

УДК 631.363-52

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ,  
УПРАВЛЯЕМОСТИ И НАБЛЮДАЕМОСТИ КООРДИНАТ  
ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА  
КОРМОПРИГОТОВЛЕНИЯ НА БАЗЕ МКУ**

Диордиев В.Т., к.т.н.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-57-97

**Аннотация** – в статье приведены математические модели и геометрическая интерпретация качественных параметров функционирования автоматизированного энерготехнологического комплекса кормоприготовления на базе малогабаритной комбикормовой установки.

**Ключевые слова** – адаптируемость, управляемость, наблюдаемость, демпфируемые элементы.

*Постановка проблемы.* Системное оценивание идентификации, управляемости и адаптируемости целесообразно провести исследование принципиальных возможностей осуществления указанных факторов системо– и схмотехнического качества рассматриваемой системы, а также возможности осуществления процессов коррекции таких характеристик в процессе директивных и стохастических вариаций параметров системы. Поскольку основной целью исследования этих свойств является выявления принципиальных возможностей управления, они обычно определяются в идеализированных условиях (в смысле отсутствия внутренних и внешних стохастических шумов и вариации в определенных диапазонах внешних детерминированных возмущений и конструктивных параметров системы).

*Анализ последних исследований.* Система считается управляемой, если существуют управления, обеспечивающие движение по заданным траекториям при условиях  $x(t_0)=x_3(t_0)$ ,  $x(t_1)=x_3(t_1)$ . Указанные системные особенности управляемости рассматриваются при различных условиях, накладываемых на законы управления [1, 4, 5].

*Формулирование целей статьи.* Основные виды управляемости и виды ограничений накладываются определенные требования к характеру переходного процесса. Характер движения следующий: вариант а) никаких ограничений на вектор управления и (t) не накладыва-

ються ( управление и (t) принадлежит открытой области пространства управлений  $R^r$ ); вариант б) управление ограничивается, оно должно принадлежать замкнутой области пространства  $R^r$ ; вариант в) управление все время ( за исключением счетного множества моментов времени) имеет предельное значение, т.е. находится на границе замкнутой области пространства  $R^r$ ; вариант г) управление не ограничено по величине, но носит импульсный характер ( типа векторной функции  $\delta$ -функции ), переход системы осуществляется, в идеальном случае, практически безинерционно.

*Основная часть.* Для оценки условий динамической устойчивости (стабилизируемости), наблюдаемости и управляемости, рассматривается система как консервативная (на границе устойчивости), для чего в соответствии с [2] она представляется в следующем виде

$$\frac{d^2 q_1}{dt^2} + q_2 + \beta_1 q_2 = 0; \frac{d^2 q_2}{dt^2} + \alpha q_2 + \alpha \beta_2 q_1 = 0, \quad (1)$$

где  $\alpha, \beta_1, \beta_2$  - функции коэффициентов системы, численные значения которых отражены в [6].

Системе (1) соответствует система характеристических уравнений вида

$$y_1^2 - (w^2 - \delta^2)y_1 - 2\delta w y_2 = 0; y_2^2 - (w^2 - \delta^2)y_2 - 2\delta w y_1 = 0, \quad (2)$$

где корни этой системы имеют значения

$$P_{1,2} = \delta \pm jw; P_{3,4} = -\delta \pm jw. \quad (3)$$

Исключая один параметр с учетом (3) системе (1) будет соответствовать система уравнений, как обобщенное характеристическое уравнение:

$$p^4 + (1 + \alpha)p^2 + (\alpha - \alpha\beta_1\beta_2) = 0; \quad (4)$$

$$p^4 + 2(w^2 - \delta^2)p^2 + (\delta^2 + w^2) = 0; \quad (5)$$

$$q_1(t) = A\lambda^{\alpha} \cos(wt + y_1) + B\lambda^{-\alpha} \cdot \cos(wt + y_2); \quad (6)$$

$$q_2(t) = A\rho\lambda^{\alpha} \cos(wt + y_1 + x) + B\rho\lambda^{-\alpha} \cos(wt + y_2 - x), \quad (7)$$

где  $A, B, y_1, y_2$  - определяются начальными условиями  $q_{10}, q_{20}, dq_{10}/dt, dq_{20}/dt$ , параметры  $\delta, \chi, \beta$  вычисляются из соотношений:

$$\rho = \delta^2 + w^2; \sin \chi = \frac{2\delta w}{\delta^2 + w^2}; \cos \chi = \frac{\delta^2 - w^2}{\delta^2 + w^2}. \quad (8)$$

Функции  $q_1, q_2$  являются результатом сложения колебаний системы с одинаковой частотой и различными фазами и амплитудами, т.к.:

$$a \cos \chi + \beta \cos \chi = \sqrt{a^2 + b^2} \cos(\chi + \Theta); \sin \Theta = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}; \cos \Theta = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}; \quad (9)$$

поэтому уравнение (6) и (7) приводятся к виду:

$$\left. \begin{aligned} q_1(t) &= M(t) \cos[wt + \Psi_1(t)]; \\ q_2(t) &= N(t) \cos[wt + \Psi_2(t)]; \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} M(t) &= \frac{\rho}{\sqrt{2\sqrt{F_{OM} \operatorname{ch}(2\delta t) + F_{1M} \operatorname{sh}(2\delta t) + F_{2M}}}}; \\ N(t) &= \frac{\rho}{\sqrt{2\sqrt{F_{ON} \operatorname{ch}(2\delta t) + F_{1N} \operatorname{sh}(2\delta t) + F_{2N}}}}; \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} F_{Om} = F_{On} &= \sum_{i=1}^4 f_i^2; F_{1m} = F_{1n} = 2(f_1 f_4 - \\ &- f_2 f_3); F_{2m} = \sum_{i=1}^4 (-1)^{2i} f_i^2; \\ F_{2N} &= (f_1^2 - f_2^2 + f_3^2 - f_4^3) \cos 2\chi + 2(f_1 f_2 + \\ &+ f_3 f_4) \sin 2\chi \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$\Psi_k = \Psi(f_i, \chi, \delta, t), k = 1, 2; i = \overline{1-4}; \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= q_{10}; f_2 = -q_{10} \operatorname{ctgk} + \frac{q_{20}}{2\delta w}; \\ f_3 &= 2\delta w(\delta \cos \chi - w \sin \chi) \frac{dq_{10}}{dt} - \frac{2\delta w}{\delta^2 + w^2} \cdot \frac{dq_{20}}{dt}; \\ f_4 &= 2\delta w(\delta \sin \chi + w \cos \chi) \frac{dq_{10}}{dt} - \frac{2\delta w}{\delta^2 + w^2} \cdot \frac{dq_{20}}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Фазы вычисляются исходя из условий: применительно к значениям параметров МКУ величины

$$\delta = 0,5; w = 2,0; q_{10} = q_{20} = 0,2; dq_{10}/dt = dq_{20}/dt = 0; \sin x = 0,47; \cos x = -0,88; \\ y_1 = -y_2 = -67^\circ 12'; \rho = 4,252; A = B = 0,2619; \operatorname{tg}\Psi_1 = -2,375 \operatorname{tg}(0,5t); \operatorname{tg}\Psi_2 = -10,8 \operatorname{th}(0,5t),$$

откуда величины  $M(t)$ ,  $N(t)$  равны:

$$\begin{aligned} M(t) &= 0,4327 \sqrt{\lambda^{-0,93t} + \lambda^{0,79t}} - 1,24; \\ N(t) &= 1,2396 \sqrt{\lambda^{-0,93t} + \lambda^{0,79t}} - 1,93. \end{aligned} \quad (15)$$

Для оценки управляемости и наблюдаемости система (11) при учете параметров системы представляется в виде

$$\frac{d^2 q_1}{dt^2} + q_1 + \beta_1 q_2 = u; \frac{d^2 q_2}{dt^2} + \alpha q_2 + \alpha \beta_2 q_1 = cu. \quad (16)$$

Для контура обратной связи в (16) принимается  $U_{OC}(t) = (q_1 + \mu q_2)$ .

При исследовании управляемости проводится оценка свойств матрицы  $[K]$

$$[k] = [b, Ab]^T, \quad (17)$$

т.е. чтобы ранг матрицы (17) был равен 2

$$\operatorname{rank}[k] = \operatorname{rank}[b, Ab]^T = 2, \quad (18)$$

Для рассматриваемого случая матрица  $[K]$  имеет вид  $[K] = \begin{bmatrix} 1 - 1 - \beta_{1c} \\ c - \alpha\beta_2 - \alpha c \end{bmatrix}$ , т.е. условие (18) эквивалентно условию  $\det [K]=0$

или это условие соответствует условию управляемости исходной системы (16). Уравнение

$$\det[K] = c + \beta_{1c} - c\beta_2 - \alpha c = 0, \tag{19}$$

определяет в плоскости  $\beta_1, \beta_2$  прямую линию.

Ниже проводимый численный анализ динамического качества учитывает возможные основные системотехнические коэффициенты качества в соответствии со значениями параметров системы, которые показаны на рис.1 и 2.

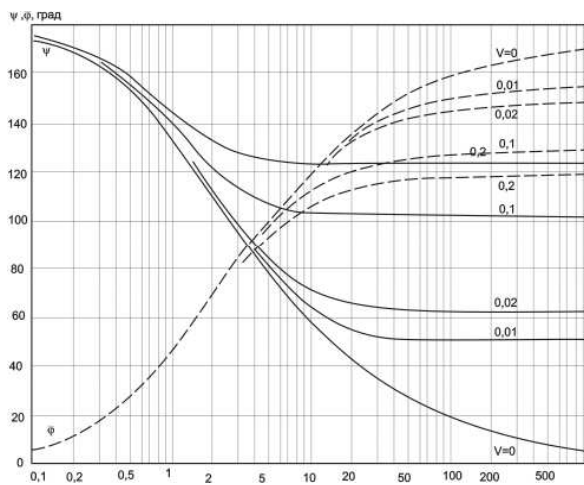


Рис. 1. ЛФХ линеаризации процессов оптимизации фазы при коэффициенте передачи разомкнутой системы  $T_n/T_u \approx 1$ .

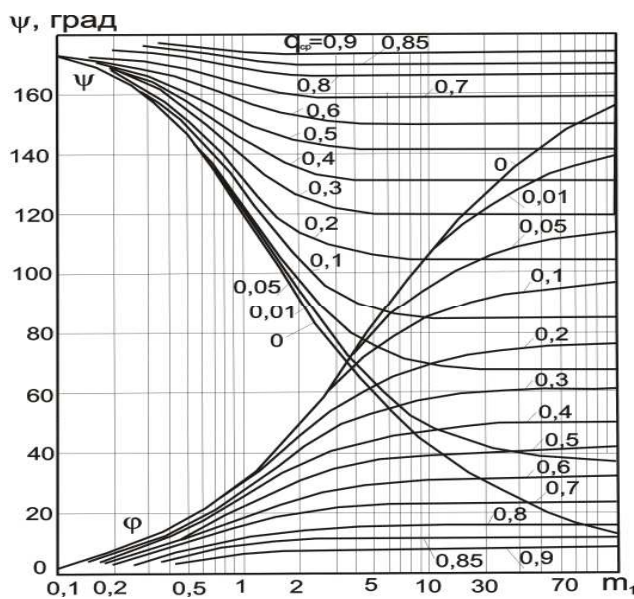


Рис. 2. ЛФХ оптимизированной системы электропривода по добротности при  $T_n/T_u \approx 1.7$ .

На рис. 3 в соответствии с уравнением (3.129) показаны границы областей динамической неустойчивости, неуправляемости, ненаблюдаемости:

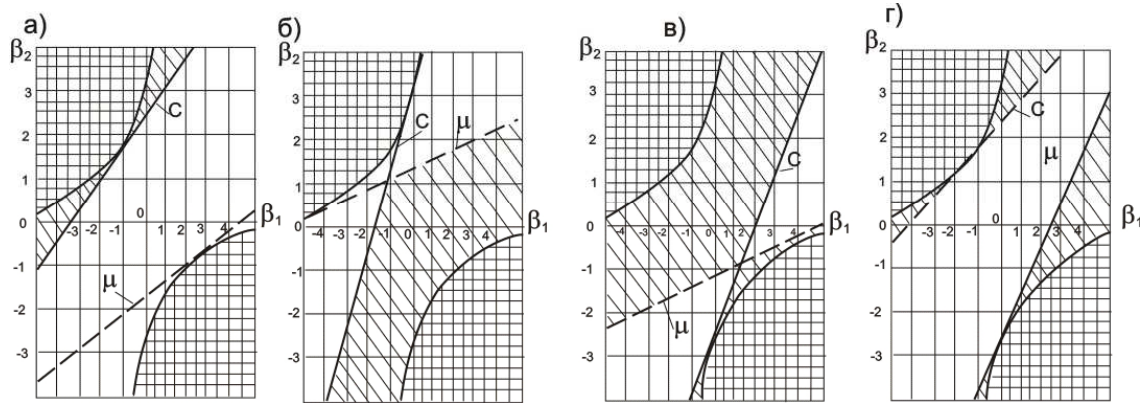


Рис. 3. Динамические параметры областей неустойчивости, неуправляемости, не наблюдаемости не оптимизированной системы управления по энергосбережению.

В критерии управляемости (19), как следует из рисунка 3, определяющим является вектор  $\vec{b} = [1, C]^T$ . В случае исследования наблюдаемости вектор  $\vec{q} = [1, \mu]^T$  и определяющий фактор принимает вид [3]:

$$\text{rank} \sigma = \text{rank}[q, Aq] = 2, \tag{20}$$

$$\sigma = \begin{bmatrix} 1 - 1 - \alpha\mu\beta_2 \\ \mu - \alpha\mu - \alpha\beta_1 \end{bmatrix}, \tag{21}$$

или данное соотношение определяет условие

$$\det \sigma = \mu + \alpha\mu^2 \beta_2 - \beta_1 - \alpha\mu \neq 0. \tag{22}$$

Уравнение вида

$$\mu + \alpha\mu^2 \beta_2 - \beta_1 - \alpha\mu = 0 \tag{23}$$

определяет зависимость ограничения областей;  $\mu$  - прямая в плоскости  $\beta_1, \beta_2$ . На рис. 3 представлены гиперболы

$$\beta_1\beta_2 = -\frac{(1-\alpha)^2}{4\alpha} = \text{const}, \tag{24}$$

ограничивающие области неустойчивости неуправляемой системы (16) при  $u = 0$ , которые на рис. 3 обозначены двойной штриховкой.

Для исследования данного фактора для МКУ с различными параметрами (рис. 1,2) зависимости между ними выражается системой уравнений вида:

$$\left. \begin{aligned} \beta_1\beta_2 + \frac{(1-\alpha)^2}{4\alpha} = 0; & \quad \alpha\beta_2 - c^2\beta_1 - c(1-\alpha) = 0; \\ \beta_1\beta_2 + \frac{(1-\alpha)^2}{4\alpha} = 0; & \quad \alpha\mu^2\beta_2 + \mu(1-\alpha) - \beta_1 = 0 \end{aligned} \right\} \tag{25}$$

решение которых дает место касания гиперболы (25) и прямых с) и б) в точках  $\left[-1 - \frac{\alpha}{2c}; \frac{c(1-\alpha)}{2\alpha}\right]; \left[\mu(1-\alpha)c; -1 - \frac{\alpha}{2\alpha\mu}\right]$ .

В реальной системе необходимо учитывать демпфирование. В этом случае система уравнений принимает вид

$$\frac{d^2 q_1}{dt^2} + \xi_1 \frac{dq_1}{dt} + q_1 + \beta_2 q_2 = 0; \frac{d^2 q_2}{dt^2} + \xi_2 \frac{dq_2}{dt} + \alpha q_2 + \beta_2 q_1 = 0, \quad (26)$$

которому соответствует характеристическое уравнение

$$(p^2 + \xi_1 p + 1)(p^2 + \xi_2 p + \alpha) - \alpha\beta_1\beta_2 = 0. \quad (27)$$

Критерий собственной динамической устойчивости имеет вид

$$\alpha_1^2 - 4\alpha_0\alpha_2 > 0; D(z_1, z_2, k, \beta, \xi) > 0, \quad (28)$$

где  $z_1, z_2$  – коэффициенты демпфирующих элементов.

В случае равенства собственных частот уравнение (18) примет вид

$$D = 4k(z_1 - z_2)^2 [1 + 2\xi(z_1 - z_2 k)] - [z_1^2 + kz_2^2 + 2\xi(z_1 + kz_2)]^2. \quad (29)$$

Уравнение  $D=0$  определяет в пространстве параметров поверхность области устойчивости и неустойчивости (рис. 4, а). Области неустойчивости системы заключены внутри соответствующих замкнутых кривых, близких к эллипсу. Анализ (29) показывает, что области неустойчивости имеют аналогичный вид для всех значений параметров, входящих в значение коэффициента усиления. На рис. 4 (а-г) приведены характеристики влияния на границы неустойчивости различия собственных частот двухприводной системы механизма перемещения электродов.

Условием рассогласования колебаний является соотношение

$$\beta = \left(-1 + \frac{w_2^2}{w_1^2}\right), \quad (30)$$

характеризующее динамическое функционирование системы приводов электромеханической системы в предположении их автономности. Записываем характеристическое уравнение (27) из условия стабилизируемости в виде равенства

$$\frac{B(p)\Phi_k(p^2)}{\Phi_0(p^2)} = 1, \quad (31)$$

где  $B(p), \Phi_k(p), \Phi_0(p)$  – полиномы ОФП.

Для стабилизируемости системы необходимо и достаточно чередование нулей числителя  $\Phi_k(p)$  и знаменателя  $\Phi_0(p)$  ОФП, откуда следует соответствующий критерий стабилизируемости

$$\Psi = (a_1 b_2 - b_1 a_2)(a_0 b_1 - a_1 b_0) - (a_0 b_2 - a_2 b_0)^2 > 0, \quad (32)$$

где  $a_i, b_i$  ( $i=0,1,2$ ) – коэффициенты многочленов  $\Phi_0(p), \Phi_k(p)$ .

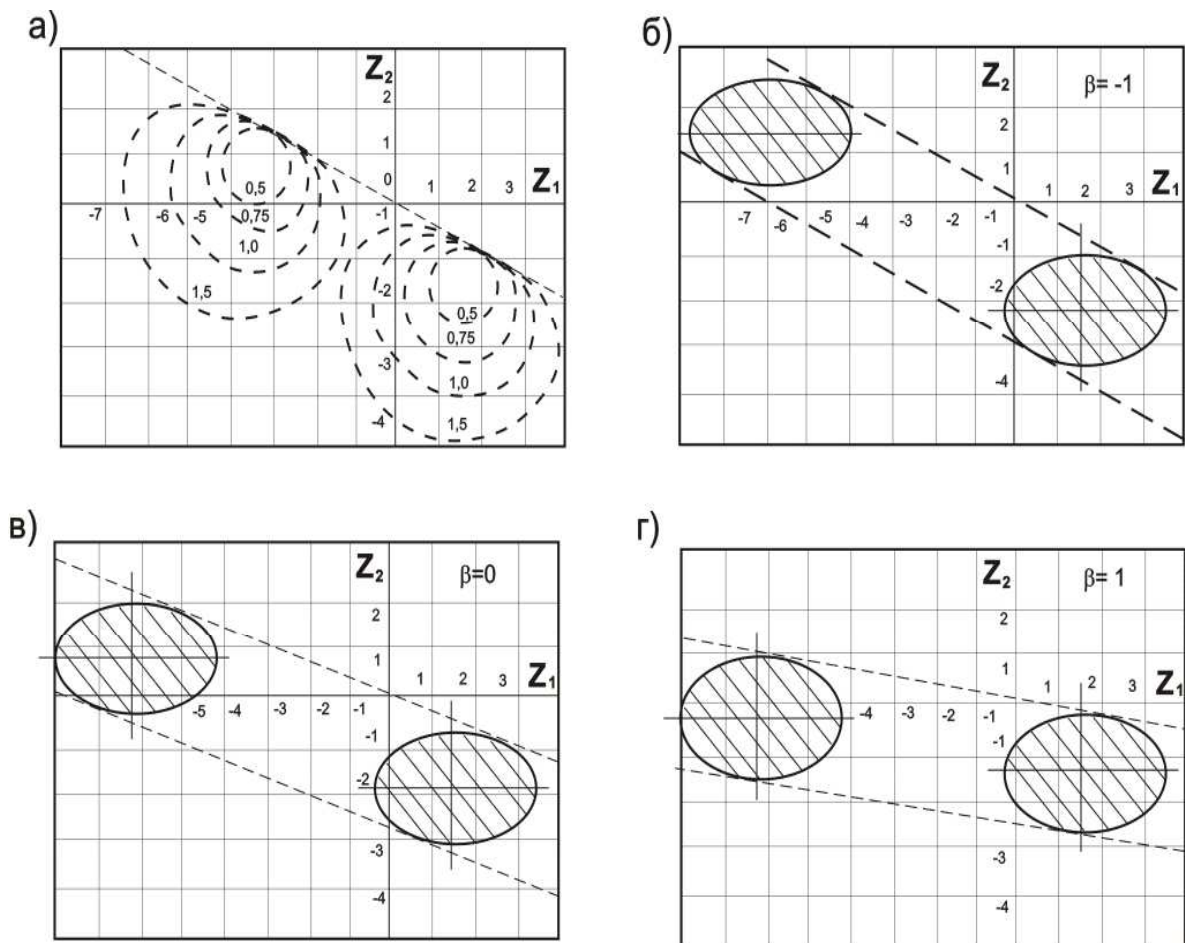


Рис. 4. Динамические характеристики параметров динамической неустойчивости: а) в функции переменной (следящей) нагрузки; б), в), г) в функции различных частот переменной нагрузки не оптимизированной системы по энергосбережению.

При условии:

$$\begin{aligned} a_i &= a_j(z_1, z_2, \beta, \gamma, \xi, k); \\ b_i &= b_j(z_1, z_2, \beta, \gamma, \xi, k, c), \end{aligned} \quad (33)$$

где  $z_1, z_2, \gamma$  – параметры связи колебательных процессов, откуда (32) с учетом (33) приводится к виду

$$\Psi = (z_2 - \eta_1 z_1)(z_2 - \eta_2 z_1)(c_1 z_1^3 + c_2 z_1^2 z_2^2 + c_3 z_1 z_2^2 + c_4 z_2^3 + c_5 z_1^2 + c_6 z_1 z_2 + c_7 z_2^2 + c_8 z_1 + c_9 z_2 + c_{10}) > 0, \quad (34)$$

$$\text{где } 2\eta_{1,2} = (\ell - k + \beta) \pm \sqrt{(\ell - k + \beta)^2 + 4k^2}.$$

На рис. 5 представлены области структурной неустойчивости (заштрихованы) для случаев  $\zeta = -\ell(w\ell > w_2)$ ;  $\beta_1 = 0(w\ell = w_2)$ ;  $\beta_2 = +\ell(w\ell < w_2)$ ; для других параметров приняты значения:  $k = 2,0$ ;  $\beta_2 = 0,05$ ;  $\xi = 0,75$ . Области стабилизируемости в плоскости  $z_1, z_2$  в

общем случае ограничены прямыми  $z_2 - \eta_{1,2}z_1 = 0$  и кривой третьего порядка:

$$c_1 z^3 + c_2 z_1^2 z_2 + \dots + c_{10} = 0. \quad (35)$$

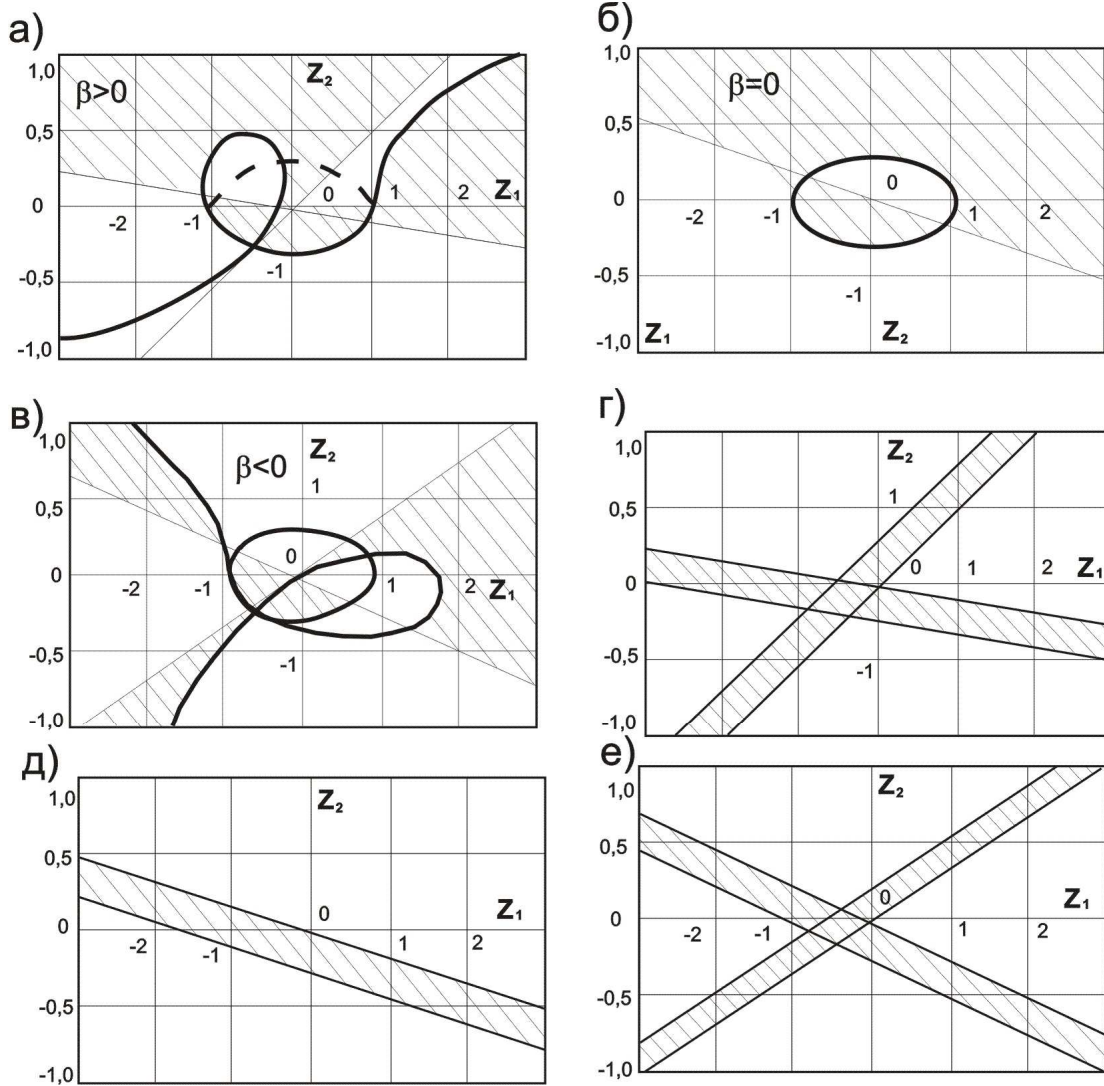


Рис. 5. Динамические параметры нестабилизируемости системы управления (заштрихованы) при - а), б) -  $c \neq 0$ ; при - г), д), е) -  $c=0$  не оптимизированной системы по энергосбережению.

Тип кривой определяется значениями параметров  $\beta = \left( -\ell + \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2} \right) / k\gamma; c = \frac{az_n}{\ell a \psi_n}$  ( $\ell$  - величина, пропорциональная радиусу инерции механизма;  $\beta_2, \sigma_1$  - относительные частоты); При  $\zeta = 0$  уравнение (35) распадается на уравнения прямой и кривой второго порядка (рис. 5, б); при  $C=0$  кривая определяется уравнением (35), которая вырождается в совокупность двух прямых (рис. 5, г – е). Эти случаи описывают возможные формы кривых, ограничивающих об-



ласти структурной неустойчивости данной системы:

а) общий случай  $\beta_2 = \sigma_1 = 0, C = 0$ ; полагая  $\beta_1 = 0$ , представим (35)

в виде:

$$\begin{aligned} \psi(z_1, z_2) = & ck_1 z_1^3 - ck_1 z_1^2 z_2 + cz_1 z_2^2 - cz_2^3 + k(c^2 - \ell)z_1^2 + \\ & + [(c^2 - \ell)(1 - k_1) - \beta]z_1 z_2 - (c^2 - \ell)z_2^2 - (\ell - k_1 + \beta)z_2 + (\ell - k_1 - \beta)z_2 - \beta c. \end{aligned} \quad (36)$$

Кривая, описываемая уравнением и ограничивающая области структурной неустойчивости системы, представлена на рис. 5, а, в), при этом кривая рис. 5, а соответствует значению  $\zeta > 0$ , а кривая рис. 5, в - значению  $\zeta < 0$ ;

б)  $\beta_1 = \sigma_2 = 0, C = 0$ . Критерий стабилизируемости принимает вид:

$$\begin{aligned} \psi(z_1, z_2) = & (z_1 - z_2)(z_1 + kz_2) \left\{ \left( z_1 + 0,5\xi + \frac{c^2 - \ell}{2c} \right)^2 + k \left( z_2 + \frac{c - \ell}{2c} + 0,5\xi \right)^2 - \right. \\ & \left. - (\ell - k) \left[ \frac{c^2 + \ell}{2c} + 0,5\xi \right]^2 + c\gamma [z_1 + kz_2 - 0,5(\ell + k)]^2 \right\}, \end{aligned} \quad (37)$$

т. е. имеем границы областей, описываемых кривыми второго порядка, коэффициенты которых явно зависят от параметров системы. Третий сомножитель в (37) определяет плоскости  $z_1, z_2$  – эллипс, являющийся одной из границ областей структурной устойчивости. Области неустойчивости системы, описываемые (37), на рисунке 5 заштрихованы;

в)  $C=0$ ,  $\zeta$  - произвольное. Полагая в (37)  $C=0$ , получим критерий структурной устойчивости вида:

$$(z_2 - \eta_1 z_1)(z_2 - \eta_2 z_1)(z_2 - \eta_1 z_1 + b)(z_2 - \eta_2 z_1 + b_2) > 0, \quad (38)$$

где  $b_{1,2} = b_{1,2}(k, \beta, \xi, \gamma)$ ;  $2\eta_{1,2} = (\ell - k_1 + \beta) \pm \sqrt{(\ell - k_1 + \beta)^2 + 4k_1^2}$ .

В данном случае области структурной неустойчивости ограничены прямыми (заштрихованы) (рис.5 г – е), положение которых определяется знаком параметра  $\beta$ . Случай  $\zeta = 0$  (рис. 5, д)) является простейшим, т. к. имеют области структурной неустойчивости, ограниченные линиями

$$z_2 + k_1 z_2 < 0; z_2 + k_1 z_1 + \xi(\ell + k_1)[\ell - \gamma(\ell + k_1)] > 0. \quad (39)$$

Области собственной и структурной неустойчивости определяются выражением

$$d_1 z_1^4 + d_2 z_1^3 z_2 + \dots + d_{12} = 0. \quad (40)$$

Рассмотрим случаи взаимного расположения области структурной и собственной динамической неустойчивости системы. При  $C=0$ ;  $\beta=0$ , когда границы областей структурной и собственной неустойчивости определяются уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} (z_1 + kz_2)\{z_2 + kz_1 + \xi(\ell + k)[\ell - \gamma(\ell + k)]\} &= 0, \\ [z_1^2 + kz_2^2 + (\ell + k) - \xi(z_1 + kz_2)]^2 - 4k(z_2 - z_1)^2[\ell + \xi(z_1 + kz_2)] &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (41)$$

откуда следует, что области стабилизируемости располагаются внутри областей структурной неустойчивости, при этом имеет место касания соответствующих границ в точках  $A\left(-\sqrt{k}, \frac{\ell}{\sqrt{k}}\right); B\left(\sqrt{k}, -\frac{\ell}{\sqrt{k}}\right)$

(рис.6, г – е).

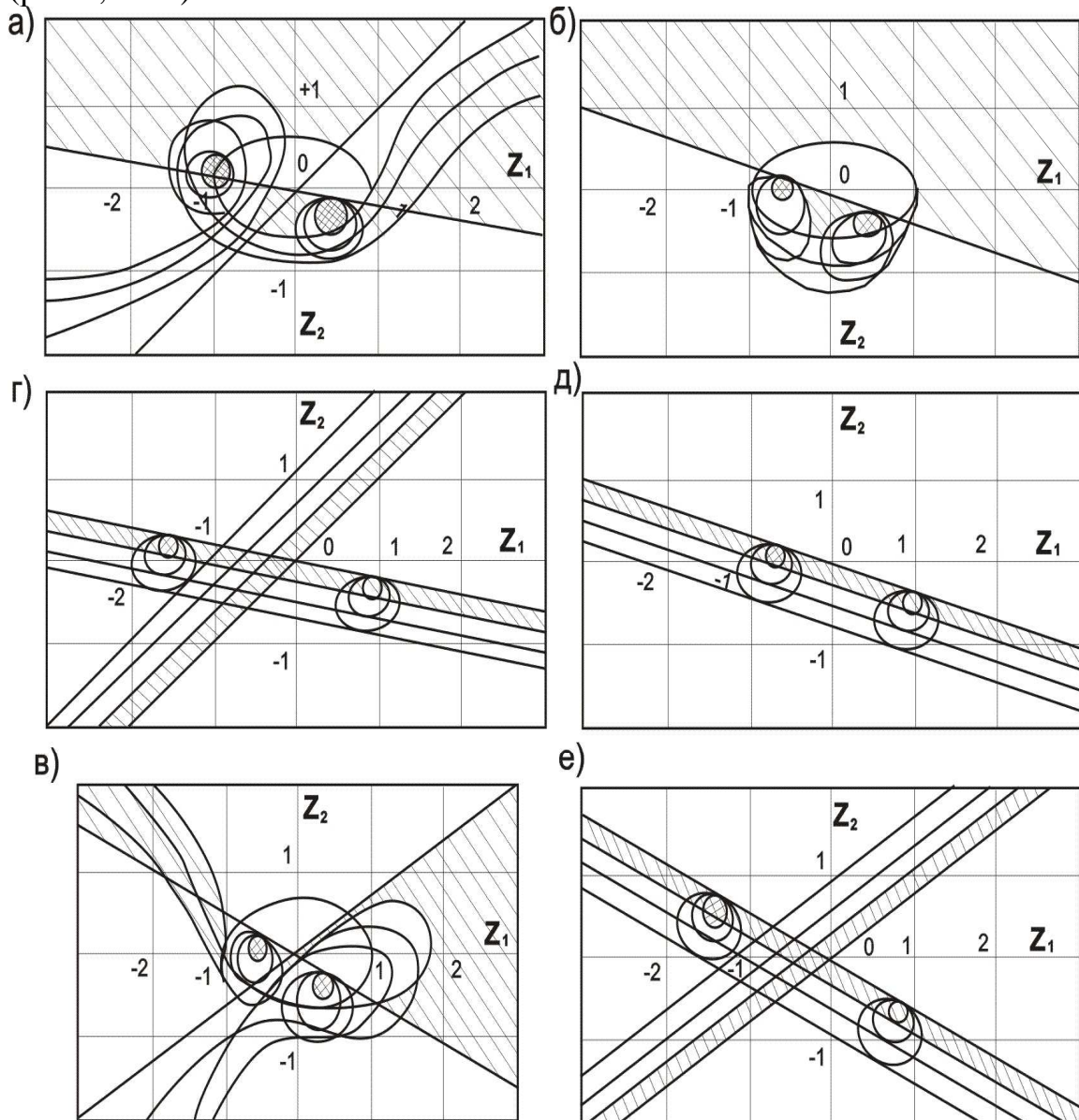


Рис. 6. Динамические параметры собственной и структурной устойчивости системы управления, оптимизированной по энергосбережению.

При  $\beta=0, C=0$  различные варианты взаимного расположения границ областей  $\zeta=0, D=0$  приведены на рис.7. Эти зависимости показывают процесс вырождения дефектных гипербол (б) в прямую

$z_1 = z_2$  и эллипс при  $\zeta > 0$  в двух случаях:  $\beta > -0$  (рис.7, а),  $\beta > +0$  (рис. 5, б). На рис. 7, в, г показаны условия расположения областей динамической неустойчивости и нестабилизируемости при различных (по знаку) значениях параметра  $C$ , определяющего соотношение жесткостей приводов.

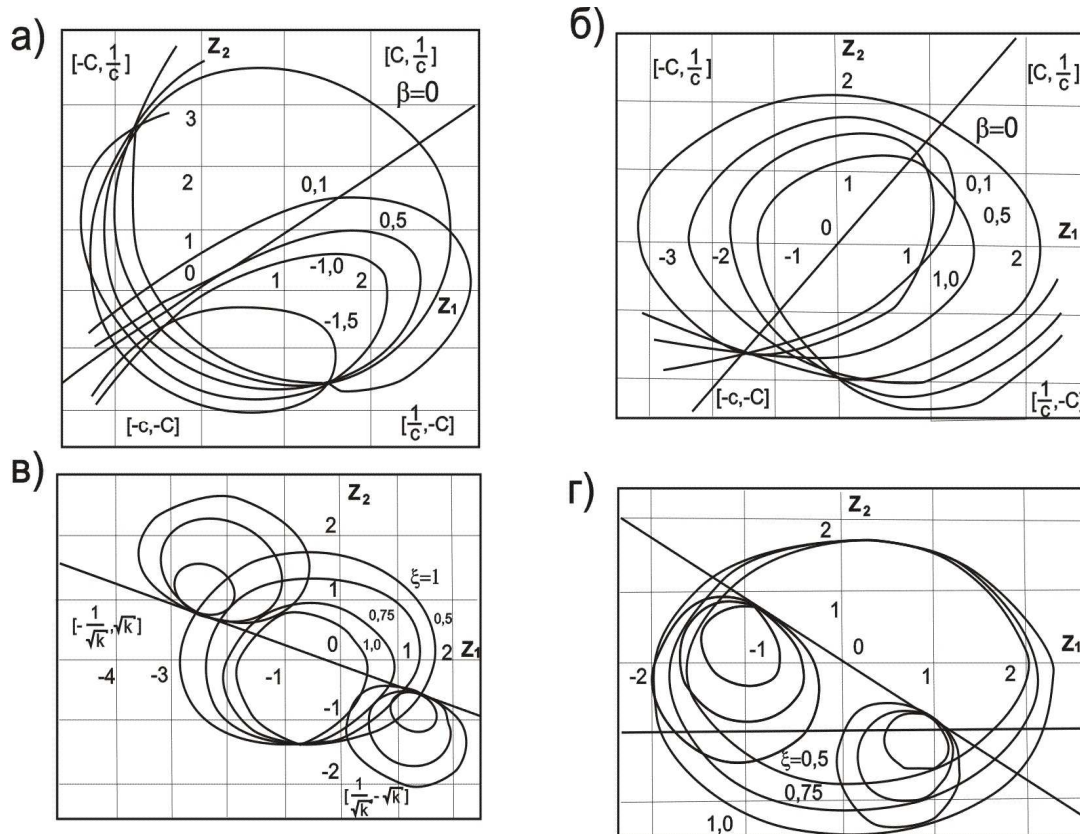


Рис. 7. Динамические параметры оценки влияния собственных частот (параметр  $\beta$ ) на границы нестабилизируемости (а, б)); взаимное расположение границ областей динамической неустойчивости и нестабилизируемости при  $c < 0$  (в) и  $c > 0$  (г)) оптимизированной по энергосбережению системы управления.

*Вывод.* Таким образом, полученные математические модели позволяют определить для автоматизированной системы, оптимизированной по энергосбережению, динамические параметры собственной и структурной устойчивости, а также стабилизируемости и добротности.

## Литература

1. Нормативно – правовые аспекты обеспечения режимов потребления электрической и тепловой энергии в современных условиях хозяйствования / Информационный бюллетень – Запорожье: Госинспекция энергонадзора в запорожской области, 2004. – 112 с.
2. Діордієв В.Т. Енергозберігаючі режими функціонування малогаба-

ритних комбікормових установок / *В.Т. Діордієв, С.В. Чаусов* // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА, 2002. - Вип. 9. - С. 77-81.

3. Методы исследования нелинейных систем автоматического управления / [*А.Т. Барабанов, В.Я. Катковник, Р.А. Нелепин и др.*]; под ред. *Р.А. Нелепина*. – М.: Наука, 1975. – 448с.

4. *Зотов М.Г.* Многокритериальное конструирование систем автоматического управления / *М.Г. Зотов*. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375с.

5. *Ванько В.И.* Вариационное исчисление и оптимальное управление / *В.И. Ванько, О.В. Ермошина, Г.Н. Кувыркин*; под ред. *В.С. Зарубина, А.П. Крищенко*. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 488с.

6. *Диордиев В.Т.* Системометодология математических методов синтеза параметров адаптивной системы управления процессом производства комбикормов/ *В.Т. Диордиев, И.Д. Труфанов*. //Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2008.- Вип 8.- Т.5. - С. 3-25.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ, КЕРОВАНОСТІ ТА СПОСТЕРЕЖУВАНОСТІ КООРДИНАТ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ КОРМОПРИГОТУВАННЯ НА БАЗІ МКУ**

Діордієв В.Т.

***Анотація*** – в статті наведені математичні моделі і геометрична інтерпретація якісних параметрів функціонування автоматизованого енерготехнологічного комплексу кормоприготування на базі малогабаритної комбікормової установки

## **RESEARCH OF DYNAMIC STABILITY, CONTROLLABILITY AND OBSERVABILITY OF COORDINATES OF POWER TECHNOLOGICAL FEED PROCESSING COMPLEX ON THE BASIS OF SMALL-SIZED MIXED FODDER PLANT**

V.Diordiev

### ***Summary***

**Mathematical models and geometrical interpretation of qualitative parametres of automated power technological feed processing complex functioning on the basis of small-sized mixed fodder plant are considered in article.**