

**А.А.ГРАБСКИЙ**, канд. техн. наук, профессор, *a.a.grabsky@yandex.ru*  
Московский государственный горный университет

**A.A.GRABSKY**, PhD in eng. sc., professor, *a.a.grabsky@yandex.ru*  
Moscow State Mining University

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМБАЙНА MTS-250 (ГЕРМАНИЯ)

Приведена статистическая оценка и статистическое моделирование работы шнекофрезерной динамической системы комбайна типа MTS-250 (Германия), осуществляющей управление работой шнека и вибрологического импульсатора. Выполнено статистическое моделирование с использованием разработанной автором цифровой модели всей системы и отдельных ее элементов, что позволяет варьировать рабочими параметрами комбайна и оценить расход энергии за время его работы на объем добытой горной массы, минимизировать рабочие параметры комбайна.

**Ключевые слова:** шнекофрезерный комбайн, гидромотор, рабочие параметры, цифровая модель, динамика, статистическая оценка, энергетические показатели, производительность.

## STATISTICAL EVALUATION OF THE ENERGY RATES OF THE SURFACE MINER MTS-250 (GERMANY)

Statistical estimation and statistical modeling of screw and cutter dynamic system that controls operation of the screw and vibrological impulsator of the surface miner of the type MTS-250 (Germany) is given. The statistical modeling is carried out using a digital model developed by the author as of the whole system and its individual components. This allows to vary the operating parameters of the surface miner and to evaluate the energy input per amount of the mined rock during the time of its work. This will eventually minimize the operating parameters of the surface miner.

**Key words:** screw and cutter surface miner, hydraulic motor, operating parameters, digital model, dynamics, statistical estimation, energy datum, capacity

Энергопотребление шнекофрезерного комбайна является одним из его основных показателей, а снижение этого показателя – важной технической задачей. В общем случае расход энергии на процесс разрушения горного массива определяется внешним моментом сопротивления, воздействующим на шнекофрезерный исполнительный орган, и угловой скоростью гидромотора:

$$E = M_0 \omega_r k t, \quad (1)$$

где  $k$  – некоторый конструктивный коэффициент;  $\omega_r$  – угловая скорость вала гидромотора,  $\omega_r = d\varphi_r / dt$ , рад/с;  $\varphi_r$  – угол поворо-

та, рад;  $t$  – время, за которое определяется расход энергии, ч.

Для снижения внешнего момента сопротивления  $M_0$  в комбайне использован специальный виброгеологический гидроимпульсатор, вызывающий вибрацию шнека и позволяющий уменьшить силы трения шнека о горный массив при их взаимодействии.

Экспериментальные и теоретические исследования, выполненные автором [1], показали, что внешний момент сопротивления является случайной величиной и может быть описан как стационарный случайный процесс, представляющий собой сумму нормального случайного процесса, характе-

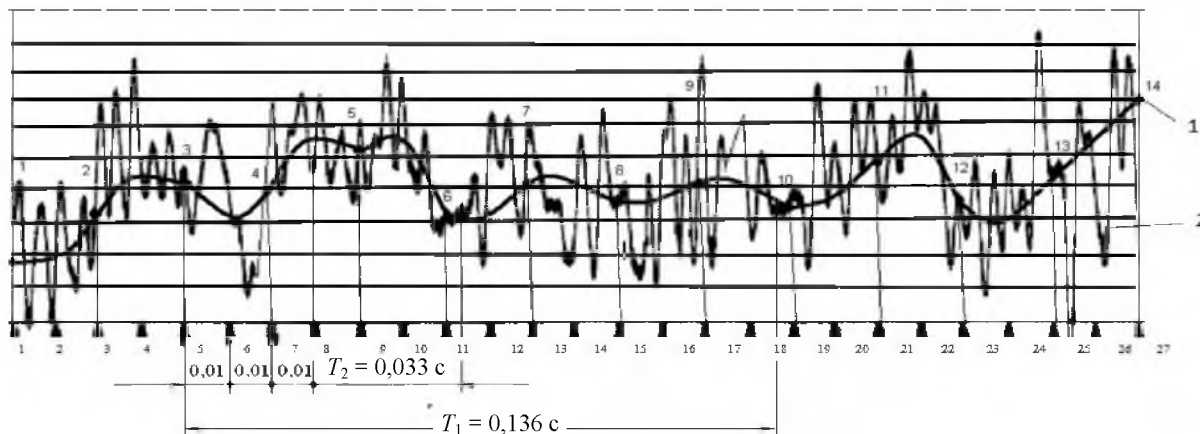


Рис.1. Фрагмент осциллограммы изменения давления в напорной магистрали насосной установки карьерного комбайна MTS-250

$T_1, T_2$  – период колебания давления; 1- временная функция изменения момента сопротивления породы при вращении шнека; 2 – усилие, создающее виброреологический эффект при движении шнека

ристики которого зависят от физико-механических свойств горного массива  $M_1$ , и случайного периодического процесса с равномерно распределенной в интервале  $[-\pi, \pi]$  фазой, параметры которого определяются настройкой виброреологического гидро-пульсатора  $M_2$  (рис.1).

Характеристики моментов следующие: математическое ожидание первого процесса  $m_{M_1}$ , второго  $m_{M_2} = 0$ , корреляционная функция первого процесса

$$K_{M_1}(\tau) = \sigma_{M_1}^2 \exp(-\alpha_\tau \tau),$$

корреляционная функция второго процесса

$$K_{M_2}(\tau) = M_{01}^2 \cos(\omega_b \tau + \varphi_0),$$

где  $\sigma_{M_1}^2$  – дисперсия внешнего момента  $M_1$ , связанного с напряжением разрушения горного массива  $\xi_p$ , Па;  $\alpha_\tau$  – константа, характеризующая физико-механические свойства горного массива,  $c^{-1}$ ;  $M_0, \omega_b$  – амплитуда и частота виброреологического момента, Н/м, рад/с;  $\varphi_0$  – случайная фаза колебаний, равномерно распределенная в интервале  $[-\pi, \pi]$ .

Закон распределения внешнего момента  $M_1$  – нормальный, закон распределения момента  $M_2$  – равномерный в интервале  $[-\pi, \pi]$ .

Вероятностные характеристики суммарного момента  $M_0$ , состоящего из суммы двух статистически независимых величин с

указанными корреляционными функциями и законами распределения, имеют вид [2]:

• корреляционная функция момента  $M_0 = M_1 + M_2$ :

$$K_{M_0} = K_{M_1} + K_{M_2} = \sigma_{M_1}^2 \exp(-\alpha_\tau \tau) + M_{01} \cos(\omega_b \tau + \varphi_0); \quad (2)$$

• дифференциальный закон распределения (закон распределения В.И.Тихонова) записан следующим образом [2]:

$$p(M_0) = \frac{1}{\pi\sqrt{2\pi}} \times \int_0^\pi \exp\left[-\frac{1}{2}\left(M_{0н} - \frac{M_{21}}{k\sigma_\xi} \cos \varphi\right)^2\right] d\varphi, \quad (3)$$

где  $M_{0н} = M_{ш} / k\sigma_\xi$ ;  $M_{ш}$  – суммарный момент;  $\sigma_\xi$  – среднеквадратическое отклонение момента  $M_{ш}$ .

Характер изменения принятого распределения при изменении соотношения между моментами  $M_1$  и  $M_2$  приведен на рис.2. Как видно, при изменении соотношения  $a$  от 0 до 10 закон распределения изменяется от нормального до равномерного, что делает задачу о принятии его устойчивого вида весьма проблематичной.

Второй сомножитель в уравнении (1) – угловая скорость гидромотора  $\omega_r = d\varphi_r / dt$  претерпевает различные случайные измене-

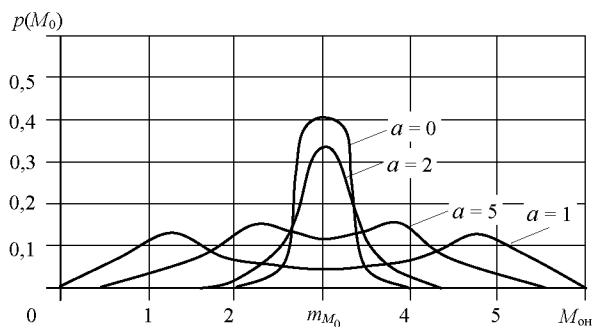


Рис.2. Характер изменения закона распределения нормированного момента  $M_{он}$  от величины  $a = M_{в1}/k\sigma_{\xi}$

ния при работе комбайна, которые из-за нелинейности механической системы определить теоретически достаточно сложно.

Для определения статистических характеристик величины  $d\phi_r/dt$  была использована разработанная автором цифровая модель [3] механической системы комбайна MTS-250, осуществляющей управление работой шнека и виброреологического гидропульсатора (рис.3).

На этой модели было выполнено статистическое моделирование, заключающееся в исследовании поведения отдельных элементов системы и системы в целом при воздействии на нее полного момента  $M_0$ , описываемого случайным процессом с характеристиками  $m_{M_0}$ ,  $D_{M_0}$  и  $K_m(\tau)$ . В частности, была

установлена зависимость угловой скорости  $\dot{\phi}_r$  гидромотора от полного момента  $M_0$ .

Установлено, что при значительной жесткости привода передаточная функция

$$W(j\omega) = \frac{\dot{\phi}(j\omega)}{M_0(j\omega)} = \text{const}$$

представляет собой коэффициент передачи в виде некоторого постоянного числа  $K_{п}$ .

В этом случае  $\dot{\phi}_r = \omega_r = M_{ш}K_{п}$  и формулу (1) можно записать в виде:

$$E = Nt = M_{ш}\omega_r\bar{K}t = M_{ш}^2K_{п}\bar{K}t, \quad (4)$$

при этом энергопотребление и мощность  $N$  имеют такое же распределение, как и полный момент сопротивления  $M_{ш}$ .

Более сложным является случай, когда жесткость гидромотора  $C_{r2} \ll C_{r1}$  и передаточная функция не является константой. В этом случае величина  $E$  была определена экспериментально с использованием дополнительно разработанной модели (рис.4).

В модели для расчета потребляемой энергии имеются два входа, на которые подаются значения момента  $M_0$  (вход 1), и скорость  $\omega_r$  (вход 2). Эти величины формируются в общей модели (см.рис.3, точки А и В). Далее эти величины поступают на интеграторы, где они интегрируются на определенном интервале времени  $\Delta t$  (час, смена,

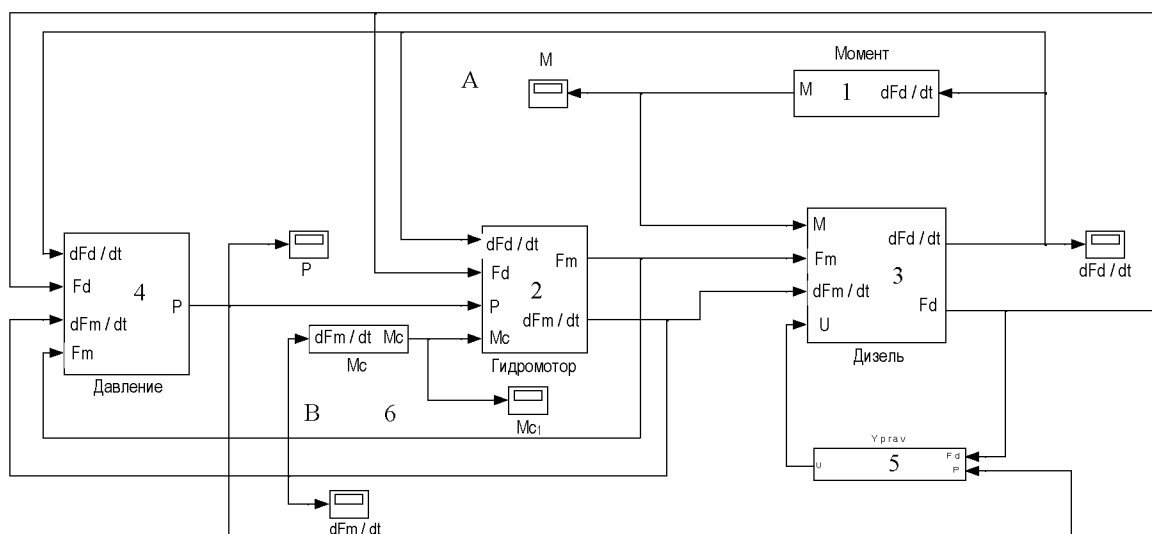


Рис.3. Схема общей модели рабочей системы комбайна для анализа динамических процессов

1 – блок формирования динамического момента дизеля; 2 – модель функционирования гидромотора; 3 – модель дизеля; 4 – гидропульсатор; 5 – блок управления гидропульсатором; 6 – блок формирования момента сопротивления

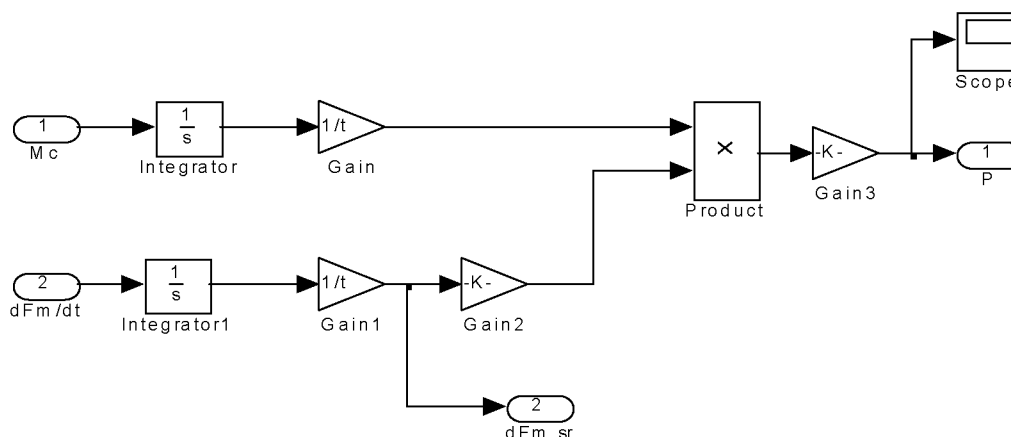


Рис.4. Модель для расчета усредненной мощности  $N$  и усредненного расхода энергии  $E$

сутки и т.д.) и делятся на это время, т.е. находятся усредненные среднеинтегральные на интервале  $\Delta t$  величины момента  $\tilde{M}_0$  и скорости  $\tilde{\omega}_r = d\varphi_r / dt$ :

$$\tilde{M}_0 = \left[ \int_0^{\Delta t} M_0(t) dt \right] / \Delta t,$$

$$\tilde{\omega}_r = \left[ \int_0^{\Delta t} \dot{\varphi}_r(t) dt \right] / \Delta t.$$

Затем усредненные величины перемножаются, учитываются коэффициенты  $k$  и получается усредненная на интервале  $\Delta t$  мощность комбайна

$$\tilde{N} = \tilde{M}_0 \tilde{\omega}_r k. \quad (5)$$

Если не осуществлять деления на временной интервал  $\Delta t$ , то можно получить расход энергии (за час, смену, сутки):

$$E(t) = k \int_0^{\Delta t} M_{\text{ш}}(t) \omega_r(t) dt.$$

Если разделить расход энергии  $E$  за время  $T$  на объем горной массы  $V = QT$ , где  $Q$  – объемная производительность комбайна,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , то можно получить удельный показатель, равный

$$e = \frac{NT}{QT},$$

т.е. расход энергии на кубометр произведенной продукции. В зависимости от того,

как получен расход энергии, этот показатель может быть усредненным или вероятностным.

Варьируя параметры комбайна, можно добиться минимизации этих показателей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Грабский А.А. Анализ динамического нагружения шнекофрезерного рабочего органа карьерного комбайна статистическим методом // Горная промышленность. 2012. № 4 (104). С.158-160.
2. Грабский А.А. Установление дифференциального закона распределения полного момента сопротивления на шнекофрезерном рабочем органе карьерного комбайна // Горная промышленность. 2012. № 5 (105). С.91-95.
3. Грабский А.А. Использование цифрового моделирования при анализе устойчивости динамической системы карьерного комбайна со шнекофрезерным рабочим органом типа MTS (Германия) // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С.204-211.

## REFERENCES

1. Grabsky A.A. Analysis of dynamic loading of the screw and cutter working body of a surface miner by the statistical method // Mining Industry. 2012. № 4 (104). P.158-160.
2. Grabsky A.A. Establishment of the differential distribution law of the whole resistance moment on the screw and cutter working body of a surface miner // Mining Industry. 2012. № 5 (105). P.91-95.
3. Grabsky A.A. The use of digital simulation in the stability analysis of the dynamical system of a surface miner with screw and cutter working body of the type MTS (Germany) // Volga Region Scientific-technical Newsletter. 2012. № 6. P.204-211.