.0
0.0					
1.9044312E 01	4.8474316E 02	0.0	-3.8502661E 02	-1.5322596E 04	3.8502661E 02
-5.2548426E-01					
0.0	0.0	7.5667505E 02	-9.4240604E 03	1.9006645E 04	0.0
0.0					
0.0	3.6195051E=02	1.4343424E 00	1.071672E 03	-9.9709351E 02	2.5054993E 01
-3.4195051E-02					
-2.5566053E-04	-5.2264005E-02	1.1545849E=01	3.9796204E 01	1.1582878E 03	-3.8294693E 01
5.2264594E-02					
0.0	-2.0492470E-03	0.0	1.3015001E 00	5.7499481E 01	1.1253179E 03
2.0492470E-03					
9.4136482E-01	5.7499481E 01	0.0	0.0	-5.7811743E. 02	0.0
1.1268193E 03					

## МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ S\*\*3

Продолжение приложения I2

1.1159648E 03	-2.2177063E 03	0.0	4.2995106E 05	1.3060259E 07	-4.2995106E 05
5.8679712E 02					
1.2451120E 02	2.4999336E 03	-4.4434590E 01	-1.5322544E 04	-1.7641406E 05	1.4744473E 04
-2.0123245E 01		2.4453078E 03	-5.5500463E 05	2.3611988E 05	-1.9006645E 04
0,0	-2.3940262E 01				
2.5940262E 01		8.4471723E 01	2.2161016E 04	-2.6826410E 04	9.5947314E 02
2.1438565E-02	1.3094893E 00				
-1.3094883E 00		1.4343424E 00	1.0707009E 03	2.3211727E 04	-1.1007883E 03
-2.4706896E-02	-5.4665783E-01				
1.5023556E 00		1.7336088E-01	5.7499481E 01	1.6528335E 03	2.2499035E 04
-1.2847744E-03	-7.5398326E-02				
7.5398266E-02		0.0	-5.7811743E 02	-2.2138823E 04	5.7811743E 02
2.7181564E 01	6.4150010E 02				
2.2553488E 04					

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ S\*\*2

2.4392500E 03	-1.2608740E 06	4.9641504E 04	1.3060259E 07	7.3469664E 07	-1.2414685E 07
1.6943551E 04					
7.0791235E 02	1.3143438E 04	-5.5225977E 02	-1.4269075E 05	-7.4900900E 05	1.5427519E 05
-2.1055469E 02		2.0950500E 04	-1.6190370E 06	1.3887080E 07	-2.0758119E 05
-1.6263229E 01	-2.8330737E 02				
2.8330664E 02		2.4641707E 02	6.1065438E 04	-5.5430756E 05	2.5385762E 04
-6.1903107E-01	1.0706496E 01				
-3.4646469E 01		8.4359024E 01	2.2123637E 04	1.2370313E 05	-2.1558895E 04
-1.1011207E-01	-1.8338428E 00				
2.9423569E 01		1.8933630E 00	1.5213218E 03	3.2370680E 04	1.1653663E 05
-3.3168316E-02	-7.0789053E-01				
2.1425762E 00		-6.6748566E 01	-2.2138828E 04	-2.3164419E 05	2.1270777E 04
1.4614047E 02	3.3411770E 03				
1.1807750E 05					

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ S\*\*1

1.6917500E 03	-2.799517 E 00	1.4907175E 05	3.6311522E 07	1.5960525E 08	-5.5328976E 07
7.5513000E 04					
1.5716826E 03	2.3382125E 04	-1.3577539E 03	-3.3006530E 05	-1.2537600E 06	5.1736700E 05

-7,0610547E 02						
-2,4418945E 01	-3,0689063E 02	5,4767250E 04	4,0362752E 07	-2,0058720E 06	-1,3575394E 07	
1,8527707E 04						
8,8112926E-01	1,5237930E 01	3,0529834E 02	-1,4959990E 06	7,3941313E 04	5,1619088E 05	
-7,0449707E 02						
-1,1250681E-01	-1,0907054E 00	2,4518631E 02	2,2920831E 05	5,9708641E 04	-9,1332313E 04	
1,2465050E 02						
-1,1252803E-01	-1,0906034E 00	1,2382219E 02	1,3713563E 05	3,0934315E 04	6,0783000E 05	
6,0962402E 01						
8,4350049E 02	1,6417197E 04	-7,2899487E 02	-7,7682325E 05	-1,8100803E 05	1,9970606E 05	
6,3757088E 05						

## МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ S=0

-2,6000000E 02	-1,0272100E 06	1,1191300E 05	8,24960000E 07	2,6520320E 07	-5,6531456E 07	
7,7157375E 04						
1,1039597E 03	1,0238000E 04	-9,4281250E 02	-7,2585600E 05	-2,2390400E 05	4,7689600E 05	
-6,5091797E 02						
1,9531250E-03	7,0703125E-01	3,9988000E 04	3,0003712E 07	-1,1845760E 06	-1,9979264E 07	
8,7267125E 04						
5,1689168E 04	1,06801025E-03	1,8020313E 02	-1,0825900E 06	4,3147000E 04	7,2093600E 05	
-9,8393628E 02						
-1,6498566E-04	-3,8491943E-02	1,8233426E 02	1,3825800E 05	4,3210332E 04	-9,2072688E 06	
1,2366089E 02						
3,1828880E-05	-1,2302399E-04	1,8222820E 02	1,3826713E 05	4,3206335E 04	7,2094800E 05	
1,2365748E 02						
1,0933657E 03	1,0462941E 04	-9,24408179E 02	-7,21612000E 05	-2,2380819E 05	4,7696794E 05	
8,1236706E 05						

\*\*\*\*\*

## ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЙ ПОЛИНОМ-ПО ВОЗРАСТАЮЩИМ СТЕПЕНЯМ S

1,2207500E 06	1,7707400E 06	8,1518038E 05	2,4246199E 06	1,8197181E 05	1,1843188E 03
3,9796204E 01	1,0000000E 00				

\*\*\*\*\*

СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ МАТРИЦЫ А  
 ДВУХ ЧАСТЬ                      МНИМАЯ ЧАСТЬ

4.7133093E 00	-2.4026733E 01
6.7133093E 00	2.4026733E 01
-1.6945933E 00	-5.2102957E 00
-1.6945933E 00	5.2102957E 00
-2.3856155E 01	0.0
-1.6226492E 00	0.0
-1.5015793E 00	0.0

\*\*\*\*\*

ЭЛЕМЕНТЫ ПЕРЕХОДНОЙ МАТРИЦЫ СОСТОЯНИЯ

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ  $\text{EXP}(-4.713309E 00)T + \text{COS}(4.602673E 01)T$

1.0006430E 00	1.1577217E-02	8.4247393E-02	8.34611107E 00	-6.23803564E 02	-7.6805649E 00
1.0482430E-02					
-6.4880587E-06	9.4995339E-01	4.6146428E-04	5.5686641E-01	5.5862514E 00	-5.1690733E-01
7.0547699E-04					
-2.6562921E-05	3.43975439E-04	-2.5143661E-06	-3.6210149E-05	1.8804653E-02	2.6593668E-05
3.6297727E-08					
3.4785126E-07	-5.1327079E-05	8.5455483E-09	-2.5372806E-05	-3.10807744E-04	2.3873406E-05
-3.2582413E-08					
1.2927303E-06	1.47043276E-03	1.1424348E-07	2.0278618E-05	-7.2909473E-04	-1.8723789E-05
2.5534236E-08					
-1.9110189E-08	2.80546247E-06	-2.4325919E-10	1.4307143E-06	2.8113866E-05	-1.3292311E-06
1.8141802E-09					
-1.3688016E-03	-1.47303891E-02	-1.2078267E-04			
2.6534311E-05			-2.1063874E-02	7.7613676E-01	1.9441910E-02

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ  $\text{EXP}(-4.713309E 00)T + \text{SIN}(4.602673E 01)T$

-1.8071711E-01	-6.4905429E 01	-3.4714125E-02	-2.5404343E 01	-1.2420752E 02	2.3846833E 01
3.2164007E-02					
2.4088673E-02	1.61111169E-01	2.0685615E-03	3.0193200E-01	-1.4367603E 01	-2.7834594E-01

3.198864E-04						
1.2987966E-05						
9.8384135E-07	1.2002164E-03	8.1439998E-07	7.5184401E-06	-1.6089226E-03	-7.2086882E-04	
-1.2993050E-06						
-3.0663394E-08	-2.4194069E-05	-1.1439801E-07	-2.4196225E-05	6.9368281E-04	2.2467313E-05	
1.7676837E-07						
-3.5078827E-08	-5.2332408E-05	-9.7734656E-09	-2.7678348E-05	-4.0476327E-04	2.5702555E-05	
7.2220075E-08						
1.6971939E-09	1.3355066E-06	6.5820025E-09	1.3465287E-06	-3.8592581E-05	-1.2431474E-06	
-1.6928805E-04						
3.7425198E-05	5.5552498E-04	1.1717348E-05	2.9526616E-02	4.1793385E-01	-2.7421689E-02	

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ  $\text{EXP}(-1.694595E 00) \times \text{COS}(5.210246E 00) \times$

-1.1698063E-03	-5.0868243E-05	-1.6021729E-01	-7.4316711E 00	6.4104492E 02	5.5631006E 01	
-7.5106323E-02						
1.5775659E-06	-3.4960062E-04	-1.7560422E-03	-6.1606848E-01	-5.6612015E 00	1.8389559E=01	
-2.5098049E-04						
-4.8072543E-06	-1.8742704E-03	-1.4636922E-01	-3.3065430E 01	-3.3089617E 01	2.9856903E 01	
-4.0748693E-02						
1.6626982E-06	8.1654493E-05	5.0325841E-03	1.0903816E 00	4.1871205E-02	-1.0618763E 00	
1.4492488E-03						
-1.4404668E-06	-1.4088475E-05	-2.0100130E-04	-1.6710684E-03	1.0027876E 00	7.5621188E-02	
-1.0320780E-04						
6.2184540E-08	-2.0642238E-06	-2.7232640E-04	-6.3636243E-02	-1.1354330E-01	3.3773753E-02	
-7.3390838E-05						
1.4230318E-06	2.3870729E-05	1.4559370E-03	3.0340910E-01	-2.7611113E-01	-3.1667638E-01	
4.3186243E-04						

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ  $\text{EXP}(-1.694595E 00) \times \text{SIN}(5.210246E 00) \times$

4.6377708E-04	2.1402951E-02	6.1385357E-01	1.4375703E 02	2.6307739E 02	-1.2697018E 02	
1.6509998E-01						
-1.4472360E-05	5.5776456E-04	-4.9948469E-03	-1.0312042E 00	1.1787920E 00	1.0933342E 00	
-1.4921823E-07						
-2.1835632E-04	-2.0513189E-03	-1.0968089E-02	4.2174015E 00	1.5699628E 02	7.4578209E 00	
-1.0178432E-02						
7.3586980E-06	7.6817145E-03	6.4189732E-04	-3.7010419E-01	-5.5418377E 00	-4.7389694E=02	

Окончание приложения I2

6.4677442E-05					
-1.6170452E-07					
2.5884761E-04	9.9997560E=06	9.5368177E=04	2.2118652E=01	3.5738587E=01	-1.8965971E=01
-4.1268640E-07					
-3.2462005E-05	-5.5993041E=06	-6.8022870E=05	-2.8399527E=03	2.8477418E=01	2.3785062E=02
1.1555021E=06					
-5.6375866E-03	-1.7178711E=05	-4.5204116E=04	-1.6624439E=01	-1.6416302E 00	4.1212238E=02

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ EXP(=2.385616E 01)T

6.1152718E=09					
1.5682878E=07	-1.4551715E=11	-8.0109763E=05	-2.4401707E=03	-2.5586875E=03	-1.1442126E=04

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ EXP(=1.622649E 00)T

-2.9742718E=05					
4.9521700E=03	-9.3555450E=04	-1.2593269E=03	-2.8113174E=01	-4.8113537E=01	-4.112509E 00

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ EXP(=1.501979E 00)T

1.3929605E=03					
9.9463838E=01	1.5203735E=02	3.6934880E=06	1.1453629E=03	-1.4077187E=02	4.4086637E 00

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЗАКОНЧЕНО

\*\*\*\*\*



## Фортран-программа NSSAY6

```

// JOB NS
// EXEC MDMNS
26/04/85   КНИРА F.NSSAY6   1.41   C. SL   СУЗЛ

0000 // OPTION LINK
0001 ACTION NOMAP
0002 INCLUDE
0003 CATALR NSSAY6
0004 /*
0005 // EXEC FFORTRAN
0006 C SAY006
0007 C SAY006 ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПО МАТРИЦЕ A
0008 DIMENSION A(20,20),B(20,20),P(20),
0009 *Q(20),XM1(20,20),XM2(20,20),BK(20,20),
0010 *B2(20),B1(20),AMP1(20),AMP2(20),
0011 *AKQ1(20),AKQ2(20),X(80)
0012 *
0013 *AAX(80),AX(80),VE(200),KCT(20),LRI(200)
0014 READ(1,202)N
0015 202 FORMAT(I3)
0016 PRINT 725,N
0017 725 FORMAT(5X,'N=',I3/)
0018 37 FORMAT(6X,'ИСХОДНАЯ МАТРИЦА A//')
0019 READ(1,333)IR
0020 333 FORMAT(I2)
0021 IF(IR.EQ.1)GO TO 336
0022 READ(1,386)NT
0023 WRITE(3,88888)NT
0024 88888 FORMAT(10X,'NT=',I3/)
0025 386 FORMAT(I5)
0026 READ(1,42)(VE(I),I=1,NT)
0027 WRITE(3,44)(VE(I),I=1,NT)
0028 42 FORMAT(5F14.7)
0029 44 FORMAT(5X,1P5E20.9)
0030 READ(1,46)(KCT(I),I=1,N)
0031 WRITE(3,48)(KCT(I),I=1,N)
0032 46 FORMAT(23I3)
0033 48 FORMAT(10X,23I3/)
0034 READ(1,50)(LRI(I),I=1,NT)
0035 WRITE(3,52)(LRI(I),I=1,NT)
0036 52 FORMAT(10X,23I3/)
0037 50 FORMAT(23I3)
0038 CALL NSRAM1(VE,N,N,N1,KCT,LRI,A)
0039 GO TO 13
0040 336 READ 1004,((A(I,J),J=1,N),I=1,N)
0041 13 READ(1,201)IK
0042 READ(1,5222)IK2
0043 5222 FORMAT(I1)
0044 201 FORMAT(I3)
0045 WRITE(3,203)IK
0046 PRINT 37
0047 203 FORMAT(/5X,'IK=',I3/)
0048 DO 728 I=1,N
0049 728 WRITE(3,729)(A(I,J),J=1,N)
0050 729 FORMAT(5X,1P5E20.9)

```

Продолжение приложения I3

```

051 1004 FORMAT(5F14.7)
052 2003 FORMAT(/5X,'D=',E20.7/)
053 C ВЫЧИСЛЕНИЕ P 0
054 DO 4 I=1,N
055 P(I)=0.0
056 Q(I)=0.0
057 DO 3 J=1,N
058 IF(I.EQ.J) GO TO 5
059 P(I)=P(I)+ABS(A(I,J))
060 Q(I)=Q(I)+ABS(A(J,I))
061 5 CONTINUE
062 4 CONTINUE
063 WRITE(3,3R)(P(I),Q(I),I=1,N)
064 3R FORMAT(5X,'P',18X,'Q'/3X,E15.8,
065 +1X,E15.8/)
066 C ВЫЧИСЛЕНИЕ K
067 DO 1000 I=1,N
068 AMP1(I)=A(I,I)-P(I)
069 AMP2(I)=A(I,I)+P(I)
070 AKQ1(I)=A(I,I)-Q(I)
071 AKQ2(I)=A(I,I)+Q(I)
072 WRITE(3,1001)I,AMP1(I),AMP2(I),I,
073 +AKQ1(I),AKQ2(I)
074 1000 CONTINUE
075 1001 FORMAT(15X,'I=',I2,2X,'AMP1(I)>или=',
076 +E20.8,2X,'AMP2(I)<или=',E20.8/
077 +15X,'I=',I2,2X,'AKQ1(I)>или=',E20.8,
078 +2X,'AKQ2(I)<или=',E20.8//)
079 DO 1003 I=1,N
080 X(I)=AMP1(I)
081 X(I+1)=AMP2(I)
082 X(I+1+2)=AKQ1(I)
083 X(I+1+3)=AKQ2(I)
084 1003 CONTINUE
085 N1=N*4
086 XPR=0.0
087 DO 1005 I=1,N1
088 IF(X(I).LT.XPR)GOTO 1205
089 GOTO 1005

```

6/ 4/85 КНИГА Е.Н.САУ6

1.41 C SL C13A4

```

09 1405 XPR=X(I)
09 1005 CONTINUE
09 1201 DO 1201 I=1,N1
09 IF(X(I))1203,1204,1204
09 1203 AX(I)=X(I)
09 GO TO 1201
09 1204 AX(I)=0.0
09 1201 CONTINUE
09 XRL=0.0
09 N2=N1
10 DO 1205 I=1,N1
10 IF(AX(I).EQ.XRL)GO TO 1406
10 MAX(I-(N1-N2))=AX(I)
10 GO TO 1205

```

```

104 1406 N2=N2-1
105 1205 CONTINUE
106 XRL=XPR
107 DO 2 J=1,N2
108 IF(AAX(I).GT.XRL)GOTO 1407
109 GOTO 2
110 1407 XRL=AAX(I)
111 2 CONTINUE
112 IF(XNL)1901,1902,1906
113 1902 XRL=0.0
114 IF(XNL.EQ.XPR)GOTO 1902
115 1901 CONTINUE
116 WRITE(3,1927)
117 1927 FORMAT(15X,'XPR=ЛЕВАЯ ГРАНИЦА',
118 *25X,'XRL=ПРАВАЯ ГРАНИЦА'//)
119 R=((XPR-XRL)/2.0)
120 WRITE(3,1014)XPR,XRL,R
121 1014 FORMAT(/5X,'XPR=',E20.8,2X,
122 *'XRL=',E20.8,2X,'R=',E20.8//)
123 AM=R
124 C ВЫЧИСЛЕНИЕ МАТРИЦЫ B
125 DO 10 I=1,N
126 DO 11 J=1,N
127 IF(I.NE.J) GO TO 12
128 B(I,J)=1.0+A(I,J)/AM
129 GO TO 11
130 12 B(I,J)=A(I,J)/AM
131 11 CONTINUE
132 10 CONTINUE
133 IF(IK2.NE.0) GOTO4224
134 PRINT 513
135 513 FORMAT(10X,'МАТРИЦА B'//)
136 WRITE(3,3514)
137 3514 FORMAT(5X,70(1H*))//
138 DO 708 I=1,N
139 708 WRITE(3,710)(B(I,J),J=1,N)
140 C
141 C
142 710 FORMAT(1P5E20.9)
143 WRITE(3,3704)
144 3704 FORMAT(5X,70(1H*))//
145 C ВЫЧИСЛЕНИЕ НОРМ
146 4224 K=0
147 24 DO 9913 I=1,N
148 AK=0.0
149 AL=0.0
150 DO 9913 J=1,N
151 B1(I)=ABS(B(I,J))+AL
152 B2(I)=ABS(B(J,I))+AK
153 AL=B1(I)
154 9913 AK=B2(I)
155 BM1=B1(1)
156 BM2=B2(1)
157 DO 14 I=2,N
158 IF(BM1.GT.B1(I)) GO TO 15
159 BM1=B1(I)
160 15 IF(BM2.GT.B2(I)) GO TO 14
161 16 BM2=B2(I)

```

Продолжение приложения I3

```

167 WRITE(3,3706) 0162
167 3706 FORMAT(15X,'НОРМЫ МАТРИЦЫ В(I,J)') 0163
164 WRITE(3,70)BM1,BM2 0164
164 70 FORMAT(10X,'НОРМА BM1=',E15.8/10X,'НОРМА BM2=',E15.8/) 0165
164 IF(BM1.LT.1.0)GO TO 16 0166
164 IF(BM2.LT.1.0)GO TO 16 0167
164 B3=0.0 0168
164 DO 17 I=1,N 0169
164 DO 18 J=1,N 0170
164 18 B3=B3+(H(I,J))*+< 0171
164 17 CONTINUE 0172
164 B3=SQRT(B3) 0173
164 WRITE(3,71)B3 0174
164 71 FORMAT(10X,'НОРМА B3=',E15.8/) 0175
164 IF(B3.LT.1.0)GO TO 16 0176
164 B4=ABS(B(1,1)) 0177
164 DO 19 I=1 0178
164 DO 20 J=1,N 0179

```

6/ 4/85 A. F. АСАЯО 1.41 C SL СУЗНАНА 20/02/85 А01

```

18 IF(B4.GT.ABS(H(I,J))) B4=ABS(H(I,J)) 0180
181 20 CONTINUE 0181
181 19 CONTINUE 0182
181 B4=B4*N 0183
181 WRITE(3,72)B4 0184
181 72 FORMAT(10X,'НОРМА B4=',E15.8/) 0185
181 IF(B4.LT.1.0)GO TO 16 0186
181 CALL ARRAY(2,N,N,20,40,B,B) 0187
181 CALL GMPKD(B,B,BK,20,20,20) 0188
181 CALL ARRAY(1,N,N,20,20,BK,B) 0189
181 K=K+1 0190
181 IF(K.GT.1K)GOTO30 0191
181 GOTO24 0192
181 16 WRITE(3,1116) 0193
181 1116 FORMAT(/5X,'СИСТЕМА С МАТРИЦЕЙ А УСТОЙЧИВА') 0194

```

```

195 GO TO 32 0195
196 30 WRITE(3,31) K 0196
197 WRITE(3,29) BM1, BM2, B3, B4, K 0197
198 29 FORMAT(10X, 'НОРМА B1=', E20.8/10X, 0198
199 * 'НОРМА B2=', E20.8/10X, 'НОРМА B3=', 0199
200 * E20.8/10X, 'НОРМА B4=', E20.8/10X, 0200
201 * 'СТЕПЕНЬ МАТРИЦЫ N =', I4//) 0201
202 31 FORMAT(10X, 'СИСТЕМА НЕ УСТОЙЧИВА K=', I4) 0202
203 1300 WRITE(5,1050) XPL, XPR 0203
204 1050 FORMAT(10X, 'XPL=', E12.7, 'XPR=', E15.7//) 0204
205 32 STOP 0205
206 END 0206
207 /* 0207
208 // EXEC MDNR 0208
209 CATALR ASSAY6, ASYSMOD, SYSLNK 0209
210 /* 0210
211 // EXEC LNKE01 0211
385 // EXEC 0386
387 7 0387
388 5 0388
389 19 0389
390 -9.420043 0.6269446 -1116.674 0.0005 -0.0013048 0390
391 1.501501 -27.37319 0.1154585 -758.5472 0.0005 0391
392 1.0 -288.7741 -18.79125 0.0005 1.501501 0392
393 -1.0 -1.501501 0.0013648 -1.501501 0393
394 2 4 2 3 4 2 2 0394
395 1 2 1 2 3 7 3 4 5 4 5 2 4 5 6 5 0 5 7 0395
396 5 0396
397 0397
398 /* 0398

```

Результаты анализа устойчивости моделей УМ с помощью программы NSSAY6

// GXEC

N= 7

0386

NT= 19

-9.420042992E 00	6.269495487E-01	-1.116678955E 03	4.994998491E-04	-1.364799915E-03
1.501500130E 00	-2.737318420E 01	1.154584885E-01	-7.585971680E 02	4.999998491E-04
1.000000000E 00	-2.887739258E 02	-1.879124451E 01	4.994998491E-04	1.501500130E 00
-1.000000000E 00	-1.501500130E 00	1.364799915E-03	-1.501500130E 00	
2 4 2 3 4	2 2			
1 2 1 2 5	7 3 4 3 4 5 2	4 5 6 > 6 > 7		

IK= 5

ИСХОДНАЯ МАТРИЦА A

-9.420042992E 00	-1.116678955E 03	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0			-2.887739258E 02
6.269495487E-01	4.994998491E-04	0.0	0.0	
0.0	0.0			0.0
0.0	0.0	-2.737318420E 01	-7.585971680E 02	0.0
0.0	0.0			-1.879124451E 01
0.0	0.0	1.154584885E-01	4.994998491E-04	4.999998491E-04
0.0	0.0			1.000000000E 00
-1.000000000E 00	-1.364799915E-03	0.0	1.000000000E 00	4.999998491E-04
0.0	1.364799915E-03	0.0		1.501500130E 00
-1.501500130E 00	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	1.501500130E 00	0.0	0.0	0.0
0.0	-1.501500130E 00			

P Q  
 .11166790E 04 0.62694955E 00

P C  
 .28940063E 05 0.11181810E 04

P D  
 .75859717E 06 0.11545849E 00



XPK-ЛЕВАЯ ГРАНИЦА  
XPL-ПРАВАЯ ГРАНИЦА

XPR= -0.11260989E 04 XPL= -0.50150013E 00 K= -0.56279850E 03

МАТРИЦА B

```

*****
1.016736984E 00      1.94153748E 00      0.0      0.0      0.0
0.0      0.0      0.0      0.0      5.131034851E=01
-1.113985432E=03    1.000000000E 00      0.0      0.0
0.0      0.0      0.0      1.347901344E 00      0.0
0.0      0.0      1.048637390E 00      0.0
0.0      0.0      0.0      1.000000000E 00      3.338893130E=02
0.0      0.0      -2.051506308E=04      0.0
0.0      0.0      0.0      -1.776834484E=03      1.000000000E 00
0.0      2.423023013E=06      0.0      0.0
1.776834484E=03    -2.423023013E=06      0.0      -2.667917171E=03
0.0      0.0      0.0      0.0
1.002667427E 00    0.0      0.0      0.0
0.0      -2.667917171E=03      0.0      0.0
0.0      1.002667427E 00      0.0      0.0
*****

```

НОРМЫ МАТРИЦЫ: M(I,J)

НОРМА BM1= 0.30008907E 01  
НОРМА BM2= 0.10026693E 01

НОРМА B3= 0.36279720E 01

НОРМА B4= 0.0

ISI

СИСТЕМА С МАТРИЦЕЙ A УСТОЙЧИВА



## СОДЕРЖАНИЕ

1. Основные положения . . . . .	3
2. Исходные данные, ограничения и допущения . . . . .	7
3. Расчет мощности электродвигателя исполнительного органа резания . . . . .	9
4. Определение передаточного отношения для редуктора реза- ния . . . . .	II
5. Формирование математических моделей динамического функ- ционирования УМ . . . . .	I3
6. Имитационное моделирование УМ на ЭВМ. Анализ характе- ристик и моделей УМ . . . . .	42
7. Оптимизация САУ УМ . . . . .	49
8. Вопросы совершенствования проектирования УМ и систем управления ими . . . . .	6I
Литература . . . . .	62
Приложение I. Формирование нелинейной двухмассной модели УМ . . . . .	66
Приложение 2. Программные аналоги математических моделей УМ . . . . .	68
Приложение 3. Результаты имитационного моделирования УМ. Фортран-программа NSIMIT . . . . .	77
Приложение 4. Фортран-программа NSBASM . . . . .	78
Приложение 5. Фортран-программа NSSAY6 . . . . .	80
Приложение 6. Программа SAY231 . Аналоги двухмассной моде- ли УМ . . . . .	8I
Приложение 7. Программа SAY251 . Аналог САУ УМ . . . . .	85
Приложение 8. Фортран-программа NSIMIT . . . . .	90
Приложение 9. Результаты имитационного моделирования УМ. .	
Приложение IO. Фортран-программа NSBASM . . . . .	II6
Приложение II. Подпрограммы NSBASM . . . . .	I20
Приложение I2. Результаты анализа устойчивости моделей УМ с помощью программы NSBASM . . . . .	I35
Приложение I3. Фортран-программа NSSAY6 . . . . .	I44
Приложение I4. Результаты анализа устойчивости моделей УМ с помощью программы NSSAY6 . . . . .	I49

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ИССЛЕДОВАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ  
СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
УГЛЕДОБЫВАЮЩИМИ МАШИНАМИ  
С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПРИВОДАМИ  
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ РЕЗАНИЯ  
И МЕХАНИЗМОВ ПОДАЧИ

Редактор Н. Д. Карпова.  
Художественный редактор Л. Н. Захарьячева.  
Подписано к печати 12.II.85. Т-22602.  
Формат 62,5x84 1/16. Бум. множ. аппаратов.  
Печать офсетная.  
Уч.-изд. л. 9,5. Тираж 450 экз.  
Изд. № 9114. Тип. зак. № 21177  
Цена 97 коп.

Институт горного дела им. А. А. Скочинского,  
140004, г. Люберцы Моск. обл.

Типография Минуглепрома СССР,  
140004, г. Люберцы Моск. обл.