

УДК 621. 926. 22

УЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКЕ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ФЕРРОМАТЕРИАЛОВ

Ж.И. Кузбаков, кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлургия» РГП на ПХВ «Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова», г. Актобе, Республика Казахстан, E-mail: agu_metallurgy@mail.ru

Аннотация. Причинами недостаточно эффективной работы щековых дробилок при измельчении высокопрочных материалов является недостаточный учет переходных процессов.

Исследование переходных процессов производственных машин имеет большое практическое значение. В щековой дробилке переходные процессы зависят от скорости исполнительного механизма и времени его работы и угла поворота эксцентрикового вала.

В статье рассмотрено воздействие на систему электропривода дробильной машины нагрузок, изменяющихся во времени.

На основе решения системы дифференциальных уравнений движения, полученные расчетные формулы позволяют провести исследования переходных процессов в системе электропривода, изменяющихся во времени.

Исследования показали, что характер изменения нагрузок мало влияет на динамику переходных процессов. Расчеты показали, что на динамику переходных процессов значительное влияние оказывает интенсивность нарастания нагрузок.

Для снижения интенсивности нарастания нагрузок предложено изменить параметры дробильной камеры дробильной машины. На новую конструкцию дробильной машины получены патенты республик Казахстан и Украины.

Ключевые слова: интенсивность нарастания нагрузки, динамичность, переходной процесс, перепад скорости, момент двигателя, дробильная камера.

ACCOUNTING OF TRANSIENTS IN A JAW CRUSHER IN THE GRINDING FERROS PROCESS

G. Kuzbakov, PhD, Associate Professor, Department of Metallurgy Aktobe Regional State University K. Zhubanova, Aktobe city, Kazakhstan, E-mail: agu_metallurgy@mail.ru

Abstract. The article considers the impact on electrical systems crusher loads of time-varying. Research has shown that the character of load variation has little effect on the dynamics of transient processes. Calculations showed that the dynamics of transient processes are strongly influenced by the intensity of the load growth.

Keywords: intensity of the growth of load, dynamics, transient process, speed difference, engine torque, crushing chamber.

Введение. Исследование переходных режимов производственных машин имеет большое практическое значение [1].

Переходные процессы, в зависимости от динамических свойств системы, ее параметров, характера нагрузки, управляющих воздействий могут отличаться длительностью, максимальными нагрузками, потреблением и потерями энергии [2, 8].

Формирование оптимальных переходных процессов с показателями, удовлетворяющим требованиям технологического процесса, является одной из важнейших задач при разработке системы электропривода щековой дробилки. При дроблении высокопрочных материалов, критериями оптимального переходного процесса в щековой дробилке могут быть минимальные энергетические потери, минимальные колебательные механические нагрузки [2, 3], минимальные динамические нагрузки, обеспечивающие долговременную надежную работу машины [5, 6, 7, 8, 9].

Одной из причин недостаточно эффективной работы щековых дробилок при использовании их для тяжелых режимов работы, например, при дроблении ферроматериалов, является недостаточная изученность и учет переходных процессов [9, 10].

Материал и результаты исследований. Характер переходных процессов и способы, снижающие их влияние, приведены в работе [4]. В щековой дробилке переходные процессы зависят от скорости, времени и угла поворота эксцентрикового вала. В настоящей работе рассмотрено воздействие на систему электропривода нагрузок, изменяющихся во времени, т.е.

$$M_c(t) = M_c^0 \left(1 - e^{-\frac{t}{A}} \right); \quad (1)$$

В этом случае движение электропривода описывается системой дифференциальных уравнений [2].

$$T_s \dot{M}_d + M_d + \beta \omega = M_0; \quad (2)$$

$$J_0 \dot{\omega} - M_d = -M_c(t). \quad (3)$$

Тогда для случая (1) получаем следующие решения:

$$\begin{aligned} \omega(t) = & \frac{1}{\beta} \left[\Delta M + \frac{M_c^0 (1 - \delta) \exp(1 - t/A)}{m\delta - m + 1} + \exp\left(-\frac{t}{2T_s}\right) \times \right. \\ & \times \left. \left[\omega(0) - \frac{\Delta M}{\beta} - \frac{M_c^0 (1 - \delta)}{\beta(m\delta - m + 1)} \right] \right] \cos \lambda_1 t + \frac{1}{\sqrt{4n - 1}} \times \\ & \times \left[2T_s \dot{\omega}(0) + \omega(0) - \frac{\Delta M}{\beta} + \frac{M_c^0 (2 - \delta)(1 - \delta)}{\beta(m\delta - m + 1)} \right] \sin \lambda_1 t; \end{aligned} \quad (4)$$

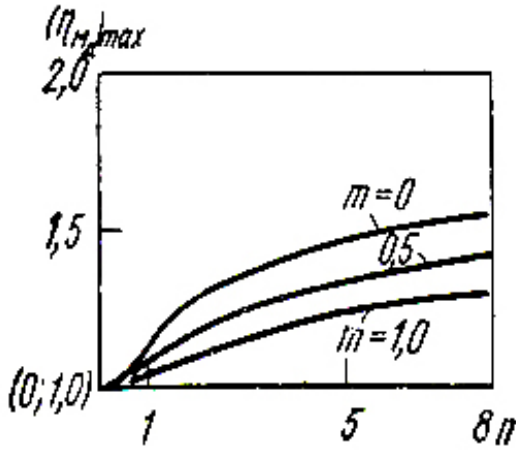


Рис. 1. Динамический перепад скорости ротора двигателя при нарастании нагрузки

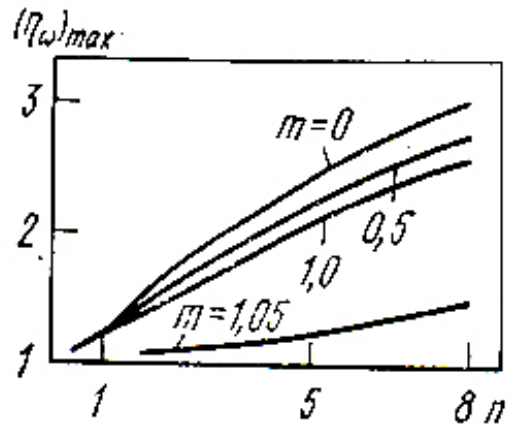


Рис. 2. Динамичность момента двигателя в переходном процессе при нарастании нагрузки

$$\begin{aligned}
 M_D(t) = & M_c^0 \left(1 + \frac{\exp(-t/A)}{m\delta - m + 1} \right) + \exp\left(-\frac{t}{2T_g}\right) \times \\
 & \times \left\{ \left[M_D(0) - M_c^0 \frac{m\delta - m - 2}{m\delta - m + 1} \right] \cos \lambda_1 t + \frac{1}{\sqrt{4n - 1}} \times \right. \\
 & \times \left. \left[2T_g \dot{M}_D(0) + M_D(0) - \frac{M_c^0(1 - \delta)(2 - m)}{m\delta - m + 1} \right] \sin \lambda_1 t \right\}, \tag{5}
 \end{aligned}$$

где:

$$\Delta M = M_0 - M_c^0; \quad \lambda_1 = \frac{1}{2T_g} \sqrt{4n - 1}; \quad T_g / A = \delta; \quad T_M / A = m;$$

$$T_g / T_M = n;$$

Начальные условия $\omega(0)$, $M_D(0)$ соответствуют состоянию электропривода в момент времени $t = 0$, а $\dot{\omega}(0)$, $\dot{M}_D(0)$ находятся на основе заданных начальных условий $\dot{\omega}(0)$, $\dot{M}_D(0)$ и системы уравнений (2) и (3), описывающих динамику электропривода.

Для случая (4) решение, соответствующее интервалу $0 < t \leq T$, будет таим:

$$\begin{aligned}
 M_D(t) = & M_c^0 \left(\frac{t}{T} - \tau_1 \right) + \exp\left(-\frac{t}{2T_g}\right) \times \left\{ \left[M_D(0) + M_c^0 \tau_1 \right] \cos \lambda_1 t + \right. \\
 & \left. + \left[2T_g \dot{M}_D(0) + M_D(0) + M_c^0(\tau_1 - 2\tau_2) \right] \left(\sqrt{4 - 1} \right) \sin \lambda_1 t \right\}. \tag{6}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega(t) = & \frac{M_0 - \tau_2 M_c^0}{\beta} - \frac{M_c^0}{\beta} \left(\frac{1}{T} - \tau_1 \right) + \exp\left(-\frac{1}{2T_9}\right) \times \\ & \times \left\{ \left[\omega(0) - \frac{M_0 - \tau_2 M_c^0}{\beta} - \frac{M_c^0}{\beta} \tau_1 \right] \cos \lambda_1 t + \left[2T_9 \dot{\omega}(0) + \right. \right. \\ & \left. \left. + \omega(0) - \frac{M_0 - \tau_2 M_c^0}{\beta} - \frac{M_c^0}{\beta} (1 - 2n) \tau_1 \right] \sqrt{(4n - 1)^{-1}} \sin \lambda_1 t \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

где $\tau_1 = T_M / T$, $\tau_2 = T_9 / T$, $n = T_9 / T_M$.

Для построения решения на интервале $t > T$ при помощи выражения (7) определяем численные значения для M_D , \dot{M}_D , ω , $\dot{\omega}$ в момент времени $t = T$, которые в дальнейшем обозначим $M_D(T)$, $\dot{M}_D(T)$, $\omega(T)$, $\dot{\omega}(T)$.

Значения для $\dot{M}_D(T)$, $\dot{\omega}(T)$ можно определить из следующих выражений:

$$\begin{aligned} \dot{M}_D(T) = & \frac{M_c^0}{T} - \exp\left(-\frac{T}{2T_9}\right) \left\{ \frac{M_c^0}{2T_9} \left[\frac{\tau_1 - 2\tau_2}{(\sqrt{4n - 1})\tau_1} + (\sqrt{4n - 1})\tau_1 \right] \times \right. \\ & \left. \times \sin \lambda_1 T + \frac{M_c^0 \tau_2}{T_9} \cos \lambda_1 T \right\}; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\dot{\omega}(T) = -\frac{M_c^0}{T_9} - \exp\left(-\frac{T}{2T_9}\right) \left\{ \frac{M_c^0 n (2\tau_2 - \tau_1)}{\beta T_9 \sqrt{4n - 1}} \sin \lambda_1 T - \frac{M_c^0}{\beta T_9} \cos \lambda_1 T \right\}. \quad (9)$$

После этого для $\omega(t)$ и $M_D(t)$ на интервале $t > T$ получаем

$$\begin{aligned} M_D(t) = & \frac{1}{\lambda_1} \exp\left(\frac{T - t}{2T_9}\right) \left\{ \left[\left(M_D(T) \right) - M_c^0 \right] \lambda_1 \cos \lambda_1 T - \frac{1}{2T_9} \sin \lambda_1 T \right\} - \\ & - \dot{M}_D(T) \sin \lambda_1 T \cos \lambda_1 t + \left[\dot{M}_D(T) \cos \lambda_1 T + \left(M_D(T) \right) - M_c^0 \right] \times \\ & \times \left(\frac{1}{2T_9} \cos \lambda_1 T + \lambda_1 \sin \lambda_1 T \right) + M_c^0; \end{aligned} \quad (10)$$

$$\omega(t) = \frac{1}{\lambda_1} \exp\left(\frac{T-t}{2T_s}\right) \left\{ \left[\left(\omega(T) - \frac{\Delta M}{\beta} \right) \left(\lambda_1 \cos \lambda_1 T - \frac{1}{2T_s} \sin \lambda_1 T \right) - \dot{\omega}(T) \sin \lambda_1 T \right] \cos \lambda_1 t + \left[\dot{\omega}(T) \cos \lambda_1 T + \left(\omega(T) - \frac{\Delta M}{\beta} \right) \times \left(\frac{1}{2T_s} \cos \lambda_1 T + \lambda_1 \sin \lambda_1 T \right) \right] \sin \lambda_1 t \right\} + \frac{\Delta M}{\beta}. \quad (11)$$

Приведенные выше расчетные формулы, позволяют провести исследование переходных процессов в электродвигателе при действии на систему нагрузок изменяющихся во времени.

Предположим, что на систему привода будет воздействовать нагрузка вида (1). Параметры, характеризующие интенсивность нарастания технологической нагрузки, такие как: $A=0,01$ с, $T=0,05$ с, $b=400$ с⁻², $\omega_0=10\pi$ с⁻¹.

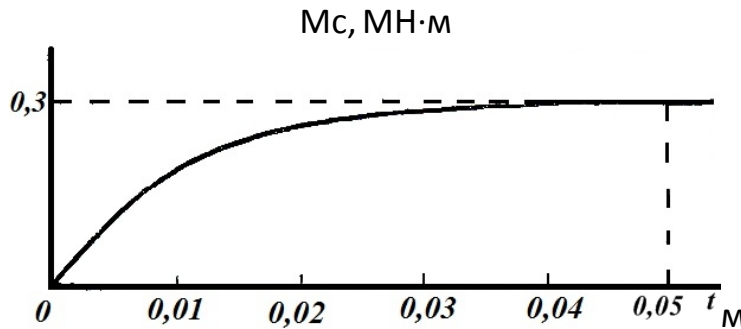


Рисунок 3 – Характер изменения технологической нагрузки M_{∂} , МНм

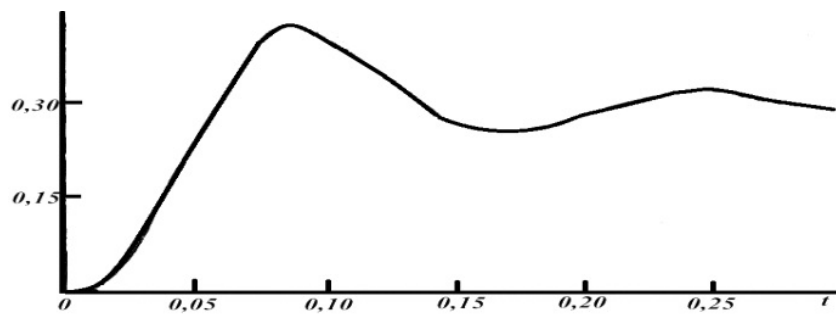


Рисунок 4 – Влияние характера нарастания нагрузки на изменение момента двигателя

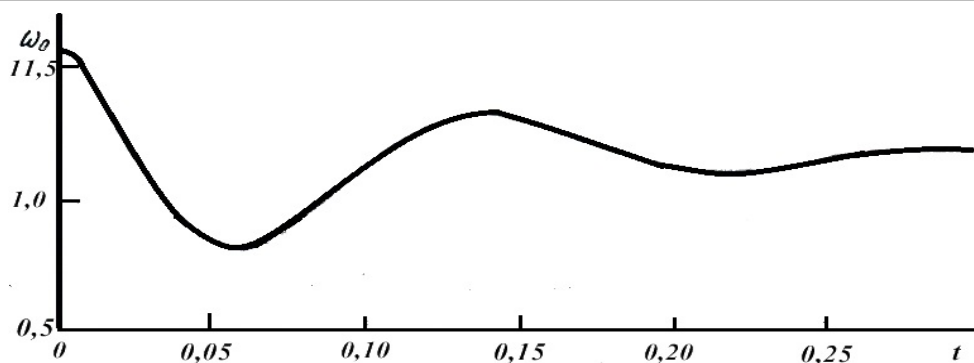


Рисунок 5 – Изменение скорости при нарастании нагрузки

При заданных параметрах характер нарастания нагрузок определяется зависимостью, представленной на рис. 3. Параметры интенсивности A , T , b , ω_0 таковы, что при $t = 0,05$ с достигается установившееся значение $M_c^0 = 0,3 \cdot \text{МН} \cdot \text{м}$.

Воспользуемся приведенными выше решениями и определим характер изменения момента двигателя (M_D) и скорости (ω) в переходном процессе. Приложение технологической нагрузки происходит в установившемся режиме холостого хода и начальные условия для системы уравнений (2) заданы так:

$$M_D(0) = 0, \omega(0) = \omega_0 = 1,56 \text{ с}^{-1}.$$

Вывод. На рис. 4 и 5 приведен характер изменения M_D и ω в переходном процессе при нарастании нагрузки, из которого следует, что характер изменения ее во времени существенно не влияет на динамику переходных процессов. Расчеты показывают, что более существенное влияние на динамичность переходных процессов будет оказывать интенсивность нарастания нагрузок, определяемая значениями параметров A , T , b , ω и безразмерный параметр n , характеризующий отношение электромагнитной постоянной времени двигателя к электромеханической постоянной времени привода.

На практике это означает что интенсивность нарастания нагрузок в переходном процессе, зависящих от времени, проявляется по мере опускания материала из верхней зоны в нижнюю зону дробильной камеры, так как общая масса материала в нижней зоне гораздо больше, чем в верхней. Кроме того, в нижнюю часть дробильной камеры попадают более прочные куски материала. Все это значительно повышает нагрузку на нижнюю часть дробильной камеры, т. е. по всей высоте рабочего пространства дробилки нагрузка распределена неравномерно. Снизить нагрузку на нижнюю часть дробильной камеры и более равномерно распределить ее, можно изменив параметры самой дробильной камеры, т. е. конструкцию дробящих плит. Процесс дробления необходимо регулиро-

вать, это особенно важно при дроблении высокопрочных ферроматериалов.

На конструкцию щековой дробилки, учитывающую, в том числе и вышеуказанный фактор, получены патенты Республики Казахстан и Украины [11, 12].

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванченко Ф.К., Красношапка В.А. Динамика металлургических машин. – М: Металлургия, 1983. – с. 295.
2. Фотиев М. М. Электропривод и электрооборудование металлургических цехов. М.: Металлургия, 1990. С. 352.
3. Голубенцев А. Н. Системы с наименьшим коэффициентом динамичности в переходном процессе. /Сб. «Динамика машин». М.: Машиностроение. 1966.
4. Кузбаков Ж.И. Выбор электродвигателя щековой дробилки с учетом переходных процессов при измельчении высокопрочных материалов. /Материалы Международной Научно-практической конференции «Научно – технический прогресс: техника, технологии и образование» (Актобе, 25–26 июня 2010. С. 11–117.
5. Кузбаков Ж.И. Динамические нагрузки и колебания привода щековой дробилки при переходных процессах. / Материалы международной практической конференции, Актобе, 22-23 апреля 2009 г. С. 211-217.
6. Косарев А. И., Овчаренко Н.В. Энергетические потери в щековых дробилках. // Тр. ВНИИстройдормаша. 1977 г. № 77. С. 21-25.
7. Кузбаков Ж.И. Определение нагрузки в распорной плите щековой дробилки с учетом переходных процессов. // Технология производства металлов и вторичных материалов. Республиканский научный журнал. Карагандинский государственный индустриальный университет. Темиртау, 2009 г. С. 251-258.
8. Кузбаков Ж. И. Анализ пуска электропривода щековой дробилки с учетом переходных процессов. /Материалы XIV Международной научной конференции. Современные проблемы электрометаллургии стали. Челябинск, сентябрь 2010 г. С. 234-240.
9. Соколов М. М., Петров Л. П., Масандилов Л.Б., Ладензон В.А. Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе. М.: Энергия, 1967 г. С. 240.
10. Соколовский В. И., Казак С. А., Кирпичников Б. М., Составов М. И. Динамика крупных машин. М.: Машиностроение, 1969 г. С. 512.
11. Щековая дробилка. Решение от 08.12. 2010. №12–3/4373 о выдаче патента № 2010/071.2 на полезную модель. Авторы Кузбаков Ж. И., Франчук В. П., Федоскин В. А.
12. Патент Украины № 11 201002619 «Щокова дробарка. Решение от 14. 06. 2011. № 150096/3А/11. Авторы Франчук В. П., Кузбаков Ж. И., Федоскин В. А.