



**С. А. КЕШУОВ**

**РЕЖИМ РАБОТ АВТОНОМНЫХ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ  
МОБИЛЬНЫХ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
МАШИН**

Алматы 1994

КЕШУОВ С.А.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА  
МОБИЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

АЛМАТЫ 1994

УДК 621.311 \*

КЕШУОВ С.А. РЕЖИМЫ РАБОТЫ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА  
МОБИЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН. - Алматы, КазгосИНТИ,  
1994. - 86 с., ил.

В монографии приведены уравнения состояния системы автономного электропривода рабочих органов мобильной с.х. машины в стандартной форме, результаты расчета устойчивости системы в различных режимах работы и методика оптимизации параметров системы.

Ил. - 17, библиогр. - 16 назван.

Рецензенты: доктор технических наук С.Н. Асамбаев  
кандидат технических наук, профессор, М.И. Сылкин

ISBN 5-7667-2774-7

© С.А. Кешуов, 1994

## О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРО- ПРИВОДА В СТАНДАРТНОЙ ФОРМЕ.....	5
2. АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНЫ.....	13
2.1. Характеристика задачи оптимизации параметров системы автономного электропривода.....	13
2.2. Особенности анализа устойчивости автономных электроприводов.....	14
2.3. Пуск двигателей в системе автономного электропривода.....	15
2.4. Наброс нагрузки на первичный двигатель и двигатель рабочего органа.....	35
2.5. Методика выбора мощности электрических машин и типа трактора электрифицированной сельско- хозяйственной машины.....	43
В ы  в о  д ы .....	47
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	49
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	51

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе даны уравнения состояния системы автономного электропривода в стандартном виде. Уравнения учитывают характеристики ДВС, работу муфты сцепления трактора при трогании с места, наличие в цепи возбуждения асинхронного генератора дополнительных обмоток, компаундирующего устройства и трехфазного выпрямителя, а также падение напряжения в силовом кабеле.

С целью оптимизации параметров проведен анализ устойчивости системы в переходных режимах - пуске асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором от генератора соизмеримой мощности и набросе нагрузки на первичный ДВС и асинхронные двигатели.

На основе численных экспериментов определены соотношения мощностей ДВС, генератора и электродвигателей при различных условиях пуска последних. Теоретически доказана возможность использования способности первичного дизеля трактора изменять скорость вращения в широком диапазоне, для частотного пуска асинхронного электропривода рабочих органов с мощностью, близкой к мощности генератора.

Дана методика расчета системы автономного электропривода мобильных машин.

# I. УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В СТАНДАРТНОЙ ФОРМЕ

В /Б/ были получены уравнения системы ДВС-СГ-АД-РО в системе координат  $d, q$  вращающейся вместе с ротором генератора и записанные в относительных единицах.

Для конкретных расчетов уравнения дополняем уравнениями второго двигателя и подвергаем преобразованиям путем исключения из них потокосцеплений, т.е. за переменную состояния системы принимаем ток, поскольку другим путем записать систему в явном виде не удастся. Тогда уравнения состояния системы автономного электропривода в стандартной форме запишутся как

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{d\dot{i}_s}{d\tau} &= C_{11}\dot{i}_s + C_{12}\dot{i}_{x1}^{(1)} + C_{13}\dot{i}_{x1}^{(2)} + C_{14}\dot{i}_{y1}^{(1)} + C_{15}\dot{i}_{y1}^{(2)} + \\
 &\quad + C_{16}\dot{i}_{x2}^{(1)} + C_{17}\dot{i}_{x2}^{(2)} + C_{18}\dot{i}_{y2}^{(1)} + C_{19}\dot{i}_{y2}^{(2)} ; \\
 \frac{d\dot{i}_{x1}^{(1)}}{d\tau} &= C_{21}\dot{i}_s + C_{22}\dot{i}_{x1}^{(1)} + C_{23}\dot{i}_{x1}^{(2)} + C_{24}\dot{i}_{y1}^{(1)} + C_{25}\dot{i}_{y1}^{(2)} + \\
 &\quad + C_{26}\dot{i}_{x2}^{(1)} + C_{27}\dot{i}_{x2}^{(2)} + C_{28}\dot{i}_{y2}^{(1)} + C_{29}\dot{i}_{y2}^{(2)} ; \\
 \frac{d\dot{i}_{x1}^{(2)}}{d\tau} &= C_{31}\dot{i}_s + C_{32}\dot{i}_{x1}^{(1)} + C_{33}\dot{i}_{x1}^{(2)} + C_{34}\dot{i}_{y1}^{(1)} + C_{35}\dot{i}_{y1}^{(2)} + \\
 &\quad + C_{36}\dot{i}_{x2}^{(1)} + C_{37}\dot{i}_{x2}^{(2)} + C_{38}\dot{i}_{y2}^{(1)} + C_{39}\dot{i}_{y2}^{(2)} ; \\
 \frac{d\dot{i}_{y1}^{(1)}}{d\tau} &= C_{41}\dot{i}_s + C_{42}\dot{i}_{x1}^{(1)} + C_{43}\dot{i}_{x1}^{(2)} + C_{44}\dot{i}_{y1}^{(1)} + C_{45}\dot{i}_{y1}^{(2)} + \\
 &\quad + C_{46}\dot{i}_{x2}^{(1)} + C_{47}\dot{i}_{x2}^{(2)} + C_{48}\dot{i}_{y2}^{(1)} + C_{49}\dot{i}_{y2}^{(2)} ; \\
 \frac{d\dot{i}_{y1}^{(2)}}{d\tau} &= C_{51}\dot{i}_s + C_{52}\dot{i}_{x1}^{(1)} + C_{53}\dot{i}_{x1}^{(2)} + C_{54}\dot{i}_{y1}^{(1)} + C_{55}\dot{i}_{y1}^{(2)} + \\
 &\quad + C_{56}\dot{i}_{x2}^{(1)} + C_{57}\dot{i}_{x2}^{(2)} + C_{58}\dot{i}_{y2}^{(1)} + C_{59}\dot{i}_{y2}^{(2)} ; \\
 \frac{d\dot{i}_{x2}^{(1)}}{d\tau} &= C_{61}\dot{i}_s + C_{62}\dot{i}_{x1}^{(1)} + C_{63}\dot{i}_{x1}^{(2)} + C_{64}\dot{i}_{y1}^{(1)} + C_{65}\dot{i}_{y1}^{(2)} +
 \end{aligned} \right\} (1.1)$$

$$+ C_{66} \dot{z}_{x2}^{(1)} + C_{67} \dot{z}_{x2}^{(2)} + C_{68} \dot{z}_{y2}^{(1)} + C_{69} \dot{z}_{y2}^{(2)} ;$$

$$\frac{d\dot{z}_{x1}^{(2)}}{d\tau} = C_{71} \dot{z}_5 + C_{72} \dot{z}_{x1}^{(1)} + C_{73} \dot{z}_{x1}^{(2)} + C_{74} \dot{z}_{y1}^{(1)} + C_{75} \dot{z}_{y1}^{(2)} +$$

$$+ C_{76} \dot{z}_{x2}^{(1)} + C_{77} \dot{z}_{x2}^{(2)} + C_{78} \dot{z}_{y2}^{(1)} + C_{79} \dot{z}_{y2}^{(2)} ;$$

$$\frac{d\dot{z}_{y2}^{(1)}}{d\tau} = C_{81} \dot{z}_5 + C_{82} \dot{z}_{x1}^{(1)} + C_{83} \dot{z}_{x1}^{(2)} + C_{84} \dot{z}_{y1}^{(1)} + C_{85} \dot{z}_{y1}^{(2)} +$$

$$+ C_{86} \dot{z}_{x2}^{(1)} + C_{87} \dot{z}_{x2}^{(2)} + C_{88} \dot{z}_{y2}^{(1)} + C_{89} \dot{z}_{y2}^{(2)} ;$$

$$\frac{d\dot{z}_{y2}^{(2)}}{d\tau} = C_{91} \dot{z}_5 + C_{92} \dot{z}_{x1}^{(1)} + C_{93} \dot{z}_{x1}^{(2)} + C_{94} \dot{z}_{y1}^{(1)} + C_{95} \dot{z}_{y1}^{(2)} +$$

$$+ C_{96} \dot{z}_{x2}^{(1)} + C_{97} \dot{z}_{x2}^{(2)} + C_{98} \dot{z}_{y2}^{(1)} + C_{99} \dot{z}_{y2}^{(2)} ;$$

$$\frac{d\omega}{d\tau} = C_{101} \underline{M}'_1 + C_{102} \underline{M}'_{2M} + C_{103} \underline{M}'_{c0}(\tau) + C_{104} \omega + C_{105} ;$$

$$\frac{d\omega_g^{(1)}}{d\tau} = C_{111} \underline{M}_g^{(1)} + C_{112} \underline{M}_c^{(1)} ;$$

$$\frac{d\omega_g^{(2)}}{d\tau} = C_{121} \underline{M}_g^{(2)} + C_{122} \underline{M}_c^{(2)} ;$$

$$\underline{M}'_{2M} = C_{131} \dot{z}_5^2 + C_{132} \dot{z}_5 \dot{z}_{x1}^{(1)} + C_{133} \dot{z}_5 \dot{z}_{x1}^{(2)} + C_{134} \dot{z}_5 \dot{z}_{y1}^{(1)} +$$

$$+ C_{135} \dot{z}_5 \dot{z}_{y1}^{(2)} + C_{136} \dot{z}_{x1}^{(1)} \dot{z}_{y1}^{(1)} + C_{137} \dot{z}_{x1}^{(2)} \dot{z}_{y1}^{(2)} +$$

$$+ C_{138} \dot{z}_{x1}^{(2)} \dot{z}_{y1}^{(1)} + C_{139} \dot{z}_{x1}^{(1)} \dot{z}_{y1}^{(2)} ;$$

$$\underline{M}'_g^{(1)} = C_{141} \dot{z}_{x1}^{(1)} \dot{z}_{y2}^{(1)} + C_{142} \dot{z}_{x2}^{(1)} \dot{z}_{y1}^{(1)} ;$$

$$\underline{M}'_g^{(2)} = C_{151} \dot{z}_{x1}^{(2)} \dot{z}_{y2}^{(2)} + C_{152} \dot{z}_{x2}^{(2)} \dot{z}_{y1}^{(2)} ;$$

$$\underline{M}'_c^{(1)} = C_{161} (\omega_g^{(1)})^{X(1)} + C_{162} C_{163} \omega_g^{(1)} + \underline{M}'_c^{(1)}(\tau) + C_{164} ;$$

$$\underline{M}'_c^{(2)} = C_{171} (\omega_g^{(2)})^{X(2)} + C_{172} C_{173} \omega_g^{(2)} + \underline{M}'_c^{(2)}(\tau) + C_{174} ;$$

(1.2)

$$\underline{M}' = C_{181} \underline{\omega} + C_{182} \underline{\omega}^2 + C_{183} \text{ при } \underline{\omega} < \underline{\omega}_x ;$$

$$\underline{M}' = C_{191} \underline{\omega} + C_{192} \underline{\omega}_x + \underline{M}'_x \text{ при } \underline{\omega} \geq \underline{\omega}_x ;$$

$$\underline{M}'_x = C_{201} \underline{\omega}_x + C_{202} \underline{\omega}_x^2 + C_{203} .$$

Значения  $\underline{\omega}_x$ ,  $\underline{M}_{сн}(t)$ ,  $\underline{M}_c^{(1)}(t)$ ,  $\underline{M}_c^{(2)}(t)$ , а также входящих в коэффициенты систем (I.1) и (I.2) -  $K_{сч}$ ,  $n^{(1)}$  и  $n^{(2)}$  определяются следующими дополнительными условиями

$$\underline{\omega}_x = \underline{\omega}_{x0} \text{ при } \tau < \tau_1 ;$$

$$\underline{\omega}_x = \underline{\omega}_{x0} + \underline{\varepsilon}(\tau - \tau_1) \text{ при } \tau_1 \leq \tau \leq \tau_2 ;$$

$$\underline{\omega}_x = \underline{\omega}_{x0} + \underline{\varepsilon}(\tau_2 - \tau_1) \text{ при } \tau > \tau_2 ;$$

$$K_{сч} = 0 \text{ при } \tau < \tau_3 ;$$

$$K_{сч} = \frac{\tau}{\tau_4 - \tau_3} - \frac{\tau_3}{\tau_4 - \tau_3} \text{ при } \tau_3 \leq \tau \leq \tau_4 ;$$

$$K_{сч} = 1 \text{ при } \tau > \tau_4 ;$$

$$n^{(1)} = 0 \text{ при } \tau < \tau_5 ;$$

$$n^{(1)} = 1, 2, 3 \dots \text{ при } \tau \geq \tau_5 ;$$

$$n^{(2)} = 0 \text{ при } \tau < \tau_6 ;$$

$$n^{(2)} = 1, 2, 3 \dots \text{ при } \tau \geq \tau_6 ;$$

$$\underline{M}_{сн}(\tau) = 0 \text{ при } \tau_8 < \tau < \tau_7 ;$$

$$\underline{M}_{сн}(\tau) = \underline{M}_{снm} \text{ при } \tau_7 \leq \tau \leq \tau_8 ;$$

$$\underline{M}_c^{(1)}(\tau) = 0 \text{ при } \tau_{10} < \tau < \tau_9 ;$$

$$\underline{M}_c^{(1)}(\tau) = \underline{M}_{сm}^{(1)} \text{ при } \tau_9 \leq \tau \leq \tau_{10} ;$$

$$\underline{M}_c^{(2)}(\tau) = 0 \text{ при } \tau_{12} < \tau < \tau_{11} ;$$

$$\underline{M}_c^{(2)}(\tau) = \underline{M}_{сm}^{(2)} \text{ при } \tau_{11} \leq \tau \leq \tau_{12} .$$

(I.3)



Угол  $\delta_K$  входящий в коэффициенты систем (I.1) и (I.2) определяем как

$$\delta_K = \underline{\delta} \quad \text{при } 0 \leq \underline{\delta} \leq 30 ;$$

$$\delta_K = \underline{\delta} - 60 \quad \text{при } 30 < \underline{\delta} \leq 90 ;$$

$$\delta_K = \underline{\delta} + 60 \quad \text{при } 90 < \underline{\delta} \leq 150 ;$$

$$\delta_K = \underline{\delta} + 180 \quad \text{при } 150 < \underline{\delta} \leq 210 ;$$

$$\delta_K = \underline{\delta} - 120 \quad \text{при } 210 < \underline{\delta} \leq 270 ;$$

$$\delta_K = \underline{\delta} + 60 \quad \text{при } 270 < \underline{\delta} \leq 330 ;$$

$$\delta_K = \underline{\delta} \quad \text{при } 330 < \underline{\delta} \leq 360 ,$$

(I.4)

что обусловлено работой трехфазного двухполупериодного выпрямителя.

Реальные фазные токи и напряжения найдем по следующим уравнениям

$$\underline{U}_{x1}^{(1)} = C_{211} \underline{i}_s + C_{212} \underline{i}_{x1}^{(1)} + C_{213} \underline{i}_{x1}^{(2)} + C_{214} \underline{i}_{y1}^{(1)} + C_{215} \underline{i}_{y1}^{(2)} + C_{216} \underline{i}_{x2}^{(1)} + C_{217} \underline{i}_{x2}^{(2)} + C_{218} \underline{i}_{y2}^{(1)} + C_{219} \underline{i}_{y2}^{(2)} ;$$

$$\underline{U}_{y1}^{(1)} = C_{221} \underline{i}_s + C_{222} \underline{i}_{x1}^{(1)} + C_{223} \underline{i}_{x1}^{(2)} + C_{224} \underline{i}_{y1}^{(1)} + C_{225} \underline{i}_{y1}^{(2)} + C_{226} \underline{i}_{x2}^{(1)} + C_{227} \underline{i}_{x2}^{(2)} + C_{228} \underline{i}_{y2}^{(1)} + C_{229} \underline{i}_{y2}^{(2)} ;$$

$$\underline{U}_{x1}^{(2)} = C_{231} \underline{i}_s + C_{232} \underline{i}_{x1}^{(1)} + C_{233} \underline{i}_{x1}^{(2)} + C_{234} \underline{i}_{y1}^{(1)} + C_{235} \underline{i}_{y1}^{(2)} + C_{236} \underline{i}_{x2}^{(1)} + C_{237} \underline{i}_{x2}^{(2)} + C_{238} \underline{i}_{y2}^{(1)} + C_{239} \underline{i}_{y2}^{(2)} ;$$

$$\underline{U}_{y1}^{(2)} = C_{241} \underline{i}_s + C_{242} \underline{i}_{x1}^{(1)} + C_{243} \underline{i}_{x1}^{(2)} + C_{244} \underline{i}_{y1}^{(1)} + C_{245} \underline{i}_{y1}^{(2)} + C_{246} \underline{i}_{x2}^{(1)} + C_{247} \underline{i}_{x2}^{(2)} + C_{248} \underline{i}_{y2}^{(1)} + C_{249} \underline{i}_{y2}^{(2)} ;$$

(I.5)

$$\begin{aligned}
 \underline{u}_{d0} &= C_{251} \dot{i}_s + C_{252} \dot{i}_{x1}^{(1)} + C_{253} \dot{i}_{x1}^{(2)} + C_{254} \dot{i}_{y1}^{(1)} + C_{255} \dot{i}_{y1}^{(2)} + \\
 &\quad + C_{256} \dot{i}_{x2}^{(1)} + C_{257} \dot{i}_{x2}^{(2)} + C_{258} \dot{i}_{y2}^{(1)} + C_{259} \dot{i}_{y2}^{(2)} ; \\
 \underline{u}_{q0} &= C_{261} \dot{i}_s + C_{262} \dot{i}_{x1}^{(1)} + C_{263} \dot{i}_{x1}^{(2)} + C_{264} \dot{i}_{y1}^{(1)} + C_{265} \dot{i}_{y1}^{(2)} + \\
 &\quad + C_{266} \dot{i}_{x2}^{(1)} + C_{267} \dot{i}_{x2}^{(2)} + C_{268} \dot{i}_{y2}^{(1)} + C_{269} \dot{i}_{y2}^{(2)} ; \\
 \dot{i}_A^{(1)} &= \dot{i}_{x1}^{(1)} \cos \delta + \dot{i}_{y1}^{(1)} \sin \delta ; \\
 \dot{i}_A^{(2)} &= \dot{i}_{x1}^{(2)} \cos \delta + \dot{i}_{y1}^{(2)} \sin \delta ; \\
 \dot{i}_A &= (n^{(1)} \dot{i}_{x1}^{(1)} + n^{(2)} \dot{i}_{x1}^{(2)}) \cos \delta + (n^{(1)} \dot{i}_{y1}^{(1)} + n^{(2)} \dot{i}_{y1}^{(2)}) \sin \delta ; \\
 \underline{u}_A^{(1)} &= \underline{u}_{x1}^{(1)} \cos \delta + \underline{u}_{y1}^{(1)} \sin \delta ; \\
 \underline{u}_A^{(2)} &= \underline{u}_{x1}^{(2)} \cos \delta + \underline{u}_{y1}^{(2)} \sin \delta ; \\
 \underline{u}_A &= \underline{u}_{d0} \cos \delta + \underline{u}_{q0} \sin \delta .
 \end{aligned}
 \tag{I.6}$$

Поступательная скорость агрегата

$$\underline{v} = K_{cu} \underline{\omega} . \tag{I.7}$$

Значения коэффициентов систем (I.1.), (I.2) и (I.5) приведены в приложении I.

При исследовании некоторых режимов работы системы электропривода необходимо моделирование форсирования возбуждения синхронного генератора, когда обмотка возбуждения получает питание от внешнего независимого источника энергии, например, аккумулятора и цепь дополнительной обмотки генератора, включая трехфазный выпрямитель и устройство компаундирования напряжения, оказывается отключенной. В этом случае, из уравнений автономного электропривода выпадают системы и слагаемые, относящиеся к дополнительной обмотке. Тогда уравнения состояния системы автономного электропривода в стандартной форме, для случая  $\underline{u}_s = \text{const}$ , где  $\underline{u}_s$  - напряжение на зажимах обмотки возбуждения, примут вид

$$\begin{aligned}
 \frac{d\dot{z}}{d\tau} &= C'_{11} \dot{z} + C'_{12} \dot{x}_1^{(1)} + C'_{13} \dot{x}_1^{(2)} + C'_{14} \dot{y}_1^{(1)} + C'_{15} \dot{y}_1^{(2)} + \\
 &\quad + C'_{16} \dot{x}_2^{(1)} + C'_{17} \dot{x}_2^{(2)} + C'_{18} \dot{y}_2^{(1)} + C'_{19} \dot{y}_2^{(2)} + C'_{110}; \\
 \frac{d\dot{x}_1^{(1)}}{d\tau} &= C'_{21} \dot{z} + C'_{22} \dot{x}_1^{(1)} + C'_{23} \dot{x}_1^{(2)} + C'_{24} \dot{y}_1^{(1)} + C'_{25} \dot{y}_1^{(2)} + \\
 &\quad + C'_{26} \dot{x}_2^{(1)} + C'_{27} \dot{x}_2^{(2)} + C'_{28} \dot{y}_2^{(1)} + C'_{29} \dot{y}_2^{(2)} + C'_{210}; \\
 \frac{d\dot{x}_1^{(2)}}{d\tau} &= C'_{31} \dot{z} + C'_{32} \dot{x}_1^{(1)} + C'_{33} \dot{x}_1^{(2)} + C'_{34} \dot{y}_1^{(1)} + C'_{35} \dot{y}_1^{(2)} + \\
 &\quad + C'_{36} \dot{x}_2^{(1)} + C'_{37} \dot{x}_2^{(2)} + C'_{38} \dot{y}_2^{(1)} + C'_{39} \dot{y}_2^{(2)} + C'_{310}; \\
 \frac{d\dot{y}_1^{(1)}}{d\tau} &= C'_{41} \dot{z} + C'_{42} \dot{x}_1^{(1)} + C'_{43} \dot{x}_1^{(2)} + C'_{44} \dot{y}_1^{(1)} + C'_{45} \dot{y}_1^{(2)} + \\
 &\quad + C'_{46} \dot{x}_2^{(1)} + C'_{47} \dot{x}_2^{(2)} + C'_{48} \dot{y}_2^{(1)} + C'_{49} \dot{y}_2^{(2)}; \\
 \frac{d\dot{y}_1^{(2)}}{d\tau} &= C'_{51} \dot{z} + C'_{52} \dot{x}_1^{(1)} + C'_{53} \dot{x}_1^{(2)} + C'_{54} \dot{y}_1^{(1)} + C'_{55} \dot{y}_1^{(2)} + \\
 &\quad + C'_{56} \dot{x}_2^{(1)} + C'_{57} \dot{x}_2^{(2)} + C'_{58} \dot{y}_2^{(1)} + C'_{59} \dot{y}_2^{(2)}; \\
 \frac{d\dot{x}_2^{(1)}}{d\tau} &= C'_{61} \dot{z} + C'_{62} \dot{x}_1^{(1)} + C'_{63} \dot{x}_1^{(2)} + C'_{64} \dot{y}_1^{(1)} + C'_{65} \dot{y}_1^{(2)} + \\
 &\quad + C'_{66} \dot{x}_2^{(1)} + C'_{67} \dot{x}_2^{(2)} + C'_{68} \dot{y}_2^{(1)} + C'_{69} \dot{y}_2^{(2)} + C'_{610}; \\
 \frac{d\dot{x}_2^{(2)}}{d\tau} &= C'_{71} \dot{z} + C'_{72} \dot{x}_1^{(1)} + C'_{73} \dot{x}_1^{(2)} + C'_{74} \dot{y}_1^{(1)} + C'_{75} \dot{y}_1^{(2)} + \\
 &\quad + C'_{76} \dot{x}_2^{(1)} + C'_{77} \dot{x}_2^{(2)} + C'_{78} \dot{y}_2^{(1)} + C'_{79} \dot{y}_2^{(2)} + C'_{710}; \\
 \frac{d\dot{y}_2^{(1)}}{d\tau} &= C'_{81} \dot{z} + C'_{82} \dot{x}_1^{(1)} + C'_{83} \dot{x}_1^{(2)} + C'_{84} \dot{y}_1^{(1)} + C'_{85} \dot{y}_1^{(2)} + \\
 &\quad + C'_{86} \dot{x}_2^{(1)} + C'_{87} \dot{x}_2^{(2)} + C'_{88} \dot{y}_2^{(1)} + C'_{89} \dot{y}_2^{(2)}; \\
 \frac{d\dot{y}_2^{(2)}}{d\tau} &= C'_{91} \dot{z} + C'_{92} \dot{x}_1^{(1)} + C'_{93} \dot{x}_1^{(2)} + C'_{94} \dot{y}_1^{(1)} + C'_{95} \dot{y}_1^{(2)} + \\
 &\quad + C'_{96} \dot{x}_2^{(1)} + C'_{97} \dot{x}_2^{(2)} + C'_{98} \dot{y}_2^{(1)} + C'_{99} \dot{y}_2^{(2)};
 \end{aligned}
 \tag{1.8}$$

$$\begin{aligned} \underline{M}_{эм} = & C'_{131} \dot{z}_5 \dot{z}_{y1}^{(1)} + C'_{132} \dot{z}_f \dot{z}_{y1}^{(2)} + C'_{133} \dot{z}_{x1}^{(1)} \dot{z}_{y1}^{(1)} + \\ & + C'_{134} \dot{z}_{x1}^{(1)} \dot{z}_{y1}^{(2)} + C'_{135} \dot{z}_{x1}^{(2)} \dot{z}_{y1}^{(1)} + C'_{136} \dot{z}_{x1}^{(2)} \dot{z}_{y1}^{(2)}. \end{aligned} \quad (1.9)$$

Другие уравнения, служащие для расчетов механических величин - скоростей и моментов, аналогичны соответствующим уравнениям в (1.2) и (1.3).

В рассматриваемом случае, также изменятся коэффициенты уравнений для определения реальных фазных токов и напряжений

$$\left. \begin{aligned} \underline{u}_{x1}^{(1)} = & C'_{211} \dot{z}_5 + C'_{212} \dot{z}_{x1}^{(1)} + C'_{213} \dot{z}_{x1}^{(2)} + C'_{214} \dot{z}_{y1}^{(1)} + C'_{215} \dot{z}_{y1}^{(2)} + \\ & + C'_{216} \dot{z}_{x2}^{(1)} + C'_{217} \dot{z}_{x2}^{(2)} + C'_{218} \dot{z}_{y2}^{(1)} + C'_{219} \dot{z}_{y2}^{(2)} + C'_{2110}; \\ \underline{u}_{y1}^{(1)} = & C'_{221} \dot{z}_5 + C'_{222} \dot{z}_{x1}^{(1)} + C'_{223} \dot{z}_{x1}^{(2)} + C'_{224} \dot{z}_{y1}^{(1)} + C'_{225} \dot{z}_{y1}^{(2)} + \\ & + C'_{226} \dot{z}_{x2}^{(1)} + C'_{227} \dot{z}_{x2}^{(2)} + C'_{228} \dot{z}_{y2}^{(1)} + C'_{229} \dot{z}_{y2}^{(2)}; \\ \underline{u}_{x1}^{(2)} = & C'_{231} \dot{z}_5 + C'_{232} \dot{z}_{x1}^{(1)} + C'_{233} \dot{z}_{x1}^{(2)} + C'_{234} \dot{z}_{y1}^{(1)} + C'_{235} \dot{z}_{y1}^{(2)} + \\ & + C'_{236} \dot{z}_{x2}^{(1)} + C'_{237} \dot{z}_{x2}^{(2)} + C'_{238} \dot{z}_{y2}^{(1)} + C'_{239} \dot{z}_{y2}^{(2)} + C'_{2310}; \\ \underline{u}_{y1}^{(2)} = & C'_{241} \dot{z}_5 + C'_{242} \dot{z}_{x1}^{(1)} + C'_{243} \dot{z}_{x1}^{(2)} + C'_{244} \dot{z}_{y1}^{(1)} + C'_{245} \dot{z}_{y1}^{(2)} + \\ & + C'_{246} \dot{z}_{x2}^{(1)} + C'_{247} \dot{z}_{x2}^{(2)} + C'_{248} \dot{z}_{y2}^{(1)} + C'_{249} \dot{z}_{y2}^{(2)}; \\ \underline{u}_{d0} = & C'_{251} \dot{z}_5 + C'_{252} \dot{z}_{x1}^{(1)} + C'_{253} \dot{z}_{x1}^{(2)} + C'_{254} \dot{z}_{y1}^{(1)} + C'_{255} \dot{z}_{y1}^{(2)} + \\ & + C'_{256} \dot{z}_{x2}^{(1)} + C'_{257} \dot{z}_{x2}^{(2)} + C'_{258} \dot{z}_{y2}^{(1)} + C'_{259} \dot{z}_{y2}^{(2)}; \\ \underline{u}_{q0} = & C'_{261} \dot{z}_5 + C'_{262} \dot{z}_{x1}^{(1)} + C'_{263} \dot{z}_{x1}^{(2)} + C'_{264} \dot{z}_{y1}^{(1)} + C'_{265} \dot{z}_{y1}^{(2)} + \\ & + C'_{266} \dot{z}_{x2}^{(1)} + C'_{267} \dot{z}_{x2}^{(2)} + C'_{268} \dot{z}_{y2}^{(1)} + C'_{269} \dot{z}_{y2}^{(2)}. \end{aligned} \right\} (1.10)$$

Уравнения (I.6) и (I.7) не изменяются. Значения коэффициентов (I.8)...(I.10) приведены в приложении 2. Эти коэффициенты являются постоянными, не зависящими от угла  $\delta$ , следовательно система (I.4) также опускается.

При переходных процессах параметры асинхронной машины ( $\xi_{\text{д}}$ ,  $\xi_{\text{м}}$ ,  $M_{\text{м}}$ ) меняются с изменением скольжения. Диапазон изменения этих параметров становится особенно существенным в тех случаях, когда при переходных процессах скорость двигателя изменяется в широких пределах, например, при пуске, когда скольжение изменяется от единицы до нуля.

В /12/ показано, что при расчете электромагнитных переходных процессов асинхронного двигателя результаты оказываются наиболее достоверными в области того скольжения, для которого приняты его параметры. Так, для получения более правильного описания характера переходных процессов в районе синхронной скорости достаточно взять для расчета параметры, соответствующие рабочему режиму асинхронной машины. Для моделирования пуска целесообразно выбирать параметры машины, соответствующие скольжению  $s = 1$ .

Аналогично поступаем при учете насыщения магнитной цепи по пути основного магнитного потока синхронного генератора, приводящего к уменьшению  $M_{\text{адн}}$ ,  $M_{\text{адм}}$ ,  $M_{\text{дом}}$ . При этом переменные параметры выбираем по графикам или соответствующим им выражениям, приведенным в /5/.

## 2. АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ АУТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНЫ

### 2.1. Характеристика задачи оптимизации параметров системы автономного электропривода

После синтеза структуры системы передачи энергии приступаем к поиску оптимальных значений параметров элементов системы и их выбору.

Оптимизация параметров системы электропривода сводится к минимизации мощности электрических машин — генератора и двигателей, при условии сохранения системой способности выполнять заданные функции, не снижая эксплуатационных показателей с изменением условий функционирования.

При фиксированных условиях эксплуатации и надежности, между вектором  $K$  показателей качества системы и установленной мощностью электрических машин системы существует прямая связь — чем меньше суммарная установленная мощность  $P_{уст}$ , тем лучше качество системы, определяемое вектором  $K$ , поскольку с уменьшением  $P_{уст}$  улучшаются единичные показатели качества — к.п.д. и масса, а также снижается стоимость.

Имея ввиду сказанное, а также то, что мощность электродвигателей и генератора выбирается по их нагреву и устойчивости работы в переходных режимах, задачу оптимизации параметров можно представить так: из дискретного конечного множества систем  $S_{3g}$  содержащих электрические машины с различными допустимыми значениями номинальных мощностей, удовлетворяющих условиям нагрева и устойчивости, выбрать электрические машины такой мощности, при которой система  $S_2$  обладает наилучшим значением вектора  $K$ . Соответственно критерий оптимальности запишется как

$$P_{уст} = \min. \quad (2.1)$$

Данная задача может быть решена двумя используемыми параллельно методами - оптимальным выбором мощности электрических машин при различных режимах работы автономной системы и разработкой влияющими на выбор мощности машин устройств и методов управления переходными процессами в системе.

## 2.2. Особенности анализа устойчивости автономных электроприводов

Автономные системы электропривода с ограниченной мощностью источника энергии, соизмеримой с мощностью питаемых приводных электродвигателей имеют ряд особенностей работы, заключающиеся в том, что возникающие отдельно в электроприводе, генераторе или ДВС системы переходные процессы не локализуются в них, а влияют на другие элементы, вызывая в последних также переходные процессы.

В связи с этим при расчетах такого рода систем возникает ряд специальных вопросов, которые либо вовсе отсутствуют, либо имеют второстепенное значение при питании двигателей от мощных энергетических систем/2, . . . 4, 6 . . . II, 13/.

Специальными вопросами в работе системы автономного электропривода рабочих органов мобильной сельскохозяйственной машины являются:

- пуск асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором от генератора соизмеримой мощности ( режимы работы  $Y_{p2}$  и  $Y_{p2}^n$  ) - предельная мощность двигателя по условиям прямого пуска при неподвижном и движущемся МТА, и при агрегатировании СХМ тракторами различного тягового класса; глубина и продолжительность провала напряжения генератора при прямом пуске асинхронного двигателя; частотный пуск асинхронного двигателя;

- переходные процессы при набросе нагрузки на первичный ДВС и влияние их на устойчивость привода ( режимы работы  $Y_{p3}$  и  $Y_{p4}$  ) - трогание агрегата с места, преодоление агрегатом препятствий или увеличение сопротивления СХМ передвижению;

- переходные процессы при переменной нагрузке на валу двигателя и влияние их на устойчивость привода ( режим работы  $Y_{p4}$  ) - технологическая перегрузка рабочего органа.

Устойчивость системы автономного электропривода целесообразно исследовать, путем проведения численных экспериментов на математической модели, представленной системами нелинейных дифференциальных уравнений (I.1)...(I.7) и (I.8)...(I.10). В результате эксперимента получаем графики изменения физических величин, характеризующих работу системы электропривода (токов, напряжений, моментов, скоростей), в функции времени. Анализируя полученные диаграммы можно провести полную качественную и количественную оценку переходного процесса в системе. Следует отметить, что генераторы, имеющие конструкцию системы самовозбуждения отличную от системы самовозбуждения рассматриваемого генератора типа ЕСС5-82-4, имеют примерно одинаковые с последним быстродействие и качество компаундирования напряжения, поэтому полученные в дальнейших расчетах устойчивости системы электропривода закономерности распространяются и на эти генераторы.

Соответствующие вышеприведенным уравнениям алгоритм и программа основных процедур расчета переходных процессов в системе автономного электропривода приведены в приложении 3. Программа составлена на языке "Паскаль". Для решения дифференциальных уравнений, использован метод Эйлера, шаг интегрирования принятый по условию  $|f(x_0) - f(x_1)| \cdot 10^{-3}$  составил  $\Delta t = 10^{-2}$  эл.с. Высокий порядок дифференциальных уравнений обуславливает необходимость использования для расчетов быстродействующих машин типа ВМ РС/АТ 486.

### 2.3. Пуск двигателей в системе автономного электропривода

На практике встречаются два типа систем автономного электропривода мобильных сельскохозяйственных машин: 1) к генератору подключен только один двигатель или несколько двигателей, работающих в одинаковых режимах; 2) к генератору подключены несколько независимых приводов, не связанных друг с другом по режиму работы.

Первый тип привода с одним двигателем, подключенным к генератору встречается, например, в электрифицированном сеносолюмо-



16  
 прессе. Привод, в котором все двигатели работают в одинаковом режиме, характерен для привода ходовых механизмов электрифицированных агрегатов модульного типа, моторколес широкозахватных агрегатов и других. Двигатели этих агрегатов одновременно запускаются и работают в одинаковых скоростных режимах. В этом случае предельная мощность асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором выбирается из условий пуска, независимо от величины провала напряжения.

Второй случай характерен для электрифицированных обрезчиков, когда в зависимости от размеров кроны деревьев по высоте могут отключаться и включаться отдельные рабочие органы, а также электрифицированных ручных инструментов с питанием от автономного генератора. В таких системах должна быть обеспечена устойчивая работа части двигателей при пуске других.

Независимость режимов работы отдельных приводов выдвигает требования необходимости ограничения величины провала напряжения при пуске асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и свести продолжительность провала к возможному минимуму. Наличие допустимой величины провала напряжения накладывает ограничения на мощности асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором по условиям пуска.

Прямой пуск одиночного асинхронного двигателя (режим  $Y_{p2}$ ). Данный режим моделируем путем решения систем (I.1)...(I.7). Рассмотрим пуск одного двигателя электрифицированного обрезчика крон плодовых культур, расчеты основных параметров которого приведены в приложении 4.

Примем следующие исходные данные

$$n^{(1)} = 1, n^{(2)} = 0, \varepsilon = 0, \delta_0 = 0, x_n^{(1)} = x_n^{(2)} = 0, L_n^{(1)} = L_n^{(2)} = 0, \\ \underline{M}_{cn}(\tau) = 0, \underline{M}_c^{(1)}(\tau) = \underline{M}_c^{(2)}(\tau) = 0, \Pi = 1.$$

В соответствии с технологией работы рабочие органы запускаются на холостом ходу.

Задавшись временем пуска электродвигателя  $\tau_{\sigma} = 10$  эл.с. и моментами времени  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4 = 5000$  эл.с; большими времени переходных процессов пуска, что соответствует неподвижному агрегату, без регулирования скорости ДВС, и приняв следующие начальные условия

$$\dot{i}_f(0) = 1, \dot{i}_{x_1}^{(1)}(0) = 0, \dot{i}_{y_1}^{(1)}(0) = 0, \dot{i}_{x_2}^{(1)}(0) = 0, \dot{i}_{y_2}^{(1)}(0) = 0, \dot{i}_m^{(2)}(0) = 0,$$

$$\dot{i}_{y_1}^{(2)}(0) = 0, \dot{i}_{x_2}^{(2)}(0) = 0, \dot{i}_{y_2}^{(2)}(0) = 0, \omega(0) = 0, \omega_{ca}(0) = 0; \omega_g^{(1)}(0) = 0, \omega_g^{(2)}(0) = 0,$$

получим нагрузочную диаграмму  $I_{mA}^{(1)}, M_g^{(1)}, M_c^{(1)}, \omega_g^{(1)} = f(\tau)$  двигателя и графики изменения напряжения, тока возбуждения и скорости вращения генератора во времени  $U_{mA}^{(1)}, \dot{i}_f, \omega = \varphi(\tau)$  приведенные на рис. 2.1, а также динамическую механическую характеристику двигателя данную на рис. 2.2. Для удобства построения и анализа кривые тока и напряжения (см. рис. 2.1) представлены огибающей положительных амплитуд их синусоид, т.е. являются графиками изменения амплитуд тока и напряжения во времени.

Фрагмент результатов расчета приведен в приложении 5.

Как видно из нагрузочной диаграммы, система обеспечивает уверенный разгон данного двигателя, условия пуска которого средние, ввиду большого момента инерции дисковых пил. При этом время пуска составляет  $\Delta\tau_p = 490$  эл.с, максимальный провал напряжения генератора достигает  $\Delta U_{mA} = 0,09$ , длительность провала напряжения  $\Delta\tau_{np} = 340$  эл.с, скорость генератора снижается на  $\Delta\omega = 0,04$ , следовательно, пропорционально снижается и частота напряжения, ток возбуждения возрастает до  $\dot{i}_f = 1,5$ . Максимальная кратность пускового тока  $K_p = 4,82$ , мгновенного момента в пусковой части механической характеристики  $K_m = 3,57$ , что в 1,36 раза превышает максимальный момент, соответствующий критическому скольжению.

Известно свойство асинхронного двигателя резко увеличивать потребляемую мощность в момент пуска, что влияет на устойчивость автономной системы электропривода (дестабилизирующее воздействие  $U_{gc}$ ). Следовательно, практический интерес представляет значение предельной (наибольшей) мощности двигателя по условиям пуска. Очевидно, эта мощность будет зависеть от установленной мощности ДВС трактора, в первую очередь определяющую его способность принять резкое увеличение момента сопротивления на своем валу при пуске двигателя, от значения инерционной постоянной на валу дизеля, поскольку при пуске может быть использована кинетическая энергия вращающихся и движущихся поступательно масс агрегата, и наконец от вида ме-

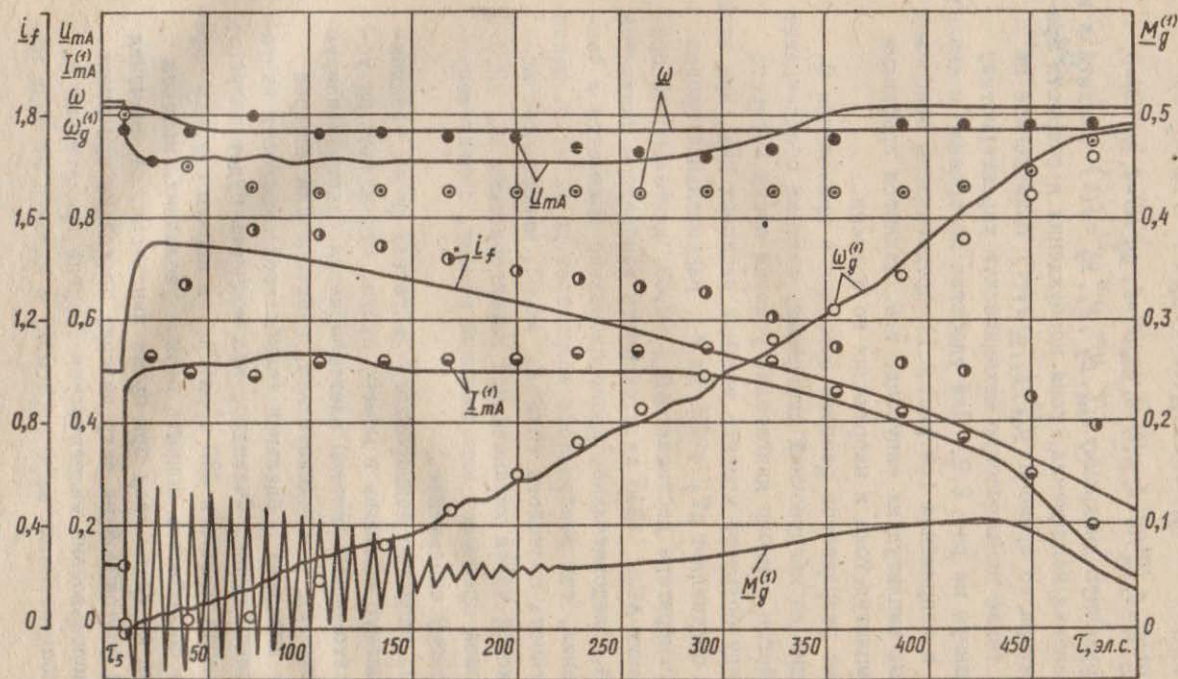


Рис.2.1. Нагрузочная диаграмма асинхронного двигателя обрезчика крон плодовых культур при пуске; точками обозначены данные экспериментальных исследований.

ханической характеристики приводимого рабочего органа, т.к. свойство рабочего органа уменьшать момент сопротивления с падением скорости улучшает условия пуска.

Зависимость предельной мощности  $P_d$  двигателя по условиям пуска от мощности  $P_{двс}$  дизеля трактора получим, определяя путем численного эксперимента аналогично предыдущему примеру, возможность пуска асинхронных двигателей различной мощности от синхронного генератора типа ЕСС5-82-4 используемого в электрифицированном обрезчике крон плодовых культур, подключенного по

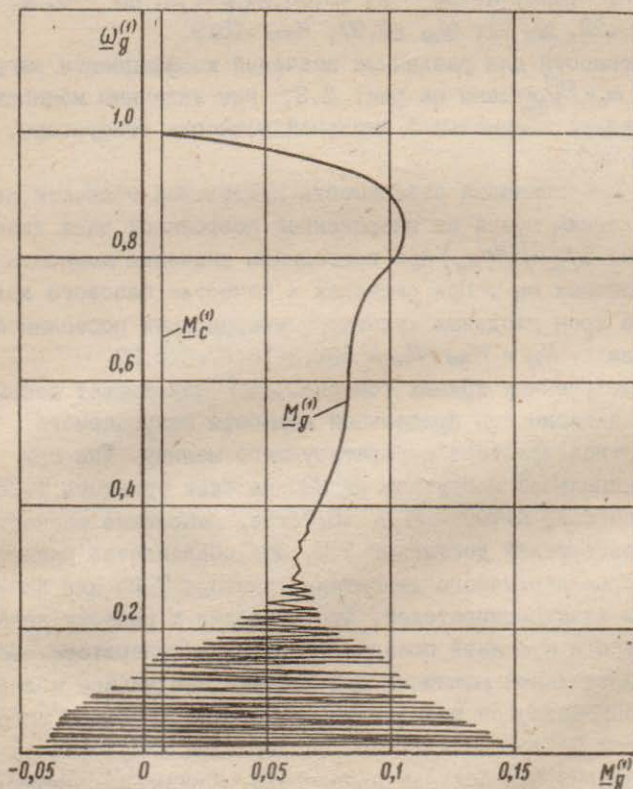


Рис.2.2. Динамическая механическая характеристика асинхронного двигателя обрезчика крон плодовых культур при пуске.

очередно к различным тракторам. Ниже приведены входящие в исходные данные, для расчетов параметры регуляторных характеристик дизелей и инерционная постоянная трансмиссии с приводом генератора нескольких типов тракторов, найденные по их паспортным данным /14/ : Т-25 -  $M'_H = 0,41$ ,  $\omega_{HABc} = 1,2$ ,  $M'_1 = 0$ ,  $\omega_1 = 1,04$ ,  $M'_2 = 0,41$ ,  $\omega_2 = 1$ ,  $\omega_{x0} = 1$ ,  $H_{гтр} = 431$ ; Т-40 -  $M'_H = 0,74$ ,  $\omega_{HABc} = 1,07$ ,  $M'_1 = 0$ ,  $\omega_1 = 1,06$ ,  $M'_2 = 0,72$ ,  $\omega_2 = 1$ ,  $\omega_{x0} = 0,99$ ,  $H_{гтр} = 533$ ; МТЗ-80 -  $M'_H = 0,97$ ,  $\omega_{HABc} = 1,47$ ,  $M'_1 = 0$ ,  $\omega_1 = 1,09$ ,  $M'_2 = 0,72$ ,  $\omega_2 = 1$ ,  $\omega_{x0} = 0,99$ ; Т-150 -  $M'_H = 2,31$ ,  $\omega_{HABc} = 1,4$ ,  $M'_1 = 0$ ,  $\omega_1 = 1,04$ ,  $M'_2 = 0,72$ ,  $\omega_2 = 1$ ,  $\omega_{x0} = 0,94$ ,  $H_{гтр} = 1085$ ; К-700 -  $M'_H = 3,53$ ,  $\omega_{HABc} = 1,2$ ,  $M'_1 = 0$ ,  $\omega_1 = 1,01$ ,  $M'_2 = 0,72$ ,  $\omega_2 = 1$ ,  $\omega_{x0} = 0,97$ ,  $H_{гтр} = 1519$ .

Искомые зависимости для различных значений коэффициента загрузки двигателя  $m_c = \frac{M_c^{(0)}}{M_{гн}^{(0)}}$  даны на рис. 2.3, где величины мощностей даны относительно номинальной активной мощности генератора, как  $P_d / P_r = f(P_{dвс} / P_r)$ .

На рис. 2.4 показана зависимость предельной мощности двигателя по условиям пуска от инерционной постоянной вала дизеля в момент пуска  $P_d / P_r = f(H_g / H_{гс})$  при постоянном значении мощности дизеля и различных  $m_c$ . При расчетах в качестве базового взят МЭС обрезчика крон плодовых культур с инерционной постоянной на валу дизеля  $H_{гс} = H_{гтр} + H_{гн} = 602,3 + 13,07 = 615,37$ .

Анализ полученных кривых (см. рис. 2.3) показывает весьма существенную зависимость предельной мощности запускаемого двигателя от типа трактора агрегирующего машину. Так при пуске под номинальной нагрузкой от МЭС на базе трактора Т-25 -  $P_d / P_r = 0,2$ , на базе К-700 -  $P_d / P_r = 0,7$ , т.е. отношение мощностей запускаемых двигателей достигает 3,5. Это объясняется недостаточной мощностью первичного двигателя трактора Т-25 для запуска более крупных электродвигателей, что приводит к резкому падению скорости дизеля и к полной посадке напряжения генератора. Верхняя граница предельной мощности при достаточном запасе мощности трактора определяется возможностями компаундирующего устройства генератора не обеспечивающего поддержание напряжения в допустимом диапазоне при большой перегрузке. Изменение коэффициента загрузки двигателя приводит к пропорциональному снижению или увеличению предельной мощности.

Возрастание инерционной постоянной вала дизеля  $H_g$  в

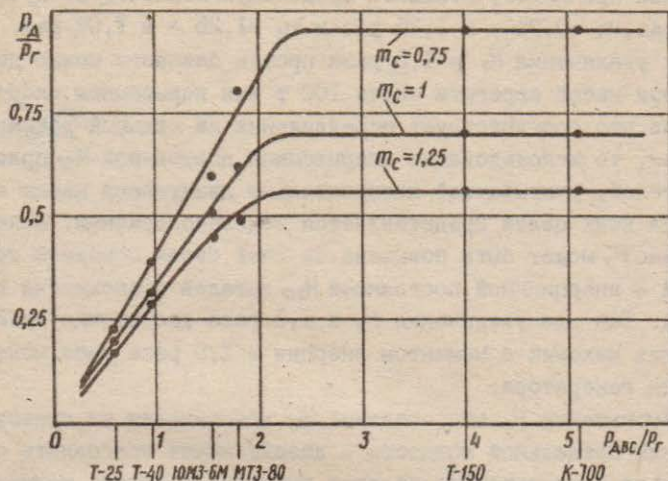


Рис.2.3. Зависимость предельной мощности двигателя по условиям прямого пуска от мощности дизеля трактора.

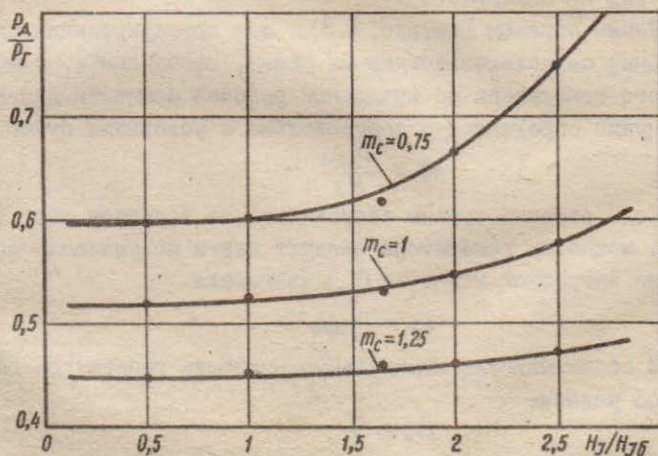


Рис.2.4. Зависимость предельной мощности двигателя по условиям прямого пуска от инерционной постоянной агрегата.

2,5 раза при  $m_c = 1$ , повышает предельную мощность по пуску в 1,16 раз,  $m_c = 0,75$  - в 1,26 раз и  $m_c = 1,25$  - в 1,07 раз. Поскольку увеличения  $H_j$  в 1,5 раза против базового можно достигнуть при массе агрегата около 100 т или повышением скорости в 4,8 раз, что соответствует передвигению на седьмой-восьмой передачах, то использование инерционной постоянной  $H_{jп}$  привода двигателей, учитывающей поступательно движущиеся массы агрегата, для этих целей представляется нецелесообразным. Более эффективно  $H_j$  может быть повышена за счет своей основной составляющей - инерционной постоянной  $H_{jтр}$  деталей трансмиссии и генератора. Так для увеличения  $H_j$  в 1,5 раза достаточно на ВОМ установить маховик с моментом инерции в 1,5 раза выше момента инерции генератора.

Уменьшение  $H_j$  относительно  $H_{jб}$  практически не приводит к снижению предельной мощности - дизель может обеспечить пуск двигателя исключительно за счет имеющегося запаса мощности, следовательно, в данном случае инерционная постоянная вала дизеля, при штатных для данного агрегата технических параметрах, существенного влияния на предельную мощность запускаемого двигателя не оказывает.

Таким образом (см. рис. 2.3), при проектировании однодвигательных сельскохозяйственных машин, необходимую мощность синхронного генератора по известной рабочей мощности двигателя  $P_{Драб}$  нужно определять в соответствии с условиями пуска как

$$P_G = \frac{P_{Драб}}{0,7} \quad (2.2)$$

Если рабочие органы запускаются на холостом ходу (легкий пуск), мощность генератора следует найти по условиям нагрева т.е. по потребной мощности  $P_{Дпотр}$  двигателя

$$P_G = P_{Дпотр} \quad (2.3)$$

В обоих случаях номинальную мощность генератора определяют по условию

$$P_{Гн} \geq P_G \quad (2.4)$$

Мощность  $P_{Двс}$  первичного ДВС обеспечивающего выполнение условия (2.2), также находим, воспользовавшись рис. 2.3

$$P_{Двс} = 2P_G \quad (2.5)$$

в то же время ДВС должен обеспечить проведение технологического процесса, когда

$$P_{двс} = \frac{P_r}{\eta_2 \eta_{вом}} + P_{спер} \approx 1,2 P_r + P_{спер}, \quad (2.6)$$

где  $P_{спер} = M_{спер} \omega$  - мощность необходимая на перемещение агрегата. Для дальнейших расчетов берут наибольшую из найденных по (2.5) и (2.6) мощностей ДВС.

При пуске рабочих органов на холостом ходу мощность ДВС определяют из условия (2.6), соответствующего работе в установленном режиме.

Номинальную мощность ДВС находят в соответствии с условием

$$P_{двсн} \geq P_{двс}. \quad (2.7)$$

Прямой пуск нескольких двигателей одновременно. Такой пуск моделируем аналогично предыдущему случаю, задаваясь значением  $n^{(i)}$ .

В случае одновременного включения двух двигателей обрезака, время их пуска достигает  $\Delta t_n = 890$  эл.с., напряжение генератора падает на  $\Delta U_{гн} = 0,07$  в течение  $\Delta t_{пр} = 700$  эл.с., скорость дизеля снижается на  $\Delta \omega = 0,05$ , максимальная величина тока возбуждения  $i_f = 1,5$ , кратность пускового тока двигателя  $K_n = 4,18$ , кратность мгновенного момента  $K_m = 2,98$ , что в 1,19 раз выше максимального момента по паспортным данным (рис.2.5 и 2.6).

Таким образом, по сравнению с пуском одного двигателя, возрастают глубина падения частоты и длительность снижения напряжения генератора, уменьшается пусковой ток, эти факторы в совокупности, несмотря на некоторое улучшение компаундирования напряжения, приводят к снижению момента двигателя в течение пуска и соответственно к росту времени пуска.

Разработанная математическая модель позволяет в широком диапазоне менять параметры асинхронных двигателей и их число, что дало возможность установить зависимость предельного числа  $n_n^{(i)}$  одновременно запускаемых двигателей от их мощности.  $n_n^{(i)} = f(P_r/P_r)$  при пуске от одного и того же базового МЭС (рис.2.7)



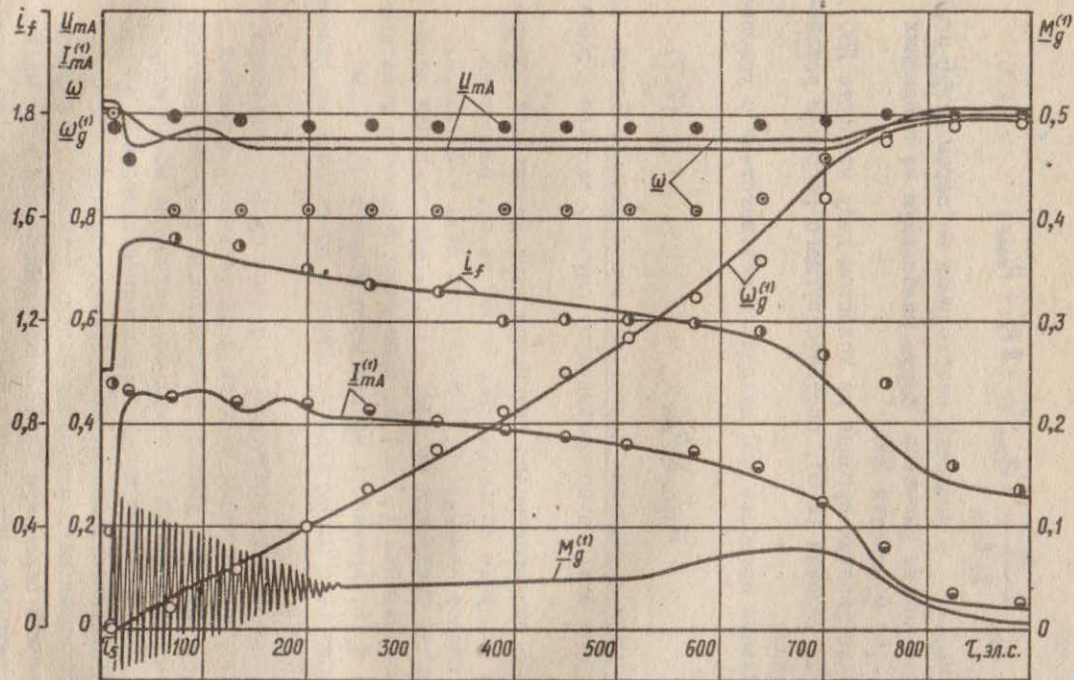


Рис.2.5. Нагрузочная диаграмма асинхронного двигателя обрезчика крон плодовых культур при одновременном пуске двух двигателей; точками обозначены данные экспериментальных исследований.

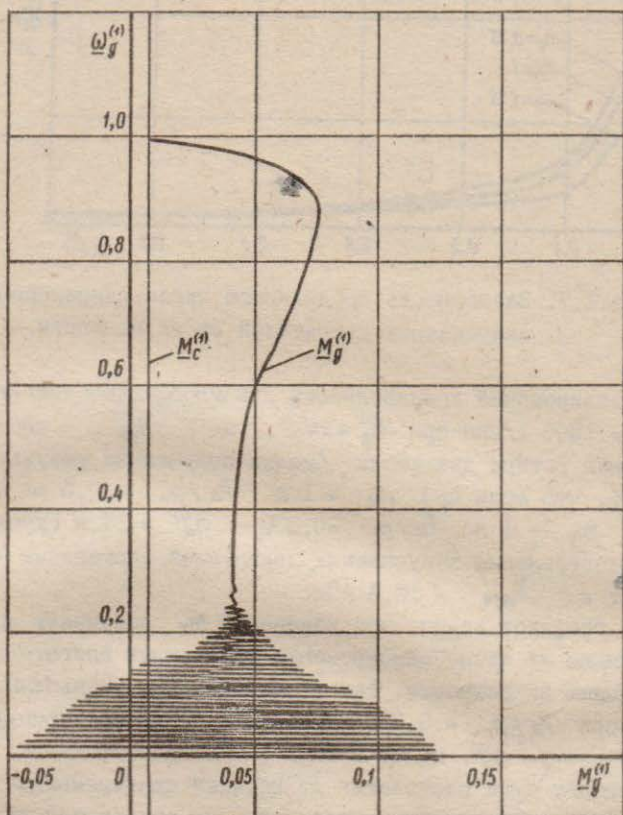


Рис. 2.6. Динамическая механическая характеристика асинхронного двигателя обрезчика крон плодовых культур при одновременном пуске двух двигателей.

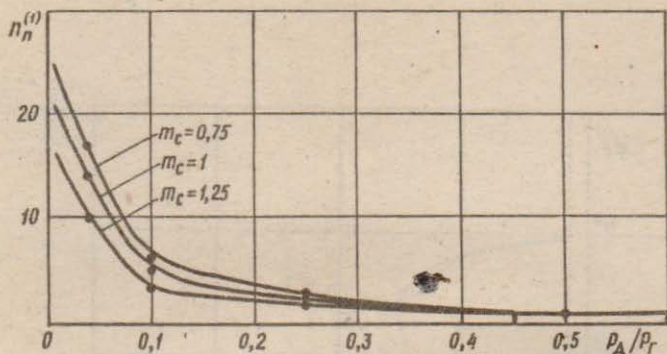


Рис.2.7. Зависимость предельного числа одновременно запускаемых двигателей от их мощности.

Моделирование производилось для асинхронных двигателей с  $n_c = 1500$  I/мин при  $H_{zg}^{(0)} = 2H_{zp}^{(0)}$ , где  $H_{zp}^{(0)}$  - инерционная постоянная ротора двигателя. Анализ полученных результатов показывает, что если при  $m_c = 1$  и  $P_A/p_r = 0,5 - n_n^{(0)} = 1$ , то при  $m_c = 1$  и  $P_A/p_c = 0,036 - n_n^{(0)} = 14$  и суммарная мощность одновременно запускаемых двигателей составляет  $P_{A1} = 15$  кВт и  $P_{A14} = 15,4$  кВт.

Из графиков видно, что изменение  $m_c$  оказывает возрастающее влияние на число одновременно включаемых двигателей с уменьшением их мощности, так увеличение или уменьшение  $m_c$  на 25% при  $P_A/p_r = 0,036$  приводит к соответствующему снижению или росту  $n_n^{(0)}$  на 28 и 21%.

В целом пуск нескольких двигателей одновременно, по влиянию на работу генератора практически не отличается от пуска одиночного двигателя, откуда можно заключить, что порядок выбора мощности генератора и ДВС для одиночного двигателя будет пригоден и для случая пуска одновременно  $n$  двигателей, если под  $P_{A\text{роб}}$  и  $P_{A\text{потр}}$  иметь ввиду сумму рабочих и потребляемых мощностей всех двигателей.

Прямой пуск двигателя при наличии параллельно включенных двигателей. Рассмотрим случай пуска двигателя обрезчика крон плодовых культур при работающих остальных 7-и двигателях. Этому режиму соответствуют следующие значения исходных данных  $n^{(1)} = 7$ ,  $n^{(2)} = 1$ ,  $T_g = 0$  и  $T_c = 10$ , также примем  $\omega_g^{(1)} = 0,97$ . Полученные в результате расчета нагрузочные диаграммы  $I_{MA}^{(2)}$ ,  $M_g^{(2)}$ ,  $\omega_g^{(2)} = f(\tau)$  запускаемого и  $I_{MA}^{(1)}$ ,  $M_g^{(1)}$ ,  $\omega_g^{(1)} = \varphi(\tau)$  одного из семи работающих параллельно двигателей обрезчика крон плодовых культур показаны на рис.2.8. Там же приведены графики  $U_{MA}^{(1)}$ ,  $I_g$ ,  $\omega = \psi(\tau)$  изменения напряжения, тока возбуждения и скорости генератора.

Графики показывают, что в процессе пуска происходит снижение напряжения генератора на  $\Delta U_{MA} = 0,09$  и скорости его вращения на  $\Delta \omega = 0,08$ , что сказывается на устойчивости работы ранее включенных двигателей, скорость которых падает на  $\Delta \omega_g^{(1)} = 0,11$  и сопровождается бросками тока и момента. При превышении допустимого значения  $\Delta U_{MA}$  асинхронный двигатель может опрокинуться.

Минимально допустимое напряжение на зажимах двигателя по условиям устойчивости в рабочем режиме в функции коэффициента загрузки  $U_{min} = f(m_c)$  при различных показателях степени  $\chi$  входящего в уравнение механической характеристики рабочей машины приведено на рис.2.9.

Как видно из рисунков, асинхронный двигатель ввиду достаточно большой перегрузочной способности сохраняет устойчивость при глубокой посадке напряжения. Так, при  $\chi = 0$  и номинальной нагрузке, напряжение может снижаться до  $U_{min} = 0,63$ ,  $\chi = 2$  до  $U_{min} = 0,5$ . В случае перегрузки двигателя требования к качеству напряжения ужесточаются и при  $m_c = 1,25$  уровень минимально допустимого напряжения становится выше на 10...13%. Напротив, если двигатель недогружен, например, при  $m_c = 0,75$ , уровень минимально допустимого напряжения понижается на 14,5...17%.

При значительном расстоянии между электродвигателем и генератором достигающим нескольких десятков и сотен метров, следует принимать во внимание потери напряжения в силовом кабеле. Учет их в расчетах, осуществляем путем введения в исходные данные параметров  $r_n$  и  $L_n$  кабельной линии. Зависимость  $U_{min} = f(l)$  полученная на примере электропривода с  $P_H = 3$  кВт подключен-

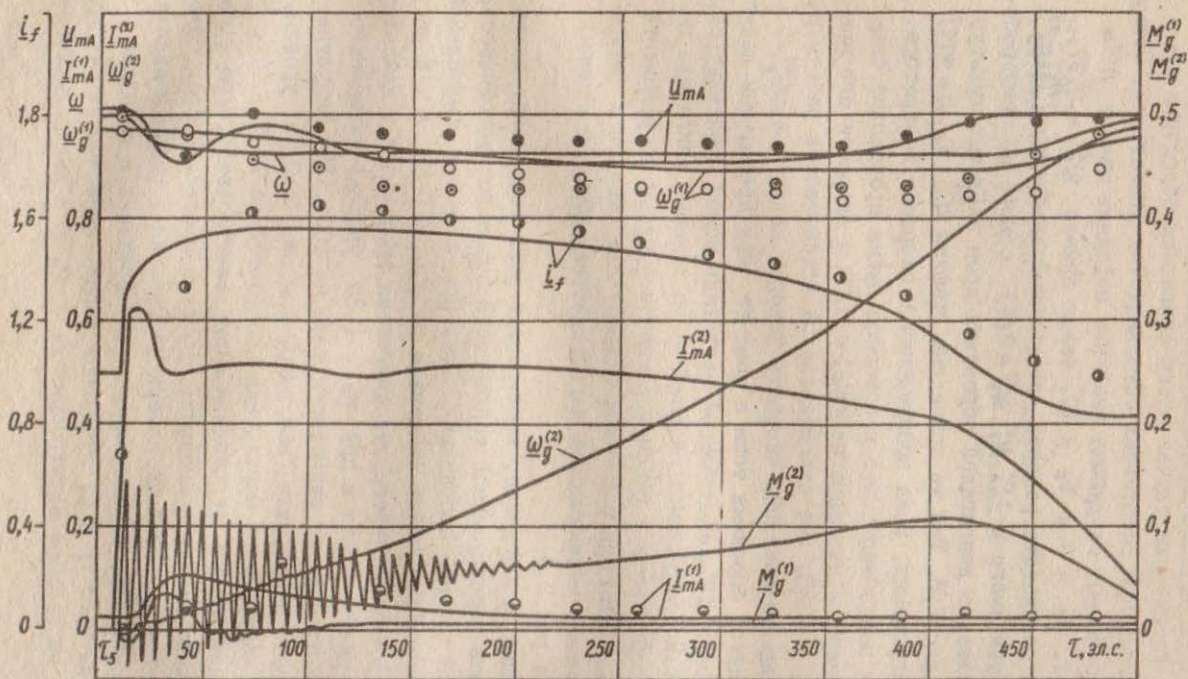


Рис.2.8. Нагрузочные диаграммы запускаемого и одного из включенных параллельно с ним двигателей обрезчика крон плодовых культур; точками обозначены данные экспериментальных исследований.

ного к генератору посредством кабеля типа КРПСН приведена на рис.2.10. Расчеты проводились при различных значениях  $m_c$  и  $\chi$ . При  $\ell = 100$  м, в соответствии с графиками, минимально допустимое напряжение по условиям устойчивости снижается на  $\Delta U_{min} = 0,01 \dots 0,04$  и при  $\ell = 400$  м на  $\Delta U_{min} = 0,05 \dots 0,10$  в зависимости от  $m_c$  и  $\chi$ .

Практический интерес представляет зависимость предельной мощности  $P_{дз}$  запускаемого двигателя от мощности  $P_{др}$  параллельно включенного работающего двигателя по условию устойчивости последнего  $P_{дз}/p_r = f(P_{др}/p_r)$ , данная на рис.2.11 для различных  $m_c$  и  $P_{двс}/p_r$ . График построен на основе результатов численных экспериментов проведенных для различных сочетаний мощностей запускаемого и работающего от МЭС двигателя. Допустимые мощности двигателей расположены на части площади рисунка ограниченной линией предельной мощности и осями координат, для  $m_c = 1$  и  $P_{двс}/p_r = 1,54$  эта часть заштрихована.

Пусть известна мощность подключенного к МЭС с  $P_{двс}/p_r = 1,54$ , двигателя  $P_{др}/p_r = 0,2$  и его коэффициент загрузки  $m_c = 1$ , найдем мощность двигателя, которую можно запустить от того же МЭС, не допустив опрокидывания работающего двигателя. Для этого, проведя от точки 0,2 на оси  $P_{др}/p_r$  вертикальную линию до кривой  $m_c = 1$ ,  $P_{двс}/p_r = 1,54$  и от найденной точки горизонтальную линию до оси ординат, определим искомую мощность  $P_{дз}/p_r = 0,41$ . Действуя в обратном порядке, по известной мощности запускаемого двигателя можно установить предельную мощность параллельно работающего двигателя.

Расчеты показывают, что в момент пуска самого мощного из  $n$  двигателей при работающих остальных, их суммарная мощность  $P_{дп}$  будет равна

$$P_{дп} = 2P_{д1} + \sum_{i=2}^n P_{д\text{потр}i}, \quad (2.8)$$

где  $P_{д1}$  - мощность наибольшего (запускаемого) двигателя;  
 $P_{д\text{потр}i}$  - потребная мощность  $i$ -го двигателя.

Тогда, с учетом (2.2), мощность генератора, необходимую для обеспечения пуска найдем как

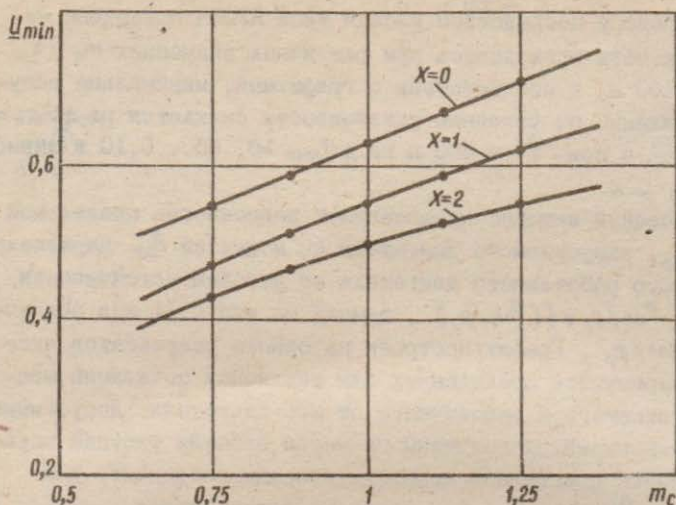


Рис.2.9. Зависимость минимально допустимого напряжения на зажимах двигателя от коэффициента загрузки.

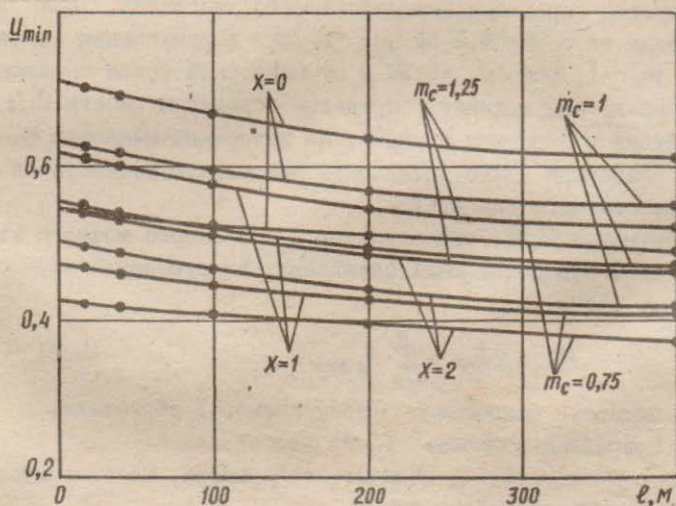


Рис.2.10. Зависимость минимально допустимого напряжения на зажимах двигателя от расстояния передачи энергии.

$$P_r = 0,7 P_{\Delta n} , \quad (2.9)$$

то же по нагреву

$$P_r = \sum_{i=1}^n P_{\Delta \text{потр } i} , \quad (2.10)$$

и для дальнейших расчетов берем наибольшую из рассчитанных по (2.9) и (2.10) мощность.

При пуске рабочих органов на холостом ходу необходимую мощность генератора находим по условию (2.10). Номинальную мощность генератора выбираем по (2.4).

Необходимую и номинальную мощность ДВС найдем соответственно по (2.6) и (2.7).

В качестве примера выберем генератор и трактор для электрифицированного обрезчика крон плодовых культур.

В соответствии с приводными характеристиками рабочих органов обрезчика, для их привода был выбран асинхронный электродвигатель 4А90Л2СУЗ с номинальной мощностью  $P_{\Delta n} = 3$  кВт.

Поскольку пуск рабочих органов осуществляется на холостом ходу, необходимую мощность генератора определим по (2.10) для рабочих мощностей двигателей  $P_{\Delta \text{раб}} = 2,4$  кВт

$$P_r = \sum_{i=1}^n P_{\Delta \text{потр } i} = \sum_{i=1}^n \frac{P_{\Delta \text{раб } i}}{\eta_{\Delta i}} = 8 \cdot \frac{2,4}{0,85} = 22,3 \text{ кВт.}$$

Следовательно выбираем генератор типа ЕСС5-82-4 с  $P_n = 30$  кВт.

Мощность двигателя трактора найдем по (2.6)

$$P_{\Delta \text{вс}} = 1,2 \cdot 22,3 + 5,0 = 32,3 \text{ кВт.}$$

Таким образом, для агрегатирования электрифицированного обрезчика необходим трактор тягового класса не менее 1,4.

Частотный пуск. При оборудовании электрифицированной машины одним электроприводом, условия прямого пуска по существу являются определяющими в выборе мощности генератора и трактора МЭС, и наоборот установленный тип генератора и трактора ограничивает мощность асинхронного двигателя по тем же условиям. В результате, в наиболее благоприятном случае мощность двигателя



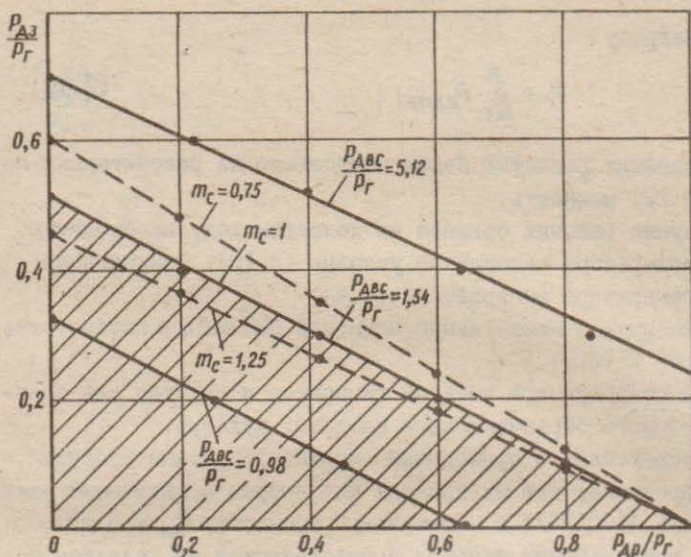


Рис.2.11. Зависимость предельной мощности запускаемого двигателя от мощности параллельно включенных двигателей по условию устойчивости последних.

будет составлять 70% от мощности генератора, что приводит к недоиспользованию последнего и снижению показателей качества системы в целом.

При многодвигательном электроприводе, по тем же причинам невозможно запустить все двигатели одновременно, следовательно затраты времени на ввод агрегата в рабочее состояние могут быть значительными.

Учитывая сказанное, а также возможность регулирования скорости дизелей тракторов в широком диапазоне и установки на агрегате дополнительного источника постоянного тока для форсирования возбуждения генератора, нами предложен частотный пуск асинхронных двигателей, который исключает возникновение больших

пусковых токов и знакопеременных бросков момента двигателя значительно превышающих критический момент и приводящих к преждевременному износу деталей привода рабочего органа. Главное частотный пуск дает возможность запустить под нагрузкой асинхронный двигатель с мощностью близкой или равной мощности генератора.

При этом разработанное устройство форсирования возбуждения позволяет поддерживать заданное соотношение между напряжением и скоростью двигателя в соответствии с условием  $U_0 = K_f \omega$ , где  $U_0 = \sqrt{U_{d0}^2 + U_{q0}^2} / \sqrt{2}$ , что равнозначно поддержанию нужного соотношения между моментом двигателя и его скоростью. Если  $U_0 \geq K_f \omega$ , то устройство к обмотке возбуждения генератора подключает систему самовозбуждения, если  $U_0 < K_f \omega$  - внешний источник энергии.

На рис.2.12 приведена нагрузочная диаграмма асинхронного двигателя обрезчика крон плодовых культур при одновременном частотном пуске всех восьми двигателей для следующих исходных данных.

$n^{(0)} = 8$ ,  $n^{(2)} = 0$ ,  $\varepsilon = 0,00152$ ,  $K_f = 1$ ,  $U_{fn} = 0,015$ ,  
 $\Pi = 2$ ,  $\tau_s = 0$ ,  $\tau_s = 5000$  и начальных условий  
 $i_f^{(0)} = 0$ ,  $i_{x1}^{(0)} = 0$ ,  $i_{y1}^{(0)} = 0$ ,  $i_{x2}^{(0)} = 0$ ,  $i_{y2}^{(0)} = 0$ ,  $\omega^{(0)} = 0,58$ ,  
 $\omega_g^{(0)} = 0$ . На рис. для наглядности начало пуска сдвинуто на 10 эл.с. Процесс пуска в соответствии с заданными условиями происходит в следующем порядке - к предварительно приведенному во вращение со скоростью  $\omega = 0,58$  генератору МЭС, через коммутирующие аппараты подключаются асинхронные двигатели и после этого на обмотку возбуждения подается напряжение от внешнего источника питания. Далее скорость ДВС путем плавного перемещения топливной рейки увеличивается до значения соответствующего номинальной скорости генератора.

Анализ полученной диаграммы показывает, что в момент подачи возбуждения возникает относительно небольшой пусковой ток двигателя с кратностью  $K_n = 2,18$  и момент двигателя достигает  $M_g^{(0)} = 0,05$ . Через  $\Delta t = 300$  эл.с. происходит стабилизация  $M_g^{(0)}$  и  $I_{mA}^{(0)}$ , и плавное возрастание  $U_{mA}^{(0)}$ ,  $i_f$ ,  $\omega$  и  $\omega_g^{(0)}$  до номинальных значений. В целом процесс пуска длится  $\Delta t_n = 1000$  эл.с.

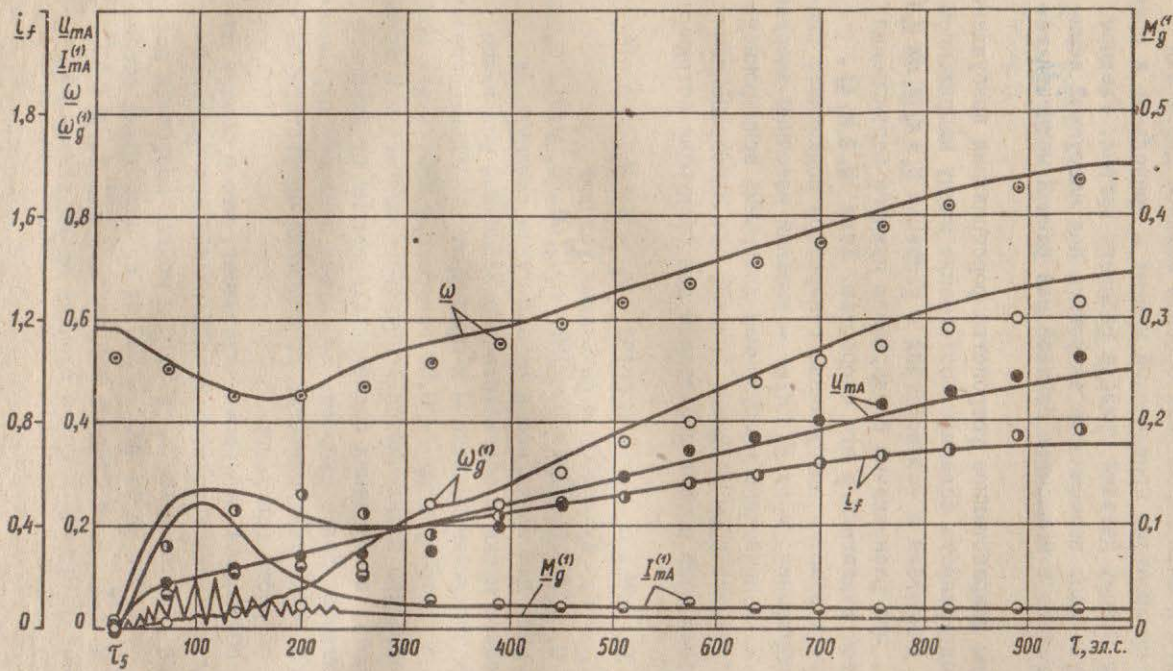


Рис. 2.12. Нагрузочная диаграмма асинхронного двигателя обрезчика крон плодовых культур при одновременном частотном пуске всех двигателей; точками обозначены данные экспериментальных исследований.

3-79

34

На рис. 2.13 показана нагрузочная диаграмма асинхронного двигателя типа 4А180М4УЗ с  $P_H = 30$  кВт при частотном пуске от МЭС на базе трактора К-700 с генератором типа ЕСС5-82-4, полу-ченная для  $n^{(0)} = 1$ ,  $M_{сн}^{(0)} = M_{с0}^{(0)} = 0,186$ ,  $\tau_s = 10$  и  $i_s(0) = 0,86$ . Эти условия соответствуют другому порядку частотно-го пуска - двигатель подключается к предварительно возбужден-ному от постороннего источника постоянного тока генератору вращающемуся со скоростью  $\omega = 0,58$ , т.е. осуществляется пря-мой пуск двигателя при пониженных частоте и величине напряже-ния. При этом кратность пускового тока составила  $K_H = 5,8$ , кратность мгновенного максимального момента  $K_M = 2,93$ . После прямого пуска, который длится  $\Delta t = 200$  эл.с. производится собственно частотный разгон двигателя до номинальной скорости.

Таким образом, проведенные расчеты показывают возможность частотного пуска одиночного двигателя с мощностью равной мощ-ности генератора или одновременно группы двигателей с суммар-ной мощностью близкой к мощности генератора. Данный способ пуска, применительно к электрифицированному обрезчику, сокра-щает время подготовки рабочих органов к работе около 6 раз, а при одиночном двигателе позволяет снизить суммарную установлен-ную мощность электрических машин и улучшить показатели качес-тва агрегата. Кроме того, как было сказано выше, частотный пуск исключает нежелательные броски тока и момента двигателя.

На основе результатов расчета, можно сделать заключение о целесообразности использования первого способа частотного пус-ка, как более плавного.

#### 2.4. наброс нагрузки на первичный двигатель и двигатель рабочего органа

Трогание агрегата с места (режим  $U_{P3}$ ). Рассмотрим устой-чивость привода в процессе подключения к дизелю посредством муфты сцепления массы агрегата, которой необходимо придать по-ступательное движение (дестабилизирующее воздействие  $U_{ss}^M$ ).

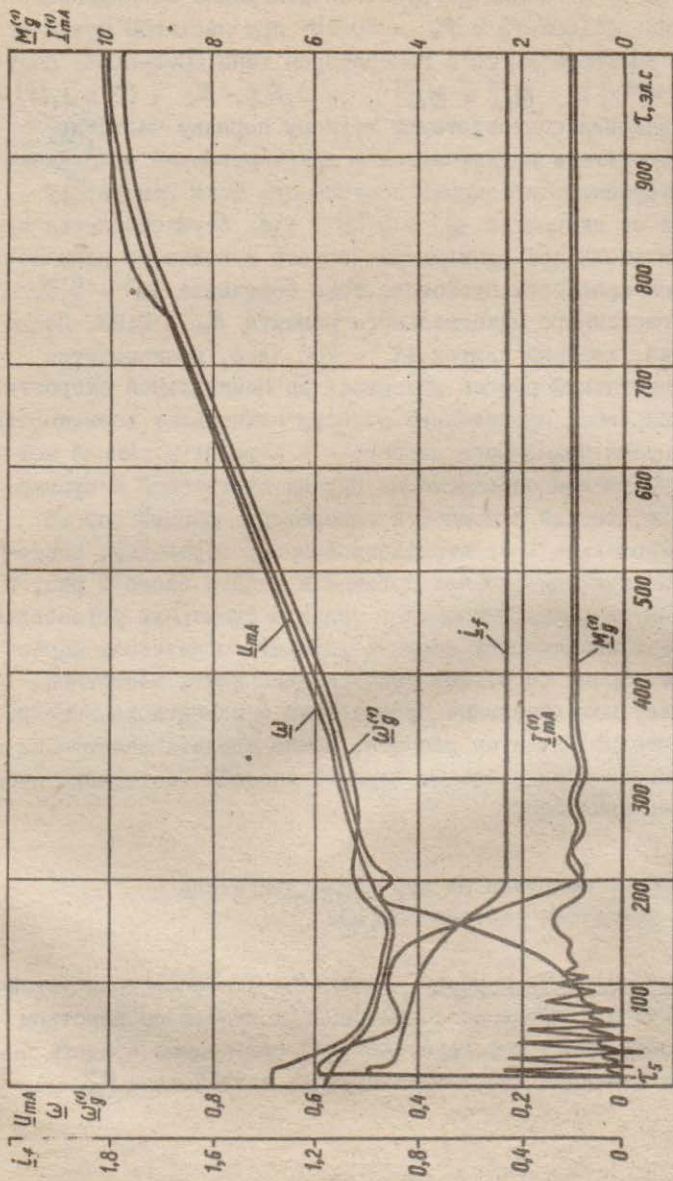


Рис. 2.13. Нагрузочная диаграмма асинхронного двигателя типа 4А180М4У3 при частотном пуске.

Расчет этого режима произведем на примере обрезчика крон плодовых культур, приняв

$$n^{(0)} = 8, \quad n^{(1)} = 0, \quad \Pi = 1, \quad \tau_3 = 10 \text{ эл.с.}, \quad \tau_4 = 167 \text{ эл.с.}, \\ \tau_5 = 0, \quad \tau_6 = 5000 \text{ эл.с.}$$

Тогда включение сцепления длится  $\Delta\tau_{сц} = \tau_4 - \tau_3 = 157 \text{ эл.с.}$  В соответствии с технологией обрезки, в момент трогания рабочие органы работают на холостом ходу.

Результаты моделирования приведены на рис.2.14 в виде диаграмм  $I_{mA}^{(1)}, M_g^{(1)}, \omega_g^{(1)} = f(\tau)$  и  $U_{mA}^{(1)}, i, \omega, \omega_{сц} = \varphi(\tau)$ . В процессе трогания скорость ДВС кратковременно падает до  $\omega = 0,83$ , а напряжение генератора до  $U_{mA} = 0,81$ , что приводит к снижению скорости двигателя рабочего органа путем перехода его в течение 100 эл.с в режим генераторного торможения. Скорость поступательного движения агрегата численно равна скорости ведомого вала сцепления  $v = \omega_{сц}$ .

Зависимость минимального значения напряжения и скорости генератора, а также продолжительности провала напряжения от длительности включения сцепления трактора  $U_{min}, \omega, \Delta\tau_{пр} = f(\Delta\tau_{сц})$  при трогании агрегата с места для значений  $N_{э01} = 13,07, N_{э02} = 143$  и  $N_{э03} = 304$  даны на рис.2.15. Из графиков видно, что с уменьшением времени включения сцепления дестабилизирующее воздействие процесса трогания агрегата на устойчивость привода возрастает. Плавное трогание с места способствует повышению устойчивости электропривода, например, увеличение времени включения сцепления в 3 раза с  $\Delta\tau_{сц} = 157 \text{ эл.с}$  до  $\Delta\tau_{сц} = 471 \text{ эл.с}$  при  $N_{э03} = 304$ , позволяет минимальное значение напряжения и скорости генератора повысить до  $U_{mA} = 0,79$  и  $\omega = 0,96$  или соответственно на 7,5 и 6,1%.

Таким образом, поскольку на практике возможность резкого (рывком) трогания агрегата с места не исключается, в общем случае систему автономного электропривода мобильных сельскохозяйственных машин следует подвергать проверке на устойчивость в течение этого процесса.

Внезапное возрастание сопротивления передвигению. Такого рода возмущения ( $U_{вс}^0$ ) возможны в ходе технологического процесса (режим  $U_{рц}$ ), при резком возрастании сопротивления среды,

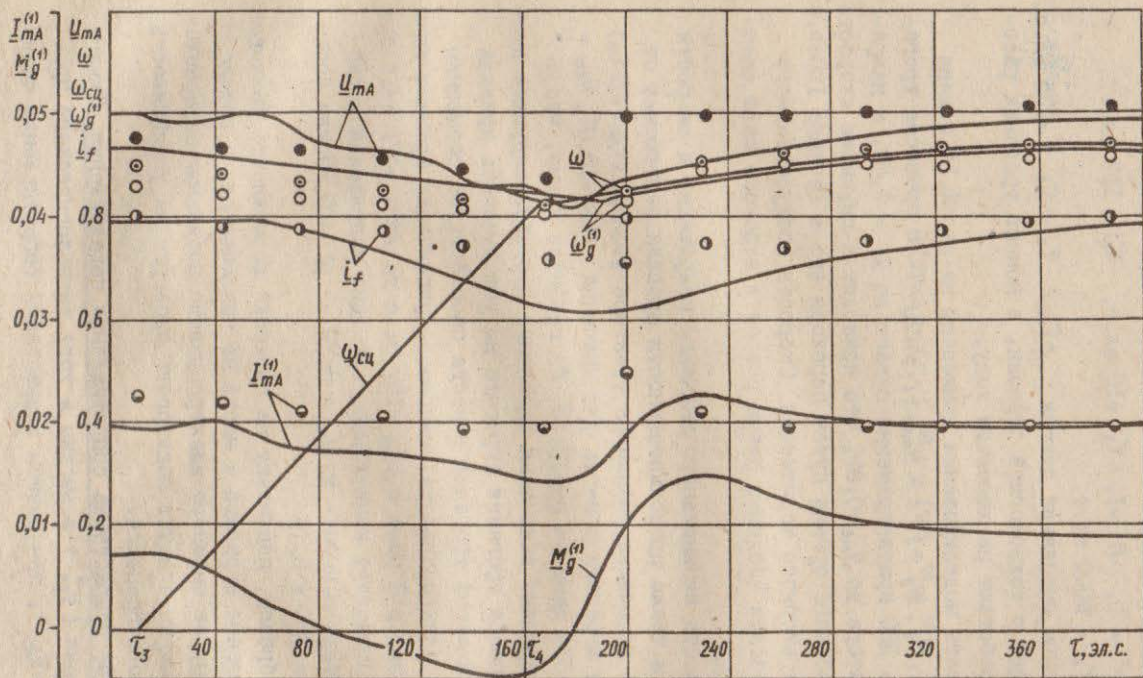


Рис.2.14. Нагрузочная диаграмма асинхронного двигателя обрезчика крон плодовых культур при трогании агрегата с места; точками обозначены данные экспериментальных исследований.

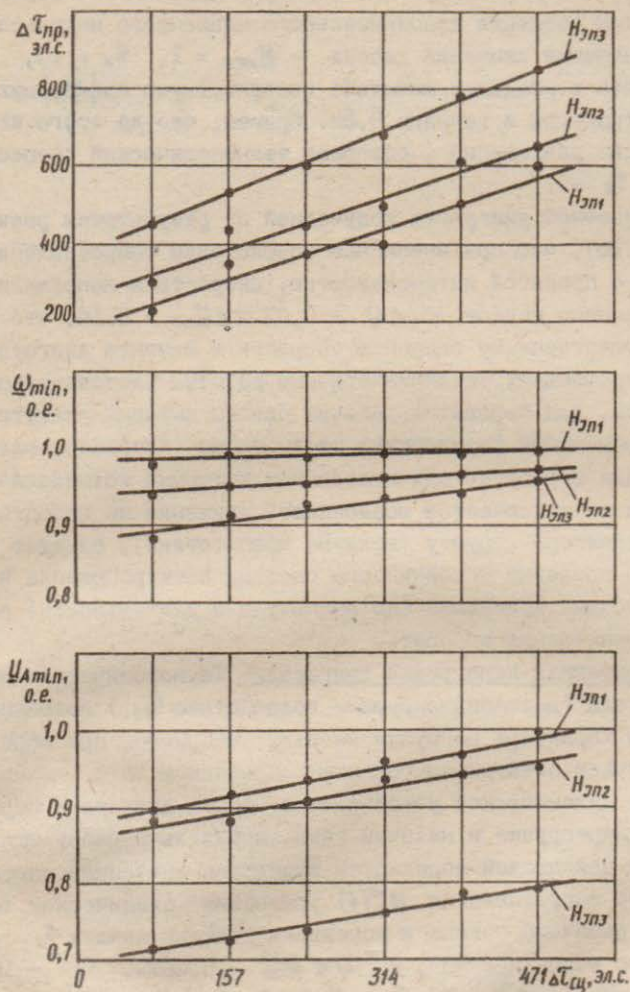


Рис.2.15. Зависимость минимального значения напряжения, скорости и продолжительности провала напряжения генератора от длительности включения сцеплений трактора при трогании агрегата с места.



40 -

в котором движется рабочий орган или при преодолении агрегатом препятствий.

Моделирование данного режима электрифицированного обрезчика проведем путем введения дополнительного единичного импульса момента в уравнение движения дизеля -  $M_{сст} = 1$ ,  $\tau_3 = 10$ ,  $\tau_8 = 167$ , что в реальном масштабе соответствует приложению 66 кНс на крюк трактора в течение 0,5с. Примем, что до этого агрегат двигался равномерно, совершая технологический процесс -  $\tau_1 = \tau_4 = 0$ ,  $\tau_5 = 0$ .

Из нагрузочной диаграммы полученной по результатам расчетов видно (рис.2.16), что при внезапном возрастании сопротивления передвижению с принятой интенсивностью, скорость и напряжение генератора заметно падают -  $\Delta \omega = 0,07$  и  $\Delta U_{гг} = 0,14$ , что приводит к существенному снижению скорости и момента двигателя до степени, угрожающему устойчивости его работы. Следовательно, в общем случае, для агрегатов рабочие органы которых движутся в среде с переменными физическими параметрами (например, плотностью) или для агрегатов при выполнении которыми технологического процесса не исключается возможность движения по неподготовленному для трактора грунту (наличие препятствий), следует предусмотреть проверку устойчивости системы электропривода в пределах возможных изменений (по амплитуде и длительности) сопротивления перемещению агрегата.

Кратковременная перегрузка двигателя. Технологическая перегрузка двигателя (дестабилизирующее воздействие  $Y_{83}$ ) возможна при случайном характере нагрузки на валу, например, при обрезке толстых сучьев электрифицированным обрезчиком.

Проверку динамической устойчивости одного двигателя обрезчика при его перегрузке и наличии семи параллельно работающих под нагрузкой двигателей моделируем задавшись значением составляющей момента сопротивления  $M_c^{(0)}(t)$  уравнения механической характеристики рабочего органа и моментами времени начала  $\tau_9$  и конца  $\tau_{10}$  его возникновения,  $M_c^{(0)}(t) = M_{сст}^{(0)} = 0,0879$ ,  $\tau_9 = 10$ ,  $\tau_{10} = 72$  и  $n^{(0)} = 1$ ,  $n^{(2)} = 7$ ,  $\tau_3 = \tau_4 = 0$ ,  $\tau_5 = \tau_6 = 0$ .

Результаты расчетов переходных процессов приведены на рис. 2.17. В данном случае, даже при суммарном моменте сопротивления

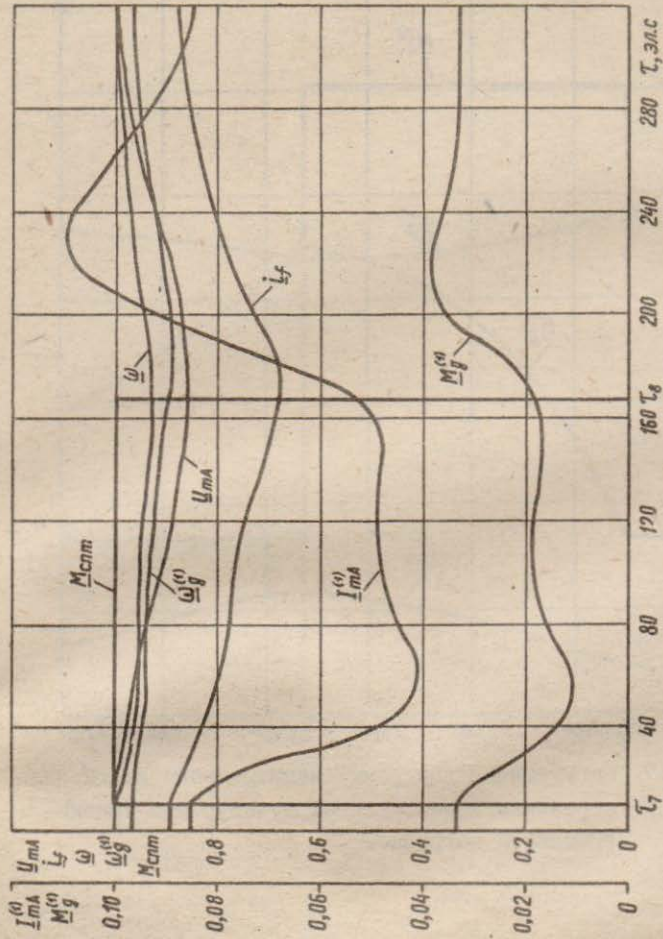


Рис. 2.16. Нагрузочная диаграмма асинхронного двигателя обрезака крон плодовых культур при внезапном вырастании сопротивлении передвижению.

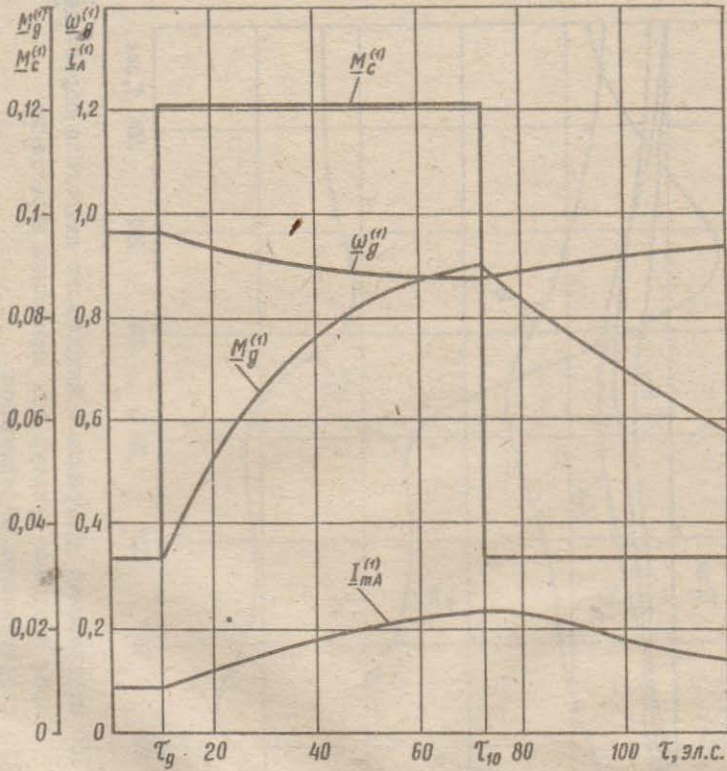


Рис.2.17. Нагрузочная диаграмма асинхронного двигателя  
обрезчика крон плодовых культур при кратко-  
временной нагрузке.

$M_c^{(0)} = 0,12I$  значительно превышающим критический момент двигателя, привод работает устойчиво за счет запаса электромагнитной и кинетической энергии, накопленной в катушках и вращающихся элементах привода.

## 2.5. Методика выбора мощности электрических машин и типа трактора электрифицированной сельскохозяйственной машины

В соответствии с задачей оптимизации параметров системы, а также на основании анализа результатов проведенных выше расчетов устойчивости системы электропривода в переходных режимах и существующих методов выбора мощности электроприводов сельскохозяйственных машин, предлагается следующая методика выбора мощности асинхронного двигателя и синхронного генератора системы автономного электропривода рабочего органа мобильной сельскохозяйственной машины и типа трактора агрегирующего машину:

1. Исследуют приводные характеристики рабочих органов отражающие особенности производственного процесса и условия работы машины - технологическую, кинематическую, энергетическую, механическую, нагрузочную и инерционную.

2. Выбирают тип асинхронного двигателя по режиму нагрузки, частоте вращения, исполнению и способу монтажа и степени защиты от окружающей среды, а также тип асинхронного генератора.

3. В известном порядке, по приводным характеристикам, предварительно выбирают мощность двигателей рабочих органов.

4. Ориентировочно выбирают мощность синхронного генератора в зависимости от условий пуска рабочих органов.

а) Рабочие органы запускаются на холостом ходу. В этом случае, мощность генератора определяют по условию нагрева через потребные мощности рабочих органов по формуле (2.10).

б) Рабочие органы запускаются под нагрузкой. Если один или несколько рабочих органов приводятся одним электродвигателем, тогда мощность генератора находят по условию пуска двигателя (2.2).

При многодвигательном электроприводе с поочередным пуском электродвигателей - по наибольшему из результатов, полученных в соответствии с (2.8), (2.9) или (2.10).

Номинальную мощность генератора во всех случаях находят по условию (2.4).

5. Предварительно выбирают тип трактора. Для этой цели ориентировочно определяют мощность двигателя трактора исходя из условий пуска рабочих органов.

а) Рабочие органы запускаются на холостом ходу. Тогда мощность двигателя трактора будет определяться из условий работы в установившемся режиме (2.6).

б) Рабочие органы запускаются под нагрузкой. Если агрегат оснащен только одним двигателем, то мощность ДВС находят по условиям пуска электродвигателя и по условию работы в установившемся режиме (2.5) и (2.6), и для дальнейших расчетов берут наибольшую из них.

В случае многодвигательного электропривода мощность ДВС находят аналогично п.5а.

Номинальную мощность двигателя трактора выбирают по условию (2.7). Тип трактора выбирают по номинальной мощности ДВС и дополнительным требованиям конструктивного характера со стороны рабочей машины и условий эксплуатации.

6. Предварительно выбранные двигатели и генератор проверяют по условиям нагрева на основании метода эквивалентных величин. Для этого, зная данные ориентировочно выбранных генератора, двигателей и дизеля трактора, а также приводные характеристики рабочих органов, путем решения системы уравнений (1.1)...(1.7) на ЭВМ для рабочего режима, получают нагрузочные диаграммы двигателей и генератора с учетом переходных процессов в системе. Определив значения эквивалентного тока двигателей  $I_{д экв}$  и генератора  $I_{г экв}$ , убеждаются в справедливости условий

$$I_{дн} \geq I_{д экв} \text{ и } I_{гн} \geq I_{г экв}. \quad (2.11) \quad (2.12)$$

Здесь же проверяют правильность предварительного выбора мощности дизеля как

$$P_{\text{двсн}} \geq \frac{P_{\text{гэвб}}}{\eta_{\text{г}} \eta_{\text{двсм}}} + P_{\text{пм}}, \quad (2.13)$$

где  $P_{\text{гэвб}} = U_{\text{н}} I_{\text{дэвб}} \cos \varphi$  - эквивалентная мощность генератора.

Если указанные условия не соблюдаются, выбирают двигатель, генератор, трактор в отдельности или в необходимом сочетании на ступень мощности выше и повторяют проверку.

7. Проверяют систему электропривода на устойчивость в переходных режимах путем решения тех же систем уравнений для соответствующих исходных данных и начальных условий.

а) Предварительно выбранные или уточненные в п.6 двигателяли проверяют по перегрузочной способности. В случае, когда двигатель не проходит по перегрузочной способности выбирают другой двигатель на ступень мощности выше и повторяют расчет.

б) Выбранную систему электропривода проверяют на устойчивость при пуске двигателя, или двигателя с наибольшей мощностью при других работающих, когда их несколько.

Если анализ нагрузочной диаграммы пуска двигателя показал, что двигатель не запускается вследствие того, что момент трогания рабочей машины больше пускового момента двигателя, то выбирают двигатель следующей ступени мощности и повторяют проверку.

В случае, когда запускаемый двигатель не разворачивается или параллельно включенные двигатели опрокидываются из-за глубокого снижения напряжения генератора при незначительном снижении скорости дизеля, следует принять генератор большей мощности и проверить условия пуска еще раз.

При невозможности пуска по причине снижения напряжения на генераторе вследствие падения скорости ДВС, надо выбрать трактор с большей мощностью дизеля и вновь проверить возможность пуска.

в) Проверяют устойчивость системы электропривода при трогании агрегата с места, исходя из возможности выключения сцепления рывком. При нарушении устойчивости системы необходимо принять трактор большей мощности.

г) Убеждаются в устойчивости системы электропривода при внезапном возрастании сопротивления перемещению агрегата. Ес-

ли это приводит к опрокидыванию электропривода, берут трактор большей мощности.

В. Выбирают в обычном порядке пускозащитную аппаратуру. При этом электромагнитные катушки магнитных пускателей должны быть рассчитаны на подключение к бортовой сети трактора или дополнительному источнику энергии, которым оборудуется агрегат.

Следует отметить, что в п.7, кроме выбора более мощных электрических машин или трактора, устойчивость системы можно повысить, используя другие известные или вытекающие из ранее приведенных расчетов способы, например, путем изменения инерционной постоянной вала двигателя или генератора, повышения или снижения инерционной постоянной поступательно движущихся масс агрегата и другие.

При частотном пуске электродвигателей с использованием предлагаемого устройства форсирования возбуждения генератора, мощность последнего выбирают аналогично случаю пуска двигателей на холостом ходу.

На практике может стоять обратная задача – на базе известного трактора создать МЭС для использования в качестве резервной электростанции, т.е. к трактору подобрать генератор и определить мощность электродвигателей, которые можно к нему подключить. Для этого:

1. Определяют ориентировочную мощность генератора

$$P_r = \eta_g P_{двсн} - P_{пм}, \quad (2.14)$$

и выбирают генератор по условию

$$P_{гн} \leq P_r, \quad (2.15)$$

2. Если к генератору подключается один двигатель, то зная отношение  $P_{двс} / P_{гн}$  и приняв  $m_c = 1$  по рис.2.3 находят отношение  $P_d / P_{гн}$ , откуда  $P_d$ . Далее выбирают двигатель в соответствии с условием

$$P_{дн} \leq P_d. \quad (2.16)$$

В случае нескольких двигателей, зная мощность самого большого двигателя, по отношениям  $P_{двсн} / P_{гн}$  и  $P_{двн} / P_{гн}$  воспользовавшись рис.2.II определяют  $P_{дв} / P_{гн}$ , откуда допустимую суммарную мощность параллельно включенных двигателей.

3. Проверяют устойчивость системы в процессе пуска электродвигателей и при их перегрузке.

## В ы в о д ы

1. Важнейшей особенностью оптимизации параметров системы автономного электропривода является необходимость углубленного анализа ее устойчивости ввиду возникновения большого числа дестабилизирующих факторов при различных режимах работы агрегата. В ряде случаев критерием выбора мощности двигателя и генератора, а также трактора является именно устойчивость системы в переходных режимах.

2. Выведены уравнения системы автономного электропривода в стандартной форме. Разработаны алгоритм, программа и методика моделирования на ПЭВМ основных встречающихся на практике переходных режимов системы автономного электропривода.

3. На основе численных экспериментов проведенных на ПЭВМ - установлено, что мощность двигателя при прямом пуске под нагрузкой составляет 70% от мощности синхронного генератора, при этом мощность ДВС трактора должна быть в 2 раза больше рабочей мощности синхронного генератора. Определена зависимость предельной мощности двигателя по условиям пуска от мощности ДВС трактора;

- исследована возможность использования для облегчения условий пуска поступательно движущихся и вращающихся масс агрегата. Показана большая эффективность использования маховых масс подключенных к ВОМ трактора;

- получена зависимость предельного числа одновременно запускаемых двигателей от их мощности, зависимость предельной мощности запускаемого двигателя от мощности параллельно включенных двигателей по условию устойчивости последних. Определены



минимально допустимые напряжения на зажимах двигателя по условию устойчивости для различных режимов нагрузки и механических характеристик рабочего органа.

4. Теоретически доказана возможность одновременного частотного пуска нескольких электроприводов рабочих органов или одного электродвигателя, с мощностью равной или близкой к мощности генератора, от МЭС на базе сельскохозяйственных тракторов, позволяющего улучшить показатели качества системы. Разработан принцип действия соответствующего устройства форсирования возбуждения генератора.

5. Качество напряжения генератора зависит от длительности включения сцепления трактора в процессе его трогания с места, так увеличение времени включения сцепления с 157 до 471 эл.с. повышает напряжение и скорость генератора в переходном режиме на 7,5 и 6,1%. Систему электропривода необходимо проверять на устойчивость при трогании агрегата с места и внезапном возрастании сопротивления перемещению агрегата.

6. Разработана методика выбора мощности асинхронного электродвигателя и синхронного генератора, а также типа трактора электрифицированной сельскохозяйственной машины.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кадымов Я.Б., Расулов М.М. Асинхронный электропривод с автономным питанием. Азербайджанское государственное издательство. Баку, 1966. — 236 с., ил.
2. Кадымов Я.Б., Расулов М.М. Коэффициент соизмеримости при питании асинхронного электродвигателя от синхронного генератора. Электричество, 1958, №11, с. 35–38.
3. Кадымов Я.Б., Расулов М.М. К расчету электромеханических переходных процессов в системе асинхронный двигатель – синхронный генератор соизмеримой мощности. Электричество, 1960, №2, с. 57–60.
4. Кадымов Я.Б., Расулов М.М. Приближенный метод расчета маховых масс дизель-генератора в автономных системах переменного тока. Вестник электропромышленности, 1960, №11, с. 38–41.
5. Кешуов С.А. Автономный электропривод мобильных сельскохозяйственных машин. — Алматы. : КазНИИ НКИ, 1993. — 171 с., ил.
6. Крайцберг М.И. Электропривод при автономном источнике энергии. — М.-Л. : Энергия, 1966. — 224 с., ил.
7. Мелешкин Г.А. Пуск асинхронного двигателя от синхронного дизель-генератора. Тр. Центрального НИИ морского флота. 1960, вып. 28., с. 71–83.
8. Мякишев Н.Ф. Маховиковый электропривод с учетом отклонения напряжения и частоты автономного источника питания. Труды Всесоюзного сельскохозяйственного института заочного образования. Вып. XX. М., с. 49–56.
9. Назаров Г.И., Симоненко А.С. Метод расчета маховых масс дизель-генераторного агрегата в автономных сельскохозяйственных электроустановках при работе на резкопеременную нагрузку. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Выпуск 2(51). Москва, 1963. — с. 155–165.
10. Постников Г.М., Киричек Г.М. Визначення статичних характеристик системи СГ-АД при змінній частоті. Зб. праць, Ін-ту електротехн. АН УРСР. 1961, вып. 17, с. 212–227.

11. Симоненко А.С. Определение размеров маховика системы тепловой двигатель- генератора- электродвигателя при ударной нагрузке рабочей машины. Докл. Моск. с.- х. академии им. К.А. Тимирязева, 1963, вып. 81, с. 392-396.

12. Соколов М.М., Петров Л.П., Масандилов Л.Б., Ладензон В.А. Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе. - М.: Энергия, 1967. - 200 с., ил.

13. Страхов С.В., Эфендизаде А.А. Системы электроприводов переменного тока с автономным питанием. Первый международный конгресс ИФАК по автоматическому управлению. М., -1960, 19 с., ил.

14. Тяговые характеристики сельскохозяйственных тракторов. Альбом-справочник. - М.: Россельхозиздат, 1979. - 240 с., ил.

15. Фрейдзон И.Р. Судовые автоматизированные электроприводы и системы. 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Судостроение, 1980. - 440 с., ил.

16. Фрейдзон И.Р. Судовые электромеханизмы. Л.: Судпромгиз, 1958. - 500 с., ил.

Коэффициенты уравнений состояния системы  
автономного электропривода

$$C_{11} = \frac{C_{02}}{C_{01}}; C_{12} = \frac{C_{03}}{C_{01}}; C_{13} = \frac{C_{04}}{C_{01}}; C_{14} = \frac{C_{05}}{C_{01}}; C_{15} = \frac{C_{06}}{C_{01}}; C_{16} = \frac{C_{07}}{C_{01}};$$

$$C_{17} = \frac{C_{08}}{C_{01}}; C_{18} = \frac{C_{09}}{C_{01}}; C_{19} = \frac{C_{010}}{C_{01}};$$

$$C_{01} = L_s - 2\sqrt{3} K_{g5} M_{adm} \sin \gamma_K + 3 K_{g5}^2 (L_{dg} \sin^2 \gamma_K + L_{qg} \cos^2 \gamma_K) + \left[ \frac{1}{\Delta_5} (\sqrt{3} K_{g5} \times \right. \\ \times M_{dom} \sin \gamma_K - M_{adm}) (M_{adm} - \sqrt{3} K_{g5} M_{dom} \sin \gamma_K) - \frac{1}{\Delta_6} 3 K_{g5}^2 M_{q0}^2 \cos^2 \gamma_K \left. \right] \times \\ \times (n^{(1)} \Delta_8 + n^{(2)} \Delta_7);$$

$$C_{02} = \frac{1}{\Delta_5} \sqrt{3} K_{g5} \omega \cos \gamma_K (M_{q0} + M_{dom}) (\sqrt{3} K_{g5} M_{dom} \sin \gamma_K - M_{adm}) (n^{(1)} \Delta_8 + \\ + n^{(2)} \Delta_7) + \frac{1}{\Delta_6} \sqrt{3} K_{g5} M_{q0} \omega \cos \gamma_K [\sqrt{3} K_{g5} \sin \gamma_K (M_{q0} - M_{dom}) + M_{adm}] \times \\ \times [2 n^{(1)} n^{(2)} (L_{d0} - L_{q0}) - n^{(1)} \Delta_8 - n^{(2)} \Delta_7] + 2\sqrt{3} K_{g5} M_{adm} \omega \cos \gamma_K + \\ + 6 K_{g5}^2 (L_{qg} - L_{dg}) \omega \sin \gamma_K \cos \gamma_K - 3 K_{g5}^2 \gamma'_g - \gamma'_s;$$

$$C_{03} = \frac{\Delta_8}{\Delta_5} n^{(1)} (n^{(1)} \gamma_0 + \gamma'_1 + \gamma'_n) (M_{adm} - \sqrt{3} K_{g5} M_{dom} \sin \gamma_K) + \frac{\Delta_7}{\Delta_5} n^{(1)} n^{(2)} \times \\ \times \gamma_0 (M_{adm} - \sqrt{3} K_{g5} M_{dom} \sin \gamma_K) - \frac{\Delta_7}{\Delta_6} \sqrt{3} K_{g5} n^{(1)} n^{(2)} L_{d0} M_{q0} \omega \cos \gamma_K - \\ - \frac{\Delta_8}{\Delta_6} \sqrt{3} K_{g5} n^{(1)} M_{q0} \omega \cos \gamma_K \left[ \frac{(M_{adm}^{(1)})^2}{L_{\gamma M}^{(1)}} \left( \frac{\omega^{(1)}}{\omega} - 1 \right) + L_{sm}^{(1)} + n^{(1)} L_{d0} \right] + \\ + \sqrt{3} K_{g5} n^{(1)} M_{dom} \omega \cos \gamma_K - \sqrt{3} K_{g5} n^{(1)} \gamma_K (\sin \gamma_K + \sqrt{3} \cos \gamma_K);$$

$$C_{04} = \frac{\Delta_7}{\Delta_5} n^{(2)} (n^{(2)} \gamma_0 + \gamma'_1 + \gamma'_n) (M_{adm} - \sqrt{3} K_{g5} M_{dom} \sin \gamma_K) + \frac{\Delta_8}{\Delta_5} n^{(1)} n^{(2)} \times \\ \times \gamma_0 (M_{adm} - \sqrt{3} K_{g5} M_{dom} \sin \gamma_K) - \frac{\Delta_8}{\Delta_7} \sqrt{3} K_{g5} n^{(1)} n^{(2)} L_{d0} M_{q0} \omega \cos \gamma_K -$$

$$-\frac{\Delta_7}{\Delta_6} \sqrt{3} K_{g5} n^{(2)} \underline{M}_{q0} \underline{\omega} \cos \underline{\gamma}_K \left[ \frac{(M_M^{(2)})^2}{L_{\tau M}^{(2)}} \left( \frac{\underline{\omega}_g^{(2)}}{\underline{\omega}} - 1 \right) + L_{sM}^{(2)} + n^{(2)} L_{q0} \right] +$$

$$+ \sqrt{3} K_{g5} n^{(2)} \underline{M}_{dom} \underline{\omega} \cos \underline{\gamma}_K - \sqrt{3} K_{g5} n^{(2)} \underline{\gamma}_K (\sin \underline{\gamma}_K - \sqrt{3} \cos \underline{\gamma}_K);$$

$$C_{05} = \frac{\Delta_7}{\Delta_5} n^{(1)} n^{(2)} L_{q0} \underline{\omega} (\underline{M}_{AdM} - \sqrt{3} K_{g5} \underline{M}_{dom} \sin \underline{\gamma}_K) - \frac{\Delta_8}{\Delta_5} n^{(1)} \underline{\omega} \times$$

$$\times \left[ \frac{(M_M^{(1)})^2}{L_{\tau M}^{(1)}} \left( 1 - \frac{\underline{\omega}_g^{(1)}}{\underline{\omega}} \right) - L_{sM}^{(1)} - n^{(1)} L_{q0} \right] (\underline{M}_{AdM} - \sqrt{3} K_{g5} \underline{M}_{dom} \sin \underline{\gamma}_K) +$$

$$+ \frac{\Delta_7}{\Delta_6} \sqrt{3} K_{g5} n^{(1)} n^{(2)} \underline{M}_{q0} \underline{\gamma}_0 \cos \underline{\gamma}_K + \frac{\Delta_8}{\Delta_6} \sqrt{3} K_{g5} n^{(1)} \underline{M}_{q0} \cos \underline{\gamma}_K (n^{(1)} \underline{\gamma}_0 +$$

$$+ \underline{\gamma}_1^{(1)} + \underline{\gamma}_2^{(1)}) + \sqrt{3} K_{g5} n^{(1)} \underline{M}_{q0} \underline{\omega} \sin \underline{\gamma}_K + \sqrt{3} K_{g5} n^{(1)} \underline{\gamma}_K (\cos \underline{\gamma}_K - \sqrt{3} \sin \underline{\gamma}_K);$$

$$C_{06} = \frac{\Delta_8}{\Delta_5} n^{(1)} n^{(2)} L_{q0} \underline{\omega} (\underline{M}_{AdM} - \sqrt{3} K_{g5} \underline{M}_{dom} \sin \underline{\gamma}_K) - \frac{\Delta_7}{\Delta_5} n^{(2)} \underline{\omega} \times$$

$$\times \left[ \frac{(M_M^{(2)})^2}{L_{\tau M}^{(2)}} \left( 1 - \frac{\underline{\omega}_g^{(2)}}{\underline{\omega}} \right) - L_{sM}^{(2)} - n^{(2)} L_{q0} \right] (\underline{M}_{AdM} - \sqrt{3} K_{g5} \underline{M}_{dom} \sin \underline{\gamma}_K) +$$

$$+ \frac{\Delta_8}{\Delta_6} \sqrt{3} K_{g5} n^{(1)} n^{(2)} \underline{M}_{q0} \underline{\gamma}_0 \cos \underline{\gamma}_K + \frac{\Delta_7}{\Delta_6} \sqrt{3} K_{g5} n^{(2)} \underline{M}_{q0} \cos \underline{\gamma}_K (n^{(2)} \underline{\gamma}_0 +$$

$$+ \underline{\gamma}_1^{(2)} + \underline{\gamma}_2^{(2)}) + \sqrt{3} K_{g5} n^{(2)} \underline{M}_{q0} \underline{\omega} \sin \underline{\gamma}_K + \sqrt{3} K_{g5} n^{(2)} \underline{\gamma}_K (\cos \underline{\gamma}_K - \sqrt{3} \sin \underline{\gamma}_K);$$

$$C_{07} = \frac{\Delta_8}{\Delta_5} n^{(1)} \frac{M_M^{(1)}}{L_{\tau M}^{(1)}} \underline{\gamma}_{2\frac{1}{2}}^{(1)} (\sqrt{3} K_{g5} \underline{M}_{dom} \sin \underline{\gamma}_K - \underline{M}_{AdM}) - \frac{\Delta_8}{\Delta_6} \sqrt{3} K_{g5} n^{(1)} \times$$

$$\times \underline{M}_{q0} \underline{M}_M^{(1)} \underline{\omega}_g^{(1)} \cos \underline{\gamma}_K;$$

$$C_{08} = \frac{\Delta_7}{\Delta_5} n^{(2)} \frac{M_M^{(2)}}{L_{\tau M}^{(2)}} \underline{\gamma}_{2\frac{1}{2}}^{(2)} (\sqrt{3} K_{g5} \underline{M}_{dom} \sin \underline{\gamma}_K - \underline{M}_{AdM}) - \frac{\Delta_7}{\Delta_6} \sqrt{3} K_{g5} n^{(2)} \times$$

$$\times \underline{M}_{q0} \underline{M}_M^{(2)} \underline{\omega}_g^{(2)} \cos \underline{\gamma}_K;$$

$$C_{09} = \frac{\Delta_8}{\Delta_5} n^{(1)} \underline{M}_M^{(1)} \underline{\omega}_g^{(1)} (\underline{M}_{AdM} - \sqrt{3} K_{g5} \underline{M}_{dom} \sin \underline{\gamma}_K) - \frac{\Delta_8}{\Delta_6} \sqrt{3} K_{g5} n^{(1)} \times$$

$$\times \underline{M}_{q0} \frac{M_M^{(1)}}{L_{\tau M}^{(1)}} \underline{\gamma}_{2\frac{1}{2}}^{(1)} \cos \underline{\gamma}_K;$$

$$C_{010} = \frac{\Delta_7}{\Delta_5} n^{(2)} \underline{M}_M^{(2)} \underline{\omega}_g^{(2)} (\underline{M}_{AdM} - \sqrt{3} K_{g5} \underline{M}_{dom} \sin \underline{\gamma}_K) - \frac{\Delta_7}{\Delta_6} \sqrt{3} K_{g5} n^{(2)} \times$$

$$\times \underline{M}_{q_0} \frac{M_M^{(2)}}{\underline{L}_{q_M}^{(2)}} \underline{x}_{2\frac{1}{2}}^{(2)} \cos \underline{x}_K ;$$

$$C_{21} = C_{011} C_{11} + C_{012} ; C_{22} = C_{011} C_{12} + C_{013} ; C_{23} = C_{011} C_{13} + C_{014} ;$$

$$C_{24} = C_{011} C_{14} + C_{015} ; C_{25} = C_{011} C_{15} + C_{016} ; C_{26} = C_{011} C_{16} + C_{017} ;$$

$$C_{27} = C_{011} C_{17} + C_{018} ; C_{28} = C_{011} C_{18} + C_{019} ; C_{29} = C_{011} C_{19} + C_{020} ;$$

$$C_{011} = \frac{\Delta_3}{\Delta_5} (\sqrt{3} K_{g_5} \underline{M}_{d_{0M}} \sin \underline{x}_K - \underline{M}_{AdM}) ; C_{012} = \frac{\Delta_3}{\Delta_5} \sqrt{3} K_{g_5} (\underline{M}_{q_0} +$$

$$+ \underline{M}_{d_{0M}}) \underline{\omega} \cos \underline{x}_K ; C_{013} = \frac{1}{\Delta_5} [n^{(1)} n^{(2)} \underline{L}_{d_0} \underline{x}_0 - \Delta_2 (n^{(1)} \underline{x}_0 + \underline{x}_1^{(1)} + \underline{x}_n^{(1)})] ;$$

$$C_{014} = \frac{1}{\Delta_5} n^{(2)} [\underline{L}_{d_0} (n^{(2)} \underline{x}_0 + \underline{x}_1^{(2)} + \underline{x}_n^{(2)}) - \Delta_2 \underline{x}_0] ; C_{015} = \frac{1}{\Delta_5} n^{(1)} n^{(2)} \times$$

$$\times \underline{L}_{d_0} \underline{L}_{q_0} \underline{\omega} + \frac{\Delta_2}{\Delta_5} \underline{\omega} \left[ \frac{(M_M^{(1)})^2}{\underline{L}_{q_M}^{(1)}} \left(1 - \frac{\underline{\omega}^{(1)}}{\underline{\omega}}\right) - \underline{L}_{SM}^{(1)} - n^{(1)} \underline{L}_{q_0} \right] ; C_{016} =$$

$$= - \frac{1}{\Delta_5} n^{(2)} \underline{L}_{d_0} \underline{\omega} \left[ \frac{(M_M^{(2)})^2}{\underline{L}_{q_M}^{(2)}} \left(1 - \frac{\underline{\omega}^{(2)}}{\underline{\omega}}\right) - \underline{L}_{SM}^{(2)} - n^{(2)} \underline{L}_{q_0} \right] - \frac{\Delta_2}{\Delta_5} n^{(2)} \underline{L}_{q_0} \underline{\omega} ;$$

$$C_{017} = \frac{\Delta_2}{\Delta_5} \frac{M_M^{(1)}}{\underline{L}_{q_M}^{(1)}} \underline{x}_{2\frac{1}{2}}^{(1)} ; C_{018} = - \frac{1}{\Delta_5} n^{(2)} \underline{L}_{d_0} \frac{M_M^{(2)}}{\underline{L}_{q_M}^{(2)}} \underline{x}_{2\frac{1}{2}}^{(2)} ; C_{019} = - \frac{\Delta_2}{\Delta_5} \times$$

$$\times \underline{M}_M^{(1)} \underline{\omega}_g^{(1)} ; C_{020} = \frac{1}{\Delta_5} n^{(2)} \underline{L}_{d_0} \underline{M}_M^{(2)} \underline{\omega}_g^{(2)} ;$$

$$C_{31} = C_{021} C_{11} + C_{022} ; C_{32} = C_{021} C_{12} + C_{023} ; C_{33} = C_{021} C_{13} + C_{024} ;$$

$$C_{34} = C_{021} C_{14} + C_{025} ; C_{35} = C_{021} C_{15} + C_{026} ; C_{36} = C_{021} C_{16} + C_{027} ;$$

$$C_{37} = C_{021} C_{17} + C_{028} ; C_{38} = C_{021} C_{18} + C_{029} ; C_{39} = C_{021} C_{19} + C_{030} ;$$

$$C_{021} = \frac{\Delta_7}{\Delta_5} (\sqrt{3} K_{g_5} \underline{M}_{d_{0M}} \sin \underline{x}_K - \underline{M}_{AdM}) ; C_{022} = \frac{\Delta_7}{\Delta_5} \sqrt{3} K_{g_5} (\underline{M}_{q_0} +$$

$$+ \underline{M}_{d_{0M}}) \underline{\omega} \cos \underline{x}_K ; C_{023} = \frac{1}{\Delta_5} n^{(1)} [\underline{L}_{d_0} (n^{(1)} \underline{x}_0 + \underline{x}_1^{(1)} + \underline{x}_n^{(1)}) - \Delta_1 \underline{x}_0] ;$$

$$C_{024} = \frac{1}{\Delta_5} [n^{(1)} n^{(2)} \underline{L}_{d_0} \underline{x}_0 - \Delta_1 (n^{(2)} \underline{x}_0 + \underline{x}_1^{(2)} + \underline{x}_n^{(2)})] ; C_{025} = - \frac{1}{\Delta_5} n^{(1)} \times$$

$$\begin{aligned}
 & \times \underline{L}_{d0} \underline{\omega} \left[ \frac{(M_M^{(1)})^2}{L_{\epsilon M}^{(1)}} \left( 1 - \frac{\underline{\omega}_g^{(1)}}{\underline{\omega}} \right) - L_{SM}^{(1)} - n^{(1)} \underline{L}_{q0} \right] - \frac{\Delta_1}{\Delta_5} n^{(1)} \underline{L}_{q0} \underline{\omega}; C_{026} = \frac{1}{\Delta_5} \times \\
 & \times n^{(1)} n^{(2)} \underline{L}_{d0} \underline{L}_{q0} \underline{\omega} + \frac{\Delta_1}{\Delta_2} \underline{\omega} \left[ \frac{(M_M^{(2)})^2}{L_{\epsilon M}^{(2)}} \left( 1 - \frac{\underline{\omega}_g^{(2)}}{\underline{\omega}} \right) - L_{SM}^{(2)} - n^{(2)} \underline{L}_{q0} \right]; C_{027} = \\
 & = -\frac{1}{\Delta_5} n^{(1)} \underline{L}_{d0} \frac{M_M^{(1)}}{L_{\epsilon M}^{(1)}} \underline{x}_{2\frac{(1)}{5}}; C_{028} = \frac{\Delta_1}{\Delta_5} \frac{M_M^{(2)}}{L_{\epsilon M}^{(2)}} \underline{x}_{2\frac{(2)}{5}}; C_{029} = \frac{1}{\Delta_5} n^{(1)} \underline{L}_{d0} \frac{M_M^{(1)}}{L_{\epsilon M}^{(1)}} \underline{\omega}_g^{(1)}; \\
 & C_{030} = -\frac{\Delta_1}{\Delta_5} \frac{M_M^{(2)}}{L_{\epsilon M}^{(2)}} \underline{\omega}_g^{(2)};
 \end{aligned}$$

$$C_{41} = C_{031} C_{11} + C_{032}; C_{42} = C_{031} C_{12} + C_{033}; C_{43} = C_{031} C_{13} + C_{034};$$

$$C_{44} = C_{031} C_{14} + C_{035}; C_{45} = C_{031} C_{15} + C_{036}; C_{46} = C_{031} C_{16} + C_{037};$$

$$C_{47} = C_{031} C_{17} + C_{038}; C_{48} = C_{031} C_{18} + C_{039}; C_{49} = C_{031} C_{19} + C_{040};$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad C_{031} &= -\frac{\Delta_8}{\Delta_6} \sqrt{3} K_{g\frac{1}{2}} M_{q0} \cos \underline{x}_K; C_{032} = \frac{\Delta_8}{\Delta_6} \underline{\omega} (\sqrt{3} K_{g\frac{1}{2}} M_{q0} \sin \underline{x}_K - \sqrt{3} K_{g\frac{1}{2}} M_{d0n} \times \\
 & \times \sin \underline{x}_K + M_{AdM}); C_{033} = \frac{\Delta_4}{\Delta_6} \underline{\omega} \left[ \frac{(M_M^{(1)})^2}{L_{\epsilon M}^{(1)}} \left( \frac{\underline{\omega}_g^{(1)}}{\underline{\omega}} - 1 \right) + L_{SM}^{(1)} + n^{(1)} \underline{L}_{d0} \right] - \\
 & - \frac{1}{\Delta_6} n^{(1)} n^{(2)} \underline{L}_{d0} \underline{L}_{q0} \underline{\omega}; C_{034} = \frac{\Delta_8}{\Delta_6} n^{(2)} \underline{L}_{d0} \underline{\omega} - \frac{1}{\Delta_6} n^{(2)} \underline{L}_{q0} \underline{\omega} \left[ \frac{(M_M^{(2)})^2}{L_{\epsilon M}^{(2)}} \left( \frac{\underline{\omega}_g^{(2)}}{\underline{\omega}} - \right. \right. \\
 & \left. \left. - 1 \right) + L_{SM}^{(2)} \right]; C_{035} = \frac{1}{\Delta_6} \left[ n^{(1)} n^{(2)} \underline{L}_{q0} \underline{x}_0 - \Delta_4 (n^{(1)} \underline{x}_0 + \underline{x}_1^{(1)} + \underline{x}_1^{(2)}) \right]; C_{036} = \\
 & = \frac{1}{\Delta_6} n^{(2)} \left[ \Delta_4 \underline{x}_0 + \underline{L}_{q0} (n^{(2)} \underline{x}_0 + \underline{x}_1^{(2)} + \underline{x}_1^{(1)}) \right]; C_{037} = \frac{\Delta_4}{\Delta_6} \frac{M_M^{(1)}}{L_{\epsilon M}^{(1)}} \underline{\omega}_g^{(1)}; \\
 & C_{038} = -\frac{1}{\Delta_6} n^{(2)} \underline{L}_{q0} \frac{M_M^{(2)}}{L_{\epsilon M}^{(2)}} \underline{\omega}_g^{(2)}; C_{039} = \frac{\Delta_4}{\Delta_6} \frac{M_M^{(1)}}{L_{\epsilon M}^{(1)}} \underline{x}_{2\frac{(1)}{5}}; C_{040} = -\frac{1}{\Delta_6} n^{(2)} \times \\
 & \times \underline{L}_{q0} \frac{M_M^{(2)}}{L_{\epsilon M}^{(2)}} \underline{x}_{2\frac{(2)}{5}};
 \end{aligned}$$

$$C_{51} = C_{041} C_{11} + C_{042}; C_{52} = C_{041} C_{12} + C_{043}; C_{53} = C_{041} C_{13} + C_{044};$$

$$C_{54} = C_{041} C_{14} + C_{045}; C_{55} = C_{041} C_{15} + C_{046}; C_{56} = C_{041} C_{16} + C_{047};$$

$$C_{53} = C_{041} C_{17} + C_{048} ; C_{58} = C_{041} C_{18} + C_{049} ; C_{59} = C_{041} C_{19} + C_{050} ;$$

$$C_{041} = -\frac{\Delta_7}{\Delta_6} \sqrt{3} K_{g5} M_{q0} \cos \gamma_K ; C_{042} = \frac{\Delta_7}{\Delta_6} \omega (\sqrt{3} K_{g5} M_{q0} \sin \gamma - \sqrt{3} K_{g5} M_{dop} \times \\ \times \sin \gamma_K + M_{AdM}) ; C_{043} = \frac{\Delta_7}{\Delta_6} n^{(1)} \underline{L}_{d0} \omega - \frac{1}{\Delta_6} n^{(1)} \underline{L}_{q0} \omega \left[ \frac{(M_M^{(1)})^2}{\underline{L}_{rM}^{(1)}} \left( \frac{\omega_g^{(1)}}{\omega} - \right. \right. \\ \left. \left. - 1 \right) + \underline{L}_{sM}^{(1)} \right] ; C_{044} = \frac{\Delta_3}{\Delta_6} \omega \left[ \frac{(M_M^{(2)})^2}{\underline{L}_{rM}^{(2)}} \left( \frac{\omega_g^{(2)}}{\omega} - 1 \right) + \underline{L}_{sM}^{(2)} - n^{(2)} \underline{L}_{d0} \right] - \\ - \frac{1}{\Delta_6} n^{(1)} n^{(2)} \underline{L}_{d0} \underline{L}_{q0} \omega ; C_{045} = \frac{1}{\Delta_6} n^{(1)} \left[ \Delta_3 \underline{x}_0 + \underline{L}_{q0} (n^{(1)} \underline{x}_0 + \underline{x}_1^{(1)} + \underline{x}_2^{(1)}) \right] ; \\ C_{046} = \frac{1}{\Delta_6} \left[ n^{(1)} n^{(2)} \underline{L}_{q0} \underline{x}_0 - \Delta_3 (n^{(2)} \underline{x}_0 + \underline{x}_1^{(2)} + \underline{x}_2^{(2)}) \right] ; C_{047} = -\frac{1}{\Delta_6} n^{(1)} \times \\ \times \underline{L}_{q0} \frac{M_M^{(1)}}{\underline{L}_{rM}^{(1)}} \omega_g^{(1)} ; C_{048} = \frac{\Delta_3}{\Delta_6} \frac{M_M^{(2)}}{\underline{L}_{rM}^{(2)}} \omega_g^{(2)} ; C_{049} = -\frac{1}{\Delta_6} n^{(1)} \underline{L}_{q0} \frac{M_M^{(1)}}{\underline{L}_{rM}^{(1)}} \underline{x}_{2\frac{1}{2}}^{(1)} ; \\ C_{050} = \frac{\Delta_3}{\Delta_6} \frac{M_M^{(2)}}{\underline{L}_{rM}^{(2)}} \underline{x}_{2\frac{1}{2}}^{(2)} ;$$

$$C_{61} = C_{051} C_{21} ; C_{62} = C_{051} C_{22} + C_{052} ; C_{63} = C_{051} C_{23} ;$$

$$C_{64} = C_{051} C_{24} + C_{053} ; C_{65} = C_{051} C_{25} ; C_{66} = C_{051} C_{26} + C_{054} ;$$

$$C_{67} = C_{051} C_{27} ; C_{68} = C_{051} C_{28} + C_{055} ; C_{69} = C_{051} C_{29} ;$$

$$C_{051} = -\frac{M_M^{(1)}}{\underline{L}_{rM}^{(1)}} ; C_{052} = 0 ; C_{053} = \frac{M_M^{(1)}}{\underline{L}_{rM}^{(1)}} (\omega_g^{(1)} - \omega) ; C_{054} = -\frac{\underline{x}_{2\frac{1}{2}}^{(1)}}{\underline{L}_{rM}^{(1)}} ;$$

$$C_{055} = \omega_g^{(1)} - \omega ;$$

$$C_{71} = C_{056} C_{31} ; C_{72} = C_{056} C_{32} ; C_{73} = C_{056} C_{33} + C_{057} ;$$

$$C_{74} = C_{056} C_{34} ; C_{75} = C_{056} C_{35} + C_{058} ; C_{76} = C_{056} C_{36} ;$$

$$C_{77} = C_{056} C_{37} + C_{059} ; C_{78} = C_{056} C_{38} ; C_{79} = C_{056} C_{39} + C_{060} ;$$



$$C_{056} = -\frac{M_{11}^{(2)}}{\underline{L}_{2M}}; \quad C_{057} = 0; \quad C_{058} = \frac{M_{11}^{(2)}}{\underline{L}_{2M}} (\underline{\omega}_g^{(2)} - \underline{\omega}); \quad C_{059} = -\frac{\underline{L}_{2F}}{\underline{L}_{2M}};$$

$$C_{060} = \underline{\omega}_g^{(2)} - \underline{\omega};$$

$$C_{81} = C_{061} C_{41}; \quad C_{82} = C_{061} C_{42} + C_{062}; \quad C_{83} = C_{061} C_{43};$$

$$C_{84} = C_{061} C_{44} + C_{063}; \quad C_{85} = C_{061} C_{45}; \quad C_{86} = C_{061} C_{46} + C_{064};$$

$$C_{87} = C_{061} C_{47}; \quad C_{88} = C_{061} C_{48} + C_{065}; \quad C_{89} = C_{061} C_{49};$$

$$C_{061} = C_{051}; \quad C_{062} = -C_{053}; \quad C_{063} = 0; \quad C_{064} = -C_{055}; \quad C_{065} = C_{054};$$

$$C_{91} = C_{066} C_{51}; \quad C_{92} = C_{066} C_{52}; \quad C_{93} = C_{066} C_{53} + C_{067};$$

$$C_{94} = C_{066} C_{54}; \quad C_{95} = C_{066} C_{55} + C_{068}; \quad C_{96} = C_{066} C_{56};$$

$$C_{97} = C_{066} C_{57} + C_{069}; \quad C_{98} = C_{066} C_{58}; \quad C_{99} = C_{066} C_{59} + C_{070};$$

$$C_{066} = C_{056}; \quad C_{067} = -C_{058}; \quad C_{068} = 0; \quad C_{069} = -C_{060}; \quad C_{070} = C_{059};$$

$$C_{101} = \frac{1}{H_{2TP} + K_{C0}^2 H_{2H}}; \quad C_{102} = -\frac{K_{80M}}{H_{2TP} + K_{C0}^2 H_{2H}}; \quad C_{103} = -C_{101};$$

$$C_{104} = -\frac{K_{C4} H_{2H}}{H_{2TP} + K_{C0}^2 H_{2H}} \frac{1}{T_4 - T_3}; \quad C_{105} = -\frac{K_{80M}}{H_{2TP} + K_{C0}^2 H_{2H}} \frac{M_0}{H_{2TP} + K_{C0} H_{2H}} - \frac{K_{C4}}{H_{2TP} + K_{C0} H_{2H}} \frac{M_{\text{смер}}}{H_{2TP} + K_{C0} H_{2H}};$$

$$C_{111} = \frac{1}{H_{2g}^{(1)}}; \quad C_{112} = -C_{111}; \quad C_{121} = \frac{1}{H_{2g}^{(2)}}; \quad C_{122} = -C_{121};$$

$$C_{131} = 3 K_{g3}^2 (\underline{L}_{g9} - \underline{L}_{d9}) \sin \underline{\chi}_K \cos \underline{\chi}_K + \sqrt{3} K_{g3} \underline{M}_{AdM} \cos \underline{\chi}_K; \quad C_{132} =$$

$$= \sqrt{3} K_{g3} n^{(0)} (\underline{M}_{d0M} - \underline{M}_{q0}) \cos \underline{\chi}_K; \quad C_{133} = \sqrt{3} K_{g3} n^{(2)} (\underline{M}_{d0M} - \underline{M}_{q0}) \cos \underline{\chi}_K;$$

$$C_{134} = \sqrt{3} K_{g3} n^{(0)} (\underline{M}_{q0} - \underline{M}_{d0M}) \sin \underline{\chi}_K + n^{(0)} \underline{M}_{AdM}; \quad C_{135} = \sqrt{3} K_{g3} n^{(2)} (\underline{M}_{q0} -$$

$$- \underline{M}_{d0M}) \sin \underline{\chi}_K + n^{(2)} \underline{M}_{AdM}; \quad C_{136} = (n^{(1)})^2 (\underline{L}_{d0} - \underline{L}_{q0}); \quad C_{137} = n^{(1)} n^{(2)} x$$

$$x (\underline{L}_{d0} - \underline{L}_{q0}) ; C_{108} = C_{137} ; C_{199} = (\eta^{(2)})^2 (\underline{L}_{d0} - \underline{L}_{q0}) ;$$

$$C_{144} = \underline{M}_M^{(1)} ; C_{142} = -C_{144} ; C_{151} = \underline{M}_M^{(2)} ; C_{151} = -C_{152} ;$$

$$C_{161} = \frac{\underline{M}_{CO}^{(1)} - \underline{M}_{CH}^{(1)}}{(\underline{\omega}_{qH}^{(1)})^{\chi_{(1)}}} ; C_{162} = \underline{M}_{TP}^{(1)} ; C_{163} = e^{-\xi} ; C_{164} = \underline{M}_{CO}^{(1)} ;$$

$$C_{171} = \frac{\underline{M}_{CO}^{(2)} - \underline{M}_{CH}^{(2)}}{(\underline{\omega}_{qH}^{(2)})^{\chi_{(2)}}} ; C_{172} = \underline{M}_{TP}^{(2)} ; C_{173} = C_{163} ; C_{174} = \underline{M}_{CO}^{(2)} ;$$

$$C_{181} = 1,5 \frac{\underline{M}'_H}{\underline{\omega}_{HABC}} ; C_{182} = -\frac{\underline{M}'_H}{\underline{\omega}_{HABC}^2} ; C_{183} = 0,5 \underline{M}'_H ; C_{191} = \frac{\underline{M}'_2 - \underline{M}'_1}{\underline{\omega}_2 - \underline{\omega}_1} ;$$

$$C_{192} = \frac{\underline{M}'_1 - \underline{M}'_2}{\underline{\omega}_2 - \underline{\omega}_1} ; C_{201} = C_{181} ; C_{202} = C_{182} ; C_{203} = C_{183} ;$$

$$C_{211} = C_{071} C_{21} + C_{072} C_{61} ; C_{212} = C_{071} C_{22} + C_{072} C_{62} + C_{073} ; C_{213} = C_{071} C_{23} +$$

$$+ C_{072} C_{63} ; C_{214} = C_{071} C_{24} + C_{072} C_{64} + C_{074} ; C_{215} = C_{071} C_{25} + C_{072} C_{65} ;$$

$$C_{216} = C_{071} C_{26} + C_{072} C_{66} + C_{075} ; C_{217} = C_{071} C_{27} + C_{072} C_{67} ; C_{218} =$$

$$= C_{071} C_{28} + C_{072} C_{68} + C_{076} ; C_{219} = C_{071} C_{29} + C_{072} C_{69} ;$$

$$C_{071} = \underline{L}_{SM}^{(1)} ; C_{072} = C_{141} ; C_{073} = \underline{\chi}_1^{(1)} ; C_{074} = \underline{L}_{SM}^{(1)} \underline{\omega} ;$$

$$C_{075} = 0 ; C_{076} = \underline{M}_M^{(1)} \underline{\omega} ;$$

$$C_{221} = C_{071} C_{41} + C_{072} C_{81} ; C_{222} = C_{071} C_{42} + C_{072} C_{82} + C_{077} ;$$

$$C_{223} = C_{071} C_{43} + C_{072} C_{83} ; C_{224} = C_{071} C_{44} + C_{072} C_{84} + C_{073} ;$$

$$C_{225} = C_{071} C_{45} + C_{072} C_{85} ; C_{226} = C_{071} C_{46} + C_{072} C_{86} + C_{078} ;$$

$$C_{227} = C_{071} C_{47} + C_{072} C_{87} ; C_{228} = C_{071} C_{48} + C_{072} C_{88} + C_{075} ;$$

$$C_{229} = C_{071} C_{49} + C_{072} C_{89} ;$$

$$C_{077} = -C_{074} ; C_{078} = -C_{076} ;$$

$$C_{231} = C_{079} C_{31} + C_{080} C_{31}; \quad C_{232} = C_{079} C_{32} + C_{080} C_{32};$$

$$C_{233} = C_{079} C_{33} + C_{080} C_{33} + C_{081}; \quad C_{234} = C_{079} C_{34} + C_{080} C_{34};$$

$$C_{235} = C_{079} C_{35} + C_{080} C_{35} + C_{082}; \quad C_{236} = C_{079} C_{36} + C_{080} C_{36};$$

$$C_{237} = C_{079} C_{37} + C_{080} C_{37} + C_{083}; \quad C_{238} = C_{079} C_{38} + C_{080} C_{38};$$

$$C_{239} = C_{079} C_{39} + C_{080} C_{39} + C_{084};$$

$$C_{079} = \underline{L}_{3M}^{(2)}; \quad C_{080} = \underline{M}_M^{(2)}; \quad C_{081} = \underline{Y}_1^{(2)}; \quad C_{082} = \underline{L}_{3M}^{(2)} \underline{\omega};$$

$$C_{083} = 0; \quad C_{084} = \underline{M}_M^{(2)} \underline{\omega};$$

$$C_{241} = C_{079} C_{51} + C_{080} C_{51}; \quad C_{242} = C_{079} C_{52} + C_{080} C_{52};$$

$$C_{243} = C_{079} C_{53} + C_{080} C_{53} + C_{085}; \quad C_{244} = C_{079} C_{54} + C_{080} C_{54};$$

$$C_{245} = C_{079} C_{55} + C_{080} C_{55} + C_{084}; \quad C_{246} = C_{079} C_{56} + C_{080} C_{56};$$

$$C_{247} = C_{079} C_{57} + C_{080} C_{57} + C_{086}; \quad C_{248} = C_{079} C_{58} + C_{080} C_{58};$$

$$C_{249} = C_{079} C_{59} + C_{080} C_{59} + C_{088};$$

$$C_{085} = -C_{082}; \quad C_{086} = -C_{084};$$

$$\begin{aligned} C_{251} = & -(\underline{M}_{AdM} - \sqrt{3} K_{g5} \underline{M}_{do} \sin \underline{Y}_K) C_{11} - n^{(1)} \underline{L}_{do} C_{21} - n^{(2)} \underline{L}_{do} C_{31} - \\ & - \sqrt{3} K_{g5} (\underline{M}_{g0} - \underline{M}_{do}) \underline{\omega} \cos \underline{Y}_K; \quad C_{252} = -(\underline{M}_{AdM} - \sqrt{3} K_{g5} \underline{M}_{do} \sin \underline{Y}_K) C_{12} - \\ & - n^{(1)} \underline{L}_{do} C_{22} - n^{(2)} \underline{L}_{do} C_{32} - n^{(1)} \underline{Y}_0; \quad C_{253} = -(\underline{M}_{AdM} - \sqrt{3} K_{g5} \underline{M}_{do} \times \\ & \times \sin \underline{Y}_K) C_{13} - n^{(1)} \underline{L}_{do} C_{23} - n^{(2)} \underline{L}_{do} C_{33} - n^{(2)} \underline{Y}_0; \quad C_{254} = -(\underline{M}_{AdM} - \\ & - \sqrt{3} K_{g5} \underline{M}_{do} \sin \underline{Y}_K) C_{14} - n^{(1)} \underline{L}_{do} C_{24} - n^{(2)} \underline{L}_{do} C_{34} - n^{(1)} \underline{L}_{g0} \underline{\omega}; \quad C_{255} = \\ & = -(\underline{M}_{AdM} - \sqrt{3} K_{g5} \underline{M}_{do} \sin \underline{Y}_K) C_{15} - n^{(1)} \underline{L}_{do} C_{25} - n^{(2)} \underline{L}_{do} C_{35} - n^{(2)} \underline{L}_{g0} \underline{\omega}; \\ C_{256} = & -(\underline{M}_{AdM} - \sqrt{3} K_{g5} \underline{M}_{do} \sin \underline{Y}_K) C_{16} - n^{(1)} \underline{L}_{do} C_{26} - n^{(2)} \underline{L}_{do} C_{36}; \\ C_{257} = & -(\underline{M}_{AdM} - \sqrt{3} K_{g5} \underline{M}_{do} \sin \underline{Y}_K) C_{17} - n^{(1)} \underline{L}_{do} C_{27} - n^{(2)} \underline{L}_{do} C_{37}; \\ C_{258} = & -(\underline{M}_{AdM} - \sqrt{3} K_{g5} \underline{M}_{do} \sin \underline{Y}_K) C_{18} - n^{(1)} \underline{L}_{do} C_{28} - n^{(2)} \underline{L}_{do} C_{38}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{259} &= - (M_{AdM} - \sqrt{3} K_{q5} M_{d0} \sin \gamma_K) C_{19} - n^{(1)} L_{d0} C_{29} - n^{(2)} L_{d0} C_{39}; \\
 C_{261} &= -\sqrt{3} K_{q5} M_{q0} \cos \gamma_K C_{11} - n^{(1)} L_{q0} C_{41} - n^{(2)} L_{q0} C_{51} - \sqrt{3} K_{q5} (M_{d0M} - \\
 &\quad - M_{q0} \omega \sin \gamma_K + M_{AdM} \omega); \quad C_{262} = -\sqrt{3} K_{q5} M_{q0} \cos \gamma_K C_{12} - n^{(1)} L_{q0} C_{42} - \\
 &\quad - n^{(2)} L_{q0} C_{52} + n^{(1)} L_{d0} \omega; \quad C_{263} = -\sqrt{3} K_{q5} M_{q0} \cos \gamma_K C_{13} - n^{(1)} L_{q0} C_{43} - \\
 &\quad - n^{(2)} L_{q0} C_{53} + n^{(2)} L_{d0} \omega; \quad C_{264} = -\sqrt{3} K_{q5} M_{q0} \cos \gamma_K C_{14} - n^{(1)} L_{q0} C_{44} - \\
 &\quad - n^{(2)} L_{q0} C_{54} - n^{(1)} \gamma_0; \quad C_{265} = -\sqrt{3} K_{q5} M_{q0} \cos \gamma_K C_{15} - n^{(1)} L_{q0} C_{45} - n^{(2)} \times \\
 &\quad \times L_{q0} C_{55} - n^{(2)} \gamma_0; \quad C_{266} = -\sqrt{3} K_{q5} M_{q0} \cos \gamma_K C_{16} - n^{(1)} L_{q0} C_{46} - n^{(2)} L_{q0} C_{56}; \\
 C_{267} &= -\sqrt{3} K_{q5} M_{q0} \cos \gamma_K C_{17} - n^{(1)} L_{q0} C_{47} - n^{(2)} L_{q0} C_{57}; \quad C_{268} = -\sqrt{3} \times \\
 &\quad \times K_{q5} M_{q0} \cos \gamma_K C_{18} - n^{(1)} L_{q0} C_{48} - n^{(2)} L_{q0} C_{58}; \quad C_{269} = -\sqrt{3} K_{q5} M_{q0} \times \\
 &\quad \times \cos \gamma_K C_{19} - n^{(1)} L_{q0} C_{49} - n^{(2)} L_{q0} C_{59};
 \end{aligned}$$

$$\Delta_1 = L_{SM}^{(1)} + n^{(1)} L_{d0} + L_{\lambda}^{(1)} - \frac{(M_M^{(1)})^2}{L_{\tau M}^{(1)}}; \quad \Delta_2 = L_{SM}^{(2)} + n^{(2)} L_{d0} + L_{\lambda}^{(2)} - \frac{(M_M^{(2)})^2}{L_{\tau M}^{(2)}};$$

$$\Delta_3 = L_{SM}^{(1)} + n^{(1)} L_{q0} + L_{\lambda}^{(1)} - \frac{(M_M^{(1)})^2}{L_{\tau M}^{(1)}}; \quad \Delta_4 = L_{SM}^{(2)} + n^{(2)} L_{q0} + L_{\lambda}^{(2)} - \frac{(M_M^{(2)})^2}{L_{\tau M}^{(2)}};$$

$$\Delta_5 = \left( L_{SM}^{(1)} + n^{(1)} L_{d0} + L_{\lambda}^{(1)} - \frac{(M_M^{(1)})^2}{L_{\tau M}^{(1)}} \right) \left( L_{SM}^{(2)} + n^{(2)} L_{d0} + L_{\lambda}^{(2)} - \frac{(M_M^{(2)})^2}{L_{\tau M}^{(2)}} \right) - n^{(1)} n^{(2)} L_{d0}^2;$$

$$\Delta_6 = \left( L_{SM}^{(1)} + n^{(1)} L_{q0} + L_{\lambda}^{(1)} - \frac{(M_M^{(1)})^2}{L_{\tau M}^{(1)}} \right) \left( L_{SM}^{(2)} + n^{(2)} L_{q0} + L_{\lambda}^{(2)} - \frac{(M_M^{(2)})^2}{L_{\tau M}^{(2)}} \right) - n^{(1)} n^{(2)} L_{q0}^2;$$

$$\Delta_7 = L_{SM}^{(1)} + L_{\lambda}^{(1)} - \frac{(M_M^{(1)})^2}{L_{\tau M}^{(1)}}; \quad \Delta_8 = L_{SM}^{(2)} + L_{\lambda}^{(2)} - \frac{(M_M^{(2)})^2}{L_{\tau M}^{(2)}}.$$

Коэффициенты уравнений состояния системы  
автономного электропривода при  $\underline{u}_3 = \text{const}$

$$\begin{aligned}
 C'_{11} &= -\Delta_9 \Delta_5 \underline{z}_5; \quad C'_{12} = \Delta_9 n^{(0)} \underline{M}_{AdM} \left[ (n^{(0)} \underline{z}_0 + \underline{z}'_i^{(0)} + \underline{z}_n^{(0)}) (\Delta_2 - \right. \\
 &- n^{(2)} \underline{L}_{d0}) + n^{(2)} \underline{z}_0 (\Delta_1 - n^{(0)} \underline{L}_{d0}) \left. \right]; \quad C'_{13} = \Delta_9 n^{(2)} \underline{M}_{AdM} \left[ (n^{(2)} \underline{z}_0 + \right. \\
 &+ \underline{z}'_i^{(2)} + \underline{z}_n^{(2)}) (\Delta_1 - n^{(0)} \underline{L}_{d0}) + n^{(0)} \underline{z}_0 (\Delta_2 - n^{(2)} \underline{L}_{d0}) \left. \right]; \quad C'_{14} = \Delta_9 n^{(0)} \times \\
 &\times \underline{M}_{AdM} \underline{\omega} \left[ \frac{(M_n^{(0)})^2}{L_{\Sigma M}^{(0)}} \left( 1 - \frac{\underline{\omega}_g^{(0)}}{\underline{\omega}} \right) (n^{(2)} \underline{L}_{d0} - \Delta_2) - (L_{SM}^{(0)} + n^{(0)} \underline{L}_{g0}) (n^{(0)} \underline{L}_{d0} - \right. \\
 &- \Delta_2) + n^{(2)} \underline{L}_{g0} (\Delta_1 - n^{(0)} \underline{L}_{d0}) \left. \right]; \quad C'_{15} = \Delta_9 n^{(2)} \underline{M}_{AdM} \underline{\omega} \left[ \frac{(M_n^{(2)})^2}{L_{\Sigma M}^{(2)}} \left( 1 - \frac{\underline{\omega}_g^{(2)}}{\underline{\omega}} \right) \times \right. \\
 &\times (n^{(0)} \underline{L}_{d0} - \Delta_1) - (L_{SM}^{(2)} + n^{(2)} \underline{L}_{g0}) (n^{(0)} \underline{L}_{d0} - \Delta_1) + n^{(0)} \underline{L}_{g0} (\Delta_2 - n^{(2)} \underline{L}_{d0}) \left. \right]; \\
 C'_{16} &= \Delta_9 n^{(0)} \underline{M}_{AdM} \frac{M_n^{(0)}}{L_{\Sigma M}^{(0)}} \underline{z}_{25}^{(0)} (n^{(0)} \underline{L}_{d0} - \Delta_2); \quad C'_{17} = \Delta_9 n^{(2)} \underline{M}_{AdM} \frac{M_n^{(2)}}{L_{\Sigma M}^{(2)}} \times \\
 &\times \underline{z}_{25}^{(2)} (n^{(0)} \underline{L}_{d0} - \Delta_1); \quad C'_{18} = \Delta_9 n^{(0)} \underline{M}_{AdM} \frac{\underline{\omega}_g^{(0)}}{g} (\Delta_2 - n^{(2)} \underline{L}_{d0}); \\
 C'_{19} &= \Delta_9 n^{(2)} \underline{M}_{AdM} \frac{M_n^{(2)}}{L_{\Sigma M}^{(2)}} \underline{\omega}_g^{(2)} (\Delta_1 - n^{(0)} \underline{L}_{d0}); \quad C'_{110} = \Delta_9 \Delta_5 \underline{z}_5; \\
 C'_{21} &= C'_{01} C'_{11}; \quad C'_{22} = C'_{01} C'_{12}; \quad C'_{23} = C'_{01} C'_{13} + C'_{014}; \\
 C'_{24} &= C'_{01} C'_{14} + C'_{015}; \quad C'_{25} = C'_{01} C'_{15} + C'_{016}; \quad C'_{26} = C'_{01} C'_{16} + C'_{017}; \\
 C'_{27} &= C'_{01} C'_{17} + C'_{018}; \quad C'_{28} = C'_{01} C'_{18} + C'_{019}; \quad C'_{29} = C'_{01} C'_{19} + C'_{020}; \\
 C'_{210} &= C'_{01} C'_{110}; \quad C'_{01} = -\frac{\Delta_8}{\Delta_5} \underline{M}_{AdM}; \\
 C'_{31} &= C'_{02} C'_{11}; \quad C'_{32} = C'_{02} C'_{12} + C'_{022}; \quad C'_{33} = C'_{02} C'_{13} + C'_{024}; \\
 C'_{34} &= C'_{02} C'_{14} + C'_{025}; \quad C'_{35} = C'_{02} C'_{15} + C'_{026}; \quad C'_{36} = C'_{02} C'_{16} + C'_{027}; \\
 C'_{37} &= C'_{02} C'_{17} + C'_{028}; \quad C'_{38} = C'_{02} C'_{18} + C'_{029}; \quad C'_{39} = C'_{02} C'_{19} + C'_{030};
 \end{aligned}$$

$$C'_{310} = C'_{02} C'_{110}; \quad C'_{32} = -\frac{\Delta_7}{\Delta_5} M_{Adm};$$

$$C'_{41} = \frac{\Delta_8}{\Delta_6} M_{Adm} \omega; \quad C'_{42} = C'_{033}; \quad C'_{43} = C'_{034}; \quad C'_{44} = C'_{035};$$

$$C'_{45} = C'_{036}; \quad C'_{46} = C'_{037}; \quad C'_{47} = C'_{038}; \quad C'_{48} = C'_{039}; \quad C'_{49} = C'_{040};$$

$$C'_{51} = \frac{\Delta_7}{\Delta_6} M_{Adm} \omega; \quad C'_{52} = C'_{043}; \quad C'_{53} = C'_{044}; \quad C'_{54} = C'_{045};$$

$$C'_{55} = C'_{046}; \quad C'_{56} = C'_{047}; \quad C'_{57} = C'_{048}; \quad C'_{58} = C'_{049}; \quad C'_{59} = C'_{050};$$

$$C'_{61} = C'_{051} C'_{21}; \quad C'_{62} = C'_{051} C'_{22} + C'_{052}; \quad C'_{63} = C'_{051} C'_{23};$$

$$C'_{64} = C'_{051} C'_{24} + C'_{053}; \quad C'_{65} = C'_{051} C'_{25}; \quad C'_{66} = C'_{051} C'_{26} + C'_{054};$$

$$C'_{67} = C'_{051} C'_{27}; \quad C'_{68} = C'_{051} C'_{28} + C'_{055}; \quad C'_{69} = C'_{051} C'_{29};$$

$$C'_{610} = C'_{051} C'_{210};$$

$$C'_{71} = C'_{056} C'_{31}; \quad C'_{72} = C'_{056} C'_{32}; \quad C'_{73} = C'_{056} C'_{33} + C'_{057}; \quad C'_{74} = C'_{056} C'_{34};$$

$$C'_{75} = C'_{056} C'_{35} + C'_{058}; \quad C'_{76} = C'_{056} C'_{36}; \quad C'_{77} = C'_{056} C'_{37} + C'_{059}; \quad C'_{78} = C'_{056} C'_{38};$$

$$C'_{79} = C'_{056} C'_{39} + C'_{060}; \quad C'_{710} = C'_{056} C'_{310};$$

$$C'_{81} = C'_{061} C'_{41}; \quad C'_{82} = C'_{061} C'_{033} + C'_{062}; \quad C'_{83} = C'_{061} C'_{034}; \quad C'_{84} = C'_{061} C'_{035} + C'_{063};$$

$$C'_{85} = C'_{061} C'_{036}; \quad C'_{86} = C'_{061} C'_{037} + C'_{064}; \quad C'_{87} = C'_{061} C'_{038}; \quad C'_{88} = C'_{061} C'_{039} + C'_{065};$$

$$C'_{89} = C'_{061} C'_{040};$$

$$C'_{91} = C'_{066} C'_{51}; \quad C'_{92} = C'_{066} C'_{043}; \quad C'_{93} = C'_{066} C'_{044} + C'_{067}; \quad C'_{94} = C'_{066} C'_{045};$$

$$C'_{95} = C'_{066} C'_{046} + C'_{068}; \quad C'_{96} = C'_{066} C'_{047}; \quad C'_{97} = C'_{066} C'_{048} + C'_{069}; \quad C'_{98} = C'_{066} C'_{049};$$

$$C'_{99} = C'_{066} C'_{050} + C'_{070};$$

$$C'_{121} = n^{(1)} M_{Adm}; \quad C'_{122} = n^{(2)} M_{Adm}; \quad C'_{132} = C'_{136}; \quad C'_{137} = 137; \quad C'_{135} = C'_{137};$$

$$C'_{138} = C'_{139};$$

$$C'_{211} = C_{071} C'_{21} + C_{072} C'_{61}; \quad C'_{212} = C_{071} C'_{22} + C_{072} C'_{62} + C_{073};$$

$$C'_{213} = C_{071} C'_{23} + C_{072} C'_{63}; \quad C'_{214} = C_{071} C'_{24} + C_{072} C'_{64} + C_{074};$$

$$C'_{215} = C_{071} C'_{25} + C_{072} C'_{65}; \quad C'_{216} = C_{071} C'_{26} + C_{072} C'_{66} + C_{075};$$

$$C'_{217} = C_{071} C'_{27} + C_{072} C'_{67}; \quad C'_{218} = C_{071} C'_{28} + C_{072} C'_{68} + C_{076};$$

$$C'_{219} = C_{071} C'_{29} + C_{072} C'_{69}; \quad C'_{210} = C_{071} C'_{30} + C_{072} C'_{60};$$

$$C'_{221} = C_{071} C'_{41} + C_{072} C'_{82}; \quad C'_{222} = C_{071} C'_{033} + C_{072} C'_{82} + C_{077};$$

$$C'_{223} = C_{071} C'_{034} + C_{072} C'_{83}; \quad C'_{224} = C_{071} C'_{035} + C_{072} C'_{84} + C_{078};$$

$$C'_{225} = C_{071} C'_{036} + C_{072} C'_{85}; \quad C'_{226} = C_{071} C'_{037} + C_{072} C'_{86} + C_{079};$$

$$C'_{227} = C_{071} C'_{038} + C_{072} C'_{87}; \quad C'_{228} = C_{071} C'_{039} + C_{072} C'_{88} + C_{075};$$

$$C'_{229} = C_{071} C'_{040} + C_{072} C'_{89};$$

$$C'_{231} = C_{079} C'_{31} + C_{080} C'_{71}; \quad C'_{232} = C_{079} C'_{32} + C_{080} C'_{72};$$

$$C'_{233} = C_{079} C'_{33} + C_{080} C'_{73} + C_{081}; \quad C'_{234} = C_{079} C'_{34} + C_{080} C'_{74};$$

$$C'_{235} = C_{079} C'_{35} + C_{080} C'_{75} + C_{082}; \quad C'_{236} = C_{079} C'_{36} + C_{080} C'_{76};$$

$$C'_{237} = C_{079} C'_{37} + C_{080} C'_{77} + C_{083}; \quad C'_{238} = C_{079} C'_{38} + C_{080} C'_{78};$$

$$C'_{239} = C_{079} C'_{39} + C_{080} C'_{79} + C_{084}; \quad C'_{230} = C_{079} C'_{30} + C_{080} C'_{70};$$

$$C'_{241} = C_{079} C'_{51} + C_{080} C'_{91}; \quad C'_{242} = C_{079} C'_{043} + C_{080} C'_{92};$$

$$C'_{243} = C_{079} C'_{044} + C_{080} C'_{93} + C_{085}; \quad C'_{244} = C_{079} C'_{045} + C_{080} C'_{94};$$

$$C'_{245} = C_{079} C'_{046} + C_{080} C'_{95} + C_{086}; \quad C'_{246} = C_{079} C'_{047} + C_{080} C'_{96};$$

$$C'_{247} = C_{079} C'_{048} + C_{080} C'_{97} + C_{087}; \quad C'_{248} = C_{079} C'_{049} + C_{080} C'_{98};$$

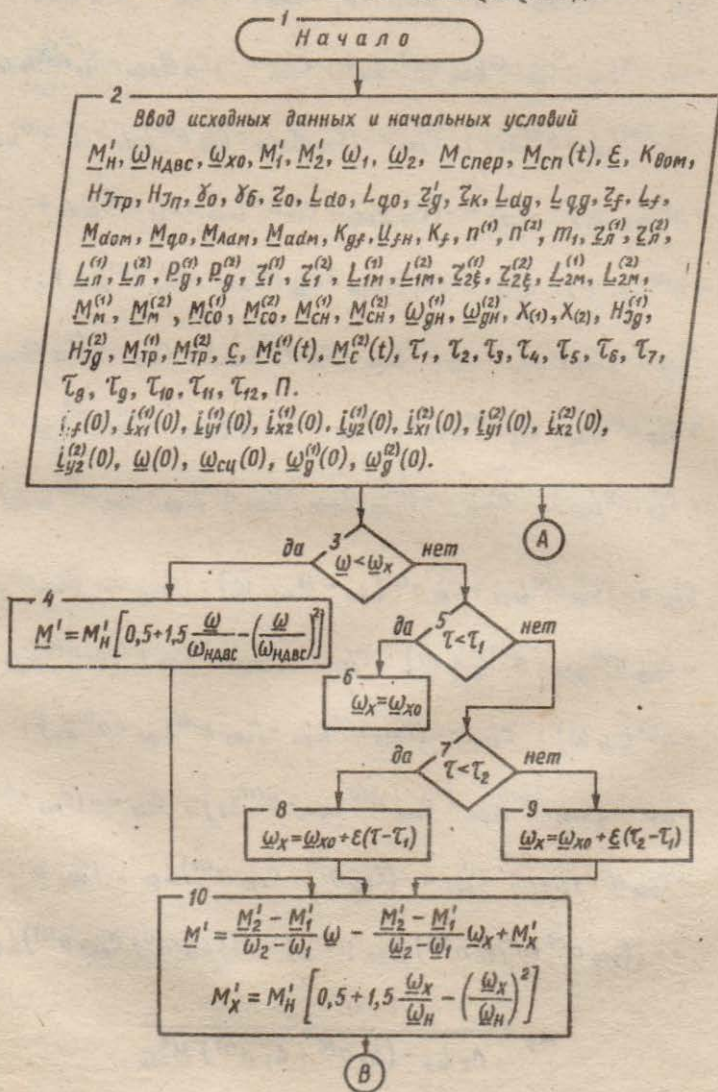
$$C'_{249} = C_{079} C'_{050} + C_{080} C'_{99} + C_{088};$$

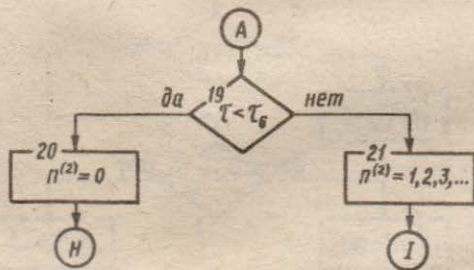
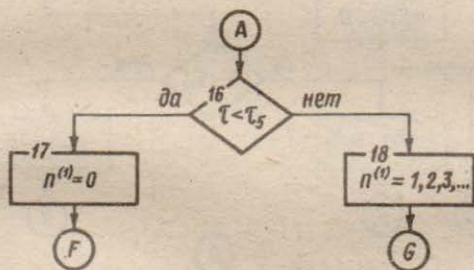
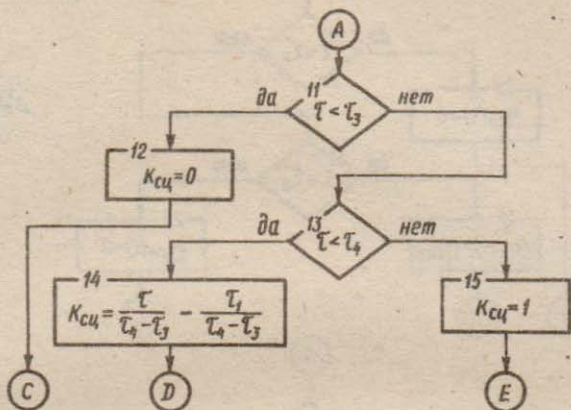
$$\begin{aligned}
 C'_{251} &= -(C'_{21} M_{AdM} + C'_{21} n^{(1)} \underline{L}_{d0} + C'_{21} n^{(2)} \underline{L}_{d0}); \quad C'_{252} = -(C'_{22} M_{AdM} + \\
 &+ C'_{22} n^{(1)} \underline{L}_{d0} + C'_{22} n^{(2)} \underline{L}_{d0} + n^{(1)} \underline{x}_0); \quad C'_{253} = -(C'_{23} M_{AdM} + C'_{23} n^{(1)} \underline{L}_{d0} + \\
 &+ C'_{23} n^{(2)} \underline{L}_{d0} + n^{(2)} \underline{x}_0); \quad C'_{254} = -(C'_{24} M_{AdM} + C'_{24} n^{(1)} \underline{L}_{d0} + C'_{24} n^{(2)} \underline{L}_{d0} + \\
 &+ n^{(1)} \underline{L}_{q0} \underline{\omega}); \quad C'_{255} = -(C'_{25} M_{AdM} + C'_{25} n^{(1)} \underline{L}_{d0} + C'_{25} n^{(2)} \underline{L}_{d0} + \\
 &+ n^{(2)} \underline{L}_{q0} \underline{\omega}); \quad C'_{256} = -(C'_{26} M_{AdM} + C'_{26} n^{(1)} \underline{L}_{d0} + C'_{26} n^{(2)} \underline{L}_{d0}); \\
 C'_{257} &= -(C'_{27} M_{AdM} + C'_{27} n^{(1)} \underline{L}_{d0} + C'_{27} n^{(2)} \underline{L}_{d0}); \quad C'_{258} = -(C'_{28} M_{AdM} + \\
 &+ C'_{28} n^{(1)} \underline{L}_{d0} + C'_{28} n^{(2)} \underline{L}_{d0}); \quad C'_{259} = -(C'_{29} M_{AdM} + C'_{29} n^{(1)} \underline{L}_{d0} + \\
 &+ C'_{29} n^{(2)} \underline{L}_{d0}); \quad C'_{2510} = -(C'_{30} M_{AdM} + C'_{30} n^{(1)} \underline{L}_{d0} + C'_{30} n^{(2)} \underline{L}_{d0}); \\
 C'_{261} &= -(C'_{41} n^{(1)} \underline{L}_{q0} + C'_{51} n^{(2)} \underline{L}_{q0} - M_{AdM} \underline{\omega}); \quad C'_{262} = -(C'_{032} n^{(1)} \underline{L}_{q0} + \\
 &+ C'_{043} n^{(2)} \underline{L}_{q0} - n^{(1)} \underline{L}_{d0} \underline{\omega}); \quad C'_{263} = -(C'_{034} n^{(1)} \underline{L}_{q0} + C'_{044} n^{(2)} \underline{L}_{q0} - \\
 &- n^{(2)} \underline{L}_{d0} \underline{\omega}); \quad C'_{264} = -(C'_{035} n^{(1)} \underline{L}_{q0} + C'_{045} n^{(2)} \underline{L}_{q0} + n^{(1)} \underline{x}_0); \\
 C'_{265} &= -(C'_{036} n^{(1)} \underline{L}_{q0} + C'_{046} n^{(2)} \underline{L}_{q0} + n^{(1)} \underline{x}_0); \quad C'_{266} = -(C'_{037} n^{(1)} + \\
 &+ C'_{047} n^{(2)}) \underline{L}_{q0}; \quad C'_{267} = -(C'_{038} n^{(1)} + C'_{048} n^{(2)}) \underline{L}_{q0}; \quad C'_{268} = \\
 &= -(C'_{039} n^{(1)} + C'_{049} n^{(2)}) \underline{L}_{q0}; \quad C'_{269} = -(C'_{040} n^{(1)} + C'_{050} n^{(2)}) \underline{L}_{q0};
 \end{aligned}$$

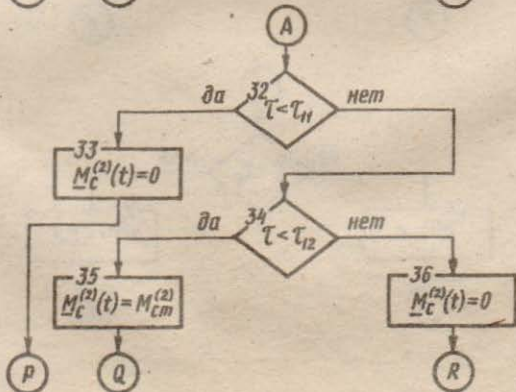
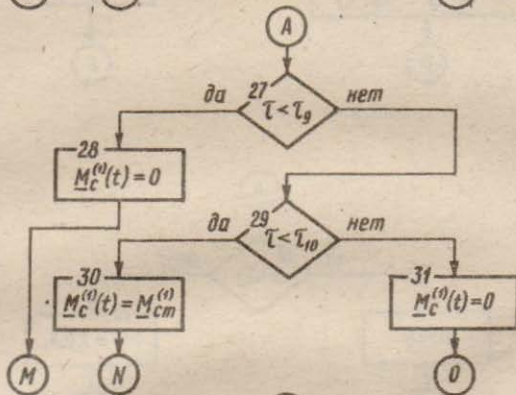
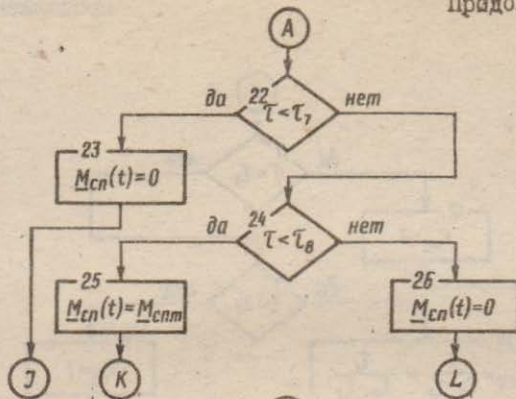
$$\Delta_9 = \frac{1}{\Delta_5 \underline{L}_5 - (\Delta_8 n^{(1)} + \Delta_7 n^{(2)}) M_{AdM}^2}$$

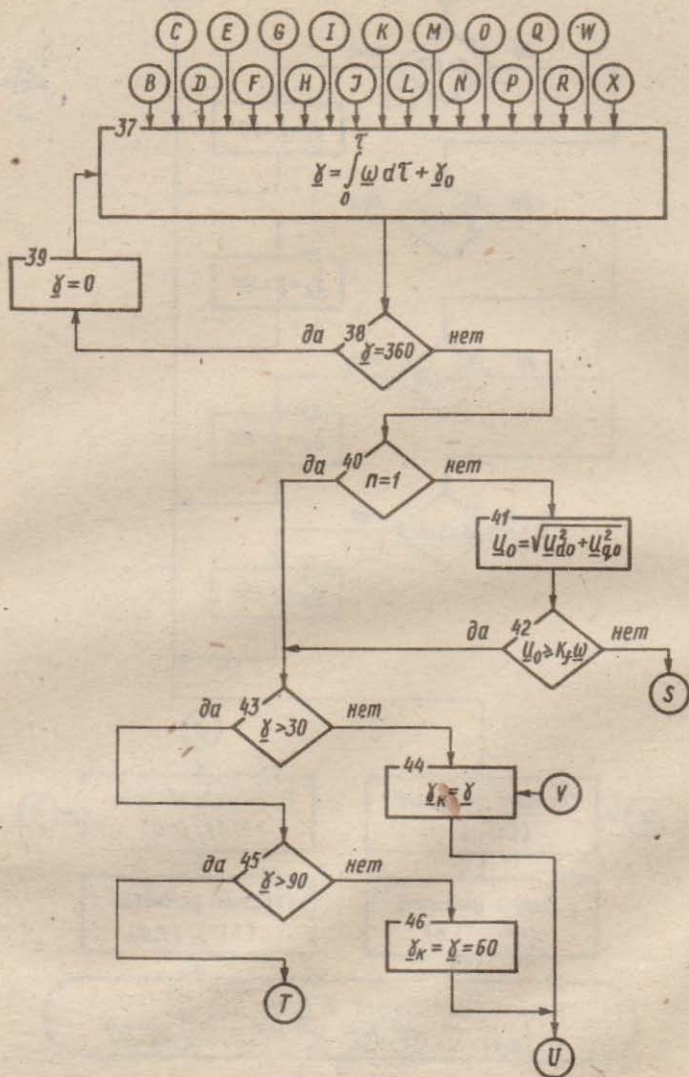


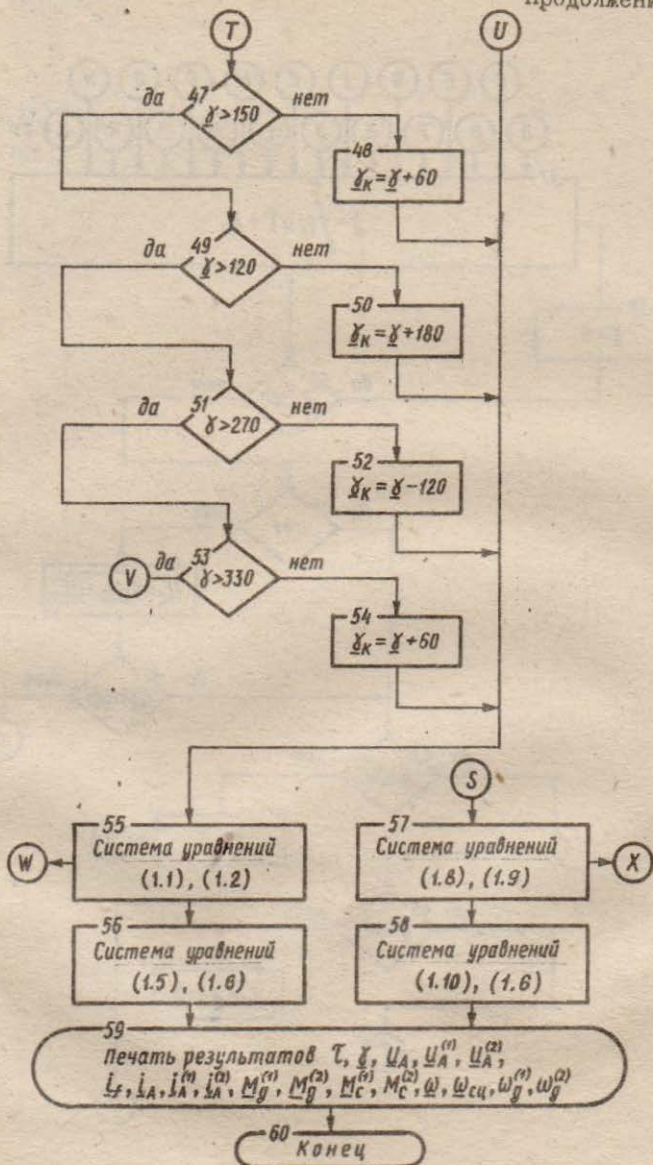
Алгоритм расчета переходных процессов  
в системе автономного электропривода











Программа основных процедур расчета переходных процессов в системе автономного электропривода

```
Program PROC1(input,output);
(*M 8192,0,65530 *)
uses
  TPString,TPCrt,TPCmd,TPWindow,TPMenu,Dos,ScreenTp;

Label Exit;

procedure InitMenu(var M : Menu);
const
  Color1 : MenuColorArray = (#0E, #2E, #03, #4E, #0B, #0E, #19, #10);
  Color2 : MenuColorArray = (#5E, #4E, #5F, #1E, #5E, #0E, #19, #0D);
  Color3 : MenuColorArray = (#20, #20, #20, #71, #2E, #0E, #19, #10);
  Color4 : MenuColorArray = (#20, #2E, #20, #71, #2E, #0E, #19, #10);
  Color5 : MenuColorArray = (#5E, #2E, #5F, #1E, #5E, #0E, #19, #10);
  Color6 : MenuColorArray = (#1D, #2E, #1D, #6E, #1F, #0E, #19, #10);
  Frame1 : FrameArray = #00000000;
begin
  (Customize this call for special exit characters and custom item
   displays)
  M := NewMenu([], nil);

  SubMenu(15,9,1,Vertical,Frame1,Color2,'ЕЖЕДНЕВНЫЕ РАБОТЫ.ВЫХОД
  - ESC. ');
  MenuMode(True, True, False);
  MenuItem(' РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИИ ( СИСТЕМА I ) ',1,2,31,'');
  MenuItem(' ПРОСМОТР НА ЭКРАНЕ (IX11 И.Т.Д.СИСТЕМА I )',2,2,32,'');
  MenuItem(' ПРОСМОТР НА ЭКРАНЕ (IA И.Т.Д.СИСТЕМА I ) ',3,2,33,'');
  MenuItem(' ВЫВОД ТАБЛИЦЫ НА ПРИНТЕР ( СИСТЕМА I ) ',4,2,34,'');
  MenuItem(' ВЫВОД ГРАФИКА НА ПРИНТЕР ( СИСТЕМА I ) ',5,2,35,'');
  MenuItem(' ПРОДОЛЖИТЬ ПРЕДЫДУЩИЙ СЧЕТ ( СИСТЕМА I ) ',6,2,36,'');
  MenuItem(' РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИИ ( СИСТЕМА III ) ',7,2,37,'');
  MenuItem(' ПРОСМОТР НА ЭКРАНЕ (IX11 И.Т.Д.СИСТЕМА III)',8,2,38,'');
  MenuItem(' ПРОСМОТР НА ЭКРАНЕ (IA И.Т.Д.СИСТЕМА III ) ',9,2,39,'');
  MenuItem(' ВЫВОД ТАБЛИЦЫ НА ПРИНТЕР ( СИСТЕМА III ) ',10,2,40,'');
  MenuItem(' ВЫВОД ГРАФИКА НА ПРИНТЕР ( СИСТЕМА III ) ',11,2,41,'');
  MenuItem(' ПРОДОЛЖИТЬ ПРЕДЫДУЩИЙ СЧЕТ ( СИСТЕМА III ) ',12,2,42,'');
  MenuItem(' РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИИ ( I - III ) ',13,2,43,'');
  PopSublevel;
  ResetMenu(M);
  SetMenuDelay(M, 30);
end;
var
  M :Menu;
  Ch :Char;
  Attr :byte;
  Kadr :Ekr;
  Key :MenuKey;
  ExeFile :string;
  ComLine :string;
  Resul:byte;
```

```

Begin
  Window(1,1,80,25);
  TextBackGround(White);
  ClrScr;
  InitMenu(M);
  repeat
    Key := MenuChoice(M, Ch);
    if Ch=#27 then Key:=0;
    ExeFile:='';
    SaveScr(Kadr,Attr);
    case Key of
51: Begin ExeFile:='PROGRAM7.EXE'; ComLine:=''; End;
52: Begin ExeFile:='PROGRAM3.EXE'; ComLine:=''; End;
53: Begin ExeFile:='PROGRAM5.EXE'; ComLine:=''; End;
54: Begin ExeFile:='PROGRAM2.EXE'; ComLine:=''; End;
55: Begin ExeFile:='PROGRAM8.EXE'; ComLine:=''; End;
56: Begin ExeFile:='PROGRAM9.EXE'; ComLine:=''; End;
57: Begin ExeFile:='PROGR10.EXE'; ComLine:=''; End;
58: Begin ExeFile:='PROGRAM3.EXE'; ComLine:=''; End;
59: Begin ExeFile:='PROGRAM5.EXE'; ComLine:=''; End;
60: Begin ExeFile:='PROGRAM2.EXE'; ComLine:=''; End;
61: Begin ExeFile:='PROGR38.EXE'; ComLine:=''; End;
62: Begin ExeFile:='PROGR11.EXE'; ComLine:=''; End;
63: Begin ExeFile:='PROGR710.EXE'; ComLine:=''; End;
    End;
    RestoreScr(Kadr,Attr);
    if ExeFile<>'' then
      Begin
        SwapVectors;
        Exec(ExeFile,ComLine);
        SwapVectors;
      End;
    RestoreScr(Kadr,Attr);
  Until Ch=#27;
  EraseMenu(M, False);
Exit:
  Window(1,1,80,25);
  TextBackGround(Black);
  ClrScr;
End.
Program Program7(input,output);
Uses TpCrt,Opisdahn,Prkof,Procbcop,(Procserv,)Display;
Label MET1,MET2,Exit;
Var Irab1,Irab2:integer;
    ar1,ar2,ar3,ar4,ar5,ar6,ar7,ar8:Type1;
Begin
  ClrScr; TextBackGround(Sin); TextColor(Bell);
  Assign(File1,'Filevhod.DDD'); Reset(File1);
  Assign(File2,'FileRes.DDD'); Rewrite(File2);
  Assign(File3,'ResFile.DDD'); Rewrite(File3);
  Seek(File1,0); Read(File1,Buf1);
  UF:=5.0;
  CONST1:=1.7320508;
  PIA:=3.1415926; ar1:=PIA/6; ar2:=3*ar1; ar3:=5*ar1;
  ar4:=7*ar1; ar5:=9*ar1; ar6:=11*ar1; ar9:=4*ar1;
  prizvhod:=1;

```

```

T:=0.0; GAMT:=0.0; Irab2:=1; P:=1; Продолжение
For Irab1:=1 to 532 do C[Irab1]:=0.0;
IFV:=1.0; IX11:=0.0; IY11:=0.0; IX21:=0.0; IY21:=0.0;
IX12:=0.0; IY12:=0.0; IX22:=0.0; IY22:=0.0; W:=0.50;
WCS:=0.0; WG1:=0.0; WG2:=0.0;
rabvvod:=0.0;
Error:=0; VvodDanKL(Error); Write(File1,buf1);
Seek(File1,0);
F1[1]:=IFV; F1[2]:=IX11; F1[3]:=IY11; F1[4]:=IX21;
F1[6]:=IX12; F1[7]:=IY12; F1[8]:=IX22; F1[9]:=IY22;
F1[11]:=WCS; F1[12]:=WG1; F1[13]:=WG2; F1[15]:=IY21;
If Error=1 then Goto Exit; F1[10]:=W;
ClrScr; Nomsys:=1; TH:=Buf1.HTAY;
GotoXY(1,25);
Write('ИДЕТ ОБРАБОТКА ДАННЫХ. ДЛЯ ПРЕРЫВАНИЕ ПРОГРАММЫ НАЖМИТЕ
ЛЮБУЮ КЛАВИШУ. ');
Met1:
T:=T+TH; GAMT:=GAMT+W*TH;
IF GAMT<=ar1 then Begin GAM:=GAMT; ar8:=1.0; Goto MET2; End;
IF GAMT<=ar2 then Begin GAM:=GAMT-2*ar1; ar8:=2.0; Goto MET2; End;
IF GAMT<=ar3 then Begin GAM:=GAMT-4*ar1; ar8:=3.0; Goto MET2; End;
IF GAMT<=ar4 then Begin GAM:=GAMT-6*ar1; ar8:=4.0; Goto MET2; End;
IF GAMT<=ar5 then Begin GAM:=GAMT-8*ar1; ar8:=5.0; Goto MET2; End;
IF GAMT<=ar6 then Begin GAM:=GAMT-10*ar1; ar8:=6.0; Goto MET2; End;
IF GAMT<=ar6+ar1 then Begin GAM:=GAMT; ar8:=7.0; Goto MET2; End;
GAMT:=W*TH; GAM:=GAMT;
MET2:
rabsin:=SIN(GAM);
rabcos:=COS(GAM);
Error:=0; Promkoff1(Error); If Error=1 then Goto Exit;
Error:=0; Koffsys1(Error); If Error=1 then Goto Exit;
Error:=0; Funcsys1(Error); If Error=1 then Goto Exit;
For Irab1:=1 to 13 do
F1[Irab1]:=F1[Irab1]+F[Irab1]*TH;
F1[11]:=KCS*F1[10];
If Irab2=50 then
Begin
Buf2.Flag:=0;
Buf2.TH:=T;
Buf2.GAMF:=GAMT;
For Irab1:=1 to 13 do
Buf2.ZnFun[Irab1]:=F1[Irab1];
Buf3.Flag:=0;
Buf3.TH:=T;
Buf3.GAMF:=GAMT;
Buf3.ZnFun[1]:=F1[1];
Buf3.ZnFun[2]:=IA;
Buf3.ZnFun[3]:=UA;
Buf3.ZnFun[4]:=IAG1;
Buf3.ZnFun[5]:=IAG2;
Buf3.ZnFun[6]:=MG1;
Buf3.ZnFun[7]:=MG2;
Buf3.ZnFun[8]:=MC1;
Buf3.ZnFun[9]:=MC2;
Buf3.ZnFun[10]:=F1[10];
Buf3.ZnFun[11]:=F1[11];
Buf3.ZnFun[12]:=F1[12];

```



```

Buf3.ZnFun[13]:=F1[13];
Write(File2,Buf2);
Write(File3,Buf3);
Irab2:=0;
GotoXY(72,25); Write(T:8:2);

```

```

End;
Irab2:=Irab2+1;
IFV:=F1[1]; IX1:=F1[2]; IY1:=F1[3]; IX2:=F1[4];
IX12:=F1[6]; IY12:=F1[7]; IX22:=F1[8]; IY22:=F1[9];
WCS:=F1[11]; WB1:=F1[12]; W62:=F1[13]; IY2:=F1[5];
IF T>2000 then Goto Exit; W:=F1[10];
IF Not KeyPressed then Goto Met1;

```

```
Exit;
```

```

Seek(File1,0); Write(File1,buf1);
Close(File1); Close(File2); Close(File3);

```

```
End.
```

```
Procedure Promkoff1(Var Error:Byte);
```

```
Label Exit;
```

```
Var rab1,rab2,rab3,rab4,NA:type1;
```

```
NA1:Integer;
```

```
Begin
```

```
With Buf1 do
```

```
Begin
```

```
IF (N<>0.0) AND (T>T6) then NA:=N Else NA:=0.0;
```

```
IF (N1<>0) AND (T>T5) then NA1:=N1 Else NA1:=0;
```

```
if T<T1 then WX:=WX0
```

```
else if T>=T2 then WX:=WX0+E*(T2-T1) else WX:=WX0+E*(T-T1);
```

```
if T<T3 then KCS:=0.0
```

```
else if T>=T4 then KCS:=1.0 else KCS:=(T-T3)/(T4-T3);
```

```
if WHDBC=0.0 then
```

```
Begin
```

```
Slov0:= ' Значение WHDBC равен нулю ';
```

```
SobZero(Slov0); ReadLN; Error:=1;
```

```
Goto Exit;
```

```
End;
```

```
rab1:=WX/WHDBC;
```

```
MX1:=MH1*(0.5+1.5*rab1-rab1*rab1);
```

```
if W<=WX then
```

```
begin
```

```
rab1:=W/WHDBC;
```

```
M1:=MH1*(0.5+1.5*rab1-rab1*rab1);
```

```
end else
```

```
begin
```

```
rab1:=(M21-M11)/(W2-W1);
```

```
M1:=rab1*(W-WX)+MX1;
```

```
end;
```

```
IDG:=-CONST1*KGF*rab1*IFV;
```

```
ID0:=NA1*IX11+NA*IX12;
```

```
if prizvhod=1 then
```

```
Begin
```

```
MM2:=MM02;
```

```
MM1:=MM01;
```

```
UD0:=0.0;
```

```
UQ0:=0.0;
```

```
U0:=0.0;
```

```
End;
```

```
IDM:=KGF*ID0+2.0*IDG/3.0/KGF+IFV;
```

```
if IDM<=IDM1 then
```

```
begin
```

```
MDOM:=MD0; MMADM:=MMAFD; MBADM:=MBAFD;
end else
begin
  rab1:=B11+IDM; rab2:=B21+IDM; rab3:=B31+IDM;
  If (rab1=0.0) OR (rab2=0.0) OR (rab3=0.0) then
  Begin
    Slovo1:= ' ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ MDOM ИЛИ MMADM ИЛИ MDADM
              ШАМЕНАТЕЛЬ = НУЛЮ.';
    Sobzero(Slovo1); ReadLN; Error:=1; Goto Exit;
  End;
  MDOM:=A11/rab1; MMADM:=A21/rab2; MBADM:=A31/rab3;
end;
rab1:=IX11*IX11+IY11*IY11; I1S1:=SQRT(rab1);
rab1:=IX21*IX21+IY21*IY21; I2S1:=SQRT(rab1);
L1M1:=A51; L2M1:=A61;
if prizvhod<>1 then
Begin
  rab1:=UX11*UX11+UY11*UY11; U1S1:=SQRT(rab1);
  if U1S1>U111 then
  Begin
    MM1:=A41+B41*U1S1;
    If MM1<200.0 then MM1:=200.0;
  End Else MM1:=MM01;
  rab1:=UX12*UX12+UY12*UY12; U1S2:=SQRT(rab1);
  if U1S2>U112 then
  Begin
    MM2:=A42+B42*U1S2;
    If MM2<200.0 then MM2:=200.0;
  End Else prizvhod:=0;
  LRM1:=MM1+L2M1; LSM1:=MM1+L1M1;
  rab1:=IX12*IX12+IY12*IY12; I1S2:=SQRT(rab1);
  rab1:=IX22*IX22+IY22*IY22; I2S2:=SQRT(rab1);
  L1M2:=A52; L2M2:=A62;
  LRM2:=MM2+L2M2; LSM2:=MM2+L1M2;
  R2F1:=R21;
  R2F2:=R22;
  if T<T5 then
  begin
    IX11:=0.0; IY11:=0.0; IX21:=0.0; IY21:=0.0;
  end;
  if T<T6 then
  begin
    IX12:=0.0; IY12:=0.0; IX22:=0.0; IY22:=0.0;
  end;
  IDG:=-CONST1*KGf*rabSIN*IFV;
  rab1:=MM1*MM1/LRM1; rab2:=MM2*MM2/LRM2;
  A1R:=LGM1+LD0*NA1+LL1-RAB1; A2R:=LSM2+NA*LD0+LL2-RAB2;
  A3R:=LSM1+LQ0*NA1+LL1-RAB1; A4R:=LSM2+NA*LD0+LL2-RAB2;
  A5R:=A1R*A2R-NA*LD0*LD0*NA1; A6R:=A3R*A4R-NA*LD0*LD0*NA1;
  A7R:=A1R-NA1*LD0; A8R:=A2R-NA*LD0;
  End;
Exit;
End;
```

```

Procedure Koffsys1(Var Error:Byte);
Var rab1,rab2,rab3,rab4,rab5,rab6,rab7,
    rabd,rabx,raby,NA:Type1; raba,rabb,rabc,;
Begin
    NA:Integer;
    With Buf1 do
    Begin
    IF (N<>0.0) AND (T>T6) then NA:=N Else NA:=0.0;
    IF (N1<>0) AND (T>T5) then NA1:=N1 Else NA1:=0;
    rab1:=2*Const1*KGF*MMADM*rabsin;
    rab2:=LDG*rabsin*rabsin+LDG*rabcos*rabcos;
    rab2:=3*KGF*KGF*rab2;
    rabx:=CONST1*KGF*MDOM*rabsin+MBADM;
    raby:=MBADM-CONST1*KGF*MDOM*rabsin;
    rab5:=KGF*MQ0*rabcos;      rab5:=rab5*rab5*3/A6R;
    rab6:=- (raby*raby/A5R+rab5) * (ABR*NA1+NA*A7R);

    C[1]:=LF-rab1+rab2+rab6;
    rab1:=CONST1*KGF*(MQ0+MDOM)*rabcos;
    rab2:=CONST1*KGF*MQ0*rabcos;
    rab5:=CONST1*KGF*(MQ0-MDOM)*rabsin+MBADM;
    rab6:=W*(2*NA*(LD0-LQ0)*NA1-NA*A7R-ABR*NA1);
    rab7:=6*KGF*KGF*(LQ0-LDG)*rabsin*rabcos*W;
    rab1:=-rab1*raby*W*(NA*A7R+ABR*NA1)/A5R;
    rab2:=rab2*rab5*rab6/A6R;
    rab5:=2*CONST1*KGF*MMADM*rabcos*W-RF-3*KGF*KGF*RG1;

    C[2]:=rab1+rab2+rab5+rab7;
    raba:=MM1/LRM1;      rabb:=MM2/LRM2;
    rabc:=raba*MM1*(W61/W-1);      rabd:=rabb*MM2*(W62/W-1);
    rab1:=NA*R0*A7R+ABR*R0*NA1+R11+RL1);
    rab2:=W*CONST1*KGF*MQ0*rabcos*NA1/A6R;
    rab5:=ABR*(rabc+LSM1+LD0*NA1);
    rab6:=CONST1*KGF*NA1*RK*(rabsin+CONST1*rabcos);
    rab7:=CONST1*KGF*MDOM*rabcos*W*NA1-rab6;
    rab6:=raby*rab1*NA1/A5R+rab7;

    C[3]:=rab6-rab2*(NA*LD0*A7R+rab5);
    rab1:=A7R*(NA*R0+R12+RL2)*NA/A5R;
    rab2:=ABR*CONST1*KGF*NA*NA1*LD0*MQ0*rabcos*W/A6R;
    rab5:=A7R*CONST1*KGF*NA*MQ0*rabcos*W/A6R;
    rab6:=rabd+LSM2+NA*LD0;
    rab7:=CONST1*KGF*NA*(MDOM*rabcos*W-RK*(rabsin+CONST1*rabcos));
    rab1:=rab1*raby+ABR*NA*R0*raby*NA1/A5R;

    C[4]:=rab1-rab2-rab5*rab6+rab7;
    rab1:=A7R*NA*LQ0*raby*W*NA1/A5R;
    rab2:=ABR*W*(rabc+LSM1+LQ0*NA1)*NA1/A5R;
    rab5:=A7R*CONST1*KGF*NA*MQ0*R0*rabcos*NA1/A6R;
    rab6:=ABR*CONST1*KGF*MQ0*rabcos*(R11+R0*NA1+RL1)*NA1/A6R;
    rab7:=CONST1*KGF*NA1*(MQ0*rabsin*W+RK*(rabcos-CONST1*rabsin));

    C[5]:=rab1+rab2*raby+rab5+rab6+rab7;
    rab1:=A7R*W*(rabd+LSM2+NA*LQ0)/A5R*NA;
    rab2:=ABR*NA*LQ0*W*NA1/A5R;
    rab5:=ABR*CONST1*KGF*R0*NA1*NA*MQ0*rabcos*W/A6R;
    rab6:=A7R*CONST1*KGF*NA*MQ0*rabcos*(R12+NA*R0+RL2)/A6R;

```

$$rab7 := CONST1 * KGF * NA * (M00 * rabsin * W + RK * (rabcds - CONST1 * rabSIN));$$

$$C[6] := rab1 * raby + rab2 * raby + rab5 + rab6 + rab7;$$

$$rab1 := -ABR * raba * R2F1 * raby / A5R;$$

$$rab2 := ABR * CONST1 * KGF * M00 * MM1 * WG1 * rabCOS * NA1 / A6R;$$

$$C[7] := rab1 - rab2;$$

$$rab1 := -A7R * rabb * R2F2 * N * raby / A5R;$$

$$rab2 := A7R * CONST1 * KGF * M00 * NA * MM2 * WG2 * rabCOS / A6R;$$

$$C[8] := rab1 - rab2;$$

$$rab1 := ABR * CONST1 * KGF * M00 * raba * R2F1 * rabcds * NA1 / A6R;$$

$$C[9] := ABR * MM1 * WG1 * NA1 * raby / A5R - rab1;$$

$$rab1 := A7R * NA * MM2 * WG2 * raby / A5R;$$

$$rab2 := A7R * CONST1 * KGF * NA * M00 * rabb * R2F2 * rabCOS / A6R;$$

$$C[10] := rab1 - rab2;$$

$$C[11] := C[2] / C[1]; \quad C[12] := C[3] / C[1]; \quad C[13] := C[4] / C[1];$$

$$C[14] := C[5] / C[1]; \quad C[15] := C[6] / C[1]; \quad C[16] := C[7] / C[1];$$

$$C[17] := C[8] / C[1]; \quad C[18] := C[9] / C[1]; \quad C[19] := C[10] / C[1];$$

$$C[20] := -A7R * CONST1 * KGF * M00 * rabCOS / A6R;$$

$$C[21] := A7R * (CONST1 * KGF * M00 * rabsin + raby) * W / A6R;$$

$$C[22] := (A7R * LD0 - rab * LQ0 - LSM1 * LQ0) * W * NA1 / A6R;$$

$$rab1 := A3R * (rabd + LSM2 + NA * LD0);$$

$$C[23] := (rab1 - NA * LD0 * LQ0 * NA1) * W / A6R;$$

$$C[24] := (A3R * R0 + LQ0 * (R11 + R0 * NA1 + RL1)) * NA1 / A6R;$$

$$C[25] := (NA * LQ0 * R0 * NA1 - A3R * (R12 + NA * R0 + RL2)) / A6R;$$

$$C[26] := -LQ0 * MM1 * WG1 * NA1 / A6R;$$

$$C[27] := A3R * MM2 * WG2 / A6R;$$

$$C[28] := -LQ0 * raba * R2F1 * NA1 / A6R;$$

$$C[29] := A3R * rabb * R2F2 / A6R;$$

$$C[30] := C[20] * C[11] + C[21]; \quad C[31] := C[20] * C[12] + C[22];$$

$$C[32] := C[20] * C[13] + C[23]; \quad C[33] := C[20] * C[14] + C[24];$$

$$C[34] := C[20] * C[15] + C[25]; \quad C[35] := C[20] * C[16] + C[26];$$

$$C[36] := C[20] * C[17] + C[27]; \quad C[37] := C[20] * C[18] + C[28];$$

$$C[38] := C[20] * C[19] + C[29];$$

$$C[39] := -ABR * CONST1 * KGF * M00 * rabCOS / A6R;$$

$$C[40] := ABR * (CONST1 * KGF * M00 * rabsin + raby) * W / A6R;$$

$$rab1 := A4R * (rab * LSM1 + LD0 * NA1) - NA * LD0 * LQ0 * NA1;$$

$$C[41] := rab1 * W / A6R;$$

$$rab1 := ABR * LD0 - LQ0 * (rabd + LSM2);$$

$$C[42] := rab1 * NA * W / A6R;$$

$$rab1 := NA * LD0 * R0 * NA1 - A4R * (R11 + R0 * NA1 + RL1);$$

$$C[43] := rab1 / A6R;$$

$$C[44] := (A4R * NA * R0 + NA * LQ0 * (R12 + NA * R0 + RL2)) / A6R;$$

$$C[45] := A4R * MM1 * WG1 / A6R;$$

$$C[46] := -NA * LQ0 * MM2 * WG2 / A6R;$$

$$C[47] := A4R * raba * R2F1 / A6R;$$

$$C[48] := -NA * LQ0 * rabb * R2F2 / A6R;$$

$$C[49] := C[39] * C[11] + C[40];$$

$$C[50] := C[39] * C[12] + C[41];$$

$$C[51] := C[39] * C[13] + C[42];$$

$$C[52] := C[39] * C[14] + C[43];$$

$$C[53] := C[39] * C[15] + C[44];$$

$$C[54] := C[39] * C[16] + C[45];$$

$$C[55] := C[39] * C[17] + C[46];$$

$$C[56] := C[39] * C[18] + C[47];$$

$$C[57] := C[39] * C[19] + C[48];$$

$$C[58] := -A7R * raby / A5R;$$

$$C[59] := A7R * CONST1 * KGF * (M00 + M00M) * rabCOS * W / A5R;$$

$$C[60] := -(A1R * R0 * NA1 - LD0 * NA1 * (R0 * NA1 + R11 + RL1)) / A5R;$$

$$C[61] := (NA * LD0 * R0 * NA1 - A1R * (NA * R0 + R12 + RL2)) / A5R;$$

C[62]:=(LQ0\*A1R\*NA1-LD0\*NA1\*(rabc+LSM1+LQ0\*NA1))\*W/A5R;  
 C[63]:=(NA\*LD0+LQ0\*NA1-A1R\*(rabd+LSM2+NA\*LQ0))\*W/A5R;  
 C[64]:=-LD0\*raba\*R2F1\*NA1/A5R;  
 C[65]:=A1R\*rabb\*R2F2/A5R;  
 C[66]:=LD0\*MM1\*WG1\*NA1/A5R;  
 C[67]:=-A1R\*MM2\*WG2/A5R;  
 C[68]:=C[58]\*C[113]+C[59];  
 C[70]:=C[58]\*C[13]+C[61];  
 C[72]:=C[58]\*C[15]+C[63];  
 C[74]:=C[58]\*C[17]+C[65];  
 C[76]:=C[58]\*C[19]+C[67];  
 C[77]:=-A8R\*raby/A5R;  
 C[78]:=A8R\*CONST1\*BF\*(MQ0+MDOM)\*rabCOS\*W/A5R;  
 C[79]:=(NA\*LD0\*R0\*NA1-A2R\*(R0\*NA1+R11+RL1))/A5R;  
 C[80]:=NA\*(LD0\*(NA\*R0+R12+RL2)-R0\*A2R)/A5R;  
 C[81]:=(NA\*LD0\*LQ0\*NA1-A2R\*(rabc+LSM1+LQ0\*NA1))\*W/A5R;  
 C[82]:=-LQ0\*A2R-LD0\*(rabd+LSM2+NA\*LQ0))\*NA\*W/A5R;  
 C[83]:=A2R\*raba\*R2F1/A5R;  
 C[84]:=-NA\*LD0\*rabb\*R2F2/A5R;  
 C[85]:=-A2R\*MM1\*WG1/A5R;  
 C[86]:=NA\*LD0\*MM2\*WG2/A5R;  
 C[87]:=C[77]\*C[113]+C[78];  
 C[89]:=C[77]\*C[13]+C[80];  
 C[91]:=C[77]\*C[15]+C[82];  
 C[93]:=C[77]\*C[17]+C[84];  
 C[95]:=C[77]\*C[19]+C[86];  
 C[96]:=-rabb;  
 C[97]:=rabb\*(W-WG2);  
 C[98]:=0.0;  
 C[99]:=W-WG2;  
 C[100]:=-R2F2/LRM2;  
 C[101]:=C[96]\*C[30];  
 C[103]:=C[96]\*C[32]+C[97];  
 C[105]:=C[96]\*C[34]+C[98];  
 C[107]:=C[96]\*C[36]+C[99];  
 C[109]:=C[96]\*C[38]+C[100];  
 C[110]:=-rabb;  
 C[111]:=0.0;  
 C[112]:=rabb\*(WG2-W);  
 C[113]:=-R2F2/LRM2;  
 C[114]:=WG2-W;  
 C[115]:=C[110]\*C[68];  
 C[117]:=C[110]\*C[70]+C[111];  
 C[119]:=C[110]\*C[72]+C[112];  
 C[121]:=C[110]\*C[74]+C[113];  
 C[123]:=C[110]\*C[76]+C[114];  
 C[124]:=-raba;  
 C[125]:=raba\*(W-WG1);  
 C[126]:=0.0;  
 C[127]:=W-WG1;  
 C[128]:=-R2F1/LRM1;  
 C[129]:=C[124]+C[49];  
 C[131]:=C[124]\*C[51];  
 C[133]:=C[124]\*C[53];  
 C[135]:=C[124]\*C[55];  
 C[69]:=C[58]\*C[12]+C[60];  
 C[71]:=C[58]\*C[14]+C[62];  
 C[73]:=C[58]\*C[16]+C[64];  
 C[75]:=C[58]\*C[18]+C[66];  
 C[88]:=C[77]\*C[12]+C[79];  
 C[90]:=C[77]\*C[14]+C[81];  
 C[92]:=C[77]\*C[16]+C[83];  
 C[94]:=C[77]\*C[18]+C[85];  
 C[102]:=C[96]\*C[31];  
 C[104]:=C[96]\*C[33];  
 C[106]:=C[96]\*C[35];  
 C[108]:=C[96]\*C[37];  
 C[116]:=C[110]\*C[69];  
 C[118]:=C[110]\*C[71];  
 C[120]:=C[110]\*C[73];  
 C[122]:=C[110]\*C[75];  
 C[130]:=C[124]\*C[50]+C[125];  
 C[132]:=C[124]\*C[52]+C[126];  
 C[134]:=C[124]\*C[54]+C[127];  
 C[136]:=C[124]\*C[56]+C[128];

CI[137]:=CI[124]\*CI[57];  
CI[138]:=-raba;  
CI[139]:=0.0;  
CI[140]:=raba\*(WG1-W);  
CI[141]:=-R2F1/LRM1;  
CI[142]:=WG1-W;  
CI[143]:=CI[138]\*CI[87];  
CI[144]:=CI[138]\*CI[88]+CI[139];  
CI[145]:=CI[138]\*CI[89];  
CI[146]:=CI[138]\*CI[90]+CI[140];  
CI[147]:=CI[138]\*CI[91];  
CI[148]:=CI[138]\*CI[92]+CI[141];  
CI[149]:=CI[138]\*CI[93];  
CI[150]:=CI[138]\*CI[94]+CI[142];  
CI[151]:=CI[138]\*CI[95];  
CI[152]:=LSM1;  
CI[153]:=MM1;  
CI[154]:=R11;  
CI[155]:=LSM1\*W;  
CI[156]:=0.0;  
CI[157]:=MM1\*W;  
CI[158]:=CI[152]\*CI[87]+CI[153]\*CI[143];  
CI[159]:=CI[152]\*CI[88]+CI[153]\*CI[144]+CI[154];  
CI[160]:=CI[152]\*CI[89]+CI[153]\*CI[145];  
CI[161]:=CI[152]\*CI[90]+CI[153]\*CI[146]+CI[155];  
CI[162]:=CI[152]\*CI[91]+CI[153]\*CI[147];  
CI[163]:=CI[152]\*CI[92]+CI[153]\*CI[148]+CI[156];  
CI[164]:=CI[152]\*CI[93]+CI[153]\*CI[149];  
CI[165]:=CI[152]\*CI[94]+CI[153]\*CI[150]+CI[157];  
CI[166]:=CI[152]\*CI[95]+CI[153]\*CI[151];  
CI[167]:=-LSM1\*W;  
CI[168]:=-MM1\*W;  
CI[169]:=CI[152]\*CI[49]+CI[153]\*CI[129];  
CI[170]:=CI[152]\*CI[50]+CI[153]\*CI[130]+CI[167];  
CI[171]:=CI[152]\*CI[51]+CI[153]\*CI[131];  
CI[172]:=CI[152]\*CI[52]+CI[153]\*CI[132]+CI[154];  
CI[173]:=CI[152]\*CI[53]+CI[153]\*CI[133];  
CI[174]:=CI[152]\*CI[54]+CI[153]\*CI[134]+CI[168];  
CI[175]:=CI[152]\*CI[55]+CI[153]\*CI[135];  
CI[176]:=CI[152]\*CI[56]+CI[153]\*CI[136]+CI[156];  
CI[177]:=CI[152]\*CI[57]+CI[153]\*CI[137];  
CI[178]:=LSM2;  
CI[179]:=MM2;  
CI[180]:=R12;  
CI[181]:=LSM2\*W;  
CI[182]:=0.0;  
CI[183]:=MM2\*W;  
CI[184]:=CI[178]\*CI[68]+CI[179]\*CI[115];  
CI[185]:=CI[178]\*CI[69]+CI[179]\*CI[116];  
CI[186]:=CI[178]\*CI[70]+CI[179]\*CI[117]+CI[180];  
CI[187]:=CI[178]\*CI[71]+CI[179]\*CI[118];  
CI[188]:=CI[178]\*CI[72]+CI[179]\*CI[119]+CI[181];  
CI[189]:=CI[178]\*CI[73]+CI[179]\*CI[120];  
CI[190]:=CI[178]\*CI[74]+CI[179]\*CI[121]+CI[182];  
CI[191]:=CI[178]\*CI[75]+CI[179]\*CI[122];  
CI[192]:=CI[178]\*CI[76]+CI[179]\*CI[123]+CI[183];  
CI[193]:=-LSM2\*W;  
CI[194]:=-MM2\*W;

C[195]:=C[178]\*C[30]+C[179]\*C[101];  
C[196]:=C[178]\*C[31]+C[179]\*C[102];  
C[197]:=C[178]\*C[32]+C[179]\*C[103]+C[193];  
C[198]:=C[178]\*C[33]+C[179]\*C[104];  
C[199]:=C[178]\*C[34]+C[179]\*C[105]+C[180];  
C[200]:=C[178]\*C[35]+C[179]\*C[106];  
C[201]:=C[178]\*C[36]+C[179]\*C[107]+C[194];  
C[202]:=C[178]\*C[37]+C[179]\*C[108];  
C[203]:=C[178]\*C[38]+C[179]\*C[109]+C[182];  
rab1:=3\*KGF\*KGF\*rabSIN\*rabCOS\*(LQ0-LD0);  
C[204]:=rab1+CONST1\*KGF\*MMADM\*rabCOS;  
rab1:=CONST1\*KGF\*NA1\*(MDOM-MQ0);  
C[205]:=rab1\*rabCOS;  
C[206]:=C[205]\*NA1;  
C[207]:=MBADM\*NA1-rab1\*rabSIN\*NA1;  
C[208]:=C[207]\*NA1;  
C[209]:=(LD0-LQ0)\*NA1\*NA1;  
C[210]:=C[209]\*NA1\*NA1;  
C[211]:=C[210]\*NA1;  
rab2:=CONST1\*KGF\*MQ0\*rabCOS;  
rab5:=LD0\*C[87]\*NA1+NA\*LD0\*C[68];  
rab6:=CONST1\*KGF\*(MQ0-MDOM)\*rabCOS\*W;  
C[348]:=-rab5\*C[11]-rab5-rab6;  
rab5:=LD0\*C[88]\*NA1+NA\*LD0\*C[69]+R0\*NA1;  
C[349]:=-rab5\*C[12]-rab5;  
rab5:=LD0\*C[89]\*NA1+NA\*LD0\*C[70]+NA\*R0;  
C[350]:=-rab5\*C[13]-rab5;  
rab5:=LD0\*C[90]\*NA1+NA\*LD0\*C[71]+LQ0\*W\*NA1;  
C[351]:=-rab5\*C[14]-rab5;  
rab5:=LD0\*C[91]\*NA1+NA\*LD0\*C[72]+NA\*LQ0\*W;  
C[352]:=-rab5\*C[15]-rab5;  
rab5:=LD0\*C[92]\*NA1+NA\*LD0\*C[73];  
C[353]:=-rab5\*C[16]-rab5;  
rab5:=LD0\*C[93]\*NA1+NA\*LD0\*C[74];  
C[354]:=-rab5\*C[17]-rab5;  
rab5:=LD0\*C[94]\*NA1+NA\*LD0\*C[75];  
C[355]:=-rab5\*C[18]-rab5;  
rab5:=LD0\*C[95]\*NA1+NA\*LD0\*C[76];  
C[356]:=-rab5\*C[19]-rab5;  
rab5:=CONST1\*KGF\*(MDOM-MQ0)\*rabSIN-MBADM;  
rab6:=LQ0\*C[49]\*NA1+NA\*LQ0\*C[30];  
C[357]:=-rab2\*C[11]-rab6-rab5\*W;  
rab5:=LQ0\*C[50]\*NA1+NA\*LQ0\*C[31]-LD0\*W\*NA1;  
C[358]:=-rab2\*C[12]-rab5;  
rab5:=LQ0\*C[51]\*NA1+NA\*LQ0\*C[32]-NA\*LD0\*W;  
C[359]:=-rab2\*C[13]-rab5;  
rab5:=LQ0\*C[52]\*NA1+NA\*LQ0\*C[33]+R0;  
C[360]:=-rab2\*C[14]-rab5;  
rab5:=LQ0\*C[53]\*NA1+NA\*LQ0\*C[34]+NA\*R0;  
C[361]:=-rab2\*C[15]-rab5;  
rab5:=LQ0\*C[54]\*NA1+NA\*LQ0\*C[35];  
C[362]:=-rab2\*C[16]-rab5;  
rab5:=LQ0\*C[55]\*NA1+NA\*LQ0\*C[36];  
C[363]:=-rab2\*C[17]-rab5;

```
rab5=LQ0*CI56]*NA1+NA*LQ0*CI37];
C[364]:=-rab2*CI18]-rab5;
rab5=LQ0*CI57]*NA1+NA*LQ0*CI38];
C[365]:=-rab2*CI19]-rab5;

rab3:=CONST1*KGF*LDG*rabSIN-MMADM;
rab2:=CONST1*KGF*LQ0*rabCOS;
rab5:=MDOM*(NA*CI68]+C[87]);
rab6:=CONST1*KGF*(LDG-LQ0)*rabCOS*W;
rab7:=CONST1*KGF*RG1*rabSIN;
C[515]:=-rab3*CI11]-rab5+rab6+rab7;
rab5:=MDOM*(NA*CI69]+C[88])-RK;
C[516]:=-rab3*CI12]-rab5;
rab5:=MDOM*(NA*CI70]+C[89])-NA*RK;
C[517]:=-rab3*CI13]-rab5;
rab5:=MDOM*(NA*CI71]+C[90])+W*MQ0-CONST1*RK;
C[518]:=-rab3*CI14]-rab5;
rab5:=MDOM*(NA*CI72]+C[91])+NA*W*MQ0-NA*CONST1*RK;;
C[519]:=-rab3*CI15]-rab5;
rab5:=MDOM*(NA*CI73]+C[92]);
C[520]:=-rab3*CI16]-rab5;
rab5:=MDOM*(NA*CI74]+C[93]);
C[521]:=-rab3*CI17]-rab5;
rab5:=MDOM*(NA*CI75]+C[94]);
C[522]:=-rab3*CI18]-rab5;
rab5:=MDOM*(NA*CI76]+C[95]);
C[523]:=-rab3*CI19]-rab5;
rab5:=MQ0*(NA*CI30]+C[49]);
rab7:=CONST1*KGF*W*(LQ0-LDG)*rabSIN;
rab6:=MMADM*W-CONST1*KGF*RG1*rabCOS;
C[524]:=-rab2*CI11]-rab5+rab7+rab6;
rab5:=MQ0*(NA*CI31]+C[50]);
rab6:=MDOM*W-CONST1*RK;
C[525]:=-rab2*CI12]-rab5+rab6;
rab5:=MQ0*(NA*CI32]+C[51]);
rab6:=NA*MDOM*W-NA*CONST1*RK;
C[526]:=-rab2*CI13]-rab5+rab6;
rab5:=MQ0*(NA*CI33]+C[52]);
C[527]:=-rab2*CI14]-rab5+RK;
rab5:=MQ0*(NA*CI34]+C[53]);
C[528]:=-rab2*CI15]-rab5+NA*RK;
rab5:=MQ0*(NA*CI35]+C[54]);
C[529]:=-rab2*CI16]-rab5;
rab5:=MQ0*(NA*CI36]+C[55]);
C[530]:=-rab2*CI17]-rab5;
rab5:=MQ0*(NA*CI37]+C[56]);
C[531]:=-rab2*CI18]-rab5;
rab5:=MQ0*(NA*CI38]+C[57]);
C[532]:=-rab2*CI19]-rab5;
End;
```



Параметры дизеля, системы автономного электропривода  
и рабочего органа электрифицированного обрезака  
крон плодовых культур

I. Базисные величины цепи основной обмотки статора синхронного генератора

$$I_{\sigma} = \sqrt{2} I_N = 1,41 \cdot 54 = 76,37 \text{ A}; \quad U_{\sigma} = \sqrt{2} U_{\phi H} = 1,41 \cdot 231 = 327 \text{ B};$$

$$\omega_{\sigma} = 2\pi f_H = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с}; \quad \psi_{\sigma} = \frac{U_{\sigma}}{\omega_{\sigma}} = \frac{327}{314} = 1,04 \text{ Вб};$$

$$Z_{\sigma} = \frac{U_{\sigma}}{I_{\sigma}} = \frac{327}{76,37} = 4,28 \text{ Ом}; \quad P_{\sigma} = 1,5 U_{\sigma} I_{\sigma} = 1,5 \cdot 327 \cdot 76,37 = 37,46 \cdot 10^3 \text{ Вт};$$

$$M_{\sigma} = \frac{P_{\sigma} \rho_H}{\omega_{\sigma}} = \frac{37,46 \cdot 10^3 \cdot 2}{314} = 238,6 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad L_{\sigma} = \frac{Z_{\sigma}}{\omega_{\sigma}} = \frac{4,28}{314} = 13,6 \cdot 10^{-3} \text{ Гн};$$

$$t_{\sigma} = \frac{1}{\omega_{\sigma}} = \frac{1}{314} = 3,18 \cdot 10^{-3} \text{ с}; \quad \delta_{\sigma} = \omega_{\sigma} t_{\sigma} = \omega_{\sigma} \frac{1}{\omega_{\sigma}} = 1.$$

Базисные величины цепи дополнительной обмотки статора

$$I_{\sigma\delta} = 36,06 \text{ A}, \quad K_g = \frac{I_{\sigma}}{I_{\sigma\delta}} = \frac{76,37}{36,06} = 2,12; \quad U_{\sigma\delta} = U_{\sigma} K_g = 327 \cdot 2,12 = 693,24 \text{ В};$$

$$\psi_{\sigma\delta} = \psi_{\sigma} K_g = 1,04 \cdot 2,12 = 2,20 \text{ Вб}; \quad Z_{\sigma\delta} = Z_{\sigma} K_g^2 = 4,28 \cdot 2,12^2 = 19,24 \text{ Ом};$$

$$L_{\sigma\delta} = L_{\sigma} K_g^2 = 13,6 \cdot 10^{-3} \cdot 2,12^2 = 61,12 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Базисные величины цепи обмотки возбуждения

$$I_{\delta\delta} = 30,6 \text{ A}; \quad K_f = \frac{I_{\sigma}}{I_{\delta\delta}} = \frac{76,37}{30,6} = 2,50; \quad U_{\delta\delta} = 1,5 U_{\sigma} K_f = 1,5 \cdot 327 \cdot 2,50 = 1226,25 \text{ В};$$

$$\psi_{\delta\delta} = 1,5 \psi_{\sigma} K_f = 1,5 \cdot 1,04 \cdot 2,50 = 3,90 \text{ Вб}; \quad Z_{\delta\delta} = 1,5 Z_{\sigma} K_f^2 = 1,5 \cdot 4,28 \cdot 2,50^2 = 40,12 \text{ Ом};$$

$$L_{\delta\delta} = 1,5 L_{\sigma} K_f^2 = 1,5 \cdot 13,6 \cdot 10^{-3} \cdot 2,50^2 = 127,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}; \quad K_{\delta\delta} = \frac{2}{3} \frac{I_{\delta\delta}}{I_{\sigma\delta}} = \frac{2}{3} \frac{30,6}{36,06} = 0,57.$$

Базисная величина скорости поступательного движения агрегата на I передаче

$$v_{\text{б}} = \frac{\omega_{\text{б}} R_{\text{кв}}}{\rho_{\text{n}} l_{\text{тр}}} = \frac{314 \cdot 0,73}{2 \cdot 225,282} = 0,51 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2. Коэффициенты уравнений регуляторных характеристик и уравнения движения дизеля Д62М, которым оснащен трактор ДМЗ-6М агрегатирующий машину.

В соответствии с рис. П4 построенного по паспортным данным дизеля /16/, значения крутящего момента и скорости относящиеся к характерным режимам работы составляют:

точка А'  $\frac{M'_N}{M_{\text{б}}} = \frac{M'_N}{M_{\text{б}}} = \frac{253}{238,6} = 1,06$ ;  $\omega_{\text{навлс}} = \frac{\Omega_{\text{н}} \rho_{\text{n}}}{\omega_{\text{б}}} = \frac{183,3 \cdot 2}{314} = 1,17$ ;

точка F  $\frac{M'_1}{M_{\text{б}}} = \frac{M'_1}{M_{\text{б}}} = 0$ ;  $\omega_1 = \frac{\Omega_1 \rho_{\text{n}}}{\omega_{\text{б}}} = \frac{168 \cdot 2}{314} = 1,07$ ;

точка G  $\frac{M'_2}{M_{\text{б}}} = \frac{M'_2}{M_{\text{б}}} = \frac{171}{238,6} = 0,72$ ;  $\omega_2 = \frac{\Omega_2 \rho_{\text{n}}}{\omega_{\text{б}}} = \frac{157,1 \cdot 2}{314} = 1$ ;

точка С  $\omega_{\text{х0}} = \frac{\Omega_{\text{х0}} \rho_{\text{n}}}{\omega_{\text{б}}} = \frac{151 \cdot 2}{314} = 0,96$ .

Коэффициенты уравнения движения дизеля при передвижении агрегата по горизонтальному скошенному междурядью сада на I-й скорости и пренебрежении силой сопротивления рабочих органов поступательному перемещению

$$\begin{aligned} \underline{M}_{\text{слер}} &= [f_{\text{к}} (G_{\text{T}} + G_{\text{М}}) + F_{\text{Р}}] \frac{R_{\text{кв}}}{i_{\text{тр}} \varrho_{\text{тр}}} \frac{1}{M_{\text{б}}} = \\ &= [0,08 (34 \cdot 335 + 19 \cdot 620) + 0] \frac{0,73}{225,282 \cdot 0,88} \frac{1}{238,6} = 0,067; \end{aligned}$$

$$\underline{M}_{\text{Г}} = \frac{\rho_{\text{раб}}}{\Omega_{\text{н}} \varrho_{\text{Г}}} \frac{1}{M_{\text{б}}} = \frac{19,2 \cdot 10^3}{157,1 \cdot 0,82} \frac{1}{238,6} = 0,62;$$

$$K_{\text{вом}} = \frac{1}{i_{\text{вом}} \varrho_{\text{вом}}} = \frac{1}{1 \cdot 0,96} = 1,04;$$

$$\begin{aligned} H_{\text{зтр}} &= \left( \frac{\gamma_{\text{Г}}}{l_{\text{вом}}^2} + 0,001 G_{\text{T}} \frac{R_{\text{кв}}^2}{g} \right) \frac{\omega_{\text{б}}^2}{M_{\text{б}} \rho_{\text{n}}} = \\ &= \left( \frac{1,05}{1^2} + 0,001 \cdot 34 \cdot 335 \frac{0,73^2}{9,81} \right) \frac{314^2}{238,6 \cdot 2} = 602,3; \end{aligned}$$

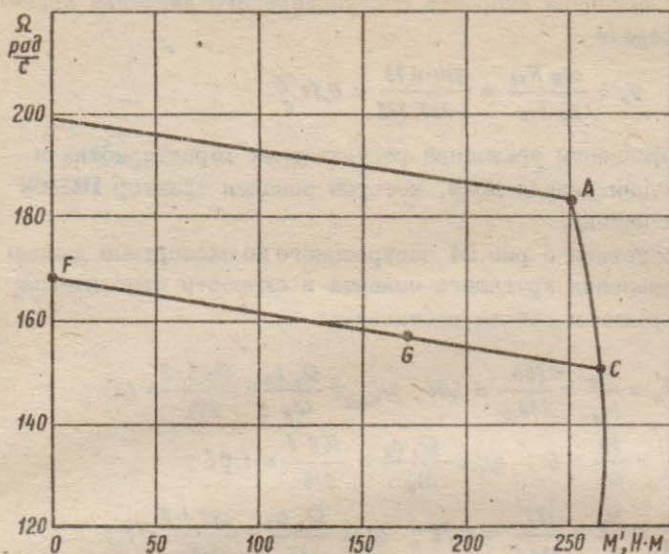


Рис.П4. Регуляторные характеристики дизеля Д65М.

$$H_{гн} = \frac{1,15 G_T + G_M}{g} \frac{R_{кз}^2}{L_{гп}^2} \frac{\omega_g^2}{M_g \rho_n} =$$

$$= \frac{1,15 \cdot 34335 + 19620}{9,81} \frac{0,73^2}{225,282^2} \frac{314^2}{238,6 \cdot 2} = 13,07.$$

где  $P_{раб} = 19,2 \cdot 10^3$  Вт - суммарная рабочая мощность электродвигателей рабочих органов;  $\eta_r = 0,82$  - к.п.д. генератора.

3. Параметры синхронного генератора типа ЕСС5-82-4.

$$\alpha_o = \frac{z_o}{z_\sigma} = \frac{0,16}{4,28} = 0,037; \quad L_{d0} = \frac{L_{d0}}{L_\sigma} = \frac{12,6 \cdot 10^{-3}}{13,6 \cdot 10^{-3}} = 0,93; \quad L_{q0} = \frac{L_{q0}}{L_\sigma} = \frac{9,9 \cdot 10^{-3}}{13,6 \cdot 10^{-3}} = 0,73;$$

$$\alpha'_g = \frac{z'_g}{z_{g\sigma}} = \frac{1,25}{19,24} = 0,065; \quad \alpha_k = \frac{K_g}{2K} \frac{z_k}{z_{g\sigma}} = \frac{2,12 \cdot 1,4}{2 \cdot 44 \cdot 19,24} = 1,75 \cdot 10^{-3};$$

$$L_{dg} = \frac{L_{dg}}{L_{d\sigma}} = \frac{213 \cdot 10^{-6}}{61,12 \cdot 10^{-3}} = 3,49 \cdot 10^{-3}; \quad L_{qg} = \frac{L_{qg}}{L_{g\sigma}} = \frac{174 \cdot 10^{-6}}{61,12 \cdot 10^{-3}} = 2,85 \cdot 10^{-3};$$

$$\alpha_f = \frac{z_f}{z_{f\sigma}} = \frac{0,66}{40,12} = 0,0165; \quad L_f = \frac{L_f}{L_{f\sigma}} = \frac{0,34}{127,5 \cdot 10^{-3}} = 2,67;$$

$$\underline{M}_{dom} = \underline{M}_{q0} = \frac{M_{dom}}{L_{\sigma} K_g} = \frac{0,83 \cdot 10^{-3}}{13,6 \cdot 10^{-3} \cdot 2,12} = 0,0288 ;$$

$$\underline{M}_{AdM} = \frac{M_{AdM}}{L_{\sigma} K_f} = \frac{36,12 \cdot 10^{-3}}{13,6 \cdot 10^{-3} \cdot 2,50} = 1,06 ; \quad \underline{M}_{adM} = \frac{M_{adM}}{L_{\sigma} K_g K_f} = \frac{2,49 \cdot 10^{-3}}{13,6 \cdot 10^{-3} \cdot 2,12 \cdot 2,50} = 0,035 ;$$

$$\underline{U}_{fH} = \frac{U_{fH}}{U_{f\sigma}} = \frac{19}{1226,25} = 0,015 ; \quad m_1 = 3.$$

Здесь активные сопротивления обмоток приведены к рабочей температуре 75°C, значения взаимоиндуктивностей даны для ненасыщенного сердечника машины.

#### 4. Параметры асинхронного двигателя типа 4А90L2СУЗ

$$\rho_g^{(0)} = 1 ; \quad \underline{x}_r^{(0)} = \frac{x_r}{z_{\sigma}} = \frac{2,59}{4,28} = 0,61 ; \quad \underline{L}_{1M}^{(0)} = \frac{L_{1M}^{(0)}}{L_{\sigma}} = \frac{6,53 \cdot 10^{-3}}{13,6 \cdot 10^{-3}} = 0,48 ;$$

$$\underline{x}_{2\frac{1}{2}}^{(0)} = \frac{x_{2\frac{1}{2}}^{(0)}}{z_{\sigma}} = \frac{1,69}{4,28} = 0,39 ; \quad \underline{L}_{2M}^{(0)} = \frac{L_{2M}^{(0)}}{L_{\sigma}} = \frac{11,46 \cdot 10^{-3}}{13,6 \cdot 10^{-3}} = 0,84 ;$$

$$\underline{M}_M^{(0)} = \frac{M_M^{(0)}}{L_{\sigma}} = \frac{0,39}{13,6 \cdot 10^{-3}} = 28,61.$$

В момент пуска ( $s = 1$ ) параметры изменяются следующим образом

$$\underline{L}_{1M}^{(1)} = \frac{L_{1M}}{L_{\sigma}} = \frac{4,6 \cdot 10^{-3}}{13,6 \cdot 10^{-3}} = 0,34 ;$$

$$\underline{x}_{2\frac{1}{2}}^{(1)} = \frac{x_{2\frac{1}{2}}^{(1)}}{z_{\sigma}} = \frac{1,73}{4,28} = 0,40 ;$$

$$\underline{L}_{2M}^{(1)} = \frac{L_{2M}}{L_{\sigma}} = \frac{7,99 \cdot 10^{-3}}{13,6 \cdot 10^{-3}} = 0,59 ;$$

$$H_{3g}^{(1)} = \frac{x_g^{(1)} \omega_{\sigma}^2}{\rho_g^{(1)} M_{\sigma}} = \frac{0,6435 \cdot 314^2}{1 \cdot 238,6} = 31,7.$$

5. Коэффициенты механической характеристики рабочего органа под нагрузкой

$$\frac{M_{co}^{(1)}}{M_{\sigma}} = \frac{M_{co}^{(1)}}{238,6} = \frac{8}{238,6} = 0,0335; \quad \frac{M_{cn}^{(1)}}{M_{\sigma}} = \frac{M_{cn}^{(1)}}{238,6} = \frac{8}{238,6} = 0,0335;$$

$$\frac{\omega_{gn}^{(1)}}{\omega_{\sigma}} = \frac{\omega_{gn}^{(1)}}{314} = \frac{300,5}{314} = 0,96; \quad \chi_{(1)} = 0; \quad \frac{M_{\Gamma p}^{(1)}}{M_{\sigma}} = 0;$$

$$\zeta = c \cdot \omega_{\sigma} = 5 \cdot 314 = 1570.$$

Параметры остальных двигателей и рабочих органов аналогичны. На холостом ходу момент сопротивления рабочего органа составляет  $M_{co}^{(1)} = M_{cn}^{(1)} = 0,0067$ .

Другие параметры системы задаются в соответствии с дополнительными условиями.

Пример расчета переходных процессов в системе автономного электропривода

T	GAμμα	IFV	IA	UA	IAG1	IAG2
0.5000	0.5001	0.999	0.00000	0.55601	0.00000	0.00000
1.0000	1.0005	0.998	0.00000	0.96739	0.00000	0.00000
1.5000	1.5012	0.997	0.00000	1.14557	0.00000	0.00000
2.0000	2.0021	0.995	0.00000	1.04140	0.00000	0.00000
2.5000	2.5033	0.994	0.00000	0.67993	0.00000	0.00000
3.0000	3.0048	0.993	0.00000	0.15492	0.00000	0.00000
3.5000	3.5065	0.992	-0.00000	-0.41187	-0.00000	-0.00000
4.0000	4.0084	0.991	-0.00000	-0.87301	-0.00000	-0.00000
4.5000	4.5106	0.990	-0.00000	-1.12120	-0.00000	-0.00000
5.0000	5.0131	0.988	0.00000	-1.09075	0.00000	0.00000
5.5000	5.5158	0.988	0.00000	-0.79136	0.00000	0.00000
6.0000	6.0187	0.986	0.00000	-0.29630	0.00000	0.00000
6.5000	0.2416	0.986	0.00000	0.27496	0.00000	0.00000
7.0000	0.7450	0.984	0.00000	0.77438	0.00000	0.00000
7.5000	1.2487	0.983	0.00000	1.08149	0.00000	0.00000
8.0000	1.7526	0.982	0.00000	1.11908	0.00000	0.00000
8.5000	2.2567	0.981	0.00000	0.87980	0.00000	0.00000
9.0000	2.7611	0.980	0.00000	0.41937	0.00000	0.00000
9.5000	3.2658	0.979	-0.00000	-0.14197	-0.00000	-0.00000
10.0000	3.7706	0.978	-0.00000	-0.67099	-0.00000	-0.00000
10.5000	4.2756	1.002	-0.23294	-0.65386	-0.23294	-0.00000
11.0000	4.7808	1.070	-0.47110	-0.87494	-0.47110	0.00000
11.5000	5.2859	1.142	-0.65092	-0.91012	-0.65092	0.00000
12.0000	5.7910	1.198	-0.70385	-0.69736	-0.70385	0.00000
12.5000	0.0202	1.230	-0.58826	-0.29026	-0.58826	0.00000
13.0000	0.5252	1.242	-0.32887	0.20277	-0.32887	0.00000
13.5000	1.0301	1.240	0.00978	0.62197	0.00978	0.00000
14.0000	1.5351	1.231	0.33757	0.88081	0.33757	0.00000
14.5000	2.0401	1.220	0.57141	0.91246	0.57141	0.00000
15.0000	2.5451	1.211	0.65605	0.71539	0.65605	0.00000
15.5000	3.0501	1.204	0.57350	0.34850	0.57350	0.00000
16.0000	3.5551	1.202	0.34682	-0.10867	0.34682	0.00000
16.5000	4.0602	1.201	0.03257	-0.53468	0.03257	-0.00000
17.0000	4.5653	1.204	-0.29204	-0.83271	-0.29204	-0.00000
17.5000	5.0704	1.205	-0.54626	-0.92263	-0.54626	0.00000
18.0000	5.5755	1.207	-0.66648	-0.78191	-0.66648	0.00000
18.5000	6.0806	1.208	-0.62225	-0.44546	-0.62225	0.00000
19.0000	0.1031	1.208	-0.42332	0.00391	-0.42332	0.00000
19.5000	0.8082	1.206	-0.12085	0.45115	-0.12085	0.00000
20.0000	1.3134	1.205	0.20994	0.78439	0.20994	0.00000
20.5000	1.8186	1.202	0.48539	0.92022	0.48539	0.00000
21.0000	2.3238	1.200	0.63667	0.82750	0.63667	0.00000
21.5000	2.8290	1.198	0.62728	0.52647	0.62728	0.00000
22.0000	3.3342	1.197	0.45904	0.09934	0.45904	-0.00000
22.5000	3.8395	1.197	0.17551	-0.35709	0.17551	-0.00000

MG1	MG2	MC1	MC2	W	WCS	WG1	WG2
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0005	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0011	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0016	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0021	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0026	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0032	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0037	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0042	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0047	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0052	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0057	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0062	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0066	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0071	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0076	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0081	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0085	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0090	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0095	0.0000	0.0000	0.000
0.00000	0.00000	0.00670	0.00670	1.0099	0.0000	0.0000	0.000
0.00028	0.00000	0.00670	0.00670	1.0102	0.0000	-0.0001	0.0
0.00460	0.00000	0.00670	0.00670	1.0103	0.0000	-0.0001	0.0
0.02127	0.00000	0.00670	0.00670	1.0102	0.0000	-0.0001	0.0
0.05655	0.00000	0.00670	0.00670	1.0101	0.0000	0.0002	0.00
0.10810	0.00000	0.00670	0.00670	1.0100	0.0000	0.0008	0.00
0.16433	0.00000	0.00670	0.00670	1.0099	0.0000	0.0018	0.00
0.20907	0.00000	0.00670	0.00670	1.0099	0.0000	0.0032	0.00
0.22888	0.00000	0.00670	0.00670	1.0099	0.0000	0.0049	0.00
0.21672	0.00000	0.00670	0.00670	1.0100	0.0000	0.0067	0.00
0.17478	0.00000	0.00670	0.00670	1.0100	0.0000	0.0082	0.00
0.11234	0.00000	0.00670	0.00670	1.0101	0.0000	0.0093	0.00
0.04397	0.00000	0.00670	0.00670	1.0101	0.0000	0.0098	0.00
-0.01425	0.00000	0.00670	0.00670	1.0102	0.0000	0.0099	0.00
-0.04847	0.00000	0.00670	0.00670	1.0102	0.0000	0.0095	0.00
-0.05027	0.00000	0.00670	0.00670	1.0102	0.0000	0.0091	0.00
-0.01903	0.00000	0.00670	0.00670	1.0102	0.0000	0.0087	0.00
0.03758	0.00000	0.00670	0.00670	1.0102	0.0000	0.0087	0.00
0.10554	0.00000	0.00670	0.00670	1.0103	0.0000	0.0083	0.00
0.16766	0.00000	0.00670	0.00670	1.0103	0.0000	0.0103	0.00
0.20700	0.00000	0.00670	0.00670	1.0103	0.0000	0.0118	0.00
0.21914	0.00000	0.00670	0.00670	1.0101	0.0000	0.0134	0.00
0.17580	0.00000	0.00670	0.00670	1.0104	0.0000	0.0150	0.00
0.14545	0.00000	0.00670	0.00670	1.0105	0.0000	0.0163	0.00
0.09017	0.00000	0.00670	0.00670	1.0105	0.0000	0.0172	0.00
0.01617	0.00000	0.00670	0.00670	1.0105	0.0000	0.0175	0.00

Кешуов Сейтказы Асылсеитович

РЕЖИМЫ РАБОТЫ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА  
МОБИЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Подписано в печать 10.06.93. Формат 60x84/16. Бум.тип. № 2.  
Печать офсетная. Усл.печ.л.4,65. Усл.кр.-отт.4,82.  
Уч.-изд.л.4,84. Заказ 79. Тираж 300.

Министерство печати и массовой информации  
Республики Казахстан

480013 г.Алматы, пл.Республики, 13

Типография КазгосИНТИ, 480096, г.Алматы, Богенбай батыра, 221.