

**Н. А. ЗАДОРЖНИЙ**, канд. техн. наук, доц., доцент каф. ЭСА, ДГМА, Краматорск;  
**И. Н. ЗАДОРЖНЯЯ**, канд. техн. наук, доц., доцент каф. ЭСА, ДГМА, Краматорск.

**СИНТЕЗ ПАРАМЕТРОВ АСТАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВУХМАССОВЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ С ЗАДАННОЙ СТЕПЕНЬЮ УСТОЙЧИВОСТИ И МИНИМАЛЬНОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОСТЬЮ**

**Введение.** При проектировании современных и модернизированных действующих электроприводов основной задачей является точное воспроизведение заданных законов движения исполнительных органов машины и ограничение динамических нагрузок. Для электроприводов, работающих в режиме стабилизации скорости, применяются двукратноинтегрирующие системы автоматического управления (САУ). При возмущении по нагрузке такие САУ обеспечивают нулевой статизм и являются астатическими. Обработка возмущающих и управляющих воздействий астатической САУ сопровождается возбуждением в электромеханической системе (ЭМС) привода технологических машин упругих механических колебаний. Колебания координат электропривода приводят к отклонению переходных процессов от предписанных технологией и способствуют росту дополнительных динамических нагрузок на электрическое и механическое оборудование. Известны научно-исследовательские работы по ограничению, подавлению фильтрацией и компенсации влияния упругих механических колебаний в электроприводе, но для астатических систем автоматического управления двухмассового электропривода вопросы синтеза остаются актуальными.

**Постановка задачи.** При выборе параметров регуляторов при настройке контуров регулирования оптимизируется колебательность привода на основании статизма моментной характеристики  $\omega = f(M)$  и типовые настройки контуров регулирования приводов постоянного и переменного тока осуществить невозможно [1, 2].

Задачи синтеза таких систем автоматического управления при существенном влиянии упругих звеньев электромеханических систем решаются на основании общих принципов формирования переходных характеристик [3, 4]. Если исходить из практической целесообразности, то на основании принципа электромеханической совместимости [5] при существенном влиянии упругих механических колебаний возможно осуществить синтез параметров астатической САУ заданной степени устойчивости и минимума колебательности ЭМС.

Динамические свойства двухмассовой механической части характеризуются частотой свободных колебаний и коэффициентом распределения инерционных масс

$$\Omega_{12} = \sqrt{C_{12} \frac{(T_{M1} + T_{M2})}{T_{M1} T_{M2}}}, \tag{1}$$

$$\gamma = \frac{(T_{M1} + T_{M2})}{T_{M1}}. \tag{2}$$

Задача решается применительно к электроприводам постоянного и переменного тока при линеаризации характеристик двигателя и элементов САУ, учете ограничений по перегрузочной способности двигателя, при допущении отсутствия трения в механических передачах и движения без размыкания зазоров.

**Материалы исследований.** При высоком быстродействии контура тока (момента) и при условии  $T_y \gg T_u$  [2] при использовании пропорционально-интегрального регулятора скорости с  $\tau \gg T_u$  [6] для ЭМС с  $1,05 < \gamma < 1,5$  передаточная функция контура регулирования тока (момента) для относительных единиц представляется

$$W_{KT}(p) = 1,0, \tag{3}$$

где  $T_y = 1 / \Omega_{12}$  – постоянная времени упругих колебаний;  $T_u$  – малая некомпенсируемая постоянная времени;  $\tau$  – постоянная интегрирования регулятора скорости.

Структурная схема с учетом допущений для общепринятых обозначений приведена на рис. 1. Структурная схема линеаризованной ЭМС определена следующими параметрами:  $T_{M1} = J_1 \omega_H / M_H$  – механическая постоянная времени первой масс электромагнитной подсистемы;  $T_{M2} = J_2 \omega_H / M_H$  – механическая постоянная времени первой масс электромагнитной подсистемы;  $T_C = 1 / c_{12}$  – постоянная времени, характеризующая упругость звеньев механической передачи;  $c_{12} = C_{12} \omega_H / M_H$  – относительное значение коэффициента жесткости упругого звена двухмассового электропривода;  $K_{PC}$  – коэффициент усиления пропорциональной части пропорционально-интегрального регулятора скорости;  $\tau$  – постоянная времени интегрирования регулятора скорости астатической САУ.

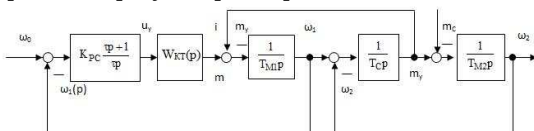


Рис. 1 Структурная схема астатической САУ

© Задоржний Н.А., Задоржняя И.Н., 2015

САУ двухмассовым электроприводом на основании процедуры разделения ЭМС [3, 5] представим в виде двух отдельных (парциальных) подсистем – упругой механической подсистем (МП) и связанной с ней электромагнитной подсистемой (ЭП). МП при допущении отсутствия диссипативных элементов  $\xi_{МП} = \xi_{12} = 0$  обладает свойствами консервативного звена с передаточной функцией

$$W_{МП}(p) = \frac{1}{T_y^2 p^2 + 1}, \quad (4)$$

где  $T_y = 1/\Omega_{12}$ , а  $\Omega_{12}$  определена в (1).

ЭП при указанных допущениях и учете (3) аппроксимируется колебательным звеном с передаточной функцией

$$W_{ЭП}(p) = \frac{K_{PC}(\tau p + 1)}{T_{M1} \tau p^2 + \tau K_{PC} p + K_{PC}}, \quad (5)$$

которое для канонической формы характеризуется в динамике частотой свободных колебаний

$$\Omega_{ЭП}^2(p) = \frac{K_{PC}}{T_{M1} \tau} \quad (6)$$

и, соответственно, коэффициентом демпфирования

$$\xi_{ЭП} = \xi_d = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{K_{PC} \tau}{T_{M1}}} \quad (7)$$

Для анализа процессов демпфирования упругих механических колебаний достаточно рассмотреть свободное движение полной (составной) ЭМС при связанности подсистем, которое описывается характеристическим уравнением

$$Q(p) = \gamma T_{M1} \tau T_y^2 p^4 + \gamma K_{PC} \tau T_y^2 p^3 + \gamma (T_{M1} \tau + K_{PC} T_y^2) p^2 + K_{PC} \tau p + K_{PC} = 0 \quad (8)$$

Анализ характеристического уравнения в форме абсолютных величин параметров (8) оказывает, что в электродвигателе системы осуществляется связь механического движения привода (4) с электрическими процессами в системе автоматического управления (5) и наоборот [7]. Усиление электромеханической связи в астатической САУ осуществляется посредством оптимизации динамической жесткости механической характеристики  $\omega = f(M)$  и проявляется на способности электропривода демпфировать упругие механические колебания при восстановлении отклонения скорости двигателя в динамике при приложении и сбросе нагрузки (с нулевой ошибкой). Существенность электромеханической связи определяется «близостью» друг друга частот парциальных ЭП и МП, когда колебания МП «раскачивают» ЭП и в результате эффекта взаимодействия энергия упругих колебаний из МП целиком (без остатка) отводится ЭП [8].

При взаимодействии парциальные частоты в зависимости от преобладающего вида связи (упругая или инерционная) [8] «раздвигаются» или «сближаются». Формально это необходимое условие оценки степени взаимодействия подсистем можно записать в виде [5]

$$\Omega_{12}^2 = K_B \Omega_{ЭП}^2, \quad (9)$$

где  $K_B$  – коэффициент электромеханического взаимодействия и квадраты частот взяты для избавления от радикалов в записи параметров, а физически оценивают энергетику процесса отвода и преобразование энергии колебаний.

Критерий (9) близости по существу отражает условие связанности и существенности взаимодействия подсистем. Характер процессов отвода и преобразования энергии упругих колебаний в ЭП – как реакции на возбуждение колебаний – должен быть таким, чтобы исключить переход энергии в обратном направлении (от ЭП к МП). Это условие (достаточное) требует и строго определенной скорости затухания колебаний – при «раскачивании» ЭП со стороны МП колебания в ЭП должны затухнуть не ранее и не позднее момента полного извлечения энергии упругих колебаний из МП. Физически это означает, что в таком особом случае время отвода энергии из МП в точности соответствует времени ее преобразования в ЭП. Это условие диктует временные (фазовые) соотношения в процессах взаимодействия подсистем при колебаниях.

Скорость затухания характеризуется относительным коэффициентом затухания

$$\xi_{ЭП} = \xi_d = \frac{\alpha_{ЭП}}{\Omega_{ЭП}}. \quad (10)$$

Обобщенные показатели (9), (10) процессов электромеханического взаимодействия с оптимальным демпфированием упругих колебаний в ЭМС можно выразить через параметры ЭП и МП, которые приняты в качестве исходных

$$\left\{ \begin{aligned} K_B &= \frac{\Omega_{12}^2}{\Omega_{ЭП}^2} = \tau \frac{T_{M1}}{K_{PC} T_y^2}; \end{aligned} \right. \quad (11)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \xi_d &= \frac{\alpha_{ЭП}}{\Omega_{ЭП}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{K_{PC} \tau}{T_{M1}}}. \end{aligned} \right. \quad (12)$$

При совместном рассмотрении (11) и (12) устанавливаются соотношения взаимосвязи параметров исходной структурной схемы с обобщенными показателями процессов электромеханического взаимодействия

$$\left\{ \begin{aligned} \tau &= 2 \sqrt{K_B \xi_d} T_y; \end{aligned} \right. \quad (13)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{T_{M1}}{K_{PC}} &= \frac{\sqrt{K_B} T_y}{2 \xi_d}. \end{aligned} \right. \quad (14)$$

Практическая ценность полученных соотношений заключается в том, что установлена взаимосвязь параметров ЭП и МП в форме обобщенных показателей и соотношения позволяют осуществить выбор оптимальных по критерию затухания параметров в функции  $K_B$  и  $\xi_D$ .

Если учесть форму нормирования по обобщенным показателям (11), (12) характеристического уравнения ЭМС (8), его можно представить в следующем виде

$$Q(p) = \gamma K_B T_y^4 p^4 + 2\gamma \sqrt{K_B} \xi_D T_y^3 p^3 + \gamma (1 + K_B) T_y^2 p^2 + 2\sqrt{K_B} \xi_D T_y p + 1 = 0. \quad (15)$$

Характер процессов демпфирования упругих механических колебаний определяется распределением корней уравнения (15), которое формируется в зависимости от обобщенных показателей  $K_B$ ,  $\xi_D$  и  $\gamma$ . Постоянная времени  $T_y$  является масштабом длительности переходных процессов. Обобщенные показатели имеют физический смысл, имеют граничные значения для того или иного класса электроприводов, упрощают анализ характеристического уравнения и позволяют судить о динамических качествах полной ЭМС (15) по свойствам отдельных подсистем и видам связи между ними (11), (12).

Из уравнения (15) также следует, что ЭМС не имеет чисто мнимых корней и при  $\gamma > 1,0$ ,  $\xi_D > 0$ ,  $K_B > 0$  обладает значительным запасом устойчивости. В результате электромеханического взаимодействия МП утрачивает свойства недемпфированного колебательного звена (4) и в общем случае с учетом свойств ЭП отвода и преобразования энергии колебаний МП с рассеянием или возвратом в сеть процессы в ЭМС можно представить в практическом плане характеристическим уравнением эталонного вида

$$Q(p) = (T_0^2 p^2 + 2\xi_{\Sigma} T_0 p + 1)(T_0^2 p^2 + 2\xi_M T_0 p + 1) = 0. \quad (16)$$

Уравнение (16) описывает реальные процессы отвода и преобразования энергии в системе с вносимым демпфированием  $\xi_M$  при взаимодействии колебательных звеньев фактически при неполной тождественности, когда  $\xi_M \neq \xi_{\Sigma}$ . Так как в качестве исходной парциальной подсистемы принимается консервативная МП ( $\xi_{12} = 0$ ), то «вносимое» в ЭМС со стороны ЭП демпфирование ( $0 < \xi_M < 1,0$ ) в результате эффекта взаимодействия (для такого неблагоприятного варианта) будет являться количественной оценкой степени затухания упругих механических колебаний за счет демпфирующего действия собственно электропривода.

Реализация процессов демпфирования упругих механических колебаний эталонного вида (16) возможна в полной ЭМС, когда в нормированном уравнении (15) выбором параметров обеспечивается

$$K_B = \gamma, \quad (17)$$

и в ЭМС будут происходить колебания одной частоты

$$\Omega_{\Sigma 0} = \Omega_{M 0} = \Omega_0, \quad (18)$$

которое можно выразить через постоянную времени

$$T_0 = 1/\Omega_0 = \sqrt{\gamma} T_y. \quad (19)$$

Последовательная декомпозиция характеристического уравнения (15) в виде (16) требует выполнения соотношений для необратимого преобразования энергии

$$\begin{cases} \xi_{\Sigma} + \xi_M = \xi_D; \\ \xi_{\Sigma} \xi_M = \frac{(\gamma - 1)}{4}. \end{cases} \quad (20)$$

Все условия (17)-(21) получены из сопоставления коэффициентов при соответствующих степенях характеристического нормированного и эталонного уравнений.

При оптимизации нас естественно интересует вносимое демпфирование  $\xi_M$ , и с целью нахождения экстремума функции демпфирующего действия электропривода производим анализ системы уравнений (20), (21). Если выразить из (20) коэффициент демпфирования процессов  $\xi_{\Sigma}$  в связанной ЭП (в составе ЭМС) и произвести подстановку в (21) получим следующее уравнение одной переменной

$$\xi_D \xi_M - \xi_M^2 = \frac{(\gamma - 1)}{4}. \quad (22)$$

Для удобства анализа обозначим функцию вносимого демпфирования в зависимости от параметров ЭП и МП в виде

$$F(\xi_M) = -\xi_M^2 + \xi_D \xi_M - \frac{(\gamma - 1)}{4}. \quad (23)$$

и исследуем ее на экстремум.

Функция  $F(\xi_M)$  определена в области параметров ЭМС

$$\begin{cases} 0 < \xi_D < 2,0; \\ 1,0 < \gamma \leq 5,0. \end{cases} \quad (24)$$

Границы изменения параметров (24) соответствуют физическим соображениям о характере процессов в особом случае (20), (21) и необратимого преобразования отвода энергии при колебаниях  $-0 < \xi_M < 1,0$  и  $0 < \xi_{\Sigma} < 1,0$ . Тогда первая производная функции (23)

$$F^{(\xi_M)} = -2\xi_M + \xi_D, \quad (25)$$

а значения переменной  $\xi_M$  при которых функция (23) имеет экстремум (минимум или максимум) находится из условия [9] равенства ее производной (25) нулю

$$-2\xi_M + \xi_D = 0. \quad (26)$$

Величины возможных коэффициентов демпфирования (вносимого в МП), при которых функция достигает экстремума, находим из (26)

$$\xi_M = \frac{1}{2}\xi_D. \quad (27)$$

Вторая производная функции (23) определяется основании (25) и имеет значение

$$F''(\xi_M) = -2 \quad (28)$$

Анализ поведения функции  $F(\xi_M)$  вблизи корня (27) показывает, что она меняет знак с положительного на отрицательный, поэтому при отрицательном значении (28) второй производной квадратичная функция имеет экстремум – максимум.

Подстановка  $\xi_M$  из (27) в уравнение (22) определяет оптимальную величину коэффициента демпфирования отдельной (парциальной) ЭП, которая определяет ординату вершины параболы  $F(\xi_M)$

$$\xi_D = \sqrt{\gamma - 1}. \quad (29)$$

Искомая зависимость величины вносимого демпфирования  $\xi_M$  в экстремальном случае гашения электроприводом упругих механических колебаний определяется как результат подстановки (29) в (27) и имеет следующий вид

$$\xi_M = \frac{1}{2}\sqrt{\gamma - 1}. \quad (30)$$

Из системы уравнений (20), (21) при подстановке найденного при исследовании на экстремум функции (23) коэффициента «вносимого» демпфирования  $\xi_M$  (30) для области значений параметра  $\gamma$  (30) получаем выражение для коэффициента демпфирования колебаний в ЭП для предельного случая максимума затухания упругих колебаний

$$\xi_{\text{Э}} = \frac{1}{2}\sqrt{\gamma - 1} \quad (31)$$

**Выводы.** Полученные результаты исследования показывают, что максимум демпфирующего эффекта электропривода при астатическом регулировании достигается при соблюдении соотношений для обобщенных показателей

$$\begin{cases} K_B = \gamma; \\ \xi_D = \sqrt{\gamma - 1}. \end{cases} \quad (32)$$

Для экстремального случая (32) максимума демпфирующего эффекта электропривода определим влияние параметров ЭМС на степень устойчивости и колебательность (при астатическом регулировании). С этой целью находим корни характеристического уравнения (16)

$$p_{1,2} = p_{3,4} = -\alpha \pm j\beta = -\frac{\sqrt{\gamma - 1}}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\gamma}T_y} \pm j \frac{\sqrt{5 - \gamma}}{2\sqrt{\gamma}T_y}. \quad (33)$$

Степень устойчивости ЭМС физически означает способность электропривода рассеять (преобразовать) энергию упругих колебаний и для комплексно-сопряженных кратных корней (33) определяется в виде соотношения

$$\eta_0 = |\alpha_{\min}| = \frac{\sqrt{\gamma - 1}}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\gamma}T_y} = \frac{\sqrt{\gamma - 1}}{2} \cdot \frac{\Omega_{12}}{\sqrt{\gamma}}. \quad (34)$$

Колебательность ЭМС в экстремальном случае демпфирования упругих колебаний при астатическом регулировании как следует из (33)

$$\mu_0 = \left| \frac{\beta}{\alpha} \right| = \sqrt{\frac{5 - \gamma}{\gamma - 1}}. \quad (35)$$

Заданная степень устойчивости (34) и минимальна колебательность координат ЭМС (35) достигается при колебаниях одной частоты

$$\Omega_0 = \frac{1}{2}\sqrt{\gamma - 1} \cdot \frac{\Omega_{12}}{\sqrt{\gamma}}. \quad (36)$$

Сравнение показателей (34), (35), (36) астатической системы автоматического управления и показателей при регулировании процессов в статической САУ показывает, что предельное демпфирование в астатической САУ достигается при частоте в  $\sqrt{\gamma}$  раз ниже. Это обстоятельство практически расширяет диапазон возможных оптимальных параметров при синтезе САУ облегчает реализацию в системе демпфирующих свойств электропривода при упругих механических колебаниях.

Обеспечить показатели процессов демпфирования упругих колебаний для экстремального (предельного) случая можно за счет выбора параметров (13), (14). При подстановке оптимальных величин обобщенных показателей (32) в соотношения взаимосвязи параметров (13), (14) дает следующие зависимости для настройки регуляторов САУ:

– регулятор скорости

$$K_{PC} = \frac{2T_{M1}}{T_y} \cdot \sqrt{\frac{\gamma-1}{\gamma}}; \quad (37)$$

$$\tau = 2\sqrt{\gamma(\gamma-1)}T_y; \quad (38)$$

– контур регулирования тока (момента) требует настройки на максимум быстродействия по критерию «модульный» оптимум с некомпенсируемой постоянной времени  $T_{\mu} \ll T_y$ .

Результаты данных теоретических исследований проверялись путем моделирования – на рис. 2 приведены графики переходных процессов упругого момента  $M_{УПР}$  и  $\omega_2$  для режима ударного приложения нагрузки, полученные на математической модели в пакете Matlab Simulink для относительных единиц.

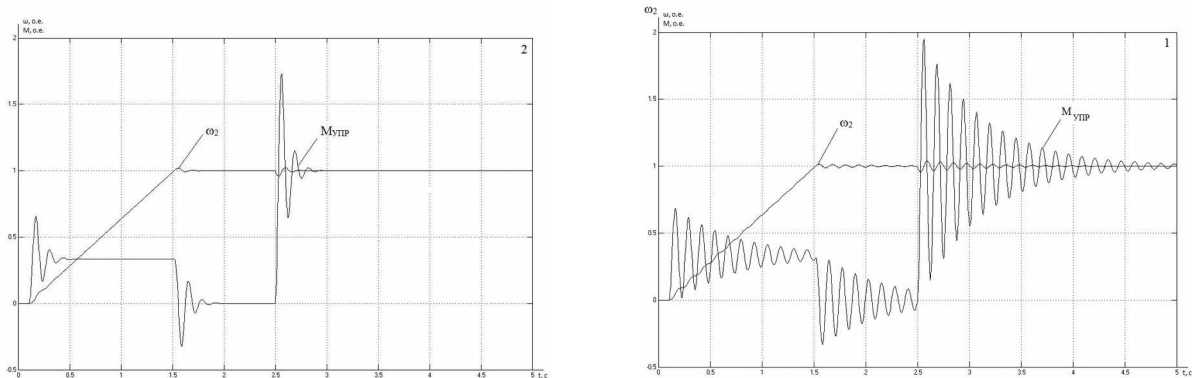


Рис.2. Графики переходных процессов для режима ударного приложения нагрузки для типовых (1) и оптимальных (2) настроек САУ

При наладке электропривода в промышленных условиях полученные соотношения использовались в качестве базовых для определения границ области усиления электромеханической связи [10].

**Список литературы:** 1. Ключев В.И., Жильцов Л.В., Калашников Ю.П. Состояние и перспективы развития теории электропривода с упругими механическими связями // Электричество. – 1981. – №7. – С. 29-32. 2. Борцов Ю. А. Автоматизированный электропривод с упругими связями / Ю. А. Борцов, Г. Г. Соколовский. – СПб.: Энергоиздат, 1992. – 228 с. 3. Земляков В.Д., Задорожний Н.А. О демпфировании электроприводом упругих электромеханических колебаний // Изв. вузов. Электромеханика. – 1985. – С. 99-92. 4. Бургин Б. Ш. Анализ и синтез двухмассовых электромеханических систем / Б. Ш. Бургин – Новосибирск: Новосиб. электротехн. ин-т, 1992. – 199 с. 5. Задорожний Н. А. Принцип электромеханической совместимости в приводах машин с упругими механическими связями / Н. А. Задорожний // Вісник Харківського державного політехнічного університету. – Х.: ХДПУ. – 1999. – № 61. – С. 123–124. 6. Задорожний Н. А. Анализ демпфирующего действия электропривода с упругими механическими связями при астатическом регулировании / Н. А. Задорожний, А. Н. Беш, И. Н. Задорожня // Електротехнічні та комп'ютерні системи. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика» – Київ: Техніка. – 2011. – Вип. 03(79). – С. 101–104. 7. Ключев В. И. Анализ электромеханической связи при упругих колебаниях в электроприводе / В. И. Ключев // Электричество. – 1971. – № 9. – С. 47–51. 8. Стрелков С. П. Введение в теорию колебаний / Стрелков С. П. – М-Л.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1950. – 344 с. 9. Выгодский М. Я. Справочник по элементарной математике / М. Я. Выгодский. – М: АСТ Астрель, 2006 – 509 с. 10. Ребедак, О.А. Оптимизация режимов работы слябового подъемника машины непрерывного литья заготовок с целью ограничения динамических нагрузок / О.А. Ребедак, С.А. Бакан, Н.А. Задорожний // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Тематичний впуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика» науково-виробничого журналу – Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип. 3/2012(19). – С. 439-444.

**Bibliography (transliterated):** 1. Klyuchev V.I., Zhiltsov L.V., Kalashnikov Yu.P. Sostoyaniye i perspektivy razvitiya teorii elektropriivoda s uprugimi mehanicheskimi svyaziyami // Elektrichestvo. 7.1981. 29-32. Print 2. Bortsov, Yu. A. Avtomatizirovannyiy elektropriivod s uprugimi svyaziyami / Yu. A. Bortsov, G. G. Sokolovskiy. – SPB.: Energoizdat, 1992. Print. 3. Zemlyakov V.D., Zadorozhniy N.A. O dempfirovaniy elektropriivodom uprugih elektromehanicheskikh kolebaniy // Izv. vuzov. Elektromehaniika. – 1985. 99-92. Print. 4. Burgin B. Sh. Analiz i sintez dvuhmassovyyih elektromehanicheskikh sistem / B. Sh. Burgin – Novosibirsk: Novosib. elektrotehn. in-t, 1992. Print. 5. Zadorozhniy, N. A. Printsip elektromehanicheskoy sovmestimosti v priivodah mashin s uprugimi mehanicheskimi svyaziyami / N. A. Zadorozhniy // Visnik Harkl'vskogo derzhavnogo politehnichnogo universitetu. – H.: HDPU. 61.1999. 123–124. Print. 6. Zadorozhniy, N. A. Analiz dempfiruyushchego deystviya elektropriivoda s uprugimi mehanicheskimi svyaziyami pri astaticheskoy regulirovaniy / N. A. Zadorozhniy, A. N. Besh, I. N. Zadorozhnyaya // Elektrotehnichni ta komp'yuterni sistemi. Tematichniy vipusk «Problemi avtomatizovanogo elektropriivoda. Teoriya i praktika» – Kyiv: Tehnika. – 03(79). 2011. 101–104. Print. 7. Klyuchev V. I. Analiz elektromehanicheskoy svyazi pri uprugih kolebaniyah v elektropriivode / V. I. Klyuchev // Elektrichestvo. 9.1971. 47–51. Print. 8. Strelkov, S. P. Vvedeniye v teoriyu kolebaniy / Strelkov S. P. – M-L.: Gosudarstvennoye izdatelstvo tehniko-teoreticheskoy literatury, 1950. Print. 9. Vyigodskiy, M. Ya. Spravochnik po elementarnoy matematike / M. Ya. Vyigodskiy. – M: AST Astrel, 2006. Print. 10. Rebedak, O.A. Optimizatsiya rezhimov raboty slyabovogo pod'emnika mashiny nepreryivnogo litya zagotovok s tselyu ograniчениya dinamicheskikh nagruzok / O.A. Rebedak, S.A. Bakan, N.A. Zadorozhniy // Elektromehanichni i energozberigayuchi sistemi. Tematichniy vpusk «Problemi avtomatizovanogo elektropriivoda. Teoriya i praktika» naukovovo-virbnichnogo zhurnaluu – Kremenchuk: KrNU. 3.19.2012. – 439-444. Print.

Поступила (received)