

ИНСТИТУТ
ГОРНОГО ДЕЛА
имени
А. А. Скочинского

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

gost.e-ecolog.ru

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

УДК 622.232.72.001.24-52

Методические рекомендации по исследованию и проектированию систем автоматического управления угледобывающими машинами с регулируемыми приводами 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 I–4) и инж. Б.Н. Фешин (КарПТИ, разделы 5–8, приложения) под научным руководством канд.техн.наук Э.Г.Крауса.

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

© Институт горного дела им. А. А. Скочинского (ИГД им. А. А. Скочинского), 1985

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 [I];

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.

I. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. 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.

I.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 $h_{опт}$ во всем диапазоне предполагаемых изменений статических нагрузок. Значение $h_{опт}$ (табл.I) принимается в зависимости от мощности разрабатываемого пласта и конструктивных особенностей исполнительного органа резания [9].

Таблица I

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

Сопротивляемость угля резанию A, характеризующая способность углей противостоять механическим воздействиям, возникающим при резании, является случайной нормально распределенной величиной по длине лавы L [2, 7, I0].

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 $P_{дв.р}$ и толщиной стружки $h_{опт}$ 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

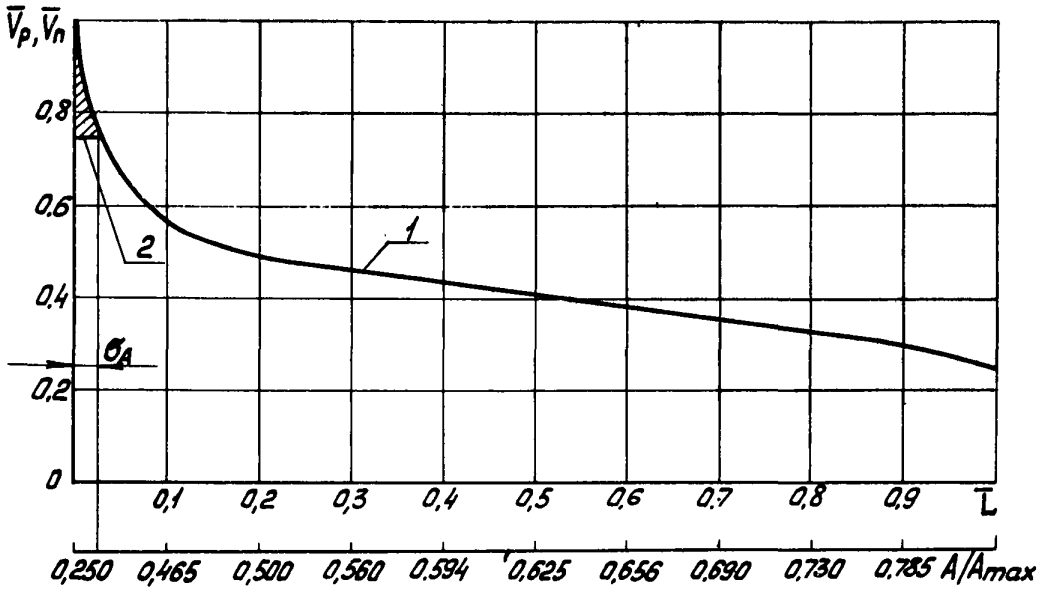

Рис.I. Скоростные характеристики УМ в лаве: I – теоретическая при $P_{дв} = const$, $h_{опт} = const$; 2 – расчетная проектировочная при работе на участке $A_{min} + \sigma_A$ с $\bar{V}_p = const$; $h_{опт} = const$

значения A . Особенностью подобных скоростных характеристик в лавах с другим отношением λ 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 σ_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.I) составляет I...I,5%, а диапазон регулирования скорости двигателя уменьшается в I,2...I,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: $V_{p.max\ расч} = const$, $P_{дв.р} = var$, $h_{опт} = const$ на участке лавы с A , изменяющимся в диапазоне $A_{min} \dots A_n$; $P_{дв.р} = const$, $h_{опт} = const$, $V_p = var$ 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 I 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 $П_1$ перемещается в точку $П_3$, в пределе точка $П_i$ 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 $П_i$ при соответствующих значениях $Q_{сут}$ приводится в разделе 3 данных рекомендаций.

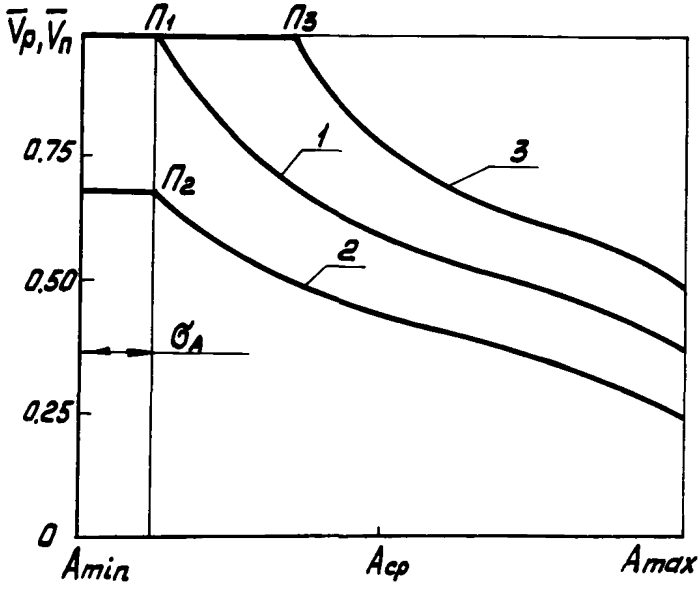

Рис. 2. Проектировочные скоростные характеристики УМ при заданной производительности: I – $Q_{сут} = Q_{пред}$; 2 – $Q_{сут} < Q_{пред}$; 3 – $Q_{сут} > Q_{пред}$

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

I	2	3	4
Диаметр шнека исполнительного органа	$D_ш$	м	
Сопротивляемость угля резанию, средняя	$A_{ср}$	Н/м	Указываются хрупко-пластические свойства разрабатываемого угольного пласта: хрупкость, 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	γ	т/м^3	
Коэффициент полезного действия редуктора исполнительного органа резания	$\eta_{р.р}$		
Коэффициент машинного времени	$K_м$		
Число добычных смен	$m_д$		
Продолжительность добычной смены	$T_с$	с(мин)	

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

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

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,I0]. На рис.3 приведены зависимости A_{max} и A_{min} от средней сопротивляемости угля резанию $A_{ср}$ для наиболее часто встречающихся случаев.

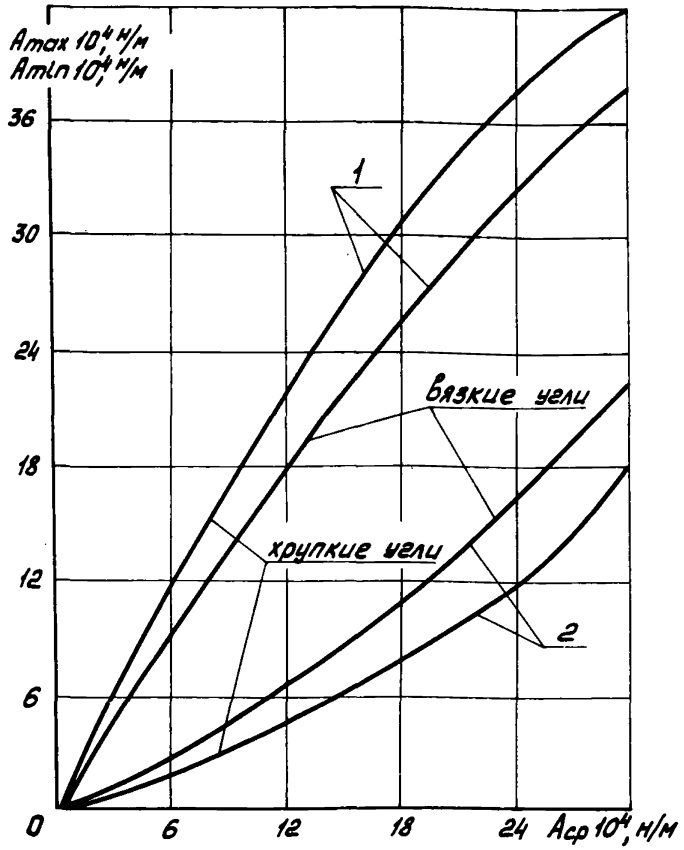

Рис. 3. Зависимость вероятных значений максимальной (I) и минимальной (2) сопротивляемости угля резанию от их средних значений

3. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА РЕЗАНИЯ

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

$$P_{дв.р} = P_р + P_{погр},$$

где $P_р$ – мощность, необходимая для резания угля, кВт;

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

3.I.I. Расчетная мощность $P_р$ определяется по формуле

$$P_р = \frac{F_{A_п} \cdot V_{р.max\ расч}}{100\,\eta_{р.р}},$$

где $F_{A_п}$ – средняя сила резания на исполнительном органе УМ при $A = A_{п_1}$, Н/м;

$V_{р.max\ расч}$ – максимальная расчетная скорость резания, м/с.

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

3.I.2. Среднюю силу резания $F_{A_п}$ находят по формуле

$$F_{A_п} = F_{A_{ср}} \frac{A_п}{A_{ср}},$$

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

3.I.3. Мощность $P_{погр}$ рассчитывается по уравнению

$$P_{погр} = \frac{F_{погр}\, V_{р.max\ расч}}{1000},$$

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

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

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

$$V_{п.ср} = \frac{Q_{сут}}{K_м\, m_д\, T_с\, H_р\, B\, \gamma}.$$

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

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

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 I и 2 на рис.2) $V_{п.ср.отн}$ соответствует $(A_{min} + \sigma_A)/A_{max}$.

3.2.3. Вычисляют максимальную расчетную скорость резания:

$$V_{р.max\ расч} = \frac{3{,}33\, D_ц\, V_{п.max\ расч}}{m_з\, h_{ср}} \leqslant V_{р.max\ доп},$$

где $h_{ср}$ – средняя толщина стружки, м:

$$h_{ср} = \frac{2h_{опт}}{\pi};$$

$m_з$ – количество резцов в линии резания, $m_з$ = I...3.

3.2.4. Если $V_{р.max\ расч} \leq V_{р.max\ доп}$, то $A_п = A_{min} + \sigma_A$. При $V_{р.max\ расч} > V_{р.max\ доп}$ принимается $V_{р.max\ расч} = V_{р.max\ доп}$ 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}.

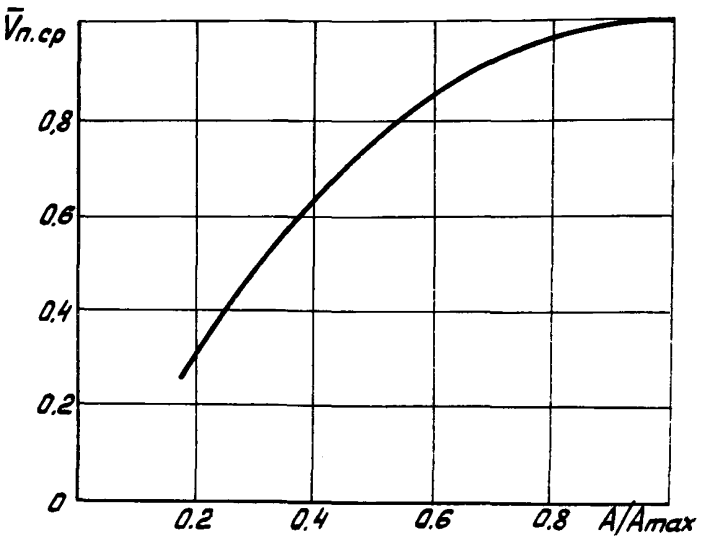

Рис. 4. Зависимость средней относительной скорости подачи УМ от отношения A/A_{max}.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОГО ОТНОШЕНИЯ ДЛЯ РЕДУКТОРА РЕЗАНИЯ

4.I. 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

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

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

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

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

M_{pi} – среднее значение крутящего момента на i-м участке:

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

$M_{pi\,min}, M_{pi\,max}$ – 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_{pi} на i-м участке;

$M_{р.н}$ – 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_1 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.I. 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 сопротивляемости 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 резанию.

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 $M_{с.р}(t)$ на валах приводных двигателей исполнительных органов резания и сопротивление подаче $F_{с.п}(t)$, приведенное к валу приводного двигателя механизма подачи, зависят от $M(A,t)$ и толщины стружки $h(t)$ [6]:

$$M_{с.р_1}(t) = M_{с.р.а_1} + C_1 M(A,t)\, h(t), \qquad (5.1)$$

$$M_{с.р_2}(t) = M_{с.р.а_2} + C_2 M(A,t)\, h(t), \qquad (5.2)$$

$$F_{с.п}(t) = F_{с.п_0} + C_3 M(A,t) h(t) + C_4 F_{тр}, \qquad (5.3)$$

где $M_{с.р.а_1}$, $M_{с.р.а_2}$, $F_{с.п_0}$ – 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 $M_п(t)$, $F_п(t)$, зависящих от угловой скорости исполнительных органов, т.е.:

$$M_{с.р_1}(t) = M_{с.р.а_1} + C_1 M(A,t)\, h(t)\, M_п(t), \qquad (5.4)$$

$$M_{с.р_2}(t) = M_{с.р.а_2} + C_2 M(A,t)\, h(t)\, M_п(t), \qquad (5.5)$$

$$F_{с.п}(t) = F_{с.п_0} + C_3 M(A,t) h(t) F_п(t) + C_4 F_{тр}. \qquad (5.6)$$

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

Обозначения физических величин формул (5.I)...(5.6), а также используемые ниже в моделях УМ, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Обозначение физической величины или параметра	Наименование физической величины или параметра	Единица измерения
I	2	3
$Д_{p_1}, Д_{p_2}, Д_п$	Приводные двигатели первого, второго исполнительного органа резания и механизма подачи	
$МП$	Механизм подачи	
$ИО_1, ИО_2$	Первый и второй исполнительные органы резания	
$M_{д_1}, M_{д_2}, M_{д_п}$	Электродвижущие моменты на валах $Д_{p_1}$, $Д_{p_2}$ и $Д_п$	Н·м
$P_п$	Тяговое усилие на валу $Д_п$	Н
$M_{с.p_1}, M_{с.p_2}$	Моменты сил резания на $ИО_1$ и $ИО_2$, приведенные к валам $Д_{p_1}$, $Д_{p_2}$	Н·м
$F_{с.п}$	Сопротивление подаче, приведенное к валу $Д_п$	Н
J_1 , J_5	Приведенные моменты инерции якорей $Д_{p_1}$ и $Д_{p_2}$ в двухмассных расчетных схемах УМ	кг.м^2
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^2
J_3	Приведенный момент инерции якоря $Д_п$ в двухмассных расчетных схемах УМ	кг.м^2
J_4	Приведенный к валу $Д_п$ момент инерции УМ в ее двухмассной расчетной схеме	кг.м^2
J_1' , J_5'	Приведенные моменты инерции систем $Д_{p_1} - ИО_1$, $Д_{p_2} - ИО_2$ в одномассных расчетных схемах УМ (приводятся к валам двигателей)	кг.м^2
J_3'	Приведенный момент инерции системы $Д_п$ - УМ в одномассной расчетной схеме УМ	кг.м^2
$\omega_{1p_1}, \omega_{5p_1}$	Угловые скорости валов $Д_{p_1}$, $Д_{p_2}$	рад/с

Продолжение табл.3

I	2	3
$\omega_{2p_1}, \omega_{6p_2}$	Угловые скорости валов $ИО_1$, $ИО_2$	рад/с
$\omega_{3п}, \omega_{4п}$	Угловые скорости валов $Д_п$ и тяговой звезды механизма подачи	рад/с
$V_п$	Линейная скорость подачи УМ	м/с
U_{p_1}, U_{p_2}	Напряжение на зажимах якорных обмоток $Д_{p_1}$ и $Д_{p_2}$	В
$U_п$	Напряжение на зажимах якорной обмотки $Д_п$	В
$U_в$	Напряжение на независимой обмотке возбуждения какого-либо двигателя	В
I_{p_1}, I_{p_2}	Токи в якорных обмотках двигателей $Д_{p_1}$ и $Д_{p_2}$	А
$I_п$	Ток в якорной обмотке двигателя подачи $Д_п$	А
$I_ш, I_в$	Токи в шунтовой и независимой обмотке возбуждения какого-либо двигателя	А
$C_ε$	Электрическая конструктивная постоянная какого-либо двигателя	В.А
$L_c, L_ш, L_в, L_я$	Индуктивность сериесной, шунтовой, независимой и якорной обмоток двигателя	Г
$ω_c, ω_ш$	Количество витков сериесной и шунтовой обмоток двигателя	шт.
M	Взаимная индуктивность сериесной и шунтовой обмоток двигателя	Г
$C_м$	Механическая постоянная двигателя	Н.м.рад/с
$Ф$	Магнитный поток одного полюса двигателя	Т
$R_я$	Активное сопротивление обмотки якоря двигателя	Ом
$R_ш, R_в$	Активное сопротивление шунтовой и независимой обмоток двигателя	Ом
$r_з$	Радиус тяговой звезды механизма подачи	м
i	Передаточное отношение редуктора	
$m_к$	Масса угледобывающей машины	кг
$\varphi_{1p_1}, \varphi_{5p_1}$	Угол поворота валов $Д_{p_1}$ и $Д_{p_2}$	рад
$\varphi_{2p_1}, \varphi_{6p_2}$	Угол поворота валов $ИО_1$ и $ИО_2$	рад
$\varphi_{3п}$	Угол поворота вала $Д_п$	рад
$\varphi_{4п}$	Угол поворота вала тяговой звезды механизма подачи	рад
$\Delta\varphi_{к.п}$	Кинематическая погрешность передач какого-либо редуктора	рад

Окончание табл.3

I	2	3
C_{12}, C_{56}, C_{34}	Приведенная жесткость передач соответственно редуктора $Д_{р_1}$, $Д_{р_2}$ и $Д_п$	Н.м/рад
$\beta_{12}, \beta_{56}, \beta_{34}$	Коэффициенты вязкого трения в редукторах	Н.м/рад/с
$M_{с.р.о_1}, M_{с.р.о_2}$	Постоянные составляющие в $M_{с.р_1}$ и $M_{с.р_2}$	Н.м
$F_{с.п_0}$	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)	$I/м^2$
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, исключающие 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.

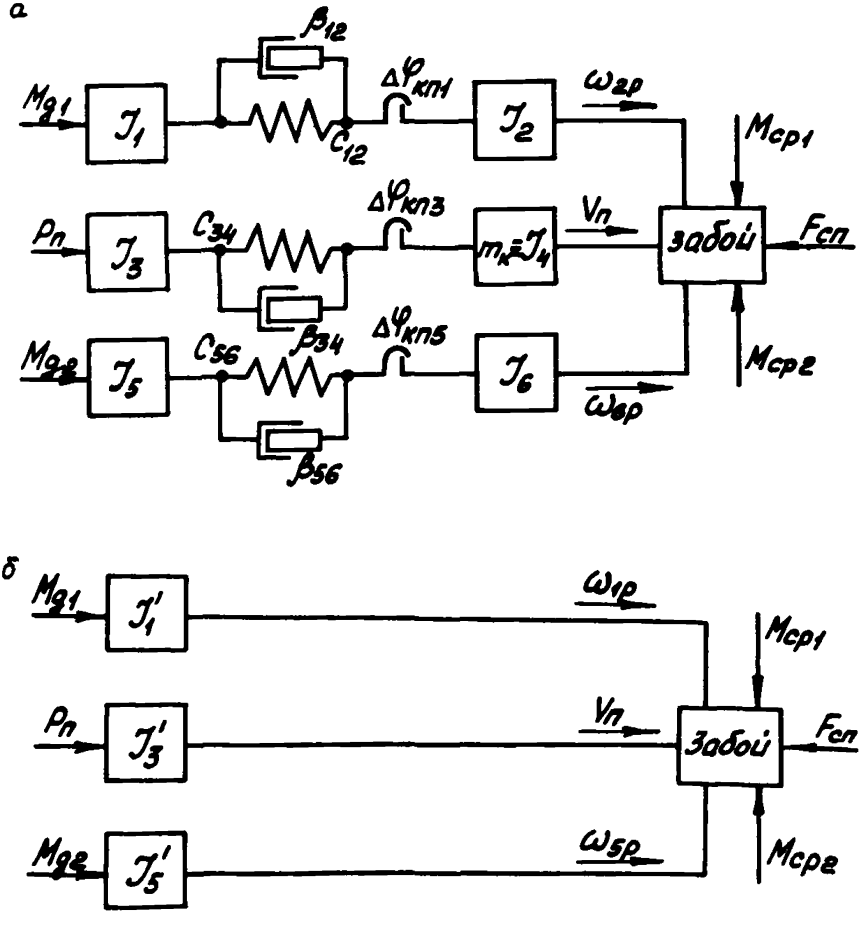

Рис. 5. Расчетные двухмассные (а) и одномассные (б) схемы УМ

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.

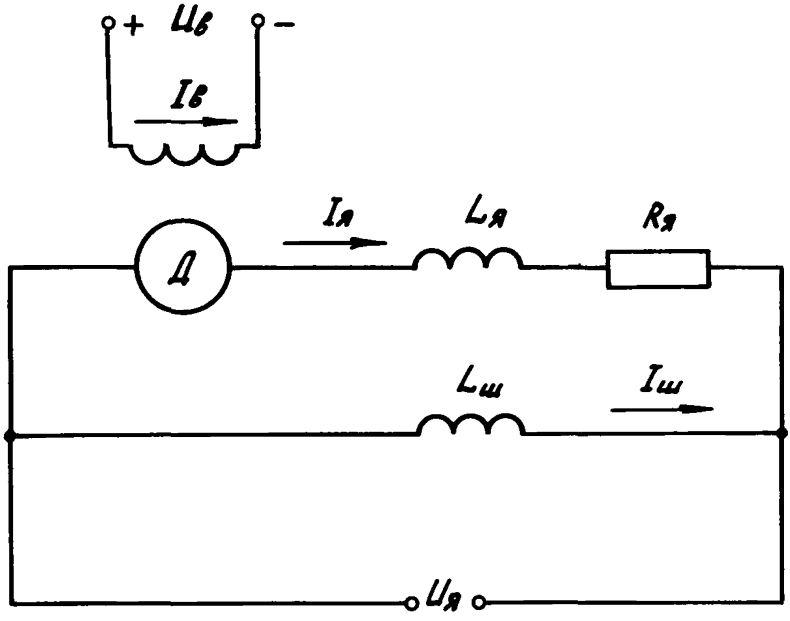

Рис. 6. Расчетная схема приводного электродвигателя постоянного тока

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

5.7.I. В систему уравнений (I)...(47) вместо индекса ℓ 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 τ_{ℓ_1}, τ_{ℓ_2}, τ_{ℓ_3} двигателей постоянного тока с независимой обмоткой возбуждения принимают значения $\tau_{\ell_1} = \tau_{\ell_2} = 0$, $\tau_{\ell_3} = I$; для двигателей с последовательным (сериесным) возбуждением $\tau_{\ell_1} = I$, $\tau_{\ell_2} = \tau_{\ell_3} = 0$; а смешанного возбуждения $\tau_{\ell_1} = \tau_{\ell_2} = I$, $\tau_{\ell_3} = 0$.

Таблица 4

Характеристика модели	Нелинейные уравнения, описывающие модель УМ	Номер уравнения	Примечание
I	2	3	4
	Модели электромагнитных процессов в приводных двигателях постоянного тока		
Модель, учитывающая жесткость и зазоры кинематических передач, сухое и вязкое трение, индуктивность обмоток	$\left[\tau_{\ell_1} L_{c_\ell} + L_{я_\ell}\right]\frac{dI_\ell}{dt} = U_\ell(t) - C_{\varepsilon_\ell}\Phi_\ell(I_\ell)\omega_\ell(t) - I_\ell(t)R_{я_\ell} - \tau_{\ell_2} M_\ell \frac{dI_{ш_\ell}}{dt}$	(I)	Расчетная схема представлена на рис.6.
	$\tau_{\ell_2} L_{ш_\ell}\frac{dI_{ш_\ell}}{dt} = \left[U_\ell(t) - R_{ш_\ell} I_{ш_\ell}(t) - M_\ell \frac{dI_\ell}{dt}\right]\tau_{\ell_2}$	(2)	Функции (6)...(9) для двигателей смешанного и последовательного возбуждения задаются
	$\tau_{\ell_3} L_{\varepsilon_\ell}\frac{dI_{\varepsilon_\ell}}{dt} = \left[U_{\varepsilon_\ell}(t) - I_{\varepsilon_\ell}(t) R_{\varepsilon_\ell}\right]\tau_{\ell_3}$	(3)	
	$M_{g_\ell}(t) = C_{M_\ell}\Phi_\ell(I_\ell) I_\ell(t)$	(4)	графически или таблично. Для двигателей
	$M_\ell = (\omega_{c_\ell}/\omega_{ш_\ell}) L_{ш_\ell} = (\omega_{ш_\ell}/\omega_{c_\ell}) L_{c_\ell}$	(5)	
	$\Phi_\ell = f_{11}(I_\ell)$	(6)	с независимой обмоткой возбуждения:
	$L_{я_\ell} = f_{12}(I_\ell)$	(7)	в функциях (I) и (4)
	$M_{g_\ell} = f_{13}(I_\ell)$	(8)	$C_{\varepsilon_\ell}\Phi_\ell(I_\ell) = K_{\varepsilon_\ell} = const$, $C_{M_\ell}\Phi_\ell(I_\ell) = K_{M_\ell} = const$,
	$L_{я_\ell} = f_{14}(d\Phi_\ell/dI_\ell)$	(9)	зависимость (8) при $U_{\varepsilon_\ell} = const$ является линейной, а $L_{я_\ell} = const$.

1	2	3	4
	Модели механических процессов в системе "привод-исполнительный орган резания", "привод-механизм подачи" (рис.5,а)		
	Для первого или второго исполнительного органа резания:		
	$M_{g_i}(t) - M''_{ci_i}(t) - M'''_{ci_i}(t) - M'_{ji}\left[1 + \beta_{3_i} sign(M_{ij_i})\right] = I_i \frac{d\omega_{i_i}}{dt}$,	(I0)	
	$M'_{ij_i}(t) - M''_{ij_i}(t) - M'''_{cj_i}(t) = I_j \, d\omega_{j_i}/dt$.	(II)	
	Для механизма подачи:		
	$M_{g_n}(t) - M''_{c_{3_n}}(t) - M'''_{c_{3_n}}(t) - M'_{34_n}\left[1 + \beta_{3_n} sign(M_{34_n})\right] = I_3 \frac{d\omega_{3_n}}{dt}$,	(I2)	
	$M'_{34_n}(t) - M''_{c_{4_n}}(t) - M'''_{c_{4_n}} = \frac{r_z}{i_n}\left[m_к \frac{dV_n}{dt} + F_{c.n}(A,t)\right]$.	(I3)	
	Составляющие моментов в уравнениях (I0)...(I3) рассчитываются по уравнениям:		
	$M'_{12_{P_1}}(t) = M_{12_{P_1}} + \beta_{12_{P_1}} \left(d M_{12_{P_1}}/dt\right)$	(I4)	
	$M_{12_{P_1}}(t) = C_{12}\left(\varphi_{1_{P_1}}(t) - \varphi_{2_{P_1}}(t) - \Delta\varphi_{к.п_{P_1}} - \frac{\Delta\varphi_{з_{P_1}}}{2}\right)$, при $\left\|\varphi_{1_{P_1}} - \varphi_{2_{P_1}} - \Delta\varphi_{к.п_{P_1}}\right\| > \frac{\Delta\varphi_{з_{P_1}}}{2}$	(I5)	
	$M_{12_{P_1}}(t) = 0$, при $\left\|\varphi_{1_{P_1}}(t) - \varphi_{2_{P_1}}(t) - \Delta\varphi_{к.п_{P_1}}\right\| < \Delta\varphi_{з_{P_1}}/2$		
			В уравнения (I0)...(3I) вместо i, j подставляются индексы, принятые в схеме на рис.5,а. Соответственно $i = 1$ и $j = 2$ для первого исполнительного органа резания; $i = 5$ и $j = 6$ для второго. Не описанные ранее обозначения переменных и параметров в (I0)...(39): $M_{12_{P_1}}$, $M_{56_{P_2}}$ – упругие моменты с учетом внутреннего вязкого трения между $Д_{P_1}$ и $ИО_1$, $Д_{P_2}$ и $ИО_2$; $M''_{c_{1P_1}}$, $M''_{c_{5P_2}}$ и $M''_{c_{2P_1}}$, $M''_{c_{6P_2}}$ – соответственно моменты сухого трения на валах $Д_{P_1}$, $Д_{P_2}$ и $ИО_1$, $ИО_2$;

Продолжение табл.4

1	2	3	4
	$M''_{c1_{p_1}}(t) = \lvert M_{c_{p_1}} \rvert \, sign\left(\omega_{1_{p_1}}(t)\right)$,	(16)	$M'''_{c1_{p_1}}$, $M'''_{c5_{p_2}}$ и $M'''_{c2_{p_1}}$, $M'''_{c6_{p_2}}$ – соответственно моменты вязкого трения на валах $Д_{p_1}$, $Д_{p_2}$ и $И0_1$, $И0_2$; , M''_{c3_n}, M'''_{c3_n}, M''_{c4_n}, M'''_{c4_n} – моменты сухого и вязкого трения на валах приводного двигателя механизма подачи и тяговой звезды;
	$M'''_{c1_{p_1}}(t) = \beta_{1_{p_1}} \omega_{1_{p_1}}(t)$,	(17)	
	$M''_{c2_{p_1}}(t) = \lvert M''_{c2_{p_1}} \rvert \, sign\left(\omega_{2_{p_1}}(t)\right)$,	(18)	
	$M'''_{c2_{p_1}}(t) = \beta_{2_{p_1}} \omega_{2_{p_1}}(t)$,	(19)	
	$M_{56_{p_2}}(t) = C_{56}\left(\varphi_{5_{p_2}}(t) - \varphi_{6_{p_2}}(t) - \Delta\varphi_{k.n_{p_2}} - \Delta\varphi_{3_{p_2}}/2\right)$, при $\lvert\varphi_{5_{p_2}} - \varphi_{6_{p_2}} - \Delta\varphi_{k.n_{p_2}}\rvert > \frac{\Delta\varphi_{3_{p_2}}}{2}$ $M_{56_{p_2}} = 0$, при $\lvert\varphi_{5_{p_2}} - \varphi_{6_{p_2}} - \Delta\varphi_{k.n_{p_2}}\rvert < \Delta\varphi_{3_{p_2}}/2$,	(20)	
	$M'_{56}(t) = M_{56_{p_2}} + \beta_{56_{p_2}}\left(dM_{56_{p_2}}/dt\right)$,	(21)	$M'_{c2_{p_1}}(t) = M_{c_{p_1}}(A,t)$;
	$M'''_{c5_{p_2}}(t) = \beta_{5_{p_2}} \omega_{5_{p_2}}(t)$	(22)	$M'_{c5_{p_2}}(t) = M_{c_{p_2}}(A,t)$;
	$M''_{c5_{p_2}}(t) = \lvert M''_{c5_{p_2}} \rvert \, sign\, \omega_{5_{p_2}}(t)$	(23)	β_{3_l}, β_{3_n}, $\beta_{12_{p_1}}$, $\beta_{1_{p_1}}$,
	$M''_{c6_{p_2}}(t) = \lvert M''_{c6_{p_2}} \rvert \, sign\, \omega_{6_{p_2}}(t)$	(24)	$\beta_{2_{p_1}}$, $\beta_{56_{p_2}}$, $\beta_{5_{p_2}}$,
	$M'''_{c6_{p_2}}(t) = \beta_{6_{p_2}} \omega_{6_{p_2}}(t)$	(25)	$\beta_{6_{p_2}}$, β_{34_n}, β_{3_n}, β_{4_n} –
	$M'_{34_n}(t) = M_{34_n} + \beta_{34_n}\left(dM_{34_n}/dt\right)$	(26)	– эмпирические коэффициенты, при выборе которых можно воспользоваться рекомендациями [7, II...I5];
	$M_{34_n}(t) = C_{34}\left(\varphi_{3_n}(t) - \varphi_{4_n}(t) - \Delta\varphi_{k.nn} - \Delta\varphi_{3.n}/2\right)$, при $\lvert\varphi_{3n} - \varphi_{4n} - \Delta\varphi_{k.nn}\rvert > \frac{\Delta\varphi_{3.n}}{2}$ $M_{34_n}(t) = 0$, при $\lvert\varphi_{3n} - \varphi_{4n} - \Delta\varphi_{k.nn}\rvert \leqslant \Delta\varphi_{3.n}/2$	(27)	C_{15}, C_{25}, C_{τ_1}, C_{τ_2} – – масштабные коэффициенты в (34)...(36);

I	2	3	4
	$M''_{c_{3_n}}(t) = \left\| M''_{c_{3_n}} \right\| sign\ \omega_{3_n}(t)$,	(28)	τ_p – время запаздывания при стружкообразовании;
	$M'''_{c_{3_n}}(t) = \beta_{3_n}\ \omega_{3_n}(t)$,	(29)	
	$M''_{c_{4_n}}(t) = \left\| M''_{c_{4_n}} \right\| sign\ \omega_{4_n}(t)$,	(30)	$i_з$ – число заходов шнека исполнительного органа;
	$M'''_{c_{4_n}}(t) = \beta_{4_n}\ \omega_{4_n}(t)$.	(31)	
	Модели взаимодействия УМ с разрушаемым угольным массивом		φ_{v_n} – начальная функция, равная нулю для случая нахождения УМ в покое;
	$M_{c_{p_i}}(t) = M_{0_{p_i}} + C_i\, h(t) M(A,t) M_n(t),\ i = 1,2$,	(32)	
	$F_{c.n}(t) = F_{0.n} + C_3\, h(t) M(A,t) F_n(t) + C_4\, F_{тр}(t)$.	(33)	
	Функции, учитывающие колебательный характер взаимодействия УМ с разрушаемым угольным массивом:		$K_{тр}$ – коэффициент трения между опорными лыжами УМ и ставом конвейера, Нс/м;
	$M_{n_1}(t) = K_{M_{1_{p_1}}} + K_{M_{2_{p_1}}} \sum_{s} C_{1_s} sin\left(s\omega_{2_{p_1}}(t)\, t + \theta_{1_s}\right)$,	(34)	
	$M_{n_2}(t) = K_{M_{1_{p_2}}} + K_{M_{2_{p_2}}} \sum_{s} C_{2_s} sin\left(s\omega_{6_{p_2}}(t)\, t + \theta_{2_s}\right)$,	(35)	
	$F_n(t) = K_{F_1} + K_{F_{21}} \sum_{\tau_1} C_{\tau_1} sin\left(\tau_1 \omega_{2_{p_1}}(t) t + \theta_{\tau_1}\right) + K_{F_{22}} \sum_{\tau_2} C_{\tau_2} sin\left(\tau_2 \omega_{6_{p_2}}(t) t + \theta_{\tau_2}\right)$,	(36)	ω_{p_0} – установившаяся скорость вала исполнительного органа резания, рад/с;
	$F_{тр}(t) = K_{тр}\, V_n(t)$.	(37)	
	Модели стружкообразования		m – порядок аппроксимирующей системы уравнений.
	$dh/dt = V_n(t) - V_n(t-\tau_p),\ V_n(t) = \varphi_{v_n}(t)$ при $\tau_p \le t \le 0$, $\tau_p = 2\pi i_p / \omega_{p_0}(t)\, i_з$.	(38)	

Продолжение табл. 4

1	2	3	4
	Аппроксимирующий аналог уравнения (38): $dh/dt = V_n(t) - \lambda_m(t)$, $d\lambda_1/dt = (m/\tau_p)(V_n(t) - \lambda_1(t))$, $d\lambda_2/dt = (m/\tau_p)(\lambda_1(t) - \lambda_2(t))$, $\vdots$ $d\lambda_m/dt = (m/\tau_p)(\lambda_{m-1}(t) - \lambda_m(t))$, $\lambda_m(t) \approx V_n(t-\tau_p)$, $\lambda_i(t_0) = \lambda_{i_0}$, $i = 1,2 \ldots m$	(39)	
Модели, не учитывающие диссипативные потери	В уравнениях (I0), (I7), (I9), (20), (23), (25), (26), (29), (3I) коэффициенты β_{ij}, β_i, β_j и соответствующие моменты равны нулю.	(40)	
Модели, не учитывающие кинематические погрешности и зазоры редукторных передач	В уравнениях (I0), (I2) коэффициенты $\beta_{3\ell} = 0$, а уравнения (I4), (I5), (I7)...(3I) заменяются следующими: $M'_{12_{p_1}}(t) = M_{12_{p_1}}(t) = C_{12}(\varphi_{1_{p_1}}(t) - \varphi_{2_{p_1}}(t))$	(4I)	
	$M'_{56_{p_2}}(t) = M_{56_{p_2}}(t) = C_{56}(\varphi_{5_{p_2}}(t) - \varphi_{6_{p_2}}(t))$	(42)	
	$M'_{34}(t) = M_{34_n}(t) = C_{34}(\varphi_{3_n}(t) - \varphi_{4_n}(t))$	(43)	

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

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: $K_{M_{1p_1}} = K_{M_{1p_2}} = K_{F_1} = I$, $K_{M_{2p_1}} = K_{M_{2p_2}} = K_{F_{21}} = K_{F_{22}} = 0$. 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 [I6] 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 [I6,I7]. Некоторые программные аналоги математических моделей УМ на средствах МАСС приведены в приложении 2.

5.I0. 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.II. 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...I4] по эксплуатации и проектированию УМ.

Таблица 5

Характеристика модели	Линеаризованные модели УМ. Элементы векторов X, μ, f, Z. Уравнения для расчета элементов матриц A, B, F, C	Номер уравнения
I	2	3
Двухмассная модель, не учитывающая колебательный характер движения УМ	$\dot{X}(t) = AX(t) + B\mu(t) + Ff(t)$,	(I)
	$Z(t) = CX(t)$,	(2)
	X, μ, f, Z – соответственно векторы координат пространства состояний, управлений, возмущений и наблюдаемых выходных координат УМ размерностью N, N_μ, N_f, N_z;	
	A, B, F, C – числовые матрицы соответственно размером $N \cdot N$, $N \cdot N_\mu$, $N \cdot N_f$, $N_z \cdot N$.	
	В уравнениях (I) и (2)	
	$N = N_x + N_\lambda + N_\eta$, $N_x = 11$, $N_\lambda = 4$, $N_\eta = 4$, $N_\mu = 2$, $N_f = 1$, $N_z = 6...10$	(3)
	Элементы вектора $X(t)$:	
	$X_1(t) = \Delta I_{p_1}(t)$ – приращение тока в якорной обмотке $Д_{p_1}$,	(4)
	$X_2(t) = \Delta\varphi_{1_{p_1}}(t)$ – приращение угла поворота вала $Д_{p_1}$,	(5)
	$X_3(t) = \Delta\omega_{1_{p_1}}(t)$ – приращение угловой скорости вала $Д_{p_1}$,	(6)
	$X_4(t) = \Delta\varphi_{2_{p_1}}(t)$ – приращение угла поворота вала $ИО_1$,	(7)
	$X_5(t) = \Delta\omega_{2_{p_1}}(t)$ – приращение угловой скорости вала $ИО_2$,	(8)
	$X_6(t) = \Delta I_п(t)$ – приращение тока в якорной обмотке $Д_п$,	(9)
	$X_7(t) = \Delta\varphi_{3_п}(t)$ – приращение угла поворота вала $Д_п$,	(10)
	$X_8(t) = \Delta\omega_{3_п}(t)$ – приращение угловой скорости вала $Д_п$,	(11)

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

1	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)
	$\eta_1(t_0)=\omega_{2p_1}(-\tau_p/m),\ \eta_2(t_0)=\omega_{2p_1}(-2\tau_p/m),\ \eta_3(t_0)=\omega_{2p_1}(-3\tau_p/m),\ \eta_4(t_0)=(-4\tau_p/m).$	(25)
	В уравнениях (24) и (25):	
	$$m = N_\lambda = N_\eta = 4$$	(26)
	Ненулевые элементы матриц A , B , F :	
	$a_{11}=-R_{я p_1}/L_{я p_1}$, $a_{13}=K_{E p_1}/L_{я p_1}$,	(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)
	$a_{66}=-R_{я n}/L_{я n}$, $a_{68}=K_{E n}/L_{я n}$,	(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)
	$a_{11\,15}=-1{,}0$, $a_{11\,9}=1{,}0$, $a_{11\,5}=-V_{n0}/\omega_{2p_{10}}$, $a_{11\,10}=V_{n0}/\omega_{2p_{10}}$,	(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)
	$a_{15_{14}} = m/\tau_p$, $a_{15_{15}} = -m/\tau_p$,	(4I)
	$a_{16_{15}} = m/\tau_p$, $a_{16_{16}} = -m/\tau_p$,	(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)
	$b_{11} = 1.0/L_{я_{p_1}}$, $b_{62} = 1.0/L_{я_n}$,	(46)
	$F_{51} = -C_1 h(t_0)/I_2$, $F_{91} = -C_3 h(t_0)/m_к$.	(47)
	С учетом реальных условий эксплуатации УМ элементами вектора $Z(t)$ могут быть:	
	$X_1(t), X_3(t), X_5(t), X_6(t), X_8(t), X_9(t),$	(48)
	а при моделировании на ЭВМ:	
	$X_1(t), X_3(t), X_4(t), X_5(t), X_6(t), X_7(t), X_8(t), X_9(t), X_{11}(t).$	(49)
	Для (48) – N_Z = 6, а для (49) – N_Z = I0.	

Продолжение табл.5

I	2	3
Двухмассная модель, учитывающая колебательный характер движения УМ	$\dot{X}(t) = A(t)X(t) + B(t)\mu(t) + F(t)f(t)$,	(50)
	$Z(t) = CX(t)$.	(5I)
	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:	
	$a_{51}(t) = \lambda_{1p_1}(t)C_1/I_2$, $a_{55}(t) = -\lambda_{3p_1}(t)C_1/I_2$,	(52)
	$a_{52} = C_{12}/I_2$,	(53)
	$a_{95}(t) = -C_3 h(t_0) M(A,t_0) K_{\omega 2p_1}(t)/m_к$,	(54)
	$a_{97} = C_{34} i_п/(m_к r_з)$, $a_{910} = -i_п C_{34}/(m_к r_з^2)$, $a_{99} = -C_4 K_{тр}/m_к$,	(55)
	$a_{911}(t) = -C_3 M(A,t_0) K(\omega_{2p_{10}}, \omega_{6p_{20}})/m_к$,	(56)
	$F_{51}(t) = -\lambda_{2p_1}(t)C_1/I_2$,	(57)
	$F_{91}(t) = -C_3 h(t_0) K(\omega_{2p_{10}}, \omega_{6p_{20}})/m_к$.	(58)
	В (52)...(58) функции $\lambda_{1p_1}(t)$, $\lambda_{2p_1}(t)$, $\lambda_{3p_1}(t)$, $\lambda_{3\omega}(t)$, $K_{\omega 2p_1}(t)$, $K_{\omega 6p_2}(t)$, $K(\omega_{2p_{10}}, \omega_{6p_{20}})$ вычисляются по уравнениям:	
	$\lambda_{1p_1}(t) = h(t)\left[K_{M1p_1} + K_{M2p_1}\sum_s C_{1s}\sin(s\omega_{2p_1}(t)t + \theta_{1s})\right]$ при $h(t) = h(t_0), \omega_{2p_1}(t) = \omega_{2p_1}(t_0)$,	(59)
	$\lambda_{2p_1}(t) = M(A,t)\left[K_{M1p_1} + K_{M2p_1}\sum_s C_{1s}\sin(s\omega_{1p_1}(t)t + \theta_{1s})\right]$,	(60)
	при $\omega_{2p_1}(t) = \omega_{2p_1}(t_0)$, $M(A,t) = M(A,t_0)$,	

I	2	3
Одномассная модель, не учитывающая колебательный характер движения УМ	$\lambda_{3_{\rho_1}}(t) = M(A,t)\left[\eta(t)\lambda_{3_\omega}(t)\right]$, при $M(A,t) = M(A,t_0)$, $\eta(t) = \eta(t_0)$,	(6I)
	$\lambda_{3_\omega}(t) = \left[K_{M_{2_{\rho_1}}} \sum_s C_{1_s} st\cos\left(s\omega_{2_{\rho_1}}(t)t + \theta_{1_s}\right)\right]$, при $\omega_{2_{\rho_1}}(t) = \omega_{2_{\rho_1}}(t_0)$,	(62)
	$K_{\omega_{2_{\rho_1}}}(t) = K_{F_{21}}\left[\sum_{\tau_1} C_{\tau_1} t_{\tau_1}\cos\left(\tau_1\omega_{2_{\rho_1}}(t)t + \theta_{\tau_1}\right)\right]$, при $\omega_{2_{\rho_1}}(t) = \omega_{2_{\rho_1}}(t_0)$,	(63)
	$K_{\omega_{6_{\rho_2}}}(t) = K_{F_{22}}\left[\sum_{\tau_2} C_{\tau_2} t_{\tau_2}\cos\left(\tau_2\omega_{6_{\rho_2}}(t)t + \theta_{\tau_2}\right)\right]$, при $\omega_{6_{\rho_2}}(t) = \omega_{6_{\rho_2}}(t_0)$,	(64)
	$K(\omega_{2_{\rho_{10}}}, \omega_{6_{\rho_{20}}}) = \left[K_{F_1} + K_{F_{21}}\sum_{\tau_1} C_{\tau_1} sin\left(\tau_1\omega_{2_{\rho_1}}(t)t + \theta_{\tau_1}\right) + \right.$ $\left. + K_{F_{22}}\sum_{\tau_2} C_{\tau_2} sin\left(\tau_2\omega_{6_{\rho_2}}(t)t + \theta_{\tau_2}\right)\right]$, при $\omega_{2_{\rho_1}}(t) = \omega_{2_{\rho_1}}(t_0)$, $\omega_{6_{\rho_2}}(t) = \omega_{6_{\rho_2}}(t_0)$,	(65)
	$\dot{X}(t) = AX(t) + B\mu(t) + Ff(t)$	(66)
	$Z(t) = CX(t)$.	(67)
	В уравнениях (66) и (67): $N_x = 5, N_\lambda = N_\eta = 4, N_\mu = 2, N_f = I, N_Z = 4$ или 5	(68)
	Элементы векторов $\dot{X}(t)$, $\mu(t)$, $f(t)$:	
	$X_1(t) = \Delta I_{\rho_1}(t)$ – приращение тока в якорной обмотке $Д_{\rho_1}$,	(69)
	$X_2(t) = \Delta\omega_{1_{\rho_1}}(t)$ – приращение угловой скорости вала двигателя $Д_{\rho_1}$,	(70)
	$X_3(t) = \Delta I_n(t)$ – приращение тока в якорной обмотке $Д_n$,	(7I)
	$X_4(t) = \Delta V_n(t)$ – приращение линейной скорости подачи УМ,	(72)
	$X_5(t) = \Delta\eta(t)$ – приращение толщины стружки,	(73)

Продолжение табл.5

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)
	$X_{10}(t)=\eta_1(t), X_{11}(t)=\eta_2(t), X_{12}(t)=\eta_3(t), X_{13}(t)=\eta_4(t)\approx\Delta\omega_{1p_1}(t-\tau_p)$,	(75)
	$\mu_1(t_0)=\Delta U_p(t)$ – приращение напряжения на якорной обмотке $Д_{p_1}$,	(76)
	$\mu_2(t_0)=\Delta U_n(t)$ – приращение напряжения на якорной обмотке $Д_n$,	(77)
	$f_1(t)=\Delta M(A,t)$ – приращение обобщенного показателя сопротивляемости угля разрушению.	(78)
	Начальные условия для модели (66), (67):	
	$X_1(t_0)=I_{p_1}(t_0), X_2(t_0)=\omega_{1p_1}(t_0), X_3(t_0)=I_n(t_0), X_4(t_0)=V_n(t_0), X_5(t_0)=h(t_0)$,	(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)
	$\eta_1(t_0)=\omega_{1p_1}(-\tau_p/m), \eta_2(t_0)=\omega_{1p_1}(-2\tau_p/m), \eta_3(t_0)=\omega_{1p_1}(-3\tau_p/m), \eta_4(t_0)=\omega_{1p_1}(-4\tau_p/m)$,	(81)
	В уравнениях (80) и (81):	
	$m=N_\lambda=N_\eta=4$	(82)
	Ненулевые элементы матриц A, B, F в (66), (67):	
	$a_{11}=-R_{яp_1}/L_{яp_1}$, $a_{12}=-K_{Ep_1}/L_{яp_1}$,	(83)
	$a_{21}=K_{мp_1}/I_1'$, $a_{25}=-C_1M(A,t_0)/I_1'$,	(84)
	$a_{33}=-R_{яn}/L_{яn}$, $a_{34}=-K_{En}/L_{яn}\tau_з$,	(85)
	$a_{43}=K_{мn}i_n/m_к\tau_з$, $a_{45}=C_3M(A,t_0)/m_к$,	(86)
	$a_{54}=1.0$, $a_{59}=-1.0$, $a_{52}=-V_{n_0}/\omega_{1p_{10}}$, $a_{5_{13}}=V_{n_0}/\omega_{1p_{10}}$,	(87)

I	2	3
	$a_{64} = m/\tau_p$, $a_{66} = -m/\tau_p$, $a_{76} = m/\tau_{p_1}$, $a_{77} = -m/\tau_p$,	(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)
	$b_{11} = 1.0/L_{я_{p_1}}$, $b_{32} = 1.0/L_{я_п}$,	(92)
	$F_{21} = -C_1 h(t_0)/I_1'$, $F_{41} = -C_3 h(t_0)/m_к$.	(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 колебательный 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.	

Окончание табл.5

I	2	3
	Элементы матриц $A(t)$, $F(t)$, отличные от соответствующих элементов A и F предыдущей модели:	
	$a_{21}=K_{M_{P_1}}/I_1'$, $a_{25}(t)=-\lambda_{1_{P_1}}(t)\,C_1/I_1'$, $a_{22}(t)=-\lambda_{3_{P_1}}(t)\,C_1/I_1'$,	(99)
	$a_{42}=-C_3\,h(t_0)M(A,t_0)K_{\omega_{1_{P_1}}}(t)/m_K$, $a_{43}=K_{M_n}i_n/m_K\,r_3$,	(100)
	$a_{44}=-C_4\,K_{TP}/m_K$, $a_{45}=C_3\,M(A,t_0)\,K(\omega_{1_{P_1}},\omega_{5_{P_2}})/m_K$,	(101)
	$F_{21}=-C_1\,\lambda_{2_{P_1}}(t)/I_1'$, $F_{41}=-C_3\,h(t_0)\,K(\omega_{1_{P_1}},\omega_{5_{P_2}})/m_K$.	(102)
	В уравнениях (99)...(102) функции $\lambda_{1_{P_1}}(t)$, $\lambda_{2_{P_1}}(t)$, $\lambda_{3_{P_1}}(t)$, $\lambda_{3_\omega}(t)$ ... вычисляются по уравнениям:	
	$\lambda_{1_{P_1}}(t)=h(t)\left[K_{M_{1P_1}}+K_{M_{2P_2}}\sum_s C_{1_s}\sin(s\omega_{1_{P_1}}(t)t+\theta_{1_s})\right]$, при $\omega_{1_{P_1}}(t)=\omega_{1_{P_1}}(t_0)$, $h(t)=h(t_0)$,	(103)
	$\lambda_{2_{P_1}}(t)=M(A,t)\left[K_{M_{1P_1}}+K_{M_{2P_2}}\sum_s C_{1_s}\sin(s\omega_{1_{P_1}}(t)t+\theta_{1_s})\right]$, при $\omega_{1_{P_1}}(t)=\omega_{1_{P_1}}(t_0)$, $M(A,t)=M(A,t_0)$,	(104)
	$\lambda_{3_{P_1}}(t)=M(A,t)\,h(t)\,\lambda_{3\omega}(t)$, при $M(A,t)=M(A,t_0)$, $h(t)=h(t_0)$,	(105)
	$\lambda_{3_\omega}(t)=K_{M2_{P_1}}\left[\sum_s C_{1_s}\,st\cos(s\omega_{1_{P_1}}(t)t+\theta_{1_s})\right]$, при $\omega_{1_{P_1}}(t)=\omega_{1_{P_1}}(t_0)$,	(106)
	$K_{\omega_{1_{P_1}}}(t)=K_{P_{21}}\left[\sum_{r_1} C_{r_1}\,t\,r_1\cos(r_1\omega_{1_{P_1}}(t)t+\theta_{r_1})\right]$, при $\omega_{1_{P_1}}(t)=\omega_{1_{P_1}}(t_0)$,	(107)
	$K_{\omega_{5_{P_2}}}(t)=K_{F_{22}}\left[\sum_{r_2} C_{r_2}\,t\,r_2\cos(r_2\omega_{5_{P_2}}(t)t+\theta_{r_1})\right]$, при $\omega_{5_{P_2}}(t)=\omega_{5_{P_2}}(t_0)$,	(108)
	$K(\omega_{1_{P_1}},\omega_{5_{P_2}})=\left[K_{F_1}+K_{F_{21}}\sum_{r_1} C_{r_1}\sin(r_1\omega_{1_{P_1}}(t)t+\theta_{r_1})+K_{F_{22}}\sum_{r_2} C_{r_2}\sin(r_2\omega_{5_{P_2}}(t)t+\theta_{r_2})\right]$, при $\omega_{1_{P_1}}(t)=\omega_{1_{P_1}}(t_0)$, $\omega_{5_{P_2}}(t)=\omega_{5_{P_2}}(t_0)$.	(109)

5.I2. Начальные стационарные состояния моделей УМ выбираются проектировщиком из следующих условий:

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

Таблица 6

Наименование номинальных параметров УМ	Обозначение параметра	Единица измерения
Диаметр шнека исполнительного органа резания $ИО_1$	$Д_1$	м
Число заходов шнека	$i_з$	
Число резцов в линии резания	$n_р$	шт.
Номинальная угловая скорость вала $ИО_1$	$\omega_{2_{P_{1н}}}$	рад/с
Номинальная угловая скорость вала $Д_{P_1}$	$\omega_{1_{P_{1н}}}$	рад/с
Номинальная мощность двигателя $Д_{P_1}$	$P_{P_{1н}}$	кВт
Номинальный ток якорной обмотки $Д_{P_1}$	$I_{P_{1н}}$	А
Номинальное напряжение на якорной обмотке $Д_{P_1}$	$U_{P_{1н}}$	В
Номинальный упругий момент системы $Д_{P_1} - ИО_1$	$M_{12_н}$	Н
Передаточное отношение редуктора $Д_{P_1}$	$i_р$	
Номинальная угловая скорость вала $Д_п$	$\omega_{3_{Пн}}$	рад/с
Номинальная линейная скорость подачи УМ	$V_{Пн}$	м/с
Номинальная мощность двигателя $Д_п$	$P_{Пн}$	кВт
Номинальный ток якорной обмотки $Д_п$	$I_{Пн}$	А
Номинальное напряжение на якорной обмотке $Д_п$	$U_{Пн}$	В
Номинальный упругий момент системы $Д_п - МП$	$M_{34_н}$	Н.м
Передаточное отношение редуктора $Д_п$	$i_п$	

Примечание. При двух исполнительных органах УМ задаются номинальные параметры для $Д_{P_2}$, $ИО_2$ и системы $Д_{P_2} - ИО_2$

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

вестно значение угловых скоростей $\omega_{1p_1}(t_0)$ и $\omega_{2p_1}(t_0)$, 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 $ИО_1$ 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

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

или как линейно возрастающие функции времени

$$M(A,t) = K_M t, \tag{5.8}$$

или как сумма гармонических функций

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

или как произведение гармонических функций

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

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; $K_M = 0{,}1 \div 1{,}0$;

ω – частота гармонических колебаний, рад/с.

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

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

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

Таблица 7

Обозначения элементов	Единица измерения	Оценки статических и динамических характеристик УМ – элементы вектора Y
I	2	3
$I_{Д_1}(t), I_{Д_2}(t)$	А	Зависимости тока в якорных обмотках $Д_{Р_1}$, $Д_{Р_2}$ от времени
$I_{Д_{1max}}, I_{Д_{2max}}$	А	Максимальные амплитудные значения тока в якорных обмотках $Д_{Р_1}$ и $Д_{Р_2}$
$I_{Д_n}(t)$	А	Зависимость тока в якорной обмотке $Д_п$ от времени
$I_{Д_n max}$	А	Максимальная амплитуда тока в якорной обмотке $Д_п$
$t_{I_{Д_1}}, t_{I_{Д_2}}$	с	Продолжительность переходных процессов по току $I_{Д_1}$, $I_{Д_2}$ в якорных обмотках $Д_{Р_1}$, $Д_{Р_2}$
$t_{I_{Д_n}}$	с	Продолжительность переходного процесса по току $I_{Д_n}$ в якорной обмотке $Д_п$
$M_{g_{Д_1}}(t), M_{g_{Д_2}}(t), M_{g_{Д_n}}(t)$	Н.м	Зависимости электромагнитных моментов на валах $Д_{Р_1}$, $Д_{Р_2}$, $Д_п$ от времени
$M_{g_{Д_1 max}}, M_{g_{Д_2 max}}, M_{g_{Д_n max}}$	Н.м	Максимальные электромагнитные моменты на валах $Д_{Р_1}$, $Д_{Р_2}$, $Д_п$
$t_{M_{g_{Д_1}}}, t_{M_{g_{Д_2}}}, t_{M_{Д_n}}$	с	Продолжительность переходных процессов по $M_{g_{Д_1}}$, $M_{g_{Д_2}}$, $M_{g_{Д_n}}$ на валах $Д_{Р_1}$, $Д_{Р_2}$, $Д_п$
$M_{12}(t), M_{56}(t), M_{34}(t)$	Н.м	Зависимости упругих моментов в кинематических передачах $Д_{Р_1}$ – $ИО_1$, $Д_{Р_2}$ – $ИО_2$ и $Д_п$ – МП от времени
$M_{12max}, M_{56max}, M_{34max}$	Н.м	Максимальные амплитудные значения упругих моментов M_{12}, M_{56}, M_{34}
$\omega_{1_{Д_1}}(t), \omega_{5_{Д_2}}(t), \omega_{3_{Д_n}}(t)$	рад/с	Зависимости угловых скоростей валов двигателей $Д_{Р_1}$, $Д_{Р_2}$, $Д_п$ от времени
$\omega_{2_{Д_1}}(t), \omega_{6_{Д_2}}(t), \omega_{4_{Д_n}}(t)$	рад/с	Зависимости угловых скоростей валов $ИО_1$, $ИО_2$ и тяговой звезды механизма подачи от времени
$t_{\omega_{1_{Д_1}}}, t_{\omega_{5_{Д_2}}}, t_{\omega_{3_{Д_n}}}$	с	Продолжительность переходных процессов по $\omega_{1_{Д_1}}$, $\omega_{5_{Д_2}}$, $\omega_{3_{Д_n}}$
$t_{\omega_{2_{Д_1}}}, t_{\omega_{6_{Д_2}}}, t_{\omega_{4_{Д_n}}}$	с	Продолжительность переходных процессов по $\omega_{2_{Д_1}}$, $\omega_{6_{Д_2}}$, $\omega_{4_{Д_n}}$

Окончание табл. 7

1	2	3
$V_n(t)$	м/с	Зависимость линейной скорости подачи УМ от времени
t_{V_n}	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 $Д_{P_1}$, $Д_{P_2}$, $Д_n$ 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 $Д_{P_1}$
$K_{M_{g_2}} = M_{g.P_2 max}/M_{g.P_2 cp}$		Коэффициент динамичности $Д_{P_2}$
$K_{M_n} = M_{g.n max}/M_{g.n cp}$		Коэффициент динамичности $Д_n$
$K_{з.P_1} = M_{12 max}/M_{12 н}$		Коэффициент загрузки кинематической передачи $Д_{P_1}$ – $ИО_1$
$K_{з.P_2} = M_{56 max}/M_{56 н}$		Коэффициент загрузки кинематической передачи $Д_{P_2}$ – $ИО_2$
$K_{з.n} = M_{34 max}/M_{34 н}$		Коэффициент загрузки кинематической передачи $Д_n$ – МП
$\sigma_{I_{P_1}}, \sigma_{I_{P_2}}, \sigma_{I_n}$	А	Среднеквадратичные отклонения тока в якорных обмотках $Д_{P_1}$, $Д_{P_2}$, $Д_n$ от номинальных значений $I_{P_{1н}}$, $I_{P_{2н}}$, $I_{nн}$
$\sigma_{M_{12}}, \sigma_{M_{56}}, \sigma_{M_{34}}$	Н.м	Среднеквадратичные отклонения упругих моментов от номинальных значений $M_{12н}$, $M_{56н}$, $M_{34н}$
$\sigma_{\omega_{1P_1}}, \sigma_{\omega_{5P_2}}, \sigma_{\omega_{3n}}$	рад/с	Среднеквадратичные отклонения угловых скоростей от номинальных значений $\omega_{1P_{1н}}$, $\omega_{5P_{2н}}$, $\omega_{3n_н}$
$\tau_{P_1}(t), \tau_{P_2}(t), \tau_n(t)$	град	Зависимость температуры соответственно в якорных обмотках $Д_{P_1}$, $Д_{P_2}$, $Д_n$ от времени
$\tau_{P_1 max}, \tau_{P_2 max}, \tau_{n max}$	град	Максимальное значение температуры якорных обмоток соответственно $Д_{P_1}$, $Д_{P_2}$, $Д_n$
$P_{P_1 max}, P_{P_2 max}, P_{n max}$	кВт	Максимальные значения потребляемой мощности соответственно $Д_{P_1}$, $Д_{P_2}$, $Д_n$

Таблица 8

№ п/п	Наименование варьируемых конструктивных параметров УМ	Базовое обозначение параметра	Приращение к базовому значению	Единица измерения	Примечание
I	Индуктивность якорной обмотки $Д_{р_1}$	$L_{я_{р_1}}$	$\Delta L_{я_{р_1}} = \pm 50\% L_{я_{р_1}}$	Г	Базовые значения параметров I ... 4 могут быть определены: по паспортным данным двигателя; расчетным путем [II]; экспериментально
2	Индуктивность якорной обмотки $Д_п$	$L_{я_п}$	$\Delta L_{я_п} = \pm 50\% L_{я_п}$	Г	
3	Активное сопротивление якорной обмотки $Д_{р_1}$	$R_{я_{р_1}}$	$\Delta R_{я_{р_1}} = \pm 50\% R_{я_{р_1}}$	Ом	
4	Активное сопротивление якорной обмотки $Д_п$	$R_{я_п}$	$\Delta R_{я_п} = \pm 50\% R_{я_п}$	Ом	
5	Передаточное отношение редуктора				
5	Передаточное отношение редуктора $Д_{р_1}$ $Д_п$	$i_р$ $i_п$	$\Delta i_р = \pm 25\% i_р$ $\Delta i_п = \pm 25\% i_п$		Базовые значения параметров 5...II рассчитываются по номинальным параметрам УМ
6	Момент инерции исполнительного органа резания $ИО_1$	J_2	$\Delta J_2 = \pm 25\% J_2$	кг.м^2	
7	Момент инерции якоря $Д_{р_1}$	J_1	$\Delta J_1 = \pm 25\% J_1$	кг.м^2	
8	Момент инерции якоря $Д_п$	J_3	$\Delta J_3 = \pm 25\% J_3$	кг.м^2	
9	Масса УМ	$m_к$	$\Delta m = \pm 25\% m_к$	кг	
I0	Жесткость кинематических передач редуктора $Д_{р_1}$	C_{12}	$\Delta C_{12} = \pm 25\% C_{12}$	Н.м/рад	
II	Жесткость кинематических передач редуктора $Д_п$	C_{34}	$\Delta C_{34} = \pm 25\% C_{34}$	Н.м/рад	
I2	Кинематическая погрешность передач какого-либо редуктора	$\Delta\varphi_{к.п_\ell}$	$\Delta(\Delta\varphi_{к.п_\ell} = \pm 25\% \Delta\varphi_{к\,п_\ell})$	рад	По [7]: $\Delta\varphi_{к.п_\ell}$ = = 0,3054 рад
I3	Коэффициенты вязкого трения какого-либо редуктора	β_{i_ℓ}	$\beta_{i_\ell} = \pm 25\% \beta_{i_\ell}$		По [I2]: $\beta_{i_\ell} = 2\varepsilon\sqrt{C_{i,j} I_\ell}$, где ε = 0,I5... 0,25. Индексы i, j; ℓ определены выше.

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

или экспоненциально-косинусными корреляционными функциями

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

где D – дисперсия обобщенного показателя сопротивляемости угля разрушению, $Н^2 \cdot м^2$.

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

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

$$W_{тр_\ell}(p) = \frac{K_\ell}{(T_{з_\ell} p + 1)(T_{ч_\ell} p + 1)}, \qquad (5.13)$$

где K_ℓ – коэффициент усиления ℓ-го тиристорного преобразователя,

$T_{з_\ell}$, $T_{ч_\ell}$ – постоянные времени ℓ-го тиристорного преобразователя, с.

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

$$U_\ell(t) = U_{\ell_н}\left(1 + C_1 e^{-t/T_з} - C_2 e^{-t/T_ч}\right), \qquad (5.14)$$

где

$$C_1 = \frac{T_з}{T_ч - T_з}, \quad C_2 = \frac{T_ч}{T_ч - T_з}. \qquad (5.15)$$

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).

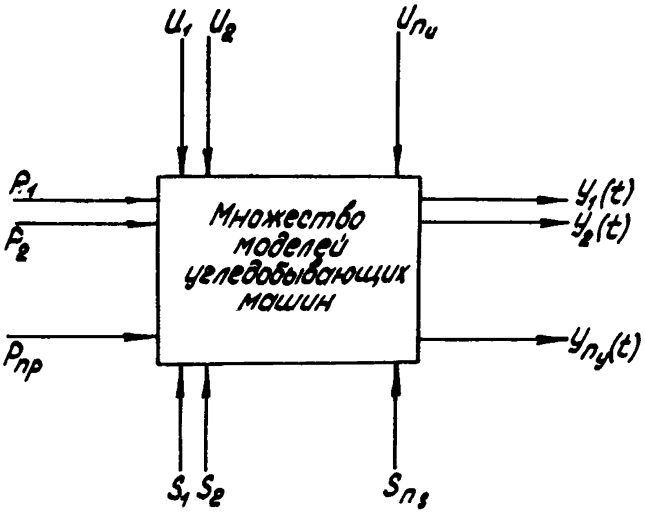

Рис. 7. УМ как объекты имитационного моделирования

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

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

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

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 $t_i (t_0 \leqslant t_i \leqslant t_n)$, 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.I), (6.2). Обозримый полный факторный эксперимент [I3,I8], позволяющий рассчитать (6.I), (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.I), (6.2) соотношения:

для двухмассных моделей при $t \to \infty$

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

где Σ_i - вектор варьируемых параметров моделей УМ, который будет составлять:

при детерминированных возмущениях:

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

при случайных возмущениях:

$$\left.\begin{array}{l} i=5,\ \Sigma_5=\{J_1, J_5, M(A,t_0), G(M(A,t_0))\}, \\ i=6,\ \Sigma_6=\{U_{p_1}, U_n, M(A,t_0), G(M(A,t_0))\}, \\ i=7,\ \Sigma_7=\{C_{12}, C_{34}, M(A,t_0), G(M(A,t_0))\}, \\ i=8,\ \Sigma_8=\{T_{p_1}, T_n, M(A,t_0), G(M(A,t_0))\}, \end{array}\right\} \qquad (6.5)$$

для одномассных моделей при $t \to \infty$

$$\left.\begin{aligned} I_{p_1 max} &= f_{15}(\Sigma_i), & V_n &= f_{39}(\Sigma_i), \\ I_{p_1} &= f_{16}(\Sigma_i), & h &= f_{3_{10}}(\Sigma_i), \\ I_{n\,max} &= f_{17}(\Sigma_i), & \tau_{p_1 max} &= f_{53}(\Sigma_i), \\ I_n &= f_{18}(\Sigma_i), & \tau_{n\,max} &= f_{54}(\Sigma_i), \\ P_{p_1 max} &= f_{63}(\Sigma_i), & P_{n\,max} &= f_{64}(\Sigma_i), \end{aligned}\right\} \qquad (6.6)$$

где Σ_i будет:

при детерминированных возмущениях:

$$\left.\begin{aligned} i=9,\ \Sigma_9 &= \left\{ J_1', M(A,t_0), U_n, U_{p_1}, T_n \right\}, \\ i=10,\ \Sigma_{10} &= \left\{ J_3', M(A,t_0), U_n, U_p, T_{p_1} \right\}, \\ i=11,\ \Sigma_{11} &= \left\{ T_{p_1}, M(A,t_0), T_n, U_p, U_n \right\}, \\ i=12,\ \Sigma_{12} &= \left\{ T_{p_1}, T_n, J_1', M(A,t_0) \right\}, \end{aligned}\right\} \qquad (6.7)$$

при случайных возмущениях:

$$\left.\begin{aligned} i=13,\ \Sigma_{13} &= \left\{ J_1', M(A,t_0), \sigma(M(A,t_0)), U_n \right\}, \\ i=14,\ \Sigma_{14} &= \left\{ J_3, M(A,t_0), \sigma M(A,t_0), U_n \right\}, \\ i=15,\ \Sigma_{15} &= \left\{ T_{p_1}, M(A,t_0), \sigma(M(A,t_0)), U_{p_1} \right\}, \\ i=16,\ \Sigma_{16} &= \left\{ T_{p_1}, T_n, M(A,t_0), \sigma(M(A,t_0)) \right\}. \end{aligned}\right\} \qquad (6.8)$$

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

$T_{p_1} = L_{я_{p_1}}/R_{я_{p_1}}$, $T_n = L_{я_n}/R_{я_n}$ – электромагнитные постоянные соответственно $Д_{p_1}$ и $Д_n$;

$\sigma(M(A,t_0))$ – среднеквадратичное отклонение $M(A,t)$, Н.м.

Вектор Σ_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 [I3,I8]:

$$Y_Д = f_Д(Z_i, Z_j, Z_\ell, \dots) = b_0 + \sum_{i=1}^{K} b_i Z_i + \sum_{i,j}^{K} b_{ij} Z_i Z_j + \dots, \qquad (6.9)$$

где Z_i, Z_j, Z_ℓ, ... – нормированные (безразмерные) варьируемые факторы численных экспериментов – элементы векторов Σ_i в относительных единицах.

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

$$\gamma_{нар_{i(j,\ell)}} = \gamma_{б.нар_{i(j,\ell)}} \pm \Delta\gamma_{нар_{i(j,\ell)}}.$$

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

$$Z_{i(j,\ell)} = \frac{\gamma_{нар\,i(j,\ell)} - \gamma_{б.нар\,i(j,\ell)}}{\Delta\gamma_{нар\,i(j,\ell)}} . \qquad (6.10)$$

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

Проведение численных экспериментов на ЭВМ с применением теории оптимального планирования [13,18] и стратегии полных факторных экспериментов характеризуется тем, что вычисления оценок Y_λ в точках матрицы планирования равноточны. Это соответствует равенству нулю дисперсий Y_λ 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]

$$\beta_0 = \left(\sum_i Y_\lambda\right)/2^m, \quad i = \overline{1,N}, \qquad (6.11)$$

$$\beta_j = \left(\sum_i Z_{ij} Y_\lambda\right)/2^m, \quad i = \overline{1,N}, \qquad (6.12)$$

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

m – количество варьируемых факторов в анализируемой модели УМ;

Y_λ – 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 $Y_\lambda(z_0)$ в базовой точке матрицы планирования с значением коэффициента β_0. Должно выполняться условие:

$$\left(Y_\lambda(z_0) - \Delta Y_{\lambda p}\right) \leqslant \beta_0 \leqslant \left(Y_\lambda(z_0) + \Delta Y_{\lambda p}\right), \qquad (6.13)$$

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

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 $\Delta\gamma_{нар\,i(j,\ell)}$ и проводят новую серию численных экспериментов с моделями УМ на ЭВМ.

Таблица 9

Номер эксперимента (точки матрицы планирования)	Нормированные факторы Z_i				
	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
I0	-I	+I	+I	-I	+I
II	+I	-I	+I	-I	+I
I2	-I	-I	+I	-I	+I
I3	+I	+I	-I	-I	+I
I4	-I	+I	-I	-I	+I
I5	+I	-I	-I	-I	+I
I6	-I	-I	-I	-I	+I
I7	+I	+I	+I	+I	-I
I8	-I	+I	+I	+I	-I
I9	+I	-I	+I	+I	-I
20	-I	-I	+I	+I	-I
2I	+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
3I	+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 $N = 2^m + I$, где $m = 2,\ldots,5$. 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.I0) интерполяционные полиномы (6.9) преобразуют из безразмерной нормированной формы в естественную. Последняя используется для построения статических зависимостей $Y_\lambda = f(\gamma_{nap_{i(j,\ell)}})$ 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 областью 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 ΔA, разобьем область существования a_{ij} сеткой, имеющей N узлов, где

$$N = N_{\Delta\sigma} N_{\Delta A}, \qquad (6.I4)$$

$$N_{\Delta\sigma} = \left(\sigma(A_{max}) - \sigma(A_{min})\right) / \Delta\sigma(A), \qquad (6.15)$$

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

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 $t \to t_n$ 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 такие, 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 $\gamma = \{\gamma_j\}$, $j = \overline{1, n_j}$.

Каждый из настраиваемых параметров β_i изменяется в диапазоне

$$\beta_{i\,min} \leqslant \beta_i \leqslant \beta_{i\,max}. \qquad (7.1)$$

Неравенства (7.I) 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 обеспечит снижение динамической нагруженности конструктивных элементов машины 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 [I4,20...22].

Надежность – это вероятность безотказной работы УМ между двумя капитальными ремонтами. Обозначим этот параметр δN.

Долговечность – это период времени, в продолжении которого с вероятностью не ниже δN угледобывающая машина будет находиться в работоспособном состоянии и не потребует капитальных ремонтов. Введем обозначение долговечности $T_д$, лет.

Доказано, что экономически и технически достаточным является обеспечение установленных проектных уровней надежности $\delta N_п$ и долговечности $T_д$ горных машин [2I] в период их эксплуатации, это позволяет определить функционал качества параметрической настройки САУ УМ как требование обеспечить выполнение следующих условий:

$$\left.\begin{aligned} \delta_{N_п} &\leqslant \mathcal{J}_{\delta_N}(\pi, \alpha_{оу}, \gamma, \beta) \leqslant 1, \\ T_{д_п} &\leqslant \mathcal{J}_{T_д}(\pi, \alpha_{оу}, \gamma, \beta) \leqslant T_{дм}, \end{aligned}\right\} \qquad (7.2)$$

где $T_{д.м}$ – так называемый уровень моральной долговечности машины [I4];

$\mathcal{J}_{\delta_N}$, $\mathcal{J}_{T_д}$ – 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 $t \geqslant t_n$ не отличаются более, чем на допустимую ошибку ΔX, ΔZ от теоретически возможных значений $X(t_n)$ и $Z(t_n)$, а на всем интервале $t_0 \leqslant t_i \leqslant t_n$ (где $t_i = i\Delta t$, $i = 1,2,\ldots n$, 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:

$$\left.\begin{aligned} I_n(t_i) = I_{пуст}(t) \leqslant (3\ldots5)\, I_{n.н} = I_{max}, \text{ при } t_0 \leqslant t \leqslant T \\ I_n(t_i) \leqslant I_{n.н}(t) = I_{л\,ист}(t)\big|_{t\to\infty} \end{aligned}\right\} \qquad (7.3)$$

или с учетом допустимой погрешности

$$\left.\begin{aligned} \left|I_n(t_i) - I_{max}\right| \leqslant \Delta I_n(t_i), \text{ при } t_0 \leqslant t_i \leqslant T, \\ \left|I_n(T) \quad I_{n.n}\right| \leqslant \Delta I_n(T)\big|_{T\to\infty}. \end{aligned}\right\} \qquad (7.4)$$

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:

$$\left.\begin{aligned} &\dot{X}(t) = f\big(A, B, F, f(t), \alpha_{оу}, \gamma, \beta, \mu(t)\big),\ X(t_0) = X_0, \\ &Z(t) = f\big(C, X(t)\big),\ Z(t_0) = Z_0, \\ &\mu(t) = f\big(f(t), X(t), Z_3(t), \alpha_{оу}, \gamma, \beta\big),\ \gamma_{оу} = \gamma^{*}_{оу}, \\ &\left|X_{i_x}(t_i) - X_{i_x max}\right| \leqslant \Delta X_{i_x}(t_i),\ t_0 \leqslant t_i \leqslant T,\ i_x = \overline{1,N}, \\ &\left|X_{i_x}(T) - X_{i_x уст}\right| \leqslant \Delta X_{i_x}(T),\ T \to \infty,\ i = \overline{1,n_p}, \\ &\beta_{i_\beta min} \leqslant \beta \leqslant \beta_{i_\beta max},\ i_\beta = \overline{1,n_\beta},\ \alpha_{оу} = \alpha^{*}_{оу}, \\ &\sigma_{Nn} \leqslant \mathcal{J}_{\sigma_N}(\pi, \alpha_{оу}, \gamma, \beta) \leqslant 1, \\ &T_{\partial n} \leqslant \mathcal{J}_{T_\partial}(\pi, \alpha_{оу}, \gamma, \beta) \leqslant T_{\partial.м} \end{aligned}\right\} \qquad (7.5)$$

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

Имея численные значения компонентов вектора π, может косвенно сравнить значения функционалов $\mathcal{J}_{\sigma_M}$, $\mathcal{J}_{T_\partial}$ 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.I) для возможных условий работы машины:

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

$$\left.\begin{aligned}
&\dot{X}(t) = AX(t) + B\mu(t) + F\mathcal{F}(t),\ X(t_0) = X_0,\\
&\mathcal{F}(t) = f_1(t),\ f_1(t_0) = f_{10},\ \mu(t_0) = \mu_0,\ \alpha_{oy} = \alpha^{\circ}_{oy},\ \gamma_{oy} = \gamma^{\circ}_{oy},\\
&Z(t) = CX(t),\ Z_\partial(t) = f_2(t),\ \varepsilon(t) = Z_\partial(t) - Z(t),\\
&\mu(t) = f_\varphi\left(\mathcal{F}(t), \varepsilon(t), Z_\partial(t), \beta, \gamma_{oy}, \alpha_{oy}\right),\\
&\beta_{i_\beta min} \le \beta_{i_\beta} \le \beta_{i_\beta max},\ i_\beta = \overline{1, n_\beta},\\
&\left|X_{i_x}(t_i) - X_{i_x max}\right| \le \Delta X_{i_x}(t_i),\ t_0 \le t \le T,\\
&\left|X_{i_x}(T) - X_{i_x уст}\right| \le \Delta X_{i_x}(T),\ T \longrightarrow \infty
\end{aligned}\right\} \quad (7.6)$$

где $f_1(t)$, $f_2(t)$ – известные (прогнозируемые) функции времени;

f_φ – 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:

$$\left.\begin{aligned}
&\dot{X}(t) = AX(t) + B\mu(t) + F\mathcal{F}(t),\ X(t_0) = X_0,\ \mathcal{F}(t) = f_1(t),\\
&f_1(t_0) = f_{10},\ \mu(t_0) = \mu_0,\ \alpha_{oy} = \alpha^{\circ}_{oy},\ \gamma_{oy} = \gamma^{\circ}_{oy},\ Z_\partial(t) = f_2(t),\\
&Z(t) = CX(t),\ \varepsilon(t) = Z_\partial(t) - Z(t),\\
&\mu(t) = f_\varphi\left(\varepsilon(t), Z_\partial(t), \mathcal{F}(t), \beta, \gamma_{oy}, \alpha_{oy}\right),\\
&\beta_{i_\beta min} \le \beta_{i_\beta} \le \beta_{i_\beta max},\ i_\beta = \overline{1, n_\beta},\\
&\partial\pi_j / \partial\beta_{i_\beta} \longrightarrow min,\ \pi = \{\pi_j\},\ j = \overline{1, n_\pi},\\
&\left|X_{i_x}(t_i) - X_{i_x max}\right| \le \Delta X_{i_x}(t_i),\ t_0 \le t_i \le T,\\
&\left|X_{i_x}(T) - X_{i_x уст}\right| \le \Delta X_{i_x}(T),\ T \longrightarrow \infty,\\
&\bar{X}^2_{i_x}(t_0) \le \bar{X}^2_{g_{i_x}}(t_i), M[\mathcal{F}(t)] = f_3(t), M[\mathcal{F}(t), \mathcal{F}^T(t)] = Q_f G(t-\tau),
\end{aligned}\right\} \quad (7.7)$$

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

$\bar{X}^2_{i_x}(t_i)$, $\bar{X}^2_{g_{i_x}}(t_i)$ – 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 двухмассных линеаризованных моделей в форме обыкновенных дифференциальных уравнений;

вектор возмущающих воздействий представлен обобщенным показателем сопротивляемости угля 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: СПР, СРП – блоки, учитывающие взаимовлияние приводов подачи и резания, резания и подачи; $Z_{з.р}$, $Z_{з.п}$ – векторы задающих воздействий по каналам приводов резания и подачи; $\varepsilon_р(t)$, $\varepsilon_п(t)$ – векторы отклонения по соответствующим каналам $\varepsilon_р(t) = Z_{з.р}(t) - y_р(t)$, $\varepsilon_п(t) = Z_{з.п}(t) - y_п(t)$, где $y_р(t)$ и $y_п(t)$ – выходные, регулируемые координаты УМ по соответствующим каналам; $\mu_р(t)$, $\mu_п(t)$ – векторы управляющих воздействий; $M(A,t)$ – обобщенный показатель сопротивляемости угля разрушению.

Из элементов вектора $y(t)$ для формирования управляющих воздействий используются реально измеримые координаты: токи якорных обмоток, угловые 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 $Д_р$ и $Д_п$- приводные двигатели резания и подачи, ИО и МП - исполнительный орган резания и механизм подачи, ТПДР и ТПДП - 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" ($\omega_{1_{p_1}}$, $\omega_{2_{p_1}}$, M_{12} , M_{34} , $\mathcal{H}$, $V_п$ 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 $Д_р$ $-ИО$ путем изменения угловых скоростей валов двигателей исполнительного органа резания $Д_р$ и механизма подачи $Д_п$. На рис.10: $РСДР$, $РМР$ - соответственно регуляторы скорости двигателя резания и упругого момента в трансмиссии $Д_р$ $-ИО$; $РТДР$, $РТДП$ - регуляторы тока приводных двигателей исполнительного органа резания $Д_р$ и механизма подачи $Д_п$.

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

качества, будем ориентироваться на программные средства МАСС [I6, I7].

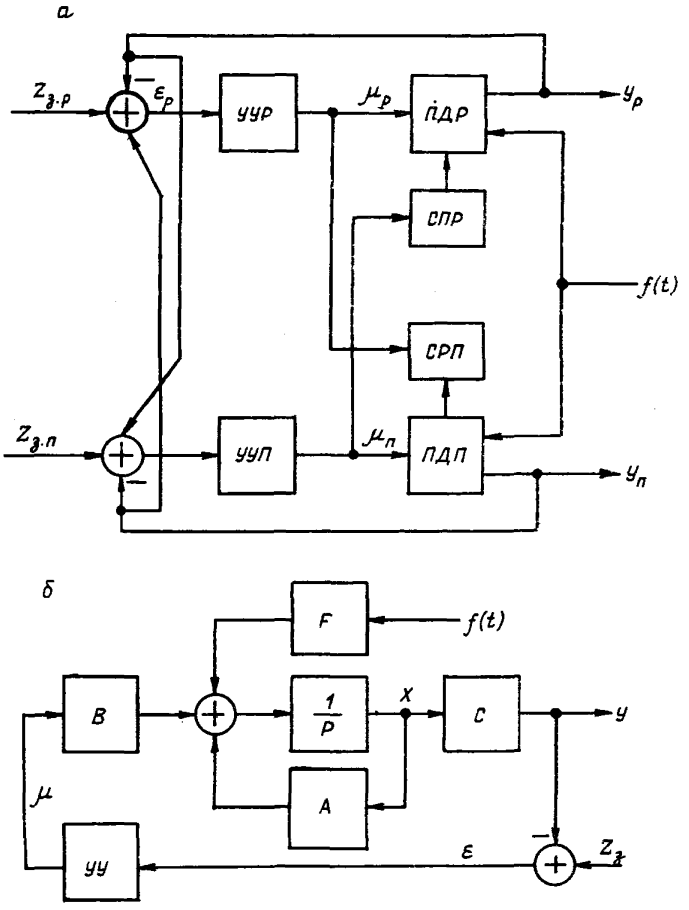

Рис.8. Функциональная (а) и структурная (б) схемы САУ УМ

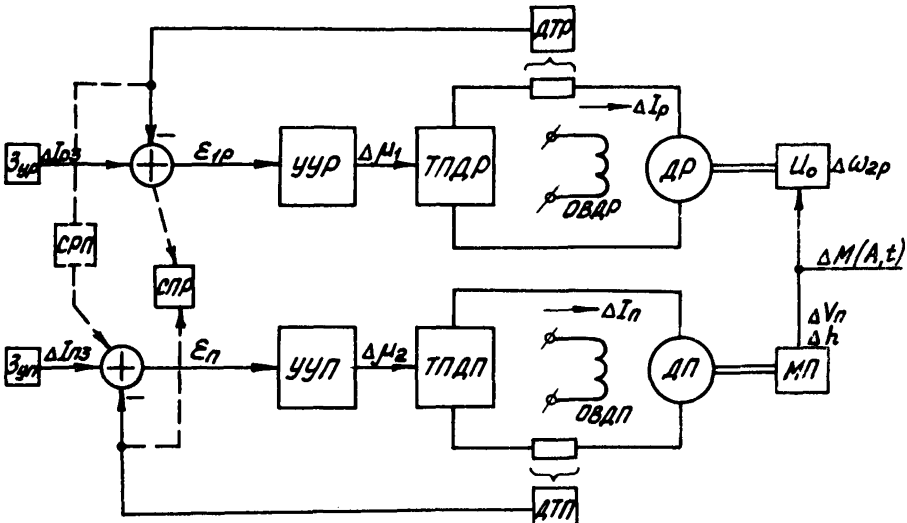

Рис. 9. Функциональная схема многосвязной САУ нагрузкой УМ

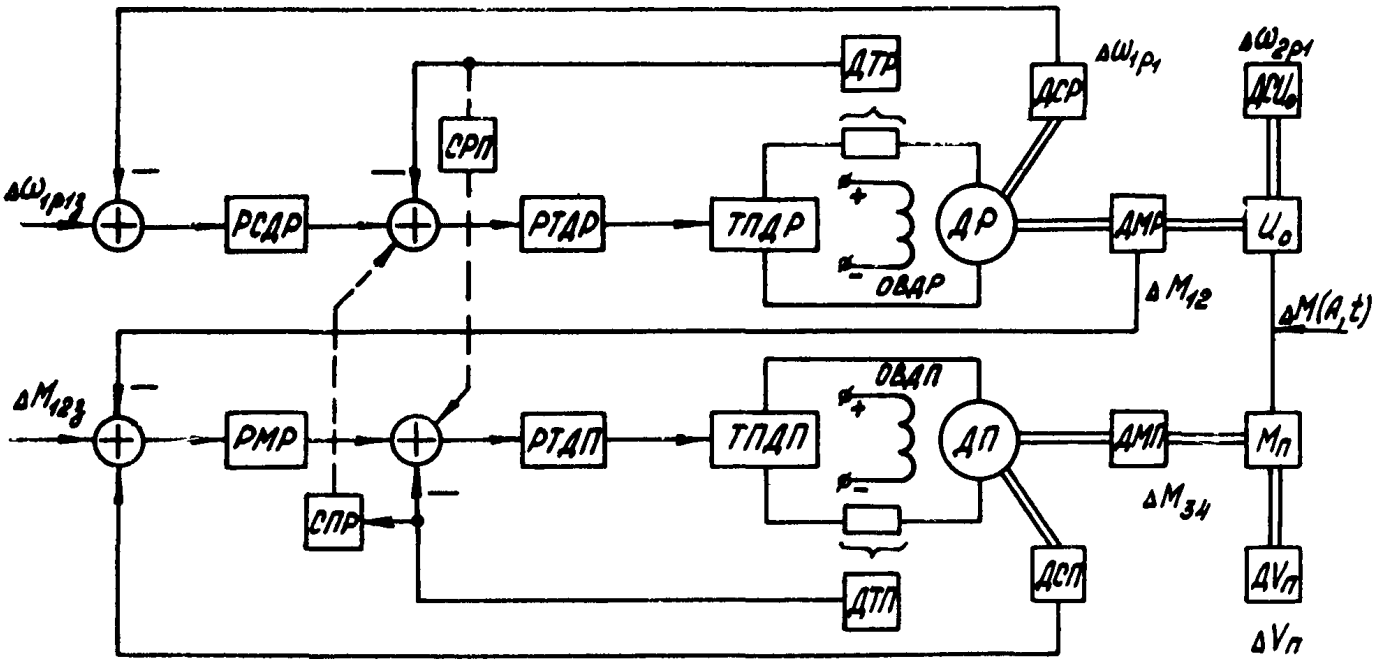

Рис. 10. Функциональная многосвязная САУ упругим моментом M_{12} УМ

Исходная информация:

линеаризованные модели УМ, полученные по описанной выше методике в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений;

модели тиристорных преобразователей (5.I3),(5.I4), (5.I5);

модели управляющих устройств с фиксированной структурой:

П-регулятора

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

ПИ-регулятора

$$\mu_i(P) = \varepsilon_i K_{p_i} + \frac{K_{n_i}}{T_{u_i} P}\,\varepsilon_i(P), \tag{7.9}$$

ПИД-регулятора

$$\mu_i(P) = \varepsilon_i(P)\left[K_{p_i} + \frac{K_{n_i}}{T_{u_i} P} + T_{\partial_i}\frac{P}{T_{\varphi_i} P + 1}\right], \tag{7.I0}$$

где K_{p_i} , K_{n_i} , T_{u_i} , T_{∂_i} – настраиваемые параметры регуляторов,

T_{φ_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

$$\varepsilon_i(P) = Z_з(P) - Z(P); \tag{7.II}$$

модели перекрестных связей *СПР*, *СРП* (см.рис.7 и 9), описываемые уравнениями типа (7.8)...(7.I0);

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 $Z_з(t)$: ступенчатые или близкие к ним апериодические функции с малой постоянной времени;

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

диапазоны вариации настраиваемых параметров управляющих устройств

$$K_{p_i\,min} \leqslant K_{p_i} \leqslant K_{p_i\,max}, \tag{7.I2}$$

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

$$T_{u_i min} \leq T_{u_i} \leq T_{u_i max}, \qquad (7.14)$$

$$T_{\partial_i min} \leq T_{\partial_i} \leq T_{\partial_i max}; \qquad (7.15)$$

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

$$J_{1_\ell} = \int_{t_0}^{t_n} \varepsilon_\ell(t)\,dt \approx \sum_{t_0}^{t_n} \varepsilon_\ell(t_i) \qquad (7.16)$$

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

$$J_{2_\ell} = \sigma_\ell = \sqrt{D_\ell}, \qquad (7.17)$$

где D_ℓ - дисперсия ℓ-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_β настраиваемых параметров управляющих устройств. Они образуют n_β-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_β-мерной области настраиваемых параметров выбирается исходная базовая точка. Ее координаты первоначально выбираются равными

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

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^{n_β} точек матрицы планирования. Любая из 2^{n_β} 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 [I9,23];

для поиска настраиваемых параметров, обеспечивающих экстремум оценок качества (7.I6),(7.I7), организуются процедуры направленного поиска. При этом можно использовать любую численную процедуру поиска условного экстремума функций многих переменных типа (7.I6), (7.I7): метод Гаусса-Зейделя, метод градиента и его модификации, метод крутого восхождения, методы случайного поиска [I8,24].

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 экстренных 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

I. ОСТ I2.47.60I-73. Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах. Методика. Взамен ОСТ 24.070.03; введен I.05.I984. - I84 с.

2. ОСТ I2.44.I09-79. Комбайны очистные. Выбор спектров эксплуатационной нагруженности трансмиссий. Методика. Взамен ОСТ 24.070.06; введен I.07.I979. - 28 с.

3. Докукин А. В., Фролов А. Г., Позин Е.З. Выбор параметров выемочных машин. - М.: Наука, I976. - I50 с.

4. Чиликин М. Г., Сандлер А. С. Общий курс электропривода. - М.: Энергоиздат, I98I. - 432 с.

5. ОСТ 24.070.16. Машины очистные. Комбайны. Выбор параметров асинхронных двигателей по нагрузочной способности. Методика. Введен 1.1.1971. – 20 с.

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

7. Докукин А. В., Красников Ю. Д., Хургин 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, № 11, 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.–Л.: 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. *Машинный анализ и синтез нелинейных систем.* Методические указания по курсу "Машинное 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.Кузищин, 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.

П Р И Л О Ж Е Н И Я

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 $\tau_{\ell_1} = 0$, $\tau_{\ell_2} = 0$, $\tau_{\ell_3} = I$, $K_{M_{1P_1}} = I$, $K_{M_{1P_2}} = I$, $K_{F_1} = I$, $K_{M_{2P_1}} = 0$, $K_{M_{2P_2}} = 0$, $K_{F_{21}} = 0$, $K_{F_{22}} = 0$;
для привода первого исполнительного органа резания:

$$L_{я_{P_1}} \frac{dI_{P_1}}{dt} = U_{P_1}(t) - K_{E_{P_1}} \omega_{1_{P_1}}(t) - I_{P_1}(t) R_{я_{P_1}}, \qquad (I)$$

$$J_1 \frac{d\omega_{1_{P_1}}}{dt} = K_{M_{1_{P_1}}} I_{P_1}(t) - C_{12}\left(\varphi_{1_{P_1}}(t) - \varphi_{2_{P_1}}(t)\right), \qquad (2)$$

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

для привода второго исполнительного органа резания:

$$L_{я_{P_2}} \frac{dI_{P_2}}{dt} = U_{P_2}(t) - K_{E_{P_2}} \omega_{5_{P_2}}(t) - I_{P_2}(t) R_{я_{P_2}}, \qquad (4)$$

$$J_5 \frac{d\omega_{5_{P_2}}}{dt} = K_{M_{P_2}} I_{P_2}(t) - C_{56}\left(\varphi_{5_{P_2}}(t) - \varphi_{6_{P_2}}(t)\right), \qquad (5)$$

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

для привода механизма подачи:

$$L_{я_n} \frac{dI_n}{dt} = U_n(t) - K_{E_n} \omega_{3_n}(t) - I_n(t) R_{я_n}, \qquad (7)$$

$$J_3 \frac{d\omega_{3_n}}{dt} = K_{M_n} I_n(t) - C_{34}\left(\varphi_{3_n}(t) - \varphi_{4_n}(t)\right), \tag{8}$$

$$\frac{r_3}{i_n} m_K \frac{dV_n}{dt} = C_{34}\left(\varphi_{3_n}(t) - \varphi_{4_n}(t) - F_{c.n}(A,t)\frac{r_3}{i_n}\right); \tag{9}$$

для взаимодействия УМ с разрушаемым массивом:

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

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

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

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

Программные аналоги математических моделей УМ

I.I. 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:

$$\Delta \dot{I}_{p_1}(t) = \frac{1}{L_{я p_1}} \left(\Delta U_{p_1}(t) - \Delta I_{p_1}(t) R_{я p_1} - K_{\varepsilon p_1} \Delta \omega_{1 p_1}(t) \right), \tag{I}$$

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

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

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

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

$$\Delta I_n(t) = \frac{1}{L_{я n}} \left(\Delta U_n(t) - \Delta I_n(t) R_{я n} - K_{\varepsilon n} \Delta \omega_{3 n}(t) \right), \tag{6}$$

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

$$\Delta \dot{\omega}_{3 n}(t) = \frac{1}{J_3} \left(K_{M n} \Delta I_n(t) - C_{3 u} \left(\Delta \varphi_{3 n}(t) - \frac{1}{\tau_з} q_1(t) \right) \right), \tag{8}$$

$$\Delta \dot{V}_n(t) = \frac{i_n}{m_к \tau_з} \left(C_{3 u} \left(\Delta \varphi_{3 n}(t) - \frac{1}{\tau_з} q_1(t) \right) - C_3 \frac{\tau_з}{i_n} h(t_0) \Delta M(A,t) - C_3 \frac{\tau_з}{i_n} M(A, t_0) \Delta h(t) \right), \tag{9}$$

$$\dot{q}_1(t) = \Delta V_n(t), \tag{I0}$$

$$\Delta \dot{h}(t) = \Delta V_n(t) - \lambda_4(t) - \frac{V_{n_0}}{\omega_{2 p_{1 0}}} \Delta \omega_{2 p_1}(t) + \frac{V_{n_0}}{\omega_{2 p_{1 0}}} \eta_4(t), \tag{II}$$

$$\dot{\lambda}_1(t) = (m/\tau_p)(\Delta V_n(t) - \lambda_1(t)), \tag{I2}$$

$$\dot{\lambda}_2(t) = (m/\tau_p)(\lambda_1(t) - \lambda_2(t)), \tag{I3}$$

$$\dot{\lambda}_3(t) = (m/\tau_p)(\lambda_2(t) - \lambda_3(t)), \tag{I4}$$

$$\dot{\lambda}_4(t) = (m/\tau_p)(\lambda_3(t) - \lambda_4(t)), \tag{I5}$$

$$\dot{\eta}_1(t) = (m/\tau_p)(\Delta \omega_{2 p_1}(t) - \eta_1(t)), \tag{I6}$$

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

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

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

$$\Delta U_{p_1}(p) = \frac{K_{p_1}}{T_{3p_1}p+1} \cdot \frac{1}{T_{4p_1}p+1} \Delta U_{p t_0}, \qquad (20)$$

$$\Delta U_n(p) = \frac{K_n}{T_{3n}p+1} \cdot \frac{1}{T_{4n}p+1} \Delta U_{n t_0}, \qquad (21)$$

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

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 сопротивляемости угля разрушению, коэффициент усиления и постоянная времени фильтра. При $T_f \to 0$ функция $\Delta M(A,t)$ близка к ступенчатой функции с установившейся амплитудой $K_f \Delta M(A,t_0)$.

I.2. С помощью средств МАСС уравнения (I)...(22) реализуются структурно функциональными блоками интегрирования, суммирования, умножения, деления, инерционного звена, блоков формирования постоянных и случайных воздействий. Исходной информацией для составления программного аналога (I)...(22) являются схемы моделей УМ (рис.I,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 (I)...(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 (I)...(22) можно добавить уравнения для вычисления упругих моментов ΔM_{12}, ΔM_{34}, подводимой и потребляемой мощности приводных двигателей:

$$\Delta M_{12}(t) = C_{12}(\Delta\varphi_{1p_1}(t) - \Delta\varphi_{2p_1}(t)), \qquad (23)$$

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

$$\Delta P_{p_1}(t) = \Delta U_{p_1}(t)\,\Delta I_{p_1}(t), \qquad (25)$$

$$\Delta P_{р_1 пот}(t) = K_{м_{р_1}} \Delta I_{р_1}(t) \Delta \omega_{1_{р_1}}(t), \quad (26)$$

$$\Delta P_{п}(t) = \Delta U_{п}(t) \Delta I_{п}(t), \quad (27)$$

$$\Delta P_{п.пот}(t) = K_{м_п} \Delta I_{п}(t) \Delta \omega_{з_п}(t). \quad (28)$$

I.3. Программный аналог (I)...(28), названный *SAY 231* , приведен в приложении 6. Исходные данные и начальные условия *SAY231* получены для УМ типа КI28П 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 , ω_1 , ω_2 , ω_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-Кутта, 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,
× – блок умножения.

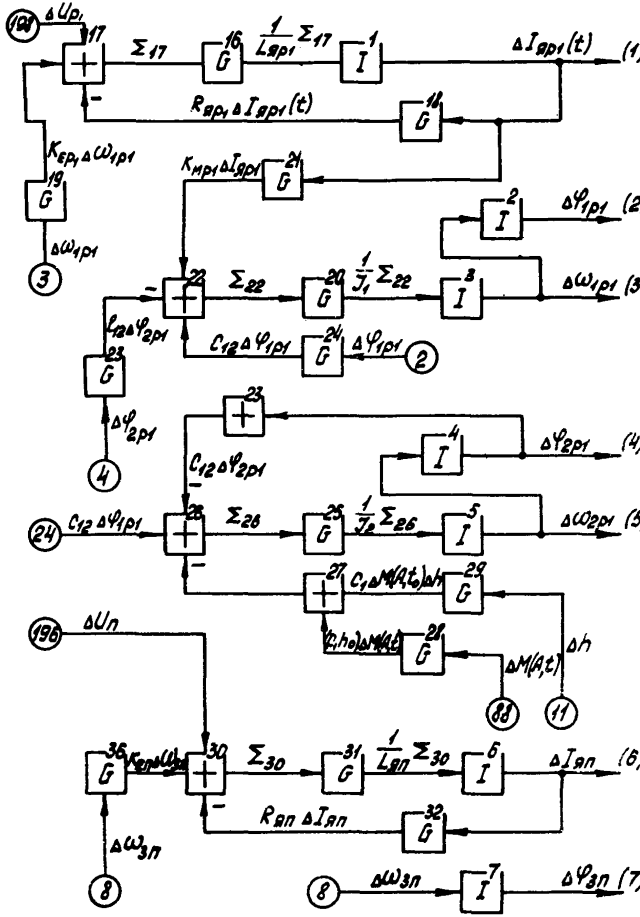

Рис. I. Модель УМ SAY231 . Схемы реализации уравнений (I)...(7)

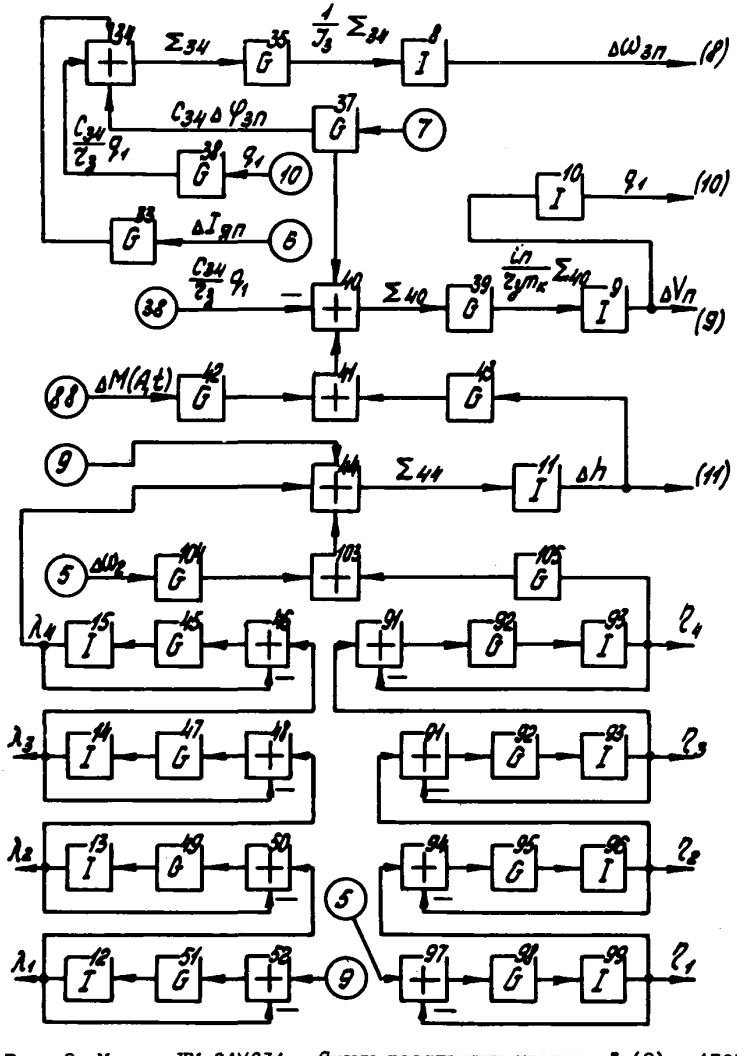

Рис. 2. Модель УМ SAY231 . Схемы реализации уравнений (8)...(I9)

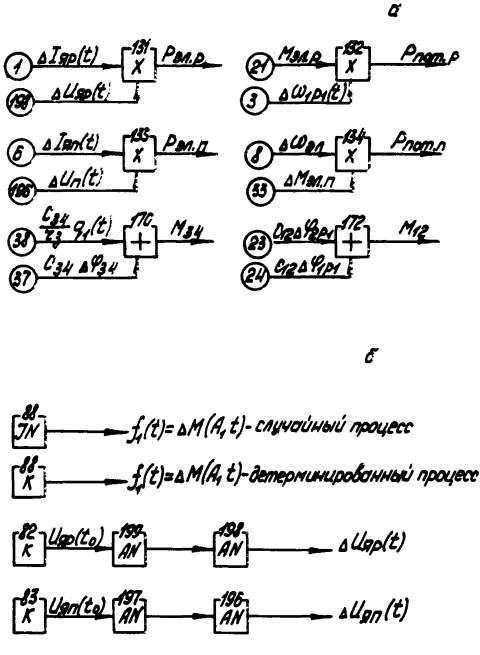

Рис.3. Модель УМ SAV231. Схемы: а – реализации уравнений (20)...(28); б – управляющих и возмущающих воздействий

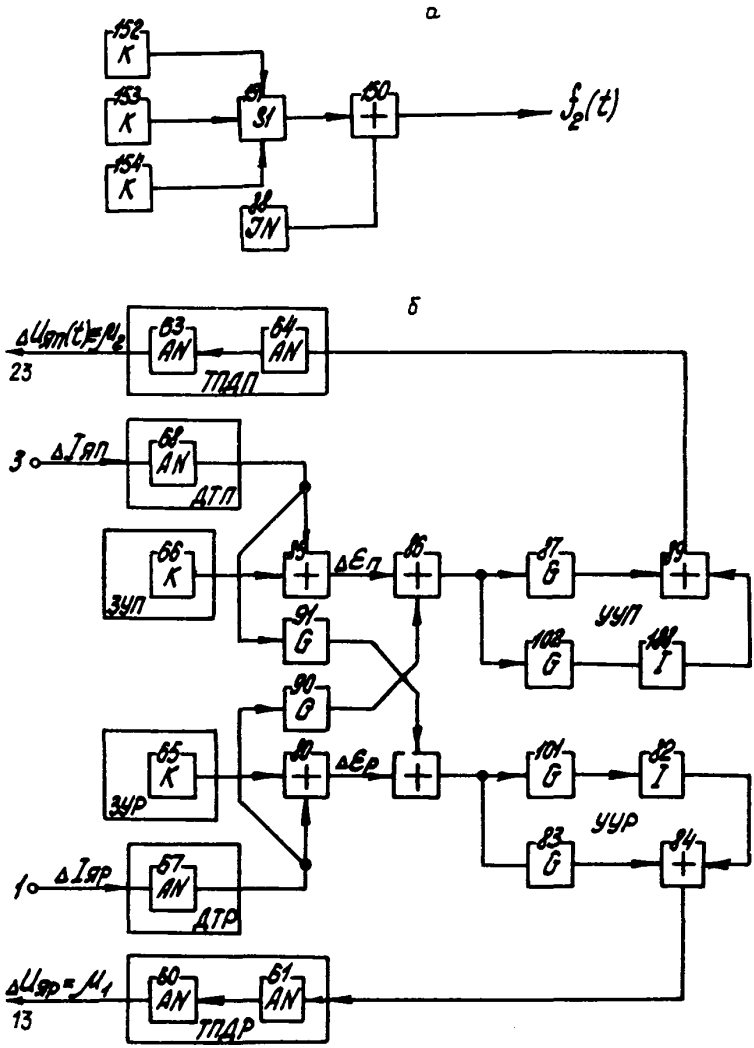

Рис.5. Фрагменты структурной схемы САУ УМ: *а* – схема включения *S1*; *б* – многосвязный регулятор

Параметры модели УМ *SAY231*

№ п/п	Обозначение параметра	Единица измерения	Значение параметра
I	2	3	4
I	$L_{я_р}$	Г	$9{,}749 \cdot I0^{-3}$
2	$R_{я_р}$	Ом	$9{,}I836 \cdot I0^{-2}$
3	$K_{E_р}$		I0,8865
4	$\Delta I_р(t_0)$	А	350
5	$\Delta\varphi_{1_{P_1}}(t_0)$, $\Delta\varphi_{2_{P_1}}(t_0)$	рад	0,0
6	I_1	кг·м^2	I5,75I25
7	C_{12}	Н·м/рад	I3877,32
8	$K_{M_{P_1}}$		I0,8865I
9	$\Delta\omega_{1_{P_1}}(t_0)$	рад/с	65,94
I0	I_2	кг·м^2	I,6I3
II	$\Delta\omega_{2_{P_1}}(t_0)$	рад/с	4,7I
I2	C_1	I/м	33,4285I
I3	$h(t_0)$	м	0,06
I4	$M(A,t_0)$	Н·м	200
I5	$L_п$	Г	I,52
I6	$R_{я_п}$	Ом	0,4I6
I7	$K_{E_п}$		4,479
I8	$\Delta I_п(t_0)$	А	95
I9	$\Delta\varphi_{3_п}(t_0)$, $q(t_0)$		0,0
20	I_3	кг·м^2	3,0I22
2I	r_3	м	0,388
22	$K_{M_п}$		4,479
23	$\Delta\omega_{3_п}(t_0)$	рад/с	46,438
24	C_{34}	Н·м/рад	253,553
25	$i_п$		200

Окончание таблицы

I	2	3	4
26	i_n	I/м^2	2505,5
27	$m_к$	кг	20000,0
28	$\Delta V_n(t_0)$	м/с	0,09
29	τ_p	с	0,666
30	m		4
3I	$i_з$		2
32	K_{P_1}, K_n	В	I,0
33	$T_{з_{P_1}}$	с	0,I06I5
34	$T_{ч_{P_1}}$	с	0,0530
35	$T_{з_n}$	с	0,0365
36	$T_{ч_n}$	с	0,0I82
37	K_f		I,0
38	T_f	с	0,0
39	$G(M(A,t_0))$	Н·м	50
40	$\Delta U_{P_{1t_0}}$	В	37,5
4I	$\Delta U_{n_{t_0}}$	В	I2,5

Результаты имитационного моделирования УМ. Фортран-прэграмма *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*: *2I3 ,I5* ;

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 комментарий, приведенных в программе *NSIMIT*. Формат ввода: *15A4* ;

пятая перфокарта (четвертая, если *MF* = 2) – это признаки печати *IR1* и *IR2*. Формат ввода: *2I1* .

Если *IR1* = I и *IR2* = I, 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* ≠ I, то матрица планирования не печатается. При *IR2* ≠ I не осуществляется печать описания эксперимента;

шестая перфокарта (пятая, если *MF*=2) содержит информацию о значении выходной переменной в базовой точке *TI0* ; 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* = I, *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*)[x]. 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 $NN \leqslant (N \times N)/2$, 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 10 и 11 даны программа *NSBASM* и подпрограммы *NSCHRE, NSSTMS, NSSIME, NSPROD, NSDET, NSCHRQ, NSRAM*. Результаты работы *NSBASM* по анализу одномассной модели УМ с матрицей A седьмого порядка приведены в приложении 12.

Ввод исходных данных в *NSBASM* возможен в двух вариантах:

ввод ненулевых элементов сильно разреженной матрицы A (признак $IR = 1$);

ввод квадратной матрицы A построчно ($IR \neq 1$). 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 *2313*.

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 : *2313*.

---

[x] 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:

определителя 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 A устойчива" или "система с матрицей A неустойчива". Программа *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 $5 \leqslant IK \leqslant 10$.

---

[x] Чернецкий В.И., Дидук Г.А., Потапенко А.А. Математические ды и алгоритмы исследования автоматических систем. – Л.: гия, 1970. – 374 с.

Программа *SAY231* . Аналог двухмассной модели УМ

```
// JOB NSSAY231
// ASSGN SYS014,(UKSTUD)
// PLBL IJSYSCL,'CL STUD'
// ASSGN 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
                  46      *       -15        14         0
```

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	*	24	-23	0

:ПАРАМЕТРЫ

НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ И ПАРАМЕТРЫ

ИМЯ НУ/ПАР	БЛОК	НУ/ПАР1	ПАР2	ПАР3
	1	0.0	0.0	0.0
	16	0.102578 03	0.0	0.0
	18	0.918368-01	0.0	0.0
	19	0.108878 02	0.0	0.0
	20	0.636808-01	0.0	0.0
	3	0.0	0.0	0.0
	24	0.138778 05	0.0	0.0
	2	0.0	0.0	0.0
	21	0.108878 02	0.0	0.0
	23	0.138778 05	0.0	0.0
	4	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	0.0	0.0
	25	0.619908 00	0.0	0.0
	29	0.668578 06	0.0	0.0
	31	0.497038 02	0.0	0.0
	6	0.0	0.0	0.0
	32	0.616628 00	0.0	0.0
	33	0.447988 01	0.0	0.0
	35	0.331908 00	0.0	0.0
	8	0.0	0.0	0.0
	36	0.447988 01	0.0	0.0
	7	0.0	0.0	0.0
	37	0.233598 03	0.0	0.0
	38	0.685408 03	0.0	0.0
	10	0.0	0.0	0.0
	39	0.257708-01	0.0	0.0
	42	0.291008 00	0.0	0.0
	43	0.972138 03	0.0	0.0
	11	0.0	0.0	0.0
	15	0.0	0.0	0.0
	45	0.800008 01	0.0	0.0
	14	0.0	0.0	0.0
	47	0.800008 01	0.0	0.0
	13	0.0	0.0	0.0
	49	0.800008 01	0.0	0.0

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	0.53078E-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	БЛОК	ТИП	ВХОД 1	ВХОД 2	ВХОД 3
ОПЕРАТОР СТРУКТУРЫ ЗАМЕНЕН					
	44	*	9	-15	103
	103	*	-104	105	0
	93	I	92	0	0
	92	G	91	0	0
	91	*	96	-93	0
	96	I	95	0	0
	104	G	5	0	0
	95	G	94	0	0
	94	*	99	-96	0
	99	I	98	0	0
	98	G	97	0	0
	97	*	102	-99	0
	102	I	101	0	0
	101	G	100	0	0
	100	*	5	-102	0
	105	G	93	0	0
	131	X	1	198	0
	132	X	3	21	0
	133	X	6	196	0
	134	X	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	0.33000E 03	0.0	0.0
	3	0.63960E 02	0.0	0.0
	5	0.47100E 01	0.0	0.0
	6	0.98000E 02	0.0	0.0
	8	0.46438E 02	0.0	0.0
	9	0.90000E-01	0.0	0.0

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	0.65349E 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	0.66857E 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
ШАГ
   0.01000
ТОЧНОСТЬ
   0.05000
ВРЕМЯ
   0.00000
КОЛТОЧЕК
400
БЛОКИ
  1
  3
  5
  6
 11
  8
  9
 24
ТАБЛИЦА
***
:ИНТЕГРИРОВАНИЕ
```

Программа *SAY251* . Аналог САУ УМ

```
// JOB NS
// ASSGN SYS014,(WKSTUD)
// DLBL IJSYSCL,'CL STUD'
// ASSGN SYSCLR,SYS014
// DLBL IJSYSRL,'RL STUD'
// ASSGN 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        S1                    DATE    24/04/

   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( 555), 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( 247), PAR1(1) )
   0016         EQUIVALENCE (REALS( 447), 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
```

// EXEC

*** MACC ***
МАШИННЫЙ 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	*	15	-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	*	-9	8	0
	8	I	41	0	0
	41	G	42	0	0
	42	*	-8	7	0
	7	I	44	0	0
	44	G	43	0	0
	43	*	-7	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

83	G	81	0	0
84	*	82	83	0
66	K	0	0	0
85	*	66	-68	0
86	*	90	85	0
87	G	86	0	0
90	G	87	0	0
91	G	88	0	0
101	G	81	0	0
102	G	86	0	0
82	I	101	0	0
89	*	87	188	0
188	I	102	0	0

:ПАРАМЕТРЫ

НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ И ПАРАМЕТРЫ

ИМЯ НУ/ПАР	БЛОК	НУ/ПАР1	ПАР2	ПАР3
	1	0.0	0.0	0.0
	2	0.0	0.0	0.0
	12	0.10257E 03	0.0	0.0
	14	0.91836E-01	0.0	0.0
	15	0.10887E 02	0.0	0.0
	17	0.57589E-01	0.0	0.0
	18	0.10887E 02	0.0	0.0
	74	0.20057E 01	0.0	0.0
	75	0.66857E 04	0.0	0.0
	5	0.0	0.0	0.0
	9	0.0	0.0	0.0
	39	0.80000E 01	0.0	0.0
	8	0.0	0.0	0.0
	41	0.80000E 01	0.0	0.0
	7	0.0	0.0	0.0
	44	0.80000E 01	0.0	0.0
	6	0.0	0.0	0.0
	45	0.80000E 01	0.0	0.0
	4	0.0	0.0	0.0
	28	0.23773E-01	0.0	0.0
	76	0.97213E 03	0.0	0.0
	78	0.48607E 01	0.0	0.0
	26	0.11514E 02	0.0	0.0
	3	0.0	0.0	0.0
	22	0.69703E 02	0.0	0.0
	23	0.41662E 00	0.0	0.0
	24	0.11546E 02	0.0	0.0
	6	0.0	0.0	0.0
	63	0.10000E 01	0.10015E 00	0.0
	64	0.10000E 01	0.53078E-01	0.0
	60	0.10000E 01	0.36530E-01	0.0
	61	0.10000E 01	0.18266E-01	0.0
	67	0.10000E 01	0.36530E-01	0.0
	68	0.10000E 01	0.53078E-01	0.0
	82	0.0	0.0	0.0
	65	0.50000E 01	0.0	0.0
	66	0.50000E 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	0.50000E 02	0.0

102	0.10000E 03	0.0	0.0
101	0.10000E 01	0.0	0.0
85	0.21400E 01	0.0	0.0
87	0.57890E 01	0.0	0.0

:СТРУКТУРА

ВВОД СТРУКТУРЫ

ИМЯ ВЕЛИЧИНЫ / ОПЕРАТОР СТРУКТУРЫ	БЛОК	ТИП	ВХОД 1	ВХОД 2	ВХОД 3
	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	0.15648E-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	0.35000E 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

```
                    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         *          65           0           0
:ПАРАМЕТРЫ

                    НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ И ПАРАМЕТРЫ

ИМЯ НУ/ПАР       БЛОК        НУ/ПАР1          ПАР2            ПАР3
                  101     0.10000E 01     0.0             0.0
                   85     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
                  155     0.20000E 01     0.0             0.0
                  156     0.30000E 01     0.0             0.0
                  151     0.55000E 00     0.20000E 01     0.10000E 01
:ВВОД
РУНГЕ
ШАГ
   0.05000
ТОЧНОСТЬ
   0.50000
ВРЕМЯ
   4.00000
КОЛТОЧЕК
100
БЛОКИ
  1
  2
  3
  4
  5
 89
 23
  9
ТАБЛИЦА
***
ИНТЕРВАЛ ВЫДАЧИ = ШАГУ ИНТЕГРИРОВАНИЯ
:ИНТЕГРИРОВАНИЕ
```

Фортран-программа *NSIMIT*

Приложение 8

```
26/ 4/85   КНИГА F.NSIMIT                    1.163 C SL    СОЗДАНА 27/02/85                    A(

// OPTION LINK
 ACTION NOMAP
 INCLUDE
 CATALR NSIMIT
/*
// EXEC FFORTRAN
C      ПРОГРАММА NSIMIT ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ
C      ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЭВМ
C      УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ МАШИН
       DIMENSION IG(8,7),B(8),TI(8),ADEK1(4),
      * XEADEK(4) ,ADEK(4)  ,NUM(15),NUM1(15),NUM2(15)   ,NUM3(15)
       DATA ADEK1/'ВЫПО','ЛНЯЕ','ТСЯ ','    '/
       DATA XEADEK/'НЕ В','ЫПОЛ','НЯЕТ','СЯ  '/
       READ(1,5198)N,MF,NOM
       READ(1,5205)(NUM(I),I=1,15)
       READ(1,5205)(NUM1(I),I=1,15)
       READ(1,5205)(NUM2(I),I=1,15)
       IF(MF.GT.2)GO TO5665
       GO TO5654
 5665  READ(1,5205)(NUM3(I),I=1,15)
 5654  READ(1,5206)IR1,IR2
       READ(1,5203)TIO,XB,YB,ZB
       READ(1,5204)EX,EY,EZ
       READ(1,5200)(TI(I),I=1,N)
 5204  FORMAT(5F14.7)
 5206  FORMAT(2I1)
 5198  FORMAT(2I3,I5)
 5200  FORMAT(5F14.7)
 5203  FORMAT(4F14.7)
 5205  FORMAT(15A4)
       PRINT5207,N,MF,TIO,NOM
       PRINT5209,(TI(I),I=1,N)
       WRITE(3,22233)
22233  FORMAT(/10X,'БАЗОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ И ПРИРАЩЕНИЯ'/)
 5207  FORMAT(10X,'N=',I3,'MF=',I3,'TIO=',F14.7,2X,'NOM=',I3)
       PRINT5213,XB,EX,YB.EY,ZB,EZ
```

```
 5213 FORMAT(5X,'XB=',E15.8,'EX=',E15.8/
     *5X,'YB=',E15.8,'EY=',E15.8/
     *5X,'ZB=',E15.8,'EZ=',E15.8/)
 5209 FORMAT(/10X,34HРЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ//
     *1P5E20.9)
C      ОПИСАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ МОДЕЛЕЙ УМ,ВАРЬИРУЕМЫХ
C           ФАКТОРОВ,БАЗОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ И ПРИРАЩЕНИЙ
C 1001  ТОК В ЯКОРНОЙ ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,А
C 1002  МАКСИМУМ ТОКА ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ, А
C 1003  ТОК В ЯКОРНОЙ ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,А
C 1004  МАКСИМУМ ТОКА ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,А
C 1007  ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОМЕНТ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,Н*М
C 1008  МАКСИМУМ ЭЛ.МОМЕНТА ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,Н*М
C 1009  ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОМЕНТ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,Н*М
C 1109  МАКСИМУМ ЭЛ.МОМЕНТА ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,Н*М
C 1012  УПРУГИЙ МОМЕНТ РЕДУКТОРА РЕЗАНИЯ,Н*М
C 1013  МАКСИМУМ УПРУГОГО МОМЕНТА РЕДУКТОРА РЕЗАНИЯ,Н*М
C 1014  УПРУГИЙ МОМЕНТ РЕДУКТОРА ПОДАЧИ;Н*М
C 1114  МАКСИМУМ УПРУГОГО МОМЕНТА РЕДУКТОРА ПОДАЧИ,Н*М
C 1015  УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,РАД/С
C 1017  УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,РАД/С
C 1018  ЛИНЕЙНАЯ СКОРОСТЬ ПОДАЧИ КОМБАЙНА,М/С
C 1033  МОЩНОСТЬ ПОДВОДИМАЯ К ДВИГАТЕЛЮ РЕЗАНИЯ,В*А
C 1034  МОЩНОСТЬ ПОДВОДИМАЯ К ДВИГАТЕЛЮ ПОДАЧИ,В*А
C 1035  МОЩНОСТЬ ПОТРЕБЛЯЕМАЯ ДВИГАТЕЛЕМ РЕЗАНИЯ,ВТ
C 1036  МОЩНОСТЬ ПОТРЕБЛЯЕМАЯ ДВИГАТЕЛЕМ ПОДАЧИ,ВТ
C 1019  СТРУЖКА,М
C 2001  ПОКАЗАТЕЛЬ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ УГЛЯ РАЗРУШЕНИЮ,Н*М
C 2002 СРЕДНЕКВАДР.ОТКЛОНЕНИЕ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ УГЛЯ,Н*М
C 2003 НАПРЯЖЕНИЕ НА ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,В
C 2004 НАПРЯЖЕНИЕ НА ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,В
C 2014 ПРИВЕДЕННЫЙ  МОМЕНТ ИНЕРЦИИ ИСПОЛНИТ. ОРГАНА,КГ*М**2
C
C 2005  ПРИВЕДЕННЫЙ МОМЕНТ ИНЕРЦИИ УМ,КГ*М**2
C 2007  МОМЕНТ ИНЕРЦИИ ЯКОРЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,КГ*М**2
C 2006  МОМЕНТ ИНЕРЦИИ ЯКОРЯ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,КГ*М**2
C 2008  СОПРОТИВ. ЯКОРНОЙ ОБМОТКИ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,ОМ
C 2009  СОПРОТИВ   ЯКОРНОЙ ОБМОТКИ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,ОМ
```

Продолжение приложения 8

```
C 2010  ПРИВЕДЕННАЯ ЖЕСТКОСТЬ РЕДУКТОРА РЕЗАНИЯ,Н*М/РАД
C 2011  ПРИВЕДЕННАЯ ЖЕСТКОСТЬ РЕДУКТОРА ПОДАЧИ,Н*М/РАД
C БЛОК ПОСТРОЕНИЯ МАТРИЦЫ ПЛАНИРОВАНИЯ N*(N-1)
      DO 1 I=1,N
    1 IG(I,1)=(-1)**(I+1)
      L=N/4
      I1=0
      I=1
      DO 2 IL=1,L
      N1=I1+1
      N2=N1+1
      DO 4 I=N1,N2
    4 IG(I,2)=1
      N1=I+1
      N2=N1+1
      DO 6 I1=N1,N2
```

26/ 4/85 КНИГА F.NSIMIT 1.163 C SL СОЗДАНА 27/02/85 AO

```
    6 IG(I1,2)=-1
    2 CONTINUE
      DO 7 I=1,N
    7 IG(I,4)=IG(I,1)*IG(I,2)
      IF(MF.GT.2)GOTO 9
      GOTO 11
    9 LX=N/8
      I2=0
      DO 20 IX=1,LX
      N1=I2+1
      N2=N1+3
      DO 24 I=N1,N2
   24 IG(I,3)=1
      N1=I+1
      N2=N1+3
      DO 26 I2=N1,N2
   26 IG(I2,3)=-1
```

```
      20 CONTINUE                                                       0107
         DO 28 I=1,N                                                    0108
         IG(I,5)=IG(I,1)*IG(I,3)                                        0109
         IG(I,6)=IG(I,2)*IG(I,3)                                        0110
      28 IG(I,7)=IG(I,1)*IG(I,2)*IG(I,3)                                0111
C        БЛОК ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ NORM                             0112
      11 FN=FLOAT(N)                                                    0113
         S=0.                                                           0114
         DO 30 I=1,N                                                    0115
      30 S=S+TI(I)                                                      0116
         B0=S/FN                                                        0117
C        ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ  ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ                   0118
         EPS=0.25*ABS(TI0)                                              0119
         TMIN=TI0-EPS                                                   0120
         TMAX=TI0+EPS                                                   0121
         IF(TMIN.LT.B0)GOTO 40                                          0122
         DO 3337 I=1,4                                                  0123
 3337    ADEK(I)=XEADEK(I)                                              0124
         IXNEA=1                                                        0125
         GOTO 46                                                        0126
      40 IF(B0.LT.TMAX) GOTO 114                                        0127
         DO 3332 I=1,4                                                  0128
 3333    ADEK(I)=XEADEK(I)                                              0129
         IXNEA=1                                                        0130
         GOTO 46                                                        0131
     114 S=0.0                                                          0132
         DO 3331 I=1,4                                                  0133
 3331    ADEK(I)=ADEK1(I)                                               0134
         IXNEA=0                                                        0135
         DO 44 J=1,2                                                    0136
         DO 49 I=1,N                                                    0137
      49 S=S+TI(I)*IG(I,J)                                              0138
         B(J)=S/FN                                                      0139
         S=0.                                                           0140
      44 CONTINUE                                                       0141
         DO 51 I=1,N                                                    0142
      51 S=S+TI(I)*IG(I,4)                                              0143
         B(4)=S/FN                                                      0144
```

```
      IF(MF.GT.2)GOTO 55                                                0145
      GOTO 93                                                           0146
   55 S=0.                                                              0147
      DO 61 I=1,N                                                       0148
   61 S=S+TI(I)*IG(I,3)                                                 0149
      B(3)=S/FN                                                         0150
      S7=0.                                                             0151
      S5=0.                                                             0152
      S6=0.                                                             0153
      DO 63 I=1,N                                                       0154
      S5=S5+TI(I)*IG(I,5)                                               0155
      S6=S6+TI(I)*IG(I,6)                                               0156
   63 S7=S7+TI(I)*IG(I,7)                                               0157
      B(5)=S5/FN                                                        0158
      B(6)=S6/FN                                                        0159
      B(7)=S7/FN                                                        0160
C     БЛОК ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДNATUR                              0161
      IF(MF.GT.2)GOTO 73                                                0162
   53 C4=B(4)/(EX*EY)                                                   0163
      C0=B0-B(1)*XB/EX-B(2)*YB/EY+C4*XB*YB                              0164
      C1=B(1)/EX-C4*YB                                                  0165
      C2=B(2)/EY-C4*XB                                                  0166
      GOTO 93                                                           0167
   73 B4XY=B(4)/(EX*EY)                                                 0168
      B5XZ=B(5)/(EX*EZ)                                                 0169
      B6YZ=B(6)/(EY*EZ)                                                 0170
      C7=B(7)/(EX*EY*EZ)                                                0171
      C0=B0-B(1)*XB/EX-B(2)*YB/EY-B(3)*ZB/EZ                            0172
     **+B4XY*XB*YB+B5XZ*XB*ZB+B6YZ*YB*ZB-                               0173
     *C7*XB*YB*ZB                                                       0174
      C1=B(1)/EX-B4XY*YB-B5XZ*ZB+C7*ZB*YB                               0175
      C2=B(2)/EY-B4XY*XB-B6YZ*ZB+C7*XB*ZB                               0176
      C3=B(3)/EZ-B5XZ*XB-B6YZ*YB+C7*XB*YB                               0177
      C4=B4XY-C7*ZB                                                     0178
      C5=B5XZ-C7*YB                                                     0179
```

```
6/ 4/85    КНИГА F.NSIMIT                    1.163 C SL    СОЗДАНА 27/02/85                A

      C6=86YZ-C7*XB
C     БЛОК ПЕЧАТИ РЕЗУЛЬТАТОВ
   95 IF(IR1.EQ.1)GOTO 117
      GOTO 119
  117 WRITE(3,121)
  121 FORMAT(22X,28HМАТРИЦА ПЛАНИРОВАНИЯ N=2**MF//)
      IF(MF.GT.2) GOTO 123
      GOTO 125
  123 WRITE(3,127)
  127 FORMAT(10X,49(1H*))
      WRITE(3,131)
  131 FORMAT(10X,1HI,5X,1HI,7(5X,1HI)/
     *10X,1HI,2X,'I',2X,1HI,2X,'G1',1X,1HI,
     *2X,'G2',1X,1HI,2X,'G3',1X,1HI,2X,'G4',
     *1X,1HI,2X,'G5',1X,1HI,2X,'G6',1X,1HI,
     *2X,'G7',1X,1HI/10X,8(1HI,5X),1HI/
     *10X,49(1H*))
      DO 135 I=1,N
  135 WRITE(3,133)I,IG(I,1),IG(I,2),IG(I,3),
     *IG(I,4),IG(I,5),IG(I,6),IG(I,7)
  133 FORMAT(10X,1HI,5X,1HI,7(5X,1HI)/
     *10X,8(1HI,2X,I2,1X),1HI/
     *10X,8(1HI,5X),1HI/
     *10X,49(1H*))
      GOTO 119
  125 WRITE(3,137)
  137 FORMAT(25X,25(1H*))
      WRITE(3,139)
  139 FORMAT(25X,4(1HI,5X),1HI/
     *25X,1HI,2X,'I',2X,1HI,2X,'G1',1X,
     *1HI,2X,'G2',1X,1HI,2X,'G4',1X,1HI/
     *25X,4(1HI,5X),1HI/
     *25X,25(1H*))
      DO 141 I=1,N
  141 WRITE(3,143)I,IG(I,1),IG(I,2),IG(I,4)
  143 FORMAT(25X,1HI,5X,1HI,3(5X,1HI)/
```

Продолжение приложения 8

```
     *25X,4(1HI,2X,I2,1X),1HI/                                          0216
     *25X,4(1HI,5X),1HI/                                                0217
     *25X,25(1H*))                                                      0218
 119 IF(IK2.EQ.1)GOTO 145                                               0219
     GOTO 147                                                           0220
 145 IF(M.GT.2)GOTO 149                                                 0221
     GOTO 151                                                           0222
 149 WRITE(3,153)                                                       0223
 153 FORMAT(10X,38HРЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ/             0224
    *10X,34HДВУХМАССОВАЯ МОДЕЛЬ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ/                        0225
    *10X,9HМАШИНЫ/                                                     0226
    *10X,43HУРАВНЕНИЕ  РЕГРЕССИИ В НОРМАЛИЗОВАННОМ ВИДЕ/               0227
    *10X,'JNORM=B0+B1*G1+B2*G2+B3*G3'/                                  0228
    *16X,'+B4*G4+B5*G5+B6*G6+B7*G7'/                                    0229
    *10X,40HУРАВНЕНИЕ  РЕГРЕССИИ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ/                  0230
    *10X,'JNATUR=C0+C1*X+C2*Y+C3*Z'/                                    0231
    *17X,'+C4*X*Y+C5*X*Z+C6*Y*Z+C7*X*Y*Z'/                              0232
    *10X,'G1,X,XB,EX-НОРМАЛИЗОВАННОЕ,ФАКТИЧЕСКОЕ,'/                    0233
    *10X,'БАЗОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРИРАЩЕНИЕ ПЕРВОГО'/                      0234
    *10X,'ВАРЬИРУЕМОГО ФАКТОРА'/                                       0235
    *10X,'G2,Y,YB,EY-НОРМАЛИЗОВАННОЕ,ФАКТИЧЕСКОЕ,'/                    0236
    *10X,'БАЗОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРИРАЩЕНИЕ ВТОРОГО'/                      0237
    *10X,'ВАРЬИРУЕМОГО ФАКТОРА'/                                       0238
    *10X,'G3,Z,ZB,EZ-НОРМАЛИЗОВАННОЕ,ФАКТИЧЕСКОЕ,'/                    0239
    *10X,'БАЗОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРИРАЩЕНИЕ'/                             0240
    *10X,'ТРЕТЬЕГО ВАРЬИРУЕМОГО ФАКТОРА'/                              0241
    *10X,'КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ :'/                               0242
    *10X,'G4=G1*G2,G5=G1*G3,'/                                         0243
    *10X,'G6=G2*G3,G7=G1*G2*G3'/)                                      0244
  46 CONTINUE                                                          0245
 147 WRITE(3,155)                                                      0246
 155 FORMAT(10X,'ОПИСАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ'/9X,21(1H*))                      0247
     WRITE(3,156)                                                      0248
 156 FORMAT(10X,'НАИМЕНОВАНИЕ ВЫХОДНОЙ КООРДИНАТЫ'/                   0249
    *10X,'J=JNATUR=JNORM :' )                                          0250
     WRITE(3,5777)(NUM(I),I=1,15)                                      0251
     WRITE(3,159)                                                      0252
 159 FORMAT(/10X,'НАИМЕНОВАНИЕ ВАРЬИРУЕМЫХ ФАКТОРОВ'/                 0253
```

```
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 207                                          0259
260          GOTO 209                                                     0260
261     207 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(//77X,44HРЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ//) 0266
267          IF(MF.GT.2)GOTO 211                                          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 АОС

```
270     167 FORMAT(7X,105(1H*))                                           0270
271          WRITE(3,169)                                                 0271
272     169 FORMAT(7X,1HI,103X,1HI/                                       0272
273        *7X,1HI,35X,34HРЕЗУЛЬТАТЫ 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,N)                                    0283
284     173 FORMAT(7X,8(1HI,12X),1HI/7X,8(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=N-1                                                         0298
0299    5777 FORMAT(14X,15A4)                                               0299
0300         WRITE(3,179)B0,(B(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)T10,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
```

```
      *7X,1HI,103X,1HI//7X,1HI,8X,                                    0325
      *'EPS=0.25*T0=',E12.6,8X,                                       0326
      *'TMIN=T0-EPS=',E12.6,11X,                                      0327
      *'TMIN<B0<TMAX',16X,1HI/                                        0328
      *7X,1HI,103X,1HI/                                               0329
      *7X,1HI,8X,'B0=',E12.6,52X,6A4,12X,                             0330
      *1HI/7X,1HI,103X,1HI//7X,105(1H*))                              0331
       GOTO 333                                                       0332
  151 WRITE(3,205)                                                    0333
  205 FORMAT(10X,38HРЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ/          0334
     *10X,41HОДНОМАССОВАЯ МОДЕЛЬ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ МАШИНЫ/              0335
     *10X,43HУРАВНЕНИЕ  РЕГРЕССИИ В НОРМАЛИЗОВАННОМ ВИДЕ/            0336
     *10X,'JNORM=B0+B1*G1+B2*G2+B4*G4'/                              0337
     *10X,40HУРАВНЕНИЕ  РЕГРЕССИИ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ/               0338
     *10X,'JNATUR=C0+C1*X+C2*Y+C4*X*Y'/                              0339
     *10X,'G1,X,XB,EX-НОРМАЛИЗОВАННОЕ,ФАКТИЧЕСКОЕ,'/                0340
     *10X,'БАЗОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРИРАЩЕНИЕ ПЕРВОГО'/                  0341
     *10X,'ВАРЬИРУЕМОГО ФАКТОРА'/                                    0342
     *10X,'G2,Y,YB,YE=НОРМАЛИЗОВАННОЕ,ФАКТИЧЕСКОЕ,'/                0343
     *10X,'БАЗОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРИРАЩЕНИЕ ВТОРОГО'/                  0344
     *10X,'ВАРЬИРУЕМОГО ФАКТОРА'/                                    0345
     *10X,'КОЭФФИЦИЕНТ  ВЗАИМОВЛИЯНИЯ !'/                           0346
     *10X,10X,'G4=G1*G2'/)                                           0347
       GOTO 46                                                        0348
  213 WRITE(3,99167)                                                  0349
99167 FORMAT(7X,105(1H*))                                             0350
      WRITE(3,215)                                                    0351
  215 FORMAT(7X,1HI,103X,  1HI/                                       0352
     *7X,1HI,35X,34HРЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ,               0353
     *34X,1HI//7X,1HI,103X,  1HI/7X,105(1H*))                        0354
      WRITE(3,217)                                                    0355
  217 FORMAT(7X,4(1HI,24X),4X,1HI/7X,1HI,                             0356
     *11X,'T1',11X,1HI,11X,'T2',11X,1HI,                             0357
     *11X,'T3',11X,1HI,13X,'T4',13X,1HI/                             0358
     *7X,4(1HI,24X),4X,1HI/                                          0359
```

Продолжение приложения 8

```
26/04/85   КНИГА F.NSIMIT                    1.163 C SL    СОЗДАНА 27/02/85                    A0

      *7X,105(1H*))
       WRITE(3,219)(TI(I),I=1,N)
  219 FORMAT(7X,4(1HI,24X),4X,1HI/7X,4(1HI,
      *E24.14),4X,1HI/7X,4(1HI,24X),4X,1HI/7X,105(1H*))
       WRITE(3,221)
  221 FORMAT(7X,1HI,103X,  1HI/7X,1HI,36X,
      *30HЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ В JNORM,37X,
      *1HI/7X,1HI,103X,  1HI/7X,105(1H*))
       WRITE(3,223)
  223 FORMAT(7X,4(1HI,24X),4X,1HI/7X,
      *1HI,11X,'B0',11X,1HI,11X,'B1',11X,1HI,
      *11X,'B2',11X,1HI,13X,'B4',13X,1HI/
      *7X,4(1HI,24X),4X,1HI/7X,105(1H*))
       WRITE(3,225)B0,B(1),B(2),B(4)
  225 FORMAT(7X,4(1HI,24X),4X,1HI/7X,4(1HI,E24.14),4X,
      *1HI/7X,4(1HI,24X),4X,1HI/7X,105(1H*))
       WRITE(3,227)
  227 FORMAT(7X,1HI,103X,1HI/7X ,1HI,36X,
      *32HЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ В JNATUR
      *,35X,1HI/7X,  1HI,103X ,1HI/7X,105(1H*))
       WRITE(3,229)
  229 FORMAT(7X,4(1HI,24X),4X,1HI/7X,1HI,11X,'C0',
      *11X,1HI,11X,'C1',11X,1HI,11X,'C2',11X,
      *1HI,13X,'C4',13X,1HI/7X,4(1HI,24X),4X,1HI/7X,105(1H*))
       WRITE(3,231)C0,C1,C2,C4
  231 FORMAT(7X,4(1HI,24X),4X,1HI/7X,4(1HI,
      *E24.14),4X,1HI/7X,4(1HI,24X),4X,1HI)
       GOTO 77746
  333 IF(IXNEA.EQ.1)GO TO66333
       XMIN=XB-EX
       YMIN=YB-EY
       XMAX=XB+EX
       YMAX=YB+EY
       IF(MF.GT.2)GOTO666
       AX1=C0+C2*YMIN
```

```
      AX2=C0+C1*XMIN                                                    0395
      BX1=C1+C4*YMIN                                                    0396
      BX2=C2+C4*XMIN                                                    0397
      XJB=C0+C1*XB+C2*YB+C4*XB*YB                                       0398
      XJMAX=C0+C1*XMAX+C2*YMAX+C4*XMAX*YMAX                             0399
      XJMIN=C0+C1*XMIN+C2*YMIN+C4*XMIN*YMIN                             0400
      BETA1=ATAN(BX1)/57.29577                                          0401
      BETA2=ATAN(BX2)/57.29577                                          0402
      XI1MI=AX1+BX1*XMIN                                                0403
      XI2MI=AX2+BX2*YMIN                                                0404
      XI1MA=AX1+BX1*XMAX                                                0405
      XI2MA=AX2+BX2*XMAX                                                0406
      WRITE(3,665)                                                      0407
      WRITE(3,664)XJB,XJMAX,XJMIN                                       0408
  664 FORMAT(3ZX,'ПРИ XB,YB;JNATUR=',E24.16/                            0409
     *26X,'ПРИ XMAX,YMAX;JNATUR=',E24.16/                               0410
     *26X,'ПРИ XMIN,YMIN;JNATUR=',E24.16//)                             0411
      WRITE(3,663)                                                      0412
  663 FORMAT(40X,'   СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ'//                      0413
     *28X,'J1=AX1+BX1*X,ПРИ;YMIN=CONST;XMIN<=X<=XMAX'/                  0414
     *28X,'J2=AX2+BX2*Y,ПРИ;XMIN=CONST;YMIN<=Y<=YMAX'//)                0415
      WRITE(3,662)AX1,BX1,BETA1,XI1MA,XI1MI,                            0416
     *AX2,BX2,BETA2,XI2MA,XI2MI,                                        0417
     *XB,YB,XMAX,YMAX,EX,EY,XMIN,YMIN                                   0418
  662 FORMAT(28X,'ЧИСЛЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАВИСИМОСТЕЙ J1,J2'//       0419
     *7X,105(1H*)/                                                      0420
     *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/                                        0421
     *7X,1HI,6X,'J1,J2',7X,1HI,7X,'AXI',6X,1HI,7X,'BXI',6X,1HI,         0422
     *3X,'BETA;ГРАД',4X,1HI,5X,'JMAX',7X,1HI,5X,'JIMIN',6X,1HI/         0423
     *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/                                        0424
     *7X,105(1H*)/                                                      0425
     *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/                                        0426
     *7X,1HI,'  J1=F(X),Y=CONST ',1HI,5(E16.10,1HI)/                    0427
     *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/                                        0428
     *7X,1HI,'  J2=F(Y),X=CONST ',1HI,5(E16.10,1HI)/                    0429
     *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/                                        0430
     *7X,105(1H*)/                                                      0431
     *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/                                        0432
```

Продолжение приложения 8

```
     *7X,1HI,'XB=',E15.7,1HI,'YB=',E13.6,1HI,16X,1HI,'XMAX=',
     *E11.6,1HI,'YMAX=',E11.6,1HI,16X,1HI/7X,1HI,
     *18X,1HI,5(16X,1HI)/
     *7X,1HI,'EX=',E15.7,1HI,'EY=',E13.7,1HI,16X,1HI,'XMIN=',
     *E11.6,1HI,'YMIN=',E11.6,1HI,16X,1HI/
     *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)  /7X,105(1H*))
      GOTO66333
  666 ZMIN=ZB-EZ
      AX1=C0+C2*YMIN+C3*ZMIN+C6*YMIN*ZMIN
      AX2=C0+C1*XMIN+C3*ZMIN+C5*XMIN*ZMIN
      AX3=C0+C1*XMIN+C2*YMIN+C4*XMIN*YMIN
      BX1=C1+C4*YMIN+C5*ZMIN+C7*YMIN*ZMIN
      BX2=C2+C4*XMIN+C6*ZMIN+C7*XMIN*ZMIN
      BX3=C3+C5*XMIN+C6*YMIN+C7*XMIN*YMIN
      ZMAX=ZB+EZ
      XJB=C0+C1*XB+C2*YB+C3*ZB+C4*XB*YB+
     *C5*XB*ZB+C6*YB*ZB+C7*XB*YB*ZB
```

26/04/85 КНИГА F.NSIMIT 1.163 C SL СОЗДАНА 27/02/85 AOC

```
      XJMAX=C0+C1*XMAX+C2*YMAX+C3*ZMAX+C4*XMAX*YMAX+
     *C5*XMAX*ZMAX+C6*YMAX*ZMAX+C7*XMAX*YMAX*ZMAX
      XJMIN=C0+C1*XMIN+C2*YMIN+C3*ZMIN+C4*XMIN*YMIN+
     *C5*XMIN*ZMIN+C6*YMIN*ZMIN+C7*XMIN*YMIN*ZMIN
      BETA1=ATAN(BX1)/57.29577
      BETA2=ATAN(BX2)/57.29577
      BETA3=ATAN(BX3)/57.29577
      XI1MA=AX1+BX1*XMAX
      XI1MI=AX1+BX1*XMIN
      XI2MI=AX2+BX2*YMIN
      XI3MI=AX3+BX3*ZMIN
      XI2MA=AX2+BX2*YMAX
      XI3MA=AX3+BX3*ZMAX
      WRITE(3,565)
  565 FORMAT(//40X,'ЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ JNATUR'//)
```

```
      WRITE(3,564)XJB,XJMAX,XJMIN                                       0465
  564 FORMAT(20X,'ПРИ XB,YB,ZB:JNATUR=',E24.14/                         0466
     *26X,'ПРИ XMAX,YMAX,ZMAX:JNATUR=',E24.14/                          0467
     *26X,'ПРИ XMIN,YMIN,ZMIN:JNATUR=',E24.14//)                        0468
      WRITE(3,563)                                                      0469
  563 FORMAT(40X,'   СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ'//                      0470
     *25X,'J1=AX1+BX1*X,ПРИ:YMIN,ZMIN=CONST; XMIN<=X<=XMAX'/            0471
     *25X,'J2=AX2+BX2*Y,ПРИ:XMIN,ZMIN=CONST; YMIN<=Y<=YMAX'/            0472
     *25X,'J3=AX3+BX3*Z,ПРИ:XMIN,YMIN=CONST; ZMIN<=Z<=ZMAX'//)          0473
      WRITE(3,562)AX1,BX1,BETA1,XI1MA,XI1MI,                            0474
     *AX2,BX2,BETA2,XI2MA,XI2MI,AX3,BX3,BETA3,                          0475
     *XI3MA,XI3MI,XB,YB,ZB,XMAX,YMAX,ZMAX,                              0476
     *EX,EY,EZ,XMIN,YMIN,ZMIN                                           0477
  562 FORMAT(28X,'ЧИСЛЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАВИСИМОСТЕЙ J1,J2,J3'//     0478
     *7X,105(1H*)/                                                      0479
     *7X,1HI,103X,1HI/                                                  0480
     *7X,1HI,5X,'J1,J2,J3',5X,1HI,7X,'AXI',6X,1HI,7X,'BXI',6X,1HI,      0481
     *3X,'BETA,ГРАД',4X,1HI,5X,'JIMAX',6X,1HI,5X,'JIMIN',6X,1HI/        0482
     *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/                                        0483
     *7X,105(1H*)/                                                      0484
     *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/                                        0485
     *7X,1HI,' J1=F(X),Y,Z=CONST',1HI,5(E16.10,1HI)/                    0486
     *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/                                        0487
     *7X,1HI,' J2=F(Y),X,Z=CONST',1HI,5(E16.10,1HI)/                    0488
     *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/                                        0489
     *7X,1HI,' J3=F(Z),X,Y=CONST',1HI,5(E16.10,1HI)/                    0490
     *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/                                        0491
     *7X,105(1H*)/                                                      0492
     *7X,1HI,18X,1HI,5(16X,1HI)/                                        0493
     *7X,1HI,'XB=',E15.7,1HI,'YB=',E13.6,1HI,'ZB=',E13.6,1HI,'XMAX=',   0494
     *7X,1HI,'YMAX=',E11.6,1HI,'ZMAX=',E11.6,1HI/                       0495
     *E11.6,1HI,'  1HI,5(16X,1HI)/                                      0496
     *7X,1HI,18X,  1HI,5(16X,1HI)/                                      0497
     *7X,1HI,'EX=',E15.7,1HI,'EY=',E13.6,1HI,'EZ=',E13.6,1HI,'XMIN=',   0498
     *7X,1HI,'YMIN=',E11.6,1HI,'ZMIN=',E11.6,1HI/                       0499
     *E11.6,1HI,'  1HI,5(16X,1HI) /7X,105(1H*))                        0500
     *7X,1HI,18X,  1HI,5(16X,1HI)                                       0501
66333 STOP                                                              0502
      END
/*
```

```
// EXEC MDMNR                                                          0503
 CATALR NSIMIT,&SYSMOD,SYSLNK                                          0504
/*                                                                     0505
// EXEC LNKEDT                                                         0506
// EXEC                                                                0507
  8  3  222                                                           0508
 1001ТОК В ЯКОРНОЙ ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,А                         0509
 2001  ПОКАЗАТЕЛЬ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ УГЛЯ РАЗРУШЕНИЮ,Н*М               0510
 2006  МОМЕНТ ИНЕРЦИИ ЯКОРЯ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,КГ*М**2                0511
 2007  МОМЕНТ ИНЕРЦИИ ЯКОРЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,КГ*М**2                 0512
11                                                                     0513
    90.826        200.0          15.75125       3.012276             0514
    50.0            3.937816      0.753068                           0515
    73.018         81.176        108.79         106.93        116.91  0516
    28.447        123.01         107.26                             0517
/*                                                                     0518
// EXEC                                                                0519
  8  3  222                                                           0520
 1015УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,РАД/С                    0521
 2001 M(A,T),Н*М                                                       0522
 2006 J ЯКОРЯ ДВ. РЕЗАНИЯ,КГ*М**2                                      0523
 2007 J ЯКОРЯ ДВ.ПОДАЧИ,КГ*М**2                                        0524
44                                                                     0525
   -8.0949        200.0          15.75125       3.012276             0526
    50.0            3.93781       0.753068                           0527
   -2.0603         -2.6131        -4.9294        -3.7411       6.2238  0528
    5.6068         -3.2429        -1.7419                            0529
/*                                                                     0530
// EXEC                                                                0531
  8  3  222                                                           0532
 1003 ТОК В ЯКОРНОЙ ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,А                         0533
 2001 M(A,T),Н*М                                                       0534
 2006 J ЯКОРЯ ДВ.РЕЗАНИЯ,КГ*М**2                                       0535
 2007 J ЯКОРЯ ДВ.ПОДАЧ,КГ*М**2                                         0536
44                                                                     0537
    30.181        200.0          15.75125       3.012276             0538
    50.0            3.93781       0.753068                           0539
```

```
/*
// EXEC
  8  3  232
 1001 ТОК В ЯКОРНОЙ ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,А
 2001 ПОКАЗАТЕЛЬ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ УГЛЯ РАЗРУШЕНИЮ,Н*М
 2006 МОМЕНТ ИНЕРЦИИ ЯКОРЯ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,КГ*М**2
 2014 ПРИВЕД. МОМЕНТ ИНЕРЦИИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА,КГ*М**2
11
    81.771        200.0          15.75125        1.613
    50.0            3.937812      0.40325
    55.661        108.47         90.97         132.46         97.556
    55.595        105.23         32.55
/*
// EXEC
  4  2  221
 1003 ТОК В ЯКОРНОЙ ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,А
```

```
26/04/85   КНИГА F.NSIMIT                    1.163 C SL    СОЗДАНА 27/02/85                    A0(
```

```
 2003 НАПРЯЖЕНИЕ НА ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,В
 2004 НАПРЯЖЕНИЕ НА ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,В
11
    30.181         37.5           12.5
     7.5            2.5
    35.826         36.551         11.751         12.473
/*
// EXEC
  4  2  221
 1004 МАКСИМУМ ТОКА В ЯКОРНОЙ ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,А
 2003 НАПРЯЖЕНИЕ НА ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,В
 2004 НАПРЯЖЕНИЕ НА ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,В
44
   +265.82         37.5           12.5
     7.5            2.5
   264.92        264.92         268.51         268.51
```

Результаты имитационного моделирования УМ

```
// EXEC                                                                    0507

      N=  8MF=  3TIO=     90.8459888  NOM=222

      РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

 7.3017990111E 01      8.1175994872E 01      1.0878999333E 02      1.0692999272E 02      1.1490999884E 02

      РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

 2.8446999097E 01      1.2300999465E 02      1.0725999465E 02

      БАЗОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ И ПРИРАЩЕНИЯ

XB= 0.2000000000E 03EX= 0.3000000000E 02
YB= 0.1575112490E 02EY= 0.3937781119E 01
ZB= 0.3012271900E 01EZ= 0.7530679797E 00

                МАТРИЦА ПЛАНИРОВАНИЯ N=2**MF

**********************************************************
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   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   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   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   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   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   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   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   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
**********************************************************
РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДВУХМАССОВАЯ МОДЕЛЬ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ
МАШИНЫ
УРАВНЕНИЕ  РЕГРЕССИИ В НОРМАЛИЗОВАННОМ ВИДЕ
JNORM=B0+B1*G1+B2*G2+B3*G3
      +B4*G4+B5*G5+B6*G6+B7*G7
УРАВНЕНИЕ  РЕГРЕССИЙ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ
JNATUR=C0+C1*X+C2*Y+C3*Z
       +C4*X*Y+C5*X*Z+C6*Y*Z+C7*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
```

```
ТРЕТЬЕГО ВАРЬИРУЕМОГО 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□□ТОК В ЯКОРНОЙ ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,А

НАИМЕНОВАНИЕ ВАРЬИРУЕМЫХ 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
0.730180E 02	0.811760E 02	0.108790E 03	0.106930E 03	0.114910E 03	0.284470E 02	0.123010E 03	0.107260E 03

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ В JNORM

B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
0.929425E 02	0.119894E 02	-.165549E 02	-.466144E 00	0.758687E 01	-.135639E 01	0.317538E 01	-.100914E 02

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ В JNATUR

C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0.722051E 03	-.251129E 01	-.360651E 02	-.159832E 03	0.243548E 00	0.711797E 00	0.146821E 02	-.680599E-01

T0=0.908260E 02 TMAX=T0+EPS=0.113532E 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=     0.92942382812500E 02
ПРИ XMAX,YMAX,ZMAX:JNATUR=     0.73018066406250E 02
ПРИ XMIN,YMIN,ZMIN:JNATUR=     0.24277050000000E 06
```

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

```
J1=AX1+BX1*X,ПРИ:YMIN,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

J1,J2,J3	AXI	BXI	BETA,ГРАД	JIMAX	JIMIN
J1=F(X),Y,Z=CONST	0.8363476563E 02	0.1574993134E 00	0.2726484789E-02	0.1230095825E 03	0.1072596588E 03
J2=F(Y),X,Z=CONST	0.4254792023E 03	-.1000720215E 02	-.2567725629E-01	0.2844683838E 02	0.1072597504E 03
J3=F(Z),X,Y=CONST	0.1077351270E 03	-.2192077637E 00	-.3766325768E-02	0.1069297333E 03	0.1072598877E 03

XB= 0.2000000E 03	YB= 0.157512E 02	ZB= 0.301227E 01	XMAX=.250000E 03	YMAX=.196891E 02	ZMAX=.376534E 01
EX= 0.5000000E 02	EY= 0.393781E 01	EZ= 0.753068E 00	XMIN=.150000E 03	YMIN=.118134E 02	ZMIN=.225920E 01

```
      N=  8MF=  3TIO=     =8.0948992  NOM=222

      РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

-2.0602998736E 00    -2.6130990986E 00    -4.9293994906E 00    -3.7210998546E 00     0.2237997066E 00

      РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

 5.0007991266E 00     -3.2468990956E 00    -1.7418994906E 00

      БАЗОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ И ПРИРАЩЕНИЯ

XB= 0.20000000E 03EX= 0.50000000E 02
YB= 0.15731249E 02EY= 0.39378099E 01
ZB= 0.30122719E 01EZ= 0.75306797E 00

      ОПИСАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ
     **********************

      НАИМЕНОВАНИЕ ВЫХОДНОЙ КООРДИНАТЫ
      J=JNATUR=JNORM !
         1015УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,РАД/С

      НАИМЕНОВАНИЕ ВАРЬИРУЕМЫХ ФАКТОРОВ
      X !
         2001 M(A,T),Н*М

      Y !
         2006 J ЯКОРЯ ДВ. РЕЗАНИЯ,КГ*М**2

      Z !
         2007 J ЯКОРЯ ДВ.ПОДАЧИ,КГ*М**2
```

III

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Продолжение приложения 9

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

      N=  4MF=  2TI0=    30.1909998  NOM=221

      РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

 3.582598877E 01     3.655099487E 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  G1 I  G2 I  G4 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  2  I -1  I  1  I -1  I
                    I     I     I     I     I
                    ***********************
```

```
                I      I      I      I      I
                I   5  I   1  I  -1  I  -1  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
 ВАРЬИРУЕМОГО ФАКТОРА
 G2,Y,YB,YE=НОРМАЛИЗОВАННОЕ,ФАКТИЧЕСКОЕ,
 БАЗОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРИРАЩЕНИЕ ВТОРОГО
 ВАРЬИРУЕМОГО ФАКТОРА
 КОЭФФИЦИЕНТ  ВЗАИМОВЛИЯНИЯ :
           G4=G1*G2

 ОПИСАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ
**********************

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

 НАИМЕНОВАНИЕ ВАРЬИРУЕМЫХ ФАКТОРОВ
 X :
    2003 НАПРЯЖЕНИЕ НА ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ РЕЗАНИЯ,В

 Y :
    2004 НАПРЯЖЕНИЕ НА ОБМОТКЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОДАЧИ,В
```

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

T1	T2	T3	T4
0.358259887695316 02	0.365509948730476 02	0.111750999450684E 02	0.124729999727546 02

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ В JNORM

B0	B1	B2	B4
0.241302385037109E 02	-0.361751956396486 00	0.120382423400886 02	-0.791469536132813E-03

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ В JNATUR

C0	C1	C2	C4
-0.342510070800786 02	-0.477325394749646-01	0.481679821016406 01	-0.400797434844966-04

T0=0.501810E 02 TMAX=T0+EPS=0.377262E 02 УСЛОВИЕ АДЕКВАТНОСТИ

EPS=0,25*T0=0,754525E 01	TMIN=T0-EPS=0.266357E 02	TMIN<B0<TMAX
B0=0.241502E 02		ВЫПОЛНЯЕТСЯ

ЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ JNATUR

ПРИ XB,YB;JNATUR= 0,241502075153125E 02
ПРИ XMAX,YMAX;JNATUR= 0,358259582519531 2E 02
ПРИ XMIN,YMIN;JNATUR= 0,124729766845703 1E 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 ЗАВИСИМОСТЕЙ J1,J2

J1,J2	AXI	BXI	БЕТА,ГРАД	JMAX	JIMIN
J1=F(X),Y=CONST	0.1391096167E 02	-.4813533601E-01	-.6394373909E-03	0.1175096226E 02	0.1247296238E 02
J2=F(Y),X=CONST	-.3568496814E 02	0.4815595627E 01	0.6384202182E-01	0.1810188293E 03	0.1247297668E 02

XB= 0.3750000E 02	YB= 0.1250000E 02		XMAX=.450000E 02	YMAX=.150000E 02	
EX= 0.7500000E 01	EY=0.2500000E 01		XMIN=.300000E 02	YMIN=.100000E 02	

Приложение 10

Фортран-программа *NSBASM*

```
26/04/85   КНИГА F.NSBASM                    1.45  C SL    СОЗДАНА 27/02/85                    AOC
// OPTION LINK
 ACTION NOMAP
 INCLUDE
 CATALR NSBASM
/*
// EXEC FFORTRAN
C      ПРОГРАММА**МАТРИЦА ОБ'ЕКТА(BASMAT)
C      ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПОДПРОГРАММЫ:CHREQ,SIMEQ,
C      STMST,PROOT,DET,CHREQA
       DIMENSION A(30,30),EIGR(30),
      *EIGI(30),AINV(30,30),NAME(5),
      *C(31)
      *,AOB(30,30)
      *,NA1(30),MA2(30),VE(450),KCT(30),LRI(450)
 2001 FORMAT (5A4,I2)
 2002 FORMAT(5E14.7)
 2003 FORMAT(1P6E20.7)
 2004 FORMAT(1H0,5X,'МАТРИЦА A',/)
 2005 FORMAT(1H0,5X,'ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЙ ПОЛИНОМ=',
      *'ПО ВОЗРАСТАЮЩИМ СТЕПЕНЯМ S'/)
 2006 FORMAT(1H0,5X,'СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ МАТРИЦЫ A')
 2007 FORMAT(7X,'ДЕЙСТВ ЧАСТЬ',7X,'МНИМАЯ ЧАСТЬ',/)
 2008 FORMAT(1H1,5X,29HПРОГРАММА **МАТРИЦА ОБ'ЕКТА**)
 2009 FORMAT(6X,'НАЗВАНИЕ ЗАДАЧИ=',5X,5A4)
 2010 FORMAT(1H0,5X,'ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ МАТРИЦЫ'/)
 2011 FORMAT(1H0,5X,'ОБРАТНАЯ МАТРИЦА'/)
 2012 FORMAT(1H0,45(1H*))
 2013 FORMAT(6I1)
    4 READ(1,2001,END=10)(NAME(I),I=1,5),N
      READ(1,333)IR
  333 FORMAT(I2)
      IF(IR.EQ.1)GO TO 336
      M=N
      READ(1,386)NT
      WRITE(3,9999)NT
 9999 FORMAT(10X,'NT=',I3/)
```

```
0036     386 FORMAT(I3)
0037         READ(1,42)(VE(I),I=1,NT)
0038         WRITE(3,44)(VE(I),I=1,NT)
0039      42 FORMAT(5F14.7)
0040      44 FORMAT( 5X,1P5E20.9)
0041         READ(1,46)(KCT(I),I=1,M)
0042         WRITE(3,48)(KCT(I),I=1,M)
0043      46 FORMAT(23I3)
0044      48 FORMAT(10X,23I3/)
0045         READ(1,50)(LRI(I),I=1,NT)
0046         WRITE(3,52)(LRI(I),I=1,NT)
0047      52 FORMAT(10X, 23I3/)
0048      50 FORMAT(23I3)
0049         CALL NSRAM(VE,N,N,NT,KCT,LRI,A)
0050         GO TO 9913
0051     336 READ(1,2002)((A(I,K),K=1,N),I=1,N)
0052    9913 READ(1,2013)IDET,INV,NRM,ICP,IEIG,ISTM
053          PRINT 2008
054          PRINT 2009,(NAME(I),I=1,5)
055          PRINT 2012
056          PRINT 2004
057          DO 2 I=1,N
058       2  PRINT 2003,(A(I,K),K=1,N)
059          IF(IDET.NE.0) GO TO 9
0060         DO 55 I=1,N
0061         DO 55 J=1,N
0062         AOB(I,J)=A(I,J)
063       55 CONTINUE
064          CALL NSDET(AOB,N,DET)
065          D=DET
066          PRINT 2010
067          PRINT 2003,D
068       5  IF(INV.NE.0) GO TO 15
069          PRINT 2011
07           CALL NSSIME (A,C,N,AINV,C,IERR)
071          IF(IERR.EQ.0) GO TO 15
072          DO 20 I=1,N
073       20 PRINT 2003,(AINV(I,J),J=1,N)
074       15 CALL NSCHRE (A,N,C,NRM)
```

Продолжение приложения I0

```
      CALL NSPROD(N,C,EIGR,EIGI,+1)
      IF(ICP.NE.0) GO TO 30
      PRINT 2012
      PRINT 2005
      NN=N+1
      PRINT 2003,(C(I),I=1,NN)
   30 IF(IEIG.NE.0) GO TO 35
      PRINT 2012
      PRINT 2006
      PRINT 2007
      DO 3 I=1,N
    3 PRINT 2003,EIGR(I),EIGI(I)
   35 IF(ISTM.NE.0) GO TO 25
      CALL NSSTMS (N,A,EIGR,EIGI,ISTM)
   25 WRITE(3,7777)
```

```
26/04/85   КНИГА F.NSBASM                    1.45  C SL    СОЗДАНА 27/02/85                    AOC

 7777 FORMAT(/10X,'РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЗАКОНЧЕНО'/10X,80(1H*)/)
      GO TO 4
   10 STOP
      END
/*
// EXEC MDMNR
 CATALR NSBASM,&SYSMOD,SYSLNK
/*
// EXEC LNKEDT
// EXEC
КОНТРОЛЬНЫЙПРИМЕРСN2 2
 1
    -5.0          0.05          0.2          -2.0

МОДЕЛЬ УМ С N=/----- 7
 5
 16
```

```
0107      -9.420043        0.6269496 -1116.679         -0.0013648      1.501501
0108     -27.37319         0.1154585  -758.5972         1.0          -385.0267
0109     -25.055           1.501501     -1.0           -1.501501       0.0013648
0110      -1.501501
0111    2  3  2  2  3  2  2
0112    1  2  1  5  7  3  4  3  3  2  4  6  5  6  5  7
0113
0114  МОД УМ С N=7 NIC=19  7
0115   5
0116   19
0117      -9.420043        0.6269496 -1116.679          0.0005        -0.0013648
0118      1.501501       -27.37319       0.1154585  -758.5972         0.0005
0119       1.0          -385.207        -25.055         0.0005         1.501501
0120      -1.0            -1.501501       0.0013648    -1.501501
0121    2  4  2  3  4  2  2
0122    1  2  1  2  5  7  3  4  3  4  5  2  4  5  6  5  6  5  7
0123
0124  МОДЕЛЬ УМ С N=7----- 7
0125   5
0126   16
0127      -9.420043        0.6269496 -1116.679         -0.0013648      1.501501
0128     -27.37319         0.1154585  -758.5972         1.0          -481.2903
0129     -31.31875         1.501501     -1.0           -1.501501       0.0013648
0130      -1.501501
0131    2  3  2  2  3  2  2
0132    1  2  1  5  7  3  4  3  3  2  4  6  5  6  5  7
0133
0134  МОД УМ С N=7 NIC=19  7
0135   5
0136   19
0137      -9.420043        0.6269496 -1116.679          0.0005        -0.0013648
0138      1.501501       -27.37319       0.1154585  -758.5972         0.0005
0139       1.0          -481.2903       -31.31875       0.0005         1.501501
0140      -1.0            -1.501501       0.0013648    -1.501501
0141    2  4  2  3  4  2  2
0142    1  2  1  2  5  7  3  4  3  4  5  2  4  5  6  5  6  5  7
0143
0144  МОД УМ С N=7 NIC=19  7
```

Подпрограмма *NSBASM*

```
0002   CATALR NSCHRE
0004  /*
0005  // EXEC FFORTRAN
0006        SUBROUTINE NSCHRE(A,N,C,NRM)
0007  C     ЭТА ПОДПРОГРАММА НАХОДИТ КОЭФФИЦИЕНТЫ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО
0008  C     ПОЛИНОМА С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА ЛЕ ВЕРРЬЕ (LEVERRIEN)
0009        COMMON ZED(30,30,30)
0010        DIMENSION A(30,30),ATEMP(30,30),
0011       *PROD(30,30)
0012       *,C(31)
0013        DATA ATEMP/900*0.0/
0014   1000 FORMAT(1H0,5X,'МАТРИЧНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ',
0015       *'ЧИСЛИТЕЛЯ РЕЗОЛЬВЕНТЫ МАТРИЦЫ A'/
0016       *)
0017   1001 FORMAT(1H0,5X,'МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ $**'I1/)
0018   1002 FORMAT(1P6E20.7)
0019   1003 FORMAT(1H0,45(1H*))
0020        CALL NSCMRO(A,N,C)
0021        DO 65 I=1,N
0022     65 ATEMP(I,I)=1.0
0023     70 DO 80 I=1,N
0024        DO 80 J=1,N
0025     80 ZED(N,I,J)=ATEMP(I,J)
0026        IF(NRM.NE.0)GOTO71
0027        WRITE(3,1003)
0028        WRITE(3,1000)
0029        M=N-1
0030        WRITE(3,1001)M
0031        DO 35 I=1,N
0032     35 WRITE(3,1002)(ATEMP(I,J),J=1,N)
0033     71 DO 40 I=1,N
0034        DO 40 J=1,N
0035     40 ATEMP(I,J)=A(I,J)
0036        DO 10 I=1,N
0037        NNN=N-I
0038        IF(I.EQ.1) GOTO 55
0039        IF(NRM.NE.0) GOTO 60
0040        WRITE(3,1001)NNN
```

```
      DO 45 J=1,N
   45 WRITE(3,1002)(ATEMP(J,K),K=1,N)
   60 NP=NNN+1
      DO 90 II=1,N
      DO 90 J=1,N
   90 ZED(NP,II,J)=ATEMP(II,J)
      DO 15 J=1,N
      DO 15 K=1,N
      PROD(J,K)=0.0
      DO 15 L=1,N
   15 PROD(J,K)=PROD(J,K)+A(J,L)*ATEMP(L,K)
      DO 13 J=1,N
      DO 13 K=1,N
   13 ATEMP(J,K)=PROD(J,K)
   55 DO 10 J=1,N
   10 ATEMP(J,J)=ATEMP(J,J)+C(NNN+1)
      RETURN
      END
/*
// EXEC MDMNR
 CATALR NSCHRE,&SYSMOD,SYSLNK
/*
```

26/04/85 КНИГА F.NSCHRQ 1.2 C SL СОЗДАНА 21/02/85 A0

```
// OPTION LINK
 ACTION NOMAP
 INCLUDE
 CATALR NSCHRQ
/*
// EXEC FFORTRAN
C     ПОДПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ D(P)=P*I-A
C     CHREQA-NSCHRQ
      SUBROUTINE NSCHRQ(A,N,C)
      DIMENSION B(30,30),
     *J(31),C(31)
     *,A(30,30)
     *,BOB(30,30)
```

Продолжение приложения II

```
      *,NA1(30),MA2(30)                                                 0013
      *,D(900)                                                          0014
       NN=N+1                                                           0015
       DO 20 I=1,N                                                      0016
   20 C(I)=0.0                                                          0017
       C(NN)=1.0                                                        0018
       DO 14 M=1,N                                                      0019
       KX=0                                                             0020
       L=1                                                              0021
       J(1)=1                                                           0022
       GO TO 2                                                          0023
    1 J(L)=J(L)+1                                                       0024
    2 IF (L-M) 3,5,50                                                   0025
    3 MM=M-1                                                            0026
       DO 4 I=L,MM                                                      0027
       II=I+1                                                           0028
    4 J(II)=J(I)+1                                                      0029
    5 DO 10 I=1,M                                                       0030
       DO 10 KK=1,M                                                     0031
       NR=J(I)                                                          0032
       NC=J(KK)                                                         0033
   10 B(I,KK)=A(NR,NC)                                                  0034
       KX=KX+1                                                          0035
       DO 56 I=1,M                                                      0036
       DO 56 JX=1,M                                                     0037
       BOB(I,JX)=B(I,JX)                                                0038
   56 CONTINUE                                                          0039
       CALL NSDET(BOB,M,DET)                                            0040
       D(KX)=DET                                                        0041
       DO 6 I=1,M                                                       0042
       L=M-I+1                                                          0043
       IF(J(L)-(N-M+L)) 1,6,50                                          0044
    6 CONTINUE                                                          0045
       M1=N-M+1                                                         0046
       DO 14 I=1,KX                                                     0047
       C(M1)=C(M1)+D(I)*(-1.0)**M                                       0048
   14 CONTINUE                                                          0049
       RETURN                                                           0050
```

```
   50 PRINT 2000
 2000 FORMAT (1H0, 'ОШИБКА В CHREQA')
      RETURN
      END
/*
// EXEC MDMNR
 CATALR NSCHRQ,&SYSMOD,SYSLNK
/*
```

26/04/85 КНИГА F.NSDET 1.1 C SL СОЗДАНА 21/02/85 A0

```
// OPTION LINK
 ACTION NOMAP
 INCLUDE
 CATALR NSDET
/*
// EXEC FFORTRAN
      SUBROUTINE NSDET(A,KC,DET)
      DIMENSION A(30,30),B(30,30)
      IREV=0
      DO 1 I=1,KC
      DO 1 J=1,KC
    1 B(I,J)=A(I,J)
      DO 20 I=1,KC
      K=I
    9 IF(B(I,K))10,11,10
   11 K=K+1
      IF(K-KC)9,9,51
   10 IF(I-K)12,14,51
   12 DO 13 M=1,KC
      TEMP=B(I,M)
      B(I,M)=B(K,M)
   13 B(K,M)=TEMP
      IREV=IREV+1
```

```
   14 II=I-1
      IF(II.GT.KC)GO TO 20
      DO 17 M=II,KC
   18 IF(B(M,I))19,17,19
   19 TEMP=B(M,I)/B(I,I)
      DO 16 N=I,KC,
   16 B(M,N)=B(M,N)-B(I,N)*TEMP
   17 CONTINUE
   20 CONTINUE
      DET=1.
      DO 2 I=1,KC
    2 DET=DET*B(I,I)
      DET=(-1)**IREV*DET
      RETURN
   51 DET=0.
      RETURN
      END
/*
// EXEC MDMNR
 CATALR NSDET,&SYSMOD,&YSLNK
/*
```

```
26/06/85   КНИГА F.NSRAM                    1.29  C SL    СОЗДАНА 11/03/85                    A0(

// OPTION LINK
 ACTION NOMAP
 INCLUDE
 CATALR NSRAM
/*
// EXEC FFORTRAN
      SUBROUTINE NSRAM(VE,N,M,NY,KCY,LRI,A)
      DIMENSION A(30,30)    ,VE(450)   ,KCY(30)  ,LRI(450)
      KX=1
      K2=KCT(1)
      DO 1 J=1,M
      DO 2 I=1,N
      IF(KCT(J).EQ.0)GOTO 111
```

```
      DO 3 IL=KX,K2
      IF(I.EQ.LRI(IL))GOTO 8
      A(I,J)=0.
      GOTO 3
    8 A(I,J)=VE(IL)
      GOTO 2
    3 CONTINUE
  111 A(I,J)=0.
    2 CONTINUE
      KX=K2+1
      K2=KCT(J+1)+K2
    1 CONTINUE
      RETURN
      END
/*
// EXEC MDMNR
 CATALR NSRAM,&SYSMOD,SYSLNK
/*
```

26/04/85 КНИГА F.NSRAM1 0.5 SL СОЗДАНА 11/03/85 ADC

```
// OPTION LINK
 ACTION NOMAP
 INCLUDE
 CATALR NSRAM1
/*
// EXEC FFORTRAN
      SUBROUTINE NSRAM1(VE,N,M,NT,KCT,LRI,A)
      DIMENSION A(20,20)   ,VE(200)  ,KCT(20) ,LRI(200)
      KX=1
      K2=KCT(1)
      DO 1 J=1,M
      DO 2 I=1,N
      IF(KCT(J).EQ.0)GOTO 111
      DO 3 IL=KX,K2
      IF(I.EQ.LRI(IL))GOTO 8
```

Продолжение приложения II

```
      A(I,J)=0.
      GOTO 3
    8 A(I,J)=VE(IL)
      GOTO 2
    3 CONTINUE
  111 A(I,J)=0.
    2 CONTINUE
      KX=K2+1
      K2=KCT(J+1)+K2
    1 CONTINUE
      RETURN
      END
/*
// EXEC MDMNR
 CATALR NSRAM1,&SYSMOD,SYSLNK
/*
```

26/04/85 КНИГА F.NSPROO 1.1 C SL СОЗДАНА 21/02/85 AOC

```
// OPTION LINK
 ACTION NOMAP
 INCLUDE
 CATALR NSPROO
/*
// EXEC FFORTRAN
      SUBROUTINE NSPROO(N,A,U,V,IR)
C  ЭТА ПОДПРОГРАММА ИСПОЛЬЗУЕТ МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД
C  БЕРСТОУ (BAIRSTOW) ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ КОРНЕЙ ПОЛИНОМА
      DIMENSION A(30),U(30),V(30),
     *H(63),B(63),C(63)
      IREV=IR
      NC=N+1
      DO 1 I=1,NC
    1 H(I)=A(I)
      P=0.
      Q=0.
```

```
0017         R=0.                                                          0017
0018       3 IF (M(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 M(I)=M(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=-M(1)/M(2)                                                  0027
0028         GOTO 50                                                       0028
0029       7 IF (NC-3)9,8,9                                                0029
0030       8 P=M(2)/M(3)                                                   0030
0031         Q=M(1)/M(3)                                                   0031
0032         GOTO 70                                                       0032
0033       9 IF (ABS(M(NC-1)/M(NC))-ABS(M(2)/M(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=M(NL)                                                       0038
0039         M(NL)=M(I)                                                    0039
0040      11 M(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 S=S+E-10                                                      0048
0049         B(NC)=M(NC)                                                   0049
0050         C(NC)=M(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
```

```
      DO 21 I1=1,NP                                                     0055
      I=NC-I1                                                           0056
      B(I)=H(I)+R*B(I+1)                                                0057
21    C(I)=B(I)+R*C(I+1)                                                0058
      IF(ABS(B(1)/H(1))-E)>0,50,24                                      0059
24    IF(C(2))25,22,23                                                  0060
22    R=R+1.0                                                           0061
      GOTO 30                                                           0062
23    R=R-B(1)/C(2)                                                     0063
30    DO 37 I1=1,NP                                                     0064
      I=NC-I1                                                           0065
      B(I)=H(I)-P*B(I+1)-Q*B(I+2)                                       0066
37    C(I)=B(I)-P*C(I+1)-Q*C(I+2)                                       0067
      IF (H(2))32,31,34                                                 0068
31    IF(ABS(B(2)/H(1))-E) 33,33,34                                     0069
32    IF (ABS(B(2)/H(2))-E)33,33,34                                     0070
33    IF(ABS(B(1)/H(1))-E)70,70,34                                      0071
34    CBAR=C(2)-B(2)                                                    0072
      D=C(3)**2-CBAR*C(4)                                               0073
      IF (D)36,35,36                                                    0074
35    P=P-2                                                             0075
      Q=Q*(Q+1)                                                         0076
      GOTO 49                                                           0077
36    P=P+(B(2)*C(3)-B(1)*C(4))/D                                       0078
      Q=Q+(-B(2)*CBAR+B(1)*C(3))/D                                      0079
49    CONTINUE                                                          0080
      E=E*10.                                                           0081
      GOTO 20                                                           0082
50    NC=NC-1                                                           0083
      V(NC)=0.                                                          0084
      IF (IREV)51,52,                                                   0085
51    U(NC)=1./R                                                        0086
      GOTO 53                                                           0087
52    U(NC)=R                                                           0088
53    DO 54 I=1,NC                                                      0089
```

```
26/04/85   КНИГА F.NSPROD                    1.1   C SL    СОЗДАНА 21/02/85                    AO

      54 H(I)=B(I+1)
         GOTO 4
      70 NC=NC-2
         IF(IREV)71,72,72
      71 QP=1./Q
         PP=P/(Q*2)
         GOTO 73
      72 QP=Q
         PP=P/2.
      73 F=PP**2-QP
         IF(F)74,75,75
      74 U(NC+1)=-PP
         U(NC)=-PP
         V(NC+1)=SQRT(-F)
         V(NC)=-V(NC+1)
         GOTO 76
      75 IF (PP)81,80,81
      80 U(NC+1)=-SQRT(F)
         GOTO 82
      81 U(NC+1)=-(PP/ABS(PP))*(ABS(PP)+SQRT(F))
      82 CONTINUE
         V(NC+1)=0.
         U(NC)=QP/U(NC+1)
         V(NC)=0.
      76 DO 77 I=1,NC
      77 H(I)=B(I+2)
         GOTO 4
     100 RETURN
         END
   /*
   // EXEC MDMNR
    CATALR NSPROD,&SYSMOD,SYSLNK
   /*

26/04/85   КНИГА F.NSSIME                    1.4   C SL    СОЗДАНА 21/02/85                    AOC
```

```
0000  // OPTION LINK                                                    0000
0001   ACTION NOMAP                                                    0001
0002   INCLUDE                                                         0002
0003   CATALR NSSIME                                                   0003
0004  /*                                                              0004
0005  // EXEC FFORTRAN                                                0005
000A  C       ЭТА ПОДПРОГРАММА С ПОМОЩЬЮ ПРОЦЕДУРЫ                    0006
0007  C       ДИАГОНАЛИЗАЦИИ НАХОДИТ ДЛЯ ЗАДАННОЙ                     0007
000F  C       МАТРИЦЫ ОБРАТНУЮ                                        0008
0000          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-I)51,12,9                                          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
```

```
      TEMP=X(I)
      X(I)=X(N)
      X(N)=TEMP
   12 X(I)=X(I)/B(I,I)
      TEMP=B(I,I)
      DO13M=1,KC
      AINV(I,M)=AINV(I,M)/TEMP
   13 B(I,M)=B(I,M)/TEMP
      DO16J=1,KC
      IF (J-I)14,16,14
   14 IF(B(J,I))15,16,15
   15 X(J)=X(J)-B(J,I)*X(I)
      TEMP=B(J,I)
      DO17N=1,KC
      AINV(J,N)=AINV(J,N)-TEMP*AINV(I,N)
   17 B(J,N)=B(J,N)-TEMP*B(I,N)
   16 CONTINUE
    3 CONTINUE
      RETURN
   51 PRINT 52
   52 FORMAT(6X,27H3ДАННАЯ МАТРИЦА СИНГУЛЯРНА)
      IERR=0
      RETURN
      END
/*
// EXEC MDMNR
 CATALR NSSIME,SSYSMOD/SYSLNK
/*
```

```
26/04/85   КНИГА F.NSSTMS                    1.2   C SL    СОЗДАНА 27/02/85                    401

// OPTION LINK
 ACTION NOMAP
 INCLUDE
 CATALR NSSTMS
```

Продолжение приложения II

```
0004  /*                                                              0004
0005  // EXEC FFORTRAN                                               0005
000A        SUBROUTINE NSSTMS(N,A,EIGR,EIGI,IKNOW)                   0006
0007  C     ЭТА ПОДПРОГРАММА С ПОМОЩЬЮ ТЕОРЕМЫ РАЗЛОЖЕНИ             0007
0008  C     СИЛЬВЕСТРА(SYLVESTER)ОПРЕДЕЛЯЕТ ПЕРЕХОДНУЮ                0008
0009  C     МАТРИЦУ СОСТОЯНИЯ                                         0009
0010        COMMON CHI(30,30,30)                                      0010
0011        DIMENSION A(30,30),EIGR(30),EIGI(30),                     0011
0012       *SPS(30,30)                                                0012
0013        COMPLEX CA(30,30),CA1(30,30),                             0013
0014       *CA2(30,30),TCA(30,30),DENOM(30),                          0014
0015       *CEIG(30)                                                  0015
0016   1000 FORMAT(1H0,5X,'ЭЛЕМЕНТЫ ПЕРЕХОДНОЙ МАТРИЦЫ',               0016
0017      *'СОСТОЯНИЙ')                                               0017
0018   1001 FORMAT(1H0,5X,'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(1H0,5X,'МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ',                 0021
0022      *5H EXP(,1PE13.6,7H)T*SIN(,1PE13.6,2H)T/)                   0022
0023   1004 FORMAT(1H0,5X,'МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ',                 0023
0024      *5H EXP(,1PE13.6,2H)T/)                                     0024
0025   1005 FORMAT(1H0,45(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)100,500,200                                        0038
0039    100 IF(J-1)110,110,130                                        0039
0040    200 IF(I-1)300,300,400                                        0040
0041    300 IF(J-I-1)110,110,150                                      0041
0042    400 IF(J-I-1)110,150,150                                      0042
```

```
0043     110 DO 5 K=1,N                                                  0043
0044         DO 5 L=1,N                                                  0044
0045       5 CA1(K,L)=CA(K,L)                                            0045
0046         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
```

```
      PRINT 1003,EIGR(I),EIGI(I)
  802 DO 55 K=1,N
      DO 55 L=1,N
   55 SPS(K,L)=AIMAG(CA1(K,L))*2.0
      DO 56 K=1,N
      DO 56 L=1,N
      CHI(I,K,L)=SPS(K,L)
   56 CONTINUE
```

```
26/06/85   КНИГА F.NSSTMS                    1.2   C SL    СОЗДАНА 27/02/85                    AOC
```

```
      IF(IKNOW.NE.0) GO TO 600
      DO 85 K=1,N
   85 PRINT 1002,(SPS(K,L),L=1,N)
      GOTO 600
   50 IF(IKNOW.NE.0)GOTO 804
      PRINT 1004,EIGR(I)
  804 DO 60 K=1,N
      DO 60 L=1,N
   60 SPS(K,L)=REAL(CA1(K,L))
       DO 61 K=1,N
      DO 61 L=1,N
      CHI(I,K,L)=SPS(K,L)
   61 CONTINUE
      IF(IKNOW.NE.0)GOTO 600
   75 PRINT 1002,(SPS(K,L),L=1,N)
  600 IF(I.GE.N)RETURN
      I=I+1
      GOTO 700
      END
/*
// EXEC MDMNR
 CATALR NSSTMS,&SYSMOD,SYSLNK
/*
```

Результаты анализа устойчивости моделей УМ с помощью программы *N3BASM*

```
     ПРОГРАММА **МАТРИЦА ОБ'ЕКТА**
     НАЗВАНИЕ ЗАДАЧИ=      КОНТРОЛЬНЫЙПРИМЕРСN2

*****************************************
     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        -5,0050068E-01
*****************************************
     МАТРИЧНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫЧИСЛИТЕЛЯ РЕЗОЛЬВЕНТЫ 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-ПО ВОЗРАСТАЮЩИМ СТЕПЕНЯМ S

      9,9899960E 00         7,0000000E 00        1,0000000E 00
*****************************************
     СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ МАТРИЦЫ А
      ДЕЙСТВ ЧАСТЬ          МНИМАЯ ЧАСТЬ

     -1,9966688E 00         0,0
     -5,0033302E 00         0,0
*****************************************
     ЭЛЕМЕНТЫ ПЕРЕХОДНОЙ МАТРИЦЫСОСТОЯНИЯ

     МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ EXP(-1,9966669E 00)T

      6,6518903E-02         9,9889801E-01

     МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ EXP(-5,0033330E 00)T

     -6,6518903E-02         1,1079546E-03

         РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЗАКОНЧЕНО
```

```
**********************************************************************************

 NT= 10

-9.420042992E 00     6.209495487E-01    -1.116678955E 03    -1.364799915E-03     1.501500130E 00
-2.737318420E 01     1.134584885E-01    -7.585971680E 02     1.000000000E 00    -3.850266113E 02
-2.505499268E 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  5  7  3  4  5  5  2  4  6  5  6  5  7

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	1,5950422E 00	-9,1678381E-02	-2,1735352E 01	-6,9547028E 01	4,6318359E 01
-6,3215375E-02					
-8,9551136E-04	-1,3455253E-02	7,7337793E-04	1,8335450E-01	5,8668286E-01	-3,9073116E-01
5,3327018E-04					
-2,9103830E-11	-6,9849193E-10	-3,2395005E-02	9,8083317E-01	-2,4574738E 01	1,6366776E 01
-2,2337437E-02					
1,8189894E-12	2,9103830E-11	-1,4928274E-04	-3,5392359E-02	8,8675404E-01	-5,9057879E-01
8,0602290E-04					
-1,7053026E-13	-2,7284841E-12	-1,4928263E-04	-3,5392325E-02	-1,1324537E-01	7,5421512E-02
-1,0293543E-04					
-1,1368684E-13	-1,8189894E-12	-1,4928263E-04	-3,5392333E-02	-1,1324537E-01	-5,9057915E-01
-1,0293540E-04					
-8,9551229E-04	-1,3455268E-02	7,7337888E-04	1,8335474E-01	5,8668351E-01	-3,9073163E-01
-6,6546804E-01					

****

МАТРИЧНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫЧИСЛИТЕЛЯ РЕЗОЛЬВЕНТЫ 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					
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,0000000E 00					

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	-2.5054993E 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	1.5015001E 00	0.0	0.0	0.0	0.0
3.8294693E 01					

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ S**4

1.9807300E 02	-3.3920422E 04	0.0	0.0	4.2995106E 05	0.0
0.0					
1.9044312E 01	4.8474316E 02	0.0	-3.8502661E 02	-1.5322594E 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	3.4195051E-02	1.4343424E 00	1.0716772E 03	-9.9709351E 02	2.5054993E 01
-3.4195051E-02					
-8.5566053E-04	-5.2264905E-02	1.1545849E-01	3.9796204E 01	1.1582878E 03	-3.8294693E 01
5.2264594E-02					
0.0	-2.0492470E-03	0.0	1.5015001E 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

1.1139648E 03	-2.2177063E 05	0.0	4.2995106E 05	1.3060259E 07	-4.2995106E 05
5.8679712E 02					
1.2451120E 02	2.9999336E 03	-4.4454590E 01	-1.5322594E 04	-1.7641406E 05	1.4744473E 04
-2.0123245E 01					
0.0	-2.5940262E 01	2.4455078E 03	-5.5500403E 05	2.3611988E 05	-1.9006645E 04
2.5940262E 01					
2.1438565E-02	1.3094893E 00	8.4471723E 01	2.2161016E 04	-2.6826410E 04	9.5947314E 02
-1.3094883E 00					
-2.4706896E-02	-5.4665783E-01	1.4343424E 00	1.0707009E 03	2.3211727E 04	-1.1007883E 03
1.5023556E 00					
-1.2847744E-03	-7.5398326E-02	1.7336088E-01	5.7499481E 01	1.6528335E 03	2.2499035E 04
7.5398266E-02					
2.7181564E 01	6.4150010E 02	0.0	-5.7811743E 02	-2.2138828E 04	5.7811743E 02
2.2553488E 04					

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ S**2

2.4392500E 03	-1.2608740E 00	4.9641504E 04	1.3060259E 07	7.3969664E 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					
-1.6263229E 01	-2.8330737E 02	2.0950500E 04	-1.6190370E 06	1.3887080E 07	-2.0758119E 05
2.8330664E 02					
-6.1903107E-01	1.0706496E 01	2.4641707E 02	6.1065438E 04	-5.5430756E 05	2.5385762E 04
-3.4646469E 01					
-1.1011207E-01	-1.8338928E 00	8.4359024E 01	2.2123637E 04	1.2370313E 05	-2.1558895E 04
2.9423569E 01					
-3.5168319E-02	-7.0789953E-01	1.8933630E 00	1.5213218E 03	3.2370680E 04	1.1653663E 05
2.1425762E 00					
1.4614047E 02	3.5411770E 03	-6.6748566E 01	-2.2138828E 04	-2.3164419E 05	2.1270777E 04
1.1807750E 05					

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ S**1

1.0917500E 03	-2.7995170E 00	1.4907175E 05	3.6311522E 07	1.3960525E 08	-5.5528976E 07
7.5513000E 04					
1.5716826E 03	2.5382125E 04	-1.3577539E 03	-3.3006530E 05	-1.2537600E 06	5.1736700E 05

-7,0610547E 02
-2,4418945E 01 -3,6689063E 02 5,4767250E 04 4,0362752E 07 -2,0058720E 06 -1,3575394E 07
1,8527707E 04
8,8112926E-01 1,3237930E 01 3,0529834E 02 -1,4959990E 06 7,3941313E 04 5,1619088E 05
-7,0449707E 02
-1,1250681E-01 -1,6907954E 00 2,4518631E 02 2,2920831E 05 5,9706641E 04 -9,1332313E 04
1,2465050E 02
-1,1252803E-01 -1,6906934E 00 1,2382219E 02 1,1713563E 05 3,0934375E 04 6,0783000E 05
4,0962402E 01
8,4350049E 02 1,4417797E 04 -7,2899487E 02 -7,7682325E 05 -1,8100803E 05 1,9970606E 05
6,3757088E 05

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ S**0

-2,6000000E 02 -1,7721900E 06 1,1191300E 05 8,4960000E 07 2,6920360E 07 -5,6531456E 07
7,7157375E 04
1,1039597E 03 1,6238000E 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 -1,1843760E 06 -1,9979864E 07
8,7267125E 04
-5,1689168E-04 1,6801025E-03 1,8020313E 02 -1,0825900E 06 4,3147000E 04 7,2093600E 05
-9,8393628E 02
-1,6498566E-04 -3,8491943E-02 1,8233424E 02 1,3825800E 05 4,3210332E 04 -9,2072688E 04
1,2366089E 02
3,1828880E-05 -1,2302399E-04 1,8222820E 02 1,3824713E 05 4,3204535E 04 7,2094800E 05
1,2365768E 02
1,0933657E 03 1,6462941E 04 -9,4408179E 02 -7,1612000E 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 04 1,5197181E 05 1,1843188E 03
3,9796204E 01 1,0000000E 00

****

СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ МАТРИЦЫ А

ДЕЙСТВ ЧАСТЬ	МНИМАЯ ЧАСТЬ
-4,7133093E 00	-2,0026733E 01
-4,7133093E 00	2,0026733E 01
-1,6945953E 00	-5,2102957E 00
-1,6945953E 00	5,2102957E 00
-2,3856155E 01	0,0
-1,6226492E 00	0,0
-1,5015793E 00	0,0

****

ЭЛЕМЕНТЫ ПЕРЕХОДНОЙ МАТРИЦЫСОСТОЯНИЯ

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ EXP(-4,713309E 00)T*COS(4,6026733E 01)T

1,0008430E 00	1,1577217E-02	8,2473934E-02	8,3611107E 00	-6,3603564E 02	-7,6805649E 00
1,0482430E-02					
-6,4880587E-06	9,9995539E-01	4,0146428E-04	5,5686641E-01	5,5862514E 00	-5,1690733E-01
7,0547499E-04					
-2,6562921E-05	3,9975639E-04	-2,8143641E-06	-5,6210149E-05	1,8804453E-02	2,6595648E-05
3,6297727E-08					
3,4785126E-07	-5,1327079E-05	8,5455483E-09	-2,5572806E-05	-5,1087744E-04	2,3873406E-05
-3,2582413E-08					
1,2927303E-06	1,7043276E-03	1,4243458E-07	2,0278618E-05	-7,2909473E-04	-1,8723789E-05
2,5554236E-08					
-1,9110189E-08	2,8546547E-06	-2,4325919E-10	1,4307143E-06	2,8113864E-05	-1,3292311E-06
1,8161502E-09					
-1,3688016E-03	-1,7303891E-02	-1,2078267E-04	-2,1063574E-02	7,7613676E-01	1,9441910E-02
-2,6534311E-05					

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ EXP(-4,713309E 00)T*SIN(4,6026733E 01)T

-1,8071711E-01	-4,6905029E 01	-3,4714125E-02	-2,3404343E 01	-1,2420752E 02	2,3866833E 01
-3,2164007E-02					
2,4088673E-02	1,8111169E-01	2,0685615E-03	3,0193200E-01	-1,6347603E 01	-2,7834594E-01

3.7988648E-04					
1.2987966E-05					
9.8384135E-07	1.2002164E-03	8.1439998E-07	7.5184461E-04	-1.6089226E-03	-7.2086882E-04
-1.2993050E-06					
-3.0663394E-08	-2.4194469E-05	-1.1439801E-07	-2.4196295E-05	6.9368281E-04	2.2467313E-05
1.7676837E-07					
-3.5078827E-08	-5.2338408E-05	-9.7734656E-09	-2.7678398E-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-02	1.1717348E-05	2.9526636E-02	4.1793585E-01	-2.7421489E-02

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ EXP(-1.694595E 00)T*COS(5.210296E 00)T

-1.1698063E-03					
-7.5106323E-02	-5.0868643E-03	-1.6021729E-01	-7.9316711E 00	6.4104492E 02	5.5031006E 01
1.5775659E-06					
-2.5098049E-04	-3.4960062E-04	-1.7560422E-03	-6.1606848E-01	-5.6612015E 00	1.8389559E-01
-4.8072543E-06					
-4.0748693E-02	-1.8742704E-03	-1.4636922E-01	-3.3065430E 01	-3.3089617E 01	2.9856903E 01
1.6620982E-06					
1.4492488E-03	8.1654493E-05	5.0325841E-03	1.0903816E 00	4.1871205E-02	-1.0618763E 00
-1.4404668E-06					
-1.0320780E-04	-1.9088475E-05	-2.0100130E-04	-1.6710684E-03	1.0027876E 00	7.5621188E-02
6.2184540E-08					
-7.3390838E-05	-2.0642938E-06	-2.7232640E-04	-6.3636243E-02	-1.1354530E-01	5.3773753E-02
1.4230318E-06					
4.3186243E-04	2.3870729E-05	1.4559370E-03	3.0340910E-01	-2.7611113E-01	-3.1667638E-01

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ EXP(-1.694595E 00)T*SIN(5.210296E 00)T

4.6377708E-04					
1.6509998E-01	2.1402851E-02	6.1385357E-01	1.4375705E 02	2.6307739E 02	-1.2097018E 02
-1.4472360E-05					
-1.4921823E-07	5.5776956E-04	-4.9948469E-03	-1.0312042E 00	1.1787920E 00	1.0933342E 00
-2.1835632E-04					
-1.0178432E-02	-2.0513189E-03	-1.0968089E-02	4.2174015E 00	1.5699628E 02	7.4578209E 00
7.3586980E-06					
	7.6817145E-05	6.4189732E-04	-3.7010419E-01	-5.5418377E 00	-4.7389694E-02

```
 6.4677442E-05
-1.6170452E-07
 2.5884761E-04   9.9997360E-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   -2.8399547E-03   2.8477418E-01   2.3785062E-02
 1.1555021E-06
-5.6375866E-05   -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   -1.4551915E-11   -8.0109763E-05   -2.4401707E-03   -2.5386875E-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   -4.1.112509E 00

МАТРИЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ EXP(-1.501579E 00)T

 1.3929605E-03
 9.9463838E-01   1.8203735E-02   3.6953488 0E-06   1.1453629E-03   -1.4077187E-02   4.4086637E 00

     РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЗАКОНЧЕНО
     **********************************************************************
```

Приложение I3

Фортран-программа *NSSAY6*

```
// JOB NS
// EXEC MDMNS

26/04/85   КНИГА F.NSSAY6                          1.41  C.SL     CU3A/

// OPTION LINK
 ACTION NOMAP
 INCLUDE
 CATALR NSSAY6
/*
// EXEC FFORTRAN
C       SAY006
C       SAY006 ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПО МАТРИЦЕ А
        DIMENSION A(20,20),B(20,20),P(20),
       *Q(20),XM1(20,20),XM2(20,20),BK(20,20),
       *B2(20),B1(20),AMP1(20),AMP2(20),
       *AKQ1(20),AKQ2(20),X(80)
       *,
       *AAX(80),AX(80),VE(200),KCT(20),LRI(200)
        READ(1,202)N
  202   FORMAT(I3)
        PRINT 725,N
  725   FORMAT(5X,'N=',I3/)
   37   FORMAT(6X,'ИСХОДНАЯ МАТРИЦА А'/)
        READ(1,333)IR
  333   FORMAT(I2)
        IF(IR.EQ.1)GO TO 336
         READ(1,386)NT
        WRITE(3,88888)NT
88888   FORMAT(10X,'NT=',I3/)
  386   FORMAT(I3)
        READ(1,42)(VE(I),I=1,NT)
        WRITE(3,44)(VE(I),I=1,NT)
   42   FORMAT(5F14.7)
   44   FORMAT(5X,1P5E20.9)
        READ(1,46)(KCT(I),I=1,N)
        WRITE(3,48)(KCT(I),I=1,N)
   46   FORMAT(23I3)
   48   FORMAT(10X,23I3/)
        READ(1,50)(LRI(I),I=1,NT)
        WRITE(3,52)(LRI(I),I=1,NT)
   52   FORMAT(10X,23I3/)
   50   FORMAT(23I3)
        CALL NSRAM1(VE,N,N,NT,KCT,LRI,A)
        GO TO 13
  336   READ 1004,((A(I,J),J=1,N),I=1,N)
   13   READ(1,201)IK
        READ(1,5222)IK2
 5222   FORMAT(I1)
  201   FORMAT(I3)
        WRITE(3,203)IK
        PRINT 37
  203   FORMAT(/5X,'IK=',I3/)
        DO 728 I=1,N
  728   WRITE(3,729)(A(I,J),J=1,N)
  729   FORMAT(5X, 1P5E20.9)
```

```
 1004 FORMAT(5F14.7)
 2003 FORMAT(/5X,'D=',E20.7/)
C  ВЫЧИСЛЕНИЕ P Q
      DO 4 I=1,N
      P(I)=0.0
      Q(I)=0.0
      DO 5 J=1,N
      IF(I.EQ.J) GO TO 5
      P(I)=P(I)+ABS(A(I,J))
      Q(I)=Q(I)+ABS(A(J,I))
    5 CONTINUE
    4 CONTINUE
      WRITE(3,38)(P(I),Q(I),I=1,N)
   38 FORMAT(3X,'P',18X,'Q'/3X,E15.8,
     *1X,E15.8/)
C  ВЫЧИСЛЕНИЕ R
      DO 1000 I=1,N
      AMP1(I)=A(I,I)-P(I)
      AMP2(I)=A(I,I)+P(I)
      AKQ1(I)=A(I,I)-Q(I)
      AKQ2(I)=A(I,I)+Q(I)
      WRITE(3,1001)I,AMP1(I),AMP2(I),I,
     *AKQ1(I),AKQ2(I)
 1000 CONTINUE
 1001 FORMAT(15X,'I=',I2,2X,'AMP1(I)>ИЛИ=',
     *E20.8,2X,'AMP2(I)<ИЛИ=',E20.8/
     *15X,'I=',I2,2X,'AKQ1(I)>ИЛИ=',E20.8,
     *2X,'AKQ2(I)<ИЛИ=',E20.8//)
      DO 1003 I=1,N
      X(I)=AMP1(I)
      X(I+N)=AMP2(I)
      X(I+N*2)=AKQ1(I)
      X(I+N*3)=AKQ2(I)
 1003 CONTINUE
      N1=N*4
      XPR=0.0
      DO 1005 I=1,N1
      IF(X(I).LT.XPR)GOTO 1405
      GOTO 1005
```

6/ 4/85 КНИГА F.NSSAY6 1.41 C SL CUBA

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

```
      1406 N2=N2-1
      1405 CONTINUE
           XRL=XPR
           DO 2 I=1,N2
           IF(AAX(I).GT.XRL)GOTO 1407
           GOTO 2
      1407 XRL=AAX(I)
         2 CONTINUE
           IF(XRL)1901,1902,1906
      1902 XRL=0.0
           IF(XRL.EQ.XPR)GOTO 1902
      1901 CONTINUE
           WRITE(3,1927)
      1927 FORMAT(15X,'XPR-ЛЕВАЯ ГРАНИЦА'/
     *25X,'XRL-ПРАВАЯ ГРАНИЦА'/)
           R=((XPR-XRL)/2.0)
           WRITE(3,1014)XPR,XRL,R
      1014 FORMAT(/5X,'XPR=',E20.8,2X,
     *'XRL=',E20.8,2X,'R=',E20.8//)
           AM=R
C     ВЫЧИСЛЕНИЕ МАТРИЦЫ B
           DO 10 I=1,N
           DO 11 J=1,N
           IF(I.NE.J) GO TO 12
           B(I,J)=1.0+A(I,J)/AM
           GO TO 11
        12 B(I,J)=A(I,J)/AM
        11 CONTINUE
        10 CONTINUE
           IF(IK2.NE.0) GOTO4224
           PRINT 513
       513 FORMAT(10X,'МАТРИЦА B'/)
           WRITE(3,3514)
      3514 FORMAT(5X,70(1H*)/)
           DO 708 I=1,N
       708 WRITE(3,710)(B(I,J),J=1,N)
C
C
       710 FORMAT(1P5E20.9)
           WRITE(3,3704)
      3704 FORMAT(5X,70(1H*)/)
C     ВЫЧИСЛЕНИЕ НОРМ
      4224 K=0
        24 DO 9913 I=1,N
           AK=0.0
           AL=0.0
           DO 9913 J=1,N
           B1(I)=ABS(B(I,J))+AL
           B2(I)=ABS(B(J,I))+AK
           AL=B1(I)
      9913 AK=B2(I)
           BM1=B1(1)
           BM2=B2(1)
           DO 14 I=2,N
           IF(BM1.GT.B1(I)) GO TO 15
           BM1=B1(I)
        15 IF(BM2.GT.B2(I)) GO TO 14
        14 BM2=B2(I)
```

```
      WRITE(3,3706)
 3706 FORMAT(15X,'НОРМЫ МАТРИЦЫ B(I,J)'/)
      WRITE(3,70)BM1,BM2
   70 FORMAT(10X,'НОРМА BM1=',E15.8/10X,'НОРМА BM2=',E15.8/)
      IF(BM1.LT.1.0)GO TO 16
      IF(BM2.LT.1.0)GO TO 16
      B3=0.0
      DO 17 I=1,N
      DO 18 J=1,N
   18 B3=B3+(B(I,J))**2
   17 CONTINUE
      B3=SQRT(B3)
      WRITE(3,71)B3
   71 FORMAT(10X,'НОРМА B3=',E15.8/)
      IF(B3.LT.1.0)GO TO 16
      B4=ABS(B(1,1))
      DO 19 I=1
      DO 20 J=1,N
```

6/ 4/85 A F.NSSAYO 1.41 C SL СОЗДАНА 20/02/85 A01

```
      IF(B4.GT.ABS(B(I,J))) B4=ABS(B(I,J))
   20 CONTINUE
   19 CONTINUE
      B4=B4*N
      WRITE(3,72)B4
   72 FORMAT(10X,'НОРМА B4=',E15.8/)
      IF(B4.LT.1.0)GO TO 16
      CALL ARRAY(2,N,N,20,20,B,B)
      CALL GMPRD(B,B,BK,20,20,20)
      CALL ARRAY(1,N,N,20,20,BK,B)
      K=K+1
      IF(K.GT.IK)GOTO30
      GOTO24
   16 WRITE(3,1116)
 1116 FORMAT(/5X,'СИСТЕМА С МАТРИЦЕЙ А УСТОЙЧИВА'//)
```

Окончание приложения I3

```
      GO TO 32
   30 WRITE(3,31) K
      WRITE(3,29)BM1,BM2,B3,B4,K
   29 FORMAT(10X,'НОРМА B1=',E20.8/10X,
     *'НОРМА B2=',E20.8/10X,'НОРМА B3=',
     *E20.8/10X,'НОРМА B4=',E20.8/10X,
     *'СТЕПЕНЬ МАТРИЦЫ R =',I4//)
   31 FORMAT(6X,'СИСТЕМА НЕ УСТОЙЧИВА K=',I4)
 1302 WRITE(3,1050)XRL,XPR
 1050 FORMAT(15X,'XPL=',E15.7,'XPR=',E15.7/)
   32 STOP
      END
/*
// EXEC MDMNR
 CATALR NSSAY6,&SYSMOD,SYSLNK
/*
// EXEC LNKEDT
// EXEC
  7
 5
 19
    -9.420043      0.6269496 -1116.679        0.0005       -0.0013648
    1.501501     -27.37319       0.1154585  -758.5972        0.0005
     1.0        -288.7741      -18.79125       0.0005        1.501501
    -1.0          -1.501501      0.0013648    -1.501501
  2  4  2  3  4  2  2
  1  2  1  2  5  7  3  4  3  4  5  2  4  5  6  5  6  5  7
  5

/*
```

Приложение I4

Результаты анализа устойчивости моделей УМ с помощью программы NSSAY6

```
// EXEC                                                                                  0386
        N=  7

            NT= 19

    -9.420042992E 00     6.269495487E-01    -1.116678955E 03   4.999998491E-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   4.999998491E-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  5  6  5  7

  IK=  5
   ИСХОДНАЯ МАТРИЦА A

    -9.420042992E 00    -1.116678955E 03     0.0                0.0                0.0
     0.0                 0.0
     6.269495487E-01     4.999998491E-04     0.0                0.0               -2.887739258E 02
     0.0                 0.0
     0.0                 0.0                -2.737318420E 01  -7.585971680E 02    0.0
     0.0                 0.0
     0.0                 0.0                 1.154584885E-01   4.999998491E-04   -1.879124451E 01
     0.0                 0.0
     0.0                -1.364799915E-03     0.0                1.000000000E 00    4.999998491E-04
    -1.000000000E 00     1.364799915E-03
     0.0                 0.0                 0.0                0.0                1.501500130E 00
    -1.501500130E 00     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                   Q
  .28940063E 03   0.11181816E 04

P                   Q
  .75859717E 03   0.11545849E 00
```

Продолжение приложения I4

```
P                    Q
 .18906693E 02   0.75959717E 03

P                    Q
 .20027294E 01   0.30906641E 03

P                    Q
 .15015001E 01   0.10000000E 01

P                    Q
 .15015001E 01   0.13647999E-02

          I= 1   AMP1(I)>ИЛИ=     -0.11260989E 04   AMP2(I)<ИЛИ=      0.11072588E 04
          I= 1   AKQ1(I)>ИЛИ=     -0.10046992E 02   AKQ2(I)<ИЛИ=     -0.87930927E 01

          I= 2   AMP1(I)>ИЛИ=     -0.28940063E 03   AMP2(I)<ИЛИ=      0.28940063E 03
          I= 2   AKQ1(I)>ИЛИ=     -0.11181816E 04   AKQ2(I)<ИЛИ=      0.11181816E 04

          I= 3   AMP1(I)>ИЛИ=     -0.78597021E 03   AMP2(I)<ИЛИ=      0.73122388E 03
          I= 3   AKQ1(I)>ИЛИ=     -0.27488632E 02   AKQ2(I)<ИЛИ=     -0.27257721E 02

          I= 4   AMP1(I)>ИЛИ=     -0.18906693E 02   AMP2(I)<ИЛИ=      0.18906693E 02
          I= 4   AKQ1(I)>ИЛИ=     -0.75959717E 03   AKQ2(I)<ИЛИ=      0.75959717E 03

          I= 5   AMP1(I)>ИЛИ=     -0.20027294E 01   AMP2(I)<ИЛИ=      0.20027294E 01
          I= 5   AKQ1(I)>ИЛИ=     -0.30906641E 03   AKQ2(I)<ИЛИ=      0.30906641E 03

          I= 6   AMP1(I)>ИЛИ=     -0.30030003E 01   AMP2(I)<ИЛИ=      0.0
          I= 6   AKQ1(I)>ИЛИ=     -0.25015001E 01   AKQ2(I)<ИЛИ=     -0.50150013E 00

          I= 7   AMP1(I)>ИЛИ=     -0.30030003E 01   AMP2(I)<ИЛИ=      0.0
          I= 7   AKQ1(I)>ИЛИ=     -0.15028648E 01   AKQ2(I)<ИЛИ=     -0.15001345E 01
```

```
          XPR-ЛЕВАЯ ГРАНИЦА
                XRL-ПРАВАЯ ГРАНИЦА

XPR=     -0.11260989E 04  XRL=     -0.50150013E 00  K=     -0.56279858E 03

     МАТРИЦА B
*****************************************************************************
1.016736984E 00    1.9 4153748E 00    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                                   1.347901344E 00    0.0
0.0                0.0                1.048637390E 00
0.0                0.0                                   1.000000000E 00    3.338893130E-02
0.0                0.0               -2.051506308E-04
0.0                0.0                                  -1.776834484E-03    1.000000000E 00
0.0                2.425023013E-06    0.0
1.776834484E-03   -2.425023013E-06                                          -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                1.002667427E 00
*****************************************************************************

          НОРМЫ МАТРИЦЫ B(I,J)

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

     НОРМА B3= 0.36279726E 01

     НОРМА B4= 0.0

СИСТЕМА С МАТРИЦЕЙ А УСТОЙЧИВА
```

СОДЕРЖАНИЕ

I. Основные положения 3
2. Исходные данные, ограничения и допущения 7
3. Расчет мощности электродвигателя исполнительного органа резания 9
4. Определение передаточного отношения для редуктора резания II
5. Формирование математических моделей динамического функционирования УМ I3
6. Имитационное моделирование УМ на ЭВМ. Анализ характеристик 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 модели УМ 8I
Приложение 7. Программа SAY251 . Аналог САУ УМ 85
Приложение 8. Фортран-программа NSIMIT 90
Приложение 9. Результаты имитационного моделирования УМ. .
Приложение I0. 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.Захарьящева.
Подписано к печати I2.II.85. Т-22602.
Формат 62,5х84 I/I6. Бум. множ. аппаратов.
Печать офсетная.
Уч.-изд.л. 9,5. Тираж 450 экз.
Изд. № 9II4. Тип. зак. № 2777
Цена 97 коп.

Институт горного дела им. А.А.Скочинского,
I40004, г. Люберцы Моск. обл.

Типография Минуглепрома СССР,
I40004, г. Люберцы Моск. обл.

gost.e-ecolog.ru