

**Библиографический список**

1. Егоров Г.А. Технологические свойства зерна. – М.: Агропромиздат 1985. – С. 8.  
 2. Косован А.П. Современная наука в технологии и технике хлебопекарной промышленности // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2007. – № 1 – С. 7-11.  
 3. Куприц Я.Н. Физико-химические основы размола зерна. – М.: Заготиздат, 1946. – С. 41.

4. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твёрдых тел. – М.: Наука, 1974. – 560 с.  
 5. Хусид С.Д. Измельчение зерна (теоретические основы и практика). – М., 1958. – С. 248.  
 Чистов С.А. Механические свойства зерна пшеницы // Известия Томского института технологии зерна и муки. – 1936. – Т. 2. – Вып. № 5.



УДК 621.9Т

**А.А. Багаев,  
Р.С. Чернусь**

**ТРЕБОВАНИЯ К ВРЕМЕННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ И ОБОСНОВАНИЕ ОБЛАСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОЛЮСОВ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО РАСХОДОМЕРА СЫПУЧИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Ключевые слова:** временные характеристики, центробежный расходомер, передаточная функция, перерегулирование, полюса передаточной функции, двигатель, электропривод.

**Введение**

Основы теории, устройство, законы функционирования и принцип действия центробежного расходомера представлены в работах [1-4].

Получена передаточная функция центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов по току приводного двигателя [5]:

$$W(p)_{Q \rightarrow i} = \frac{T_3 p + 1}{(p^2 T_3 T_m + p T_m + 1) \beta_1} = \frac{T_3 p + 1}{(T_1 p^2 + 2 \xi T_1 p + 1) \beta_1} \quad (1)$$

где  $\xi$  – безразмерный коэффициент затухания.

Связь между параметрами электропривода и колебательного звена имеет следующий вид:

$$T_1 = \sqrt{T_m T_3}; \xi = \frac{T_m}{2 T_1} = \frac{\sqrt{m}}{2}; m = \frac{T_m}{T_3} \quad (2)$$

В выражениях (1) и (2) использованы следующие обозначения:

$$\beta_1 = \frac{x_2 + x_5}{x_1}; T_m = \frac{x_2 + x_4 T_R}{x_5 + x_4};$$

$$T_3 = \frac{x_2 T_R}{x_2 + x_4 T_R}; T_R = \frac{1}{\omega_{0ном} s};$$

$$x_1 = \left( \frac{\partial M_C}{\partial Q} \right)_0 \frac{Q_0}{A} i;$$

$$A = - \frac{\omega_0 R_2 U_1^2}{s^{3/2} \sqrt{U_1^2 - x_k^2 I_{10}^2}};$$

$$x_2 = J_S i; x_4 = \frac{\partial M_C}{\partial \omega_2}; x_5 = \beta i,$$

где  $T_R$  – электромагнитная постоянная времени двигателя;

$\beta$  – жесткость механической характеристики двигателя;

$\omega_{0ном}$  – номинальная угловая частота вращения двигателя в режиме холостого хода;  $s$  – скольжение;

$M_C$  – момент сопротивления;

$Q$  – расход сыпучего продукта;

$i$  – передаточное число редуктора;

$R_2$  – активное сопротивление ротора;

$U_1$  – фазное напряжение;

$x_k$  – индуктивное сопротивление короткого замыкания статора;

$I_{10}$  – ток статора;

$J_S$  – момент инерции вращающихся масс, приведенный к валу двигателя;

$\omega_2$  – угловая скорость вращения крыльчатки.

Известно, что значение безразмерного коэффициента затухания  $\xi$ , выраженное через параметры двигателя, нагрузки и механической передачи, определяет степень колебательности электропривода центробежного расходомера [6]. Коэффициент затухания может принимать либо отрицательные действительные, либо комплексносопряженные значения, что определяет общий вид временных характеристик переходного процесса устройства.

В свою очередь, на показатели качества переходных процессов оказывают влияние механические и электромагнитные инерционности привода, оценивающиеся соответствующими постоянными времени. Для обеспечения быстродействия и точности измерений расхода необходимо оптимизировать переходные процессы во время действия переменной случайной нагрузки, т.е. по существу необходимо определить требуемую область расположения полюсов передаточной функции расходомера на комплексной плоскости.

В связи с этим **целью** работы является формулирование требований к временным характеристикам и обоснование области расположения полюсов передаточной функции расходомера.

**Требования к временным характеристикам переходного процесса.** Типичная переходная функция тока недодемпфированной системы второго порядка представлена на рисунке 1.

Переходная функция характеризуется рядом показателей. *Время нарастания*  $T_n$  определяется как время, необходимое для изменения переходной функции от 10 до 90% от ее установившегося значения. На рисунке 1 максимальное значение переходной функции тока обозначено  $i_m$ , время достижения максимума –  $T_m$ . Максималь-

ное относительное перерегулирование рассчитывается по формуле [7]:

$$\begin{aligned} \text{Максимальное перерегулирование} &= \\ &= \frac{i_m - i_{уст}}{i_{уст}} 100 = \\ &= 100 e^{-\xi\pi/\sqrt{1-\xi^2}} = 100e^{-\pi/\tan\alpha}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $i_{уст}$  – установившееся значение тока, на рисунке 1  $i_{уст}=1$ ;

$\alpha$  – угол между отрицательной осью комплексной плоскости и линией, ограничивающей область расположения полюсов передаточной функции.

В теории электропривода принято, что колебательный процесс должен затухать за один период, а перерегулирование не должно превышать 5%, что соответствует «модульному оптимуму», условием которого является равенство  $m = \frac{T_m}{T_n} = 2$  [6].

Время установления  $T_{уст}$  – это время, необходимое для того, чтобы выходной сигнал вошел в  $\pm 2$ - или  $\pm 5$ -ную зону, прилегающую к установившемуся значению. Для систем второго порядка переходная функция входит в 2%-ную область, как правило, за четыре постоянных времени  $t = 1/\xi\omega_{\Pi}$ , где  $\omega_{\Pi}$  – собственная частота колебаний, т.е.

$$T_{уст} = k\tau = \frac{k}{\xi\omega_{\Pi}}, \quad (4)$$

где  $k = 4$ .

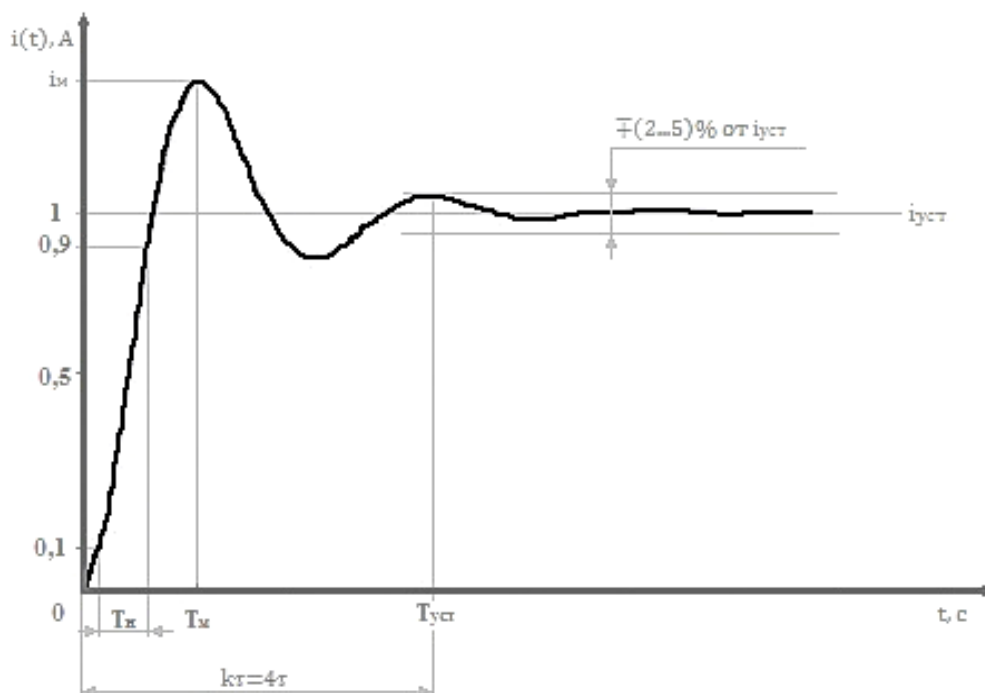


Рис. 1. Типичная переходная функция тока недодемпфированной системы второго порядка

Параметры переходной функции второго порядка тесно связаны с расположением полюсов (корней) передаточной функции вида (1). Для нахождения области расположения полюсов преобразуем (1), разделив числитель и знаменатель правой части на  $T_1^2$ :

$$W(p)_{q \rightarrow L_1} = \frac{T_3 + 1}{\beta_1} \frac{1/T_1^2}{(p^2 + 2p\xi T_1 + 1/T_1^2)} \quad (5)$$

Обозначив  $1/T_1^2 = \omega_{\Pi}^2$ ,  $\frac{1}{T_1} = \omega_{\Pi}$ , получим

$$W(p)_{q \rightarrow L_1} = \frac{T_3 + 1}{\beta_1} \frac{\omega_{\Pi}^2}{(p^2 + 2p\xi\omega_{\Pi} + \omega_{\Pi}^2)} \quad (6)$$

Комплексные сопряженные корни знаменателя (6)  $p = -\xi\omega_{\Pi} \pm j\sqrt{1 - \xi^2}$  являются полюсами передаточной функции.

Время установления  $T_{уст}$  представлено выражением (4) и обратно пропорционально действительной составляющей корней (полюсов) передаточной функции. Если требуется, чтобы время установления было меньше или равно некоторому предельному значению  $T_{уст}^{max}$ , то должно выполняться следующее условие  $\xi\omega_{\Pi} \geq k/T_{уст}^{max}$ , и полюсы должны располагаться в определенной области.

**Рациональная область расположения полюсов передаточной функции.** Например, пусть максимальное перерегулирование не должно превышать 4%, что согласно выражению (3) соответствует коэффициенту затухания  $\xi = 0,716$  и  $\alpha = \arctg 0,98 = 49,39^\circ$ .

Предположим также, что максимальное допустимое время установления  $T_{уст}^{max} = 1$  с. В этом случае  $\tau = 1/T_{уст}^{max} \leq 1$  и  $\xi\omega_{\Pi} = 1/\tau \geq 1$ .

Следовательно, область расположения полюсов недодемпфированной системы второго порядка ограничена заштрихованной областью на рисунке 2. Полюсы, соответствующие заданным ограничениям, имеют значения  $p = -\xi\omega_{\Pi} + j\sqrt{1 - \xi^2} = -1 \pm j0,973$ .

Уменьшение угла  $\alpha$  сопровождается уменьшением перерегулирования. Следовательно, для того чтобы перерегулирование не превышало заданного значения, расположение полюсов не должно выходить за пределы заштрихованной области.

Учитывая, что коэффициенты (2), определяющие значения корней передаточной функции (1) и расположение полюсов на комплексной S-плоскости, являются функцией параметров двигателя, нагрузки и механической передачи, можно утверждать, что, изменяя параметры электромеханиче-

ской системы, можно обеспечить заданное качество переходного процесса.

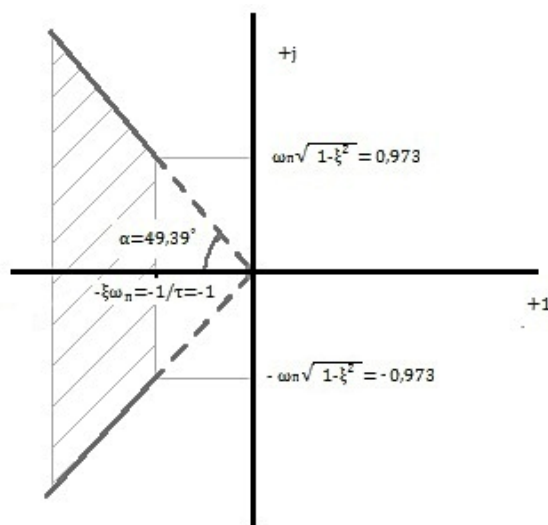


Рис. 2. Расположение и область определения полюсов недодемпфированной системы второго порядка

Аналогичным образом могут быть определены параметры двигателя, нагрузки и механической передачи для передаточной функции центробежного расходомера по скорости и центробежного расходомера с осевой загрузкой обеспечивающие заданные показатели качества переходного процесса и требуемую область расположения полюсов передаточной функции [8-9].

### Выводы

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Повышение точности измерения расхода требует оптимизации переходного процесса во время действия переменной нагрузки.
2. Параметры переходной функции второго порядка тесно связаны с расположением полюсов (корней) передаточной функции на комплексной плоскости.
3. Требуемые показатели качества переходного процесса и область расположения полюсов передаточной функции могут быть обеспечены путем соответствующего выбора параметров двигателя, нагрузки и механической передачи.

### Библиографический список

1. Багаев А.А., Лукьянов В.Г., Чернущев Р.С. Использование момента кориолисовых сил для измерения массового расхода потока зерна и продуктов его размола // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2008. – № 4(42). – С. 47-49.
2. Багаев А.А., Лукьянов В.Г., Чернущев Р.С. Двигатель постоянного тока как

первичный преобразователь крутящего момента центробежных расходомеров сыпучих сельскохозяйственных продуктов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2008. – № 6(44). – С. 62-65.

3. Багаев А.А., Чернусь Р.С. Уравнение регрессии момента сопротивления центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 6(68). – С. 83-87.

4. Багаев А.А., Лукьянов В.Г., Чернусь Р.С. Результаты математического моделирования крутящего момента центробежного расходомера зерна и продуктов его размола // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 6(56). – С. 54-57.

5. Багаев А.А., Чернусь Р.С. Обоснование критерия выбора электродвигателя цен-

тробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных продуктов // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2/1. – С. 188-193.

6. Ключев В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.

7. Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 616 с.

8. Багаев А.А., Лукьянов В.Г., Чернусь Р.С. Передаточная функция центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных продуктов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 1(63). – С. 71-75.

9. Багаев А.А., Чернусь Р.С. Передаточная функция момента сопротивления центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов при осевой загрузке // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 10(84). – С. 86-89.



УДК 631.3.004. (075.08)

В.А. Завора,  
А.Т. Илющенко,  
И.И. Бауэр

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МОБИЛЬНЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ РАСТЕНИЕВОДСТВА

**Ключевые слова:** производительность агрегатов, крюковая мощность трактора, удельное сопротивление машин, ширина захвата агрегата.

Главная цель повышения производительности мобильных агрегатов при выполнении механизированных процессов в растениеводстве – сокращение продолжительности выполнения технологических операций, что является важнейшим фактором роста урожайности с.-х. культур и улучшения качества продукции. Выполнение полевых работ продолжительностью, превышающей агротехнически обусловленную длительность выполнения технологических операций, предопределяет низкую урожайность зерновых культур – 10-13 ц/га, при возможной урожайности в два раза выше [1].

Производительность мобильных агрегатов зависит от двух групп факторов, определяющих время работы агрегата и использование технических возможностей машин (мощности, ширины захвата, скорости) [2]. Между мощностью двигателя трактора и

производительностью агрегата имеется прямая связь, которая может быть выражена аналитической зависимостью. Выразим рабочую скорость движения агрегата из уравнения крюковой мощности трактора [3]:

$$V_p = \frac{3,6 \cdot N_{кр}}{R = K_n \cdot B_p} \quad (1)$$

где  $V_p$  – рабочая скорость движения агрегата, км/ч;

$N_{кр}$  – крюковая мощность трактора, кВт;

$K_n$  – удельное сопротивление на один метр захвата агрегата, кН/м;

$B_p$  – рабочая ширина захвата агрегата, м.

Подставим значение  $V_p$  в формулу (2):

$$W_q = 0,1 \cdot V_p \cdot B_p \cdot \tau, \quad (2)$$

где  $W_q$  – часовая производительность агрегата, га/ч;

$\tau$  – коэффициент использования времени смены,