

- and cobalt]. Moscow: Metallurgy, 1977, vol.1.
2. Atbashyan E.M., Leizerovich G.Ya., Lonsky I.S., Metelitsyna I.A. *Tsvetnaya metallurgiya* [Non-ferrous metallurgy]. 1962, no. 8, pp. 25.
 3. Sargsyan L.E., Oganesyana A.M. Roasting of a zinc sulfide concentrate producing mainly roasted sulfate products for efficient leaching. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous metals]. 2006, no. 7, pp. 16.
 4. Sargsyan L.E., Oganesyana A.M. Activated sulphatizing roasting of a chalcopyrite concentrate for sulfuric acid leaching. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya* [News of higher educational institutions. Non-ferrous metallurgy]. 2010, no. 5, pp. 11–13.
 5. Zhumashev K.Zh., Karimova L.M., Kairalapov E.T., Imangalieva A.T. Influence of sulphatization of a rough sulfide concentrate with sulphuric acid for autogenous roasting. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii «Geterogennye protsessy v obogashhenii i metallurgii» Abishevskie chteniya* [Proceedings of the International theoretical and practical conference on heterogeneous processes in dressing and metallurgy. Abishev's readings]. 2011, pp. 157–160.
 6. Zhumashev K.Zh., Karimova L.M., Kairalapov E.T. Autogenous roasting of an off-grade rough copper concentrate with oxygen-enriched air. 11th International theoretical and practical conference on fundamental and applied research, development and application of high technologies in the industry, city of Saint Petersburg, 2011, vol.1, pp. 170–172.
 7. Karimova L.M., Zhumashev K.Zh., Malyshev V.P., Kairalapov E.T. Optimization of roasting of off-grade copper sulfide concentrates. *KIMS*, 2011, no. 2(275), pp. 56–67.
 8. Malyshev V.P., Teleshev K.D., Nurmagambetova A.M. *Razrushаемost' i sokhrannost' konglomeratov* [Impact resistance and integrity of conglomerates]. Almaty: R&D center Gylym, 2003, 336 p.
 9. Dukarsky O.M., Zakurdaev A.G. *Statisticheskij analiz i obrabotka dannykh na EHVM «Minsk-22»* [Statistical analysis and data processing on the Minsk-22 computer]. Moscow: Statistics, 1971, 179 p.
 10. Siskov V.I. *Korrelatsionnyj analiz v ehkonomicheskikh issledovaniyakh* [Correlation analysis in economic research]. Moscow: Statistics, 1975, 168 p.
 11. Malyshev V.P. A mathematical description of results of the multi-factor experiment by the Gauss-Seidel method. *Byulleten' Akademii nauk Kazakhskoj SSR* [Bulletin of the Academy of Sciences of the Kazakh Soviet Socialist Republic]. 1978, no. 4, pp. 31–38.
 12. Smirnov V.I., Tikhonov A.I. *Obzhig mednykh rud i kontsentratov* [Roasting of copper ore and concentrates. Metallurgizdat]. Sverdlovsk, 1958, 280 p.

УДК 621. 926. 22

УЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКЕ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ФЕРРОМАТЕРИАЛОВ

Кузбаков Ж. И.

Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова, г. Актюбе, Казахстан.

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.

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 [5–9].

Теория и методы исследования

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].

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].

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

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

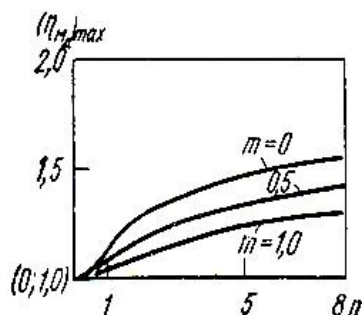


Рис. 1. Динамический перепад скорости ротора двигателя при нарастании нагрузки

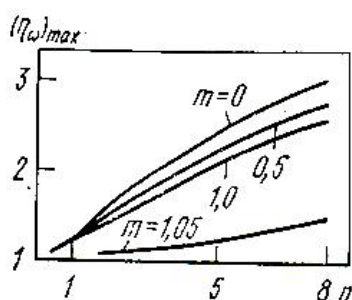


Рис. 2. Динамичность момента двигателя в переходном процессе при нарастании нагрузки

Тогда для случая (1) получаем следующие решения:

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

$$M_d(t) = M_c^0 \left(1 + \frac{\exp(-t/A)}{m\delta - m + 1}\right) + \exp\left(-\frac{t}{2T_s}\right) \times \left\{ \left[M_d(0) - M_c^0 \frac{m\delta - m - 2}{m\delta - m + 1} \right] \cos \lambda_1 t + \frac{1}{\sqrt{4n-1}} \times \left[2T_s \dot{M}_d(0) + M_d(0) - \frac{M_c^0(1-\delta)(2-m)}{m\delta - m + 1} \right] \sin \lambda_1 t; \right. \quad (5)$$

где

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

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

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

$$M_d(t) = M_c^0 \left(\frac{t}{T} - \tau_1\right) + \exp\left(-\frac{t}{2T_s}\right) \times \left\{ \left[M_d(0) + M_c^0 \tau_1 \right] \cos \lambda_1 t + \left[2T_s \dot{M}_d(0) + M_d(0) + M_c^0(\tau_1 - 2\tau_2) \right] \times \left(\sqrt{4n-1} \right)^{-1} \sin \lambda_1 t; \right. \quad (6)$$

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

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

Для построения решения на интервале $t > T$ при помощи выражения (7) определяем численные значения для $M_d, \dot{M}_d, \omega, \dot{\omega}$ 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:

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

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

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

$$M_d(t) = \frac{1}{\lambda_1} \exp\left(\frac{T-t}{2T_s}\right) \times \\ \times \left\{ \left[(M_d(T)) - M_c^0 \right] \lambda_1 \cos \lambda_1 T - \frac{1}{2T_s} \sin \lambda_1 t \right\} - \\ - \dot{M}_d(T) \sin \lambda_1 T \cos \lambda_1 t + \\ + \left[\dot{M}_d(T) \cos \lambda_1 T + (M_d(T)) - M_c^0 \right] \times \\ \times \left(\frac{1}{2T_s} \cos \lambda_1 T + \lambda_1 \sin \lambda_1 T \right) + M_c^0; \quad (10)$$

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

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: $A=0,01$ с, $T=0,05$ с, $b=400$ с⁻², $\omega_0=10\pi$ с⁻¹.

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 $M_c^0 = 0,3$ МН·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:

$$M_d(0) = 0, \omega(0) = \omega_0 = 1,56$$
 с⁻¹.

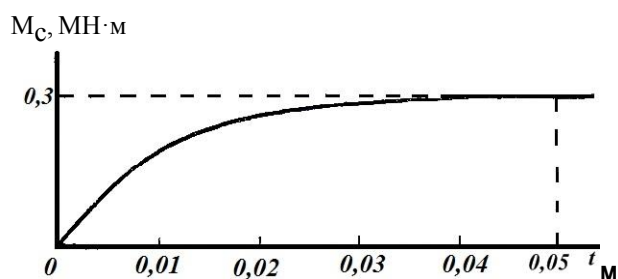


Рис. 3. Характер изменения технологической нагрузки

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.

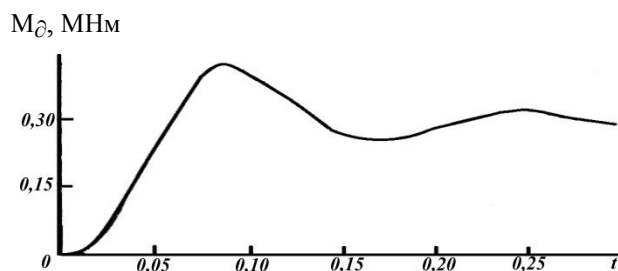


Рис. 4. Влияние характера нарастания нагрузки на изменение момента двигателя

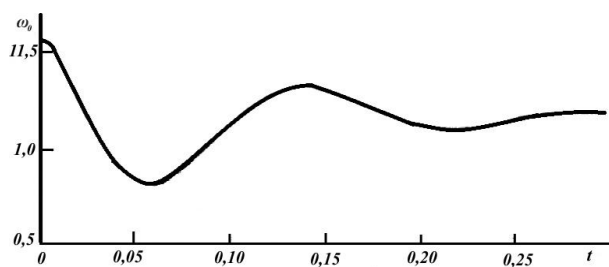


Рис. 5. Изменение скорости при нарастании нагрузки

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 регулировать, это особенно важно при дроблении высокопрочных ферроматериалов.

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

Список литературы

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

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

FACTORING INTO TRANSIENT PROCESSES IN A JAW CRUSHER WHEN CRUSHING FERROMATERIALS

Kuzbakov Zhanabergen Imankulovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Zhubanov Aktobe Regional State University, Aktobe, Kazakhstan. E-mail: agu_metallurgy@mail.ru

Abstract. When crushing high-strength materials, a low efficient operation of jaw crushers is attributed to failure to factor into transient processes to an adequate extent.

Research of transient processes of industrial machines is of a great practical value.

The transient processes in the jaw crusher depend on the speed of an actuating mechanism and its operation period and a turning angle of a supplementary shaft.

This article presents how time-varying loads influence the electric drive system of the jaw crusher.

By solving a system of differential equations of motion, we get design equations allowing a research of time-varying transient processes in the electric drive system.

The research showed that the behavior of loads slightly influenced the dynamics of transient processes. In addition, calculations showed that the dynamics of transient processes was considerably influenced by the speed of loading.

To decrease the speed of loading, it was suggested to change the parameters of a crushing chamber of the crushing machine. A new design of the crushing machine was patented in the republic of Kazakhstan and Ukraine.

Keywords: speed of loading, dynamics, transient process, velocity step, motor torque, crushing chamber.

References

1. Ivanchenko F.K., Krasnoshapka V.A. *Dinamika metallurgicheskikh mashin* [Dynamics of metallurgical machines]. Moscow: Metallurgy, 1983, 295 p.

- Fotiev M.M. *Ehlektrivod i ehlektroobordovanie metallurgicheskikh tsekhov* [Electric drives and electrical equipment of metallurgical shops]. Moscow: Metallurgy, 1990, 352 p.
- Golubentsev A.N. Systems with the smallest dynamic factor in the transition process. *Dinamika mashin* [Dynamics of machines]. Moscow: Mechanical engineering, 1966.
- Kuzbakov Zh.I. Selection of a jaw crusher electric motor subject to transient processes when crushing high-strength materials. *Materialy Mezhdunarodnoj Nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauchno-tekhnicheskij progress: tekhnika, tekhnologii i obrazovanie»* [Proceedings of the International Research and Practice Conference "Scientific-technical progress: technical equipment, technologies and education"]. Aktobe, June 25-26, 2010, pp. 11-17.
- Kuzbakov Zh.I. Dynamical loads and oscillation of a jaw crusher actuator during transient processes. Proceedings of the International Research and Practice Conference. Aktobe, April 22-23, 2009, pp. 211-217.
- Kosarev A.I., Ovcharenko N.V. Energy loss in jaw crushers. *VNIIsroidormash*. 1977, no. 77, pp. 21-25.
- Kuzbakov Zh.I. Determination of loads in a jaw crusher spacing plate subject to transient processes. *Tekhnologiya proizvodstva metallov i vtorichnykh materialov* [Production technology of metals and secondary materials]. Temirtau, 2009, pp. 251-258.
- Kuzbakov Zh.I. Analysis of the start of a jaw crusher electric drive subject to transient processes. *Materialy XIV Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii. Sovremennye problemy ehlektrometallurgii stali* [Proceedings of the 14th International Scientific Conference. Current problems of electric arc steelmaking]. Chelyabinsk, September 2010, pp. 234-240.
- Sokolov M.M., Petrov L.P., Masandilov L.B., Ladenzon V.A. *Ehlektromagnitnye perekhodnye protsessy v asinkhronnom ehlektroprivode* [Electromagnetic transient processes in an asynchronous drive]. Moscow: Energiya, 1967, 240 p.
- Sokolovskiy V.I., Kazak S.A., Kirpichnikov B.M., Sostavov M.I. *Dinamika krupnykh mashin* [Dynamics of large-scale machines]. Moscow: Mashinostroenie, 1969, 512 p.
- Kuzbakov Zh.I., Franchuk V.P., Fedoskin V.A. *Shhekovaya drobilka* [The jaw crusher]. Decision no. 12-3/4373 (08.12.2010) on issue of useful model patent no. 2010/071.2.
- Franchuk V.P., Kuzbakov Zh.I., Fedoskin V.A. *Shhekovaya drobilka* [The jaw crusher]. Patent of Ukraine no. 11 201002619. Decision no. 150096/3A/11 (14.06.2011).

УДК 622.676-82

СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧНОСТИ ПЕРЕДВИЖНЫХ ПРОХОДЧЕСКИХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК С БЕЗРЕДУКТОРНЫМ ГИДРОПРИВОДОМ

Вагин В.С., Филатов А.М., Курочкин А.И.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. В статье представлен способ искусственного демпфирования динамической системы передвижной проходческой подъемной установки, заключающийся в снижении динамических нагрузок в упругих элементах подъемной установки с безредукторным высокомоментным гидроприводом, основанный на введении пропорционального напорного клапана в гидросистему, обеспечивающего перетечку рабочей жидкости из напорной линии в сливную, в переходных процессах разгона и торможения, ограничивающий амплитуду перепада давления на гидромоторе за счет принудительной организации задаваемого давления в напорной гидролинии, реализующего гибкую обратную связь по динамическому давлению.

Ключевые слова: подъемная установка, безредукторный гидропривод, отрицательная гибкая обратная связь, пропорциональный напорный клапан, динамические нагрузки.

Введение

Увеличение энерговооруженности современных подъемных установок и интенсификации их работы приводит к возрастанию динамических нагрузок.

Современные передвижные проходческие подъемные установки (ПППУ) с безредукторным гидравлическим приводом работают в тяжелых режимах нагружения [1–2,11]. Вследствие большой концевой нагрузки на тяговый орган и малого момента инерции органа навивки и безредукторного высокомоментного привода в переходных режимах

разгона возникают в упругих элементах большие динамические нагрузки [3–4]. При разработке такого силового привода ПППУ особо остро встает проблема снижения динамических нагрузок не только в системе привода, но и в упругих элементах механической системы проходческого подъема [5].

Для улучшения динамических свойств приводов с большой инерционной нагрузкой необходимо увеличить демпфирующую способность следящего силового гидравлического привода, что конструктивными мерами не всегда удается выполнить [6–7]. Наиболее эффективно это достигается с помощью корректирующих устройств, ко-