© Р.Ю. Подэрни, А.А. Грабский, Д.А. Кузиев, 2007

УДК 622.232(043.3)

Р.Ю. Подэрни, А.А. Грабский, Д.А. Кузиев

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ПОРОДЫ О ШНЕК НА ТЕХНИЧЕСКУЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КАРЬЕРНОГО КОМБАЙНА С ШНЕКО-ФРЕЗЕРНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

В технической литературе имеются многочисленные сведения о результатах экспериментальных исследований [1] и опытно-промышленных работах по оценке производительности фрезерных комбайнов рис. 1. Однако, как правило, предлагаемые методы расчета производительности не позволяют получить результат, адекватный промышленным данным, особенно для машин с высокими усилиями резания.

Эффективность работы карьерного комбайна зависит от многих взаимосвязанных между собой факторов. Считается, что карьерный комбайн, являясь, машиной непрерывного действия, при отработке породного пласта в общем случае имеет техническую производительность в плотном теле равную:

$$П_T = 3,6 \cdot 10^3 BhW \text{, м}^3\text{/час} \qquad (1)$$

где B - ширина захвата слоя породы, м; $B_{\min} \leq B \leq [B]$, здесь $[B]$ - длина шнеко-фрезерного органа; h - высота слоя породы, м; $h_{\min} \leq h \leq [h]$, здесь $[h]$- максимально возможная высота слоя, определяемая конструкцией крепления цапф шнеко-фрезерного органа; W - скорость движения карьерного комбайна при фрезировании слоя породы, м/с.

Естественно, что выражение (1) хотя и учитывает некоторые конструктивные ($[B]$,$[h]$) и косвенно энергетические параметры (W) комбайна, практически не позволяет установить величину производительности при различных значениях, например, высоты слоя породы - h, ее прочности- σ, установленной мощности силовой установки комбайна, а также приемы работы машиниста-оператора при фрезеровании слоя породы.

В свою очередь, на основе результатов полученных в [2] и [3], нами установлена зависимость энергоемкости выемки слоя породы карьерным комбайном с шнеко-фрезерным органом от его конструктивных и технологических параметров: ω - скорости вращения шнеко-фрезерного органа, (рад/с); D - диаметра окружности режущих кромок шнека (м); W - скорости движения карьерного комбайна при фрезировании слоя породы; σ - прочности породы, (Па); f - эффективного коэффициента трения породы о шнек; ψ - отношения нормальной составляющей реакции к её касательной составляющей при фрезеровании забоя, принимаемого равным 0,3 ÷ 0,6 (причем большее значение отношения соответствует связным пластичным породам, а меньшее –

Рис. 1. Карьерный комбайн MTS-250 на разработке пласта Джерой–Сардаринского месторождения фосфоритов

крепким и хрупким); $\eta_x, \eta_ш$ - КПД механизмов хода и вращения шнека комбайна, соответственно; φ_0 - угла контакта витка шнека со слоем породы в плоскости его вращения, рад; в соответствии с результатами, полученными в [2] равным:

$$\varphi_0 = ar\cos\left(1 - \frac{2h}{D}\right), \text{ рад,} \qquad (2)$$

и от безразмерной функции - $\lambda(\varphi_0, \psi)$ имеющей вид:

$$\lambda(\varphi_0, \psi) = \cos\frac{2}{3}\varphi_0 - \psi\sin\frac{2}{3}\varphi_0 \quad . \qquad (3)$$

$$H_W = \frac{\sigma}{\varphi_0}\left[\frac{1 + f\psi}{\eta_ш} + 2\frac{\lambda(\varphi_0, \psi)}{\eta_x}\cdot\frac{W}{\omega D}\right]; \text{ нм/м}^3 \qquad (4)$$

Далее, учитывая баланс мощности в приводах карьерного комбайна $П_T \cdot H_W = N_ш + N_x$, а также уравнение (4) после соответствующих алгебраических преобразований имеем выражение для определения технической производительности (в плотном теле):

$$П_T = \frac{3,6 \cdot \varphi_0 (N_ш + N_x)}{\sigma\left[\frac{1 + f\psi}{\eta_ш} + 2\frac{\lambda(\varphi_0, \psi)}{\eta_x}\cdot\frac{W}{\omega D}\right]}; \text{ м}^3\text{/час} \qquad (5)$$

здесь $N_ш, N_x$ - установленные мощности приводов вращения шнека и хода карьерного комбайна, соответственно, Вт.

Поскольку карьерный комбайн работает с возможностью одновременного бес-

ступенчатого регулирования скоростей вращения шнека - ω и его подачи - W (скорости движения комбайна), то машинист-оператор при выемке слоя породы различной высоты – h практически выдерживает безразмерное соотношение $\theta = \frac{2W}{\omega D} \approx const$ пос-тоянным.

Что касается эффективного коэффициента трения породы о шнек, то здесь следует отметить, что для последних лет характерно интенсивное накопление фактов и результатов, относящихся к действию вибрации на различные сложные среды – неоднородные твердые тела, включая различные грунты [4]. При этом, наибольший для практики эксплуатации карьерного комбайна представляет случай, когда под воздействием вибрации в электрогидромеханической системе привода шнеко-фрезерного органа ее поведение резко изменяется. В свое время, исследуя этот эффект, академик П.А. Ребиндер предложил называть его виброреологическим эффектом. В работе [4] виброреология определена как область механики, в которой изучается изменение под влиянием вибрации реологических свойств тел по отношению к воздействию медленных сил, в то время как «истинные» физические свойства остаются неизменными. Характерной чертой виброреологических констант (модулей упругости, коэффициентов сухого трения, вязкости и т.п.) является их существенная зависимость от вибрации. Следует отметить, что такую характеристику, как эффективный коэффициент сухого трения (как виброреологическое понятие впервые введено в работе [5]) нельзя отождествлять с истинным коэффициентом трения Амонтона-Кулона, потому что он существенно зависит от параметров колебаний шнека в плоскости его вращения ($\omega \pm \Delta\omega$).

Поделив обе части уравнения (5) на $N_ш + N_x$, получим величину удельной технической производительности карьерного комбайна, характеризующую объем породы отрабатываемого пласта в единицу времени приходящегося на один киловатт установленной мощности силовой установки комбайна (без учета установленной мощности конвейеров и вспомогательного оборудования).

$$\frac{П_т}{N_ш + N_x} = \frac{3,6 \cdot \varphi_0}{\sigma\left[\frac{1 + f\psi}{\eta_ш} + 2\frac{\lambda(\varphi_0,\psi)}{\eta_x} \cdot \frac{W}{\omega D}\right]}; \frac{м^3 / час}{кВт} \qquad (6)$$

Графическая интерпретация зависимости удельной технической производительности (6) для карьерного комбайна MTS – 250 фирмы «MAN TAKRAF» (D = 1,6 м) от высоты фрезеруемого слоя- h для прочности породы $\sigma_{\min}$ = 25 МПа и $\sigma_{\max}$ = 50 МПа (фосфоритовое Джерой-Сардаринское месторождение, Республика Узбекистан); при различных значениях эффективного коэффициента трения - f породы о шнек приведены на рис. 2.

Анализ зависимостей приведенных на рис. 2. свидетельствует, что величина удельной технической производительности карьерного комбайна при заданных его конструктивных (W , D) и энергетических ($N_ш, N_x, \eta_x, \eta_ш$) параметрах не линейно зависит не только от технологических (σ, φ_0, ψ , $\lambda(\varphi_0,\psi)$), но и от виброреологических ($\omega \pm \Delta\omega$, f) параметров, а также от приемов работы машиниста-оператора при фрезеровании слоя породы.

Известно, что при отработке породного блока (рис. 3) карьерный комбайн выполняет вспомогательные операции: врезку, повороты и развороты с длительностью цикла - $T_ц$ составляющего:

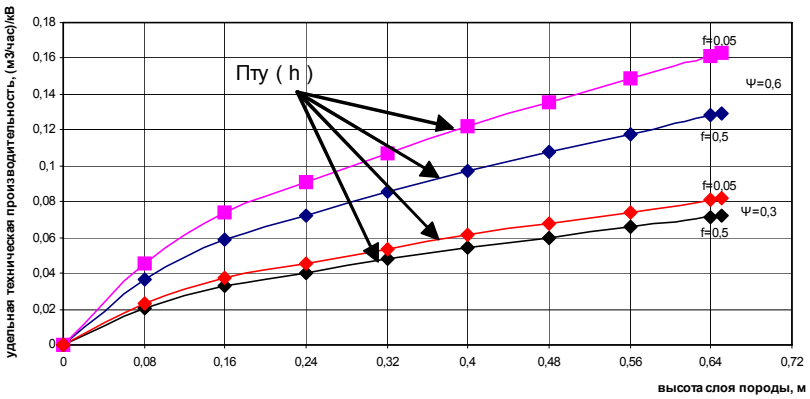

Рис. 2. Зависимость удельной технической производительности -Пту (в плотном теле) от высоты слоя породы- h

$$T_ц = \frac{3,6 \cdot 10^{-3}}{\xi \frac{W}{L}} \left(1 + \frac{R_{ПВ}\varphi_{ПВ}}{L} \cdot \frac{W}{W_{ПВ}}\right), \text{ час} \quad (7)$$

здесь ξ - коэффициент, учитывающий сокращение длительности цикла за счет совмещения операций во времени; $R_{ПВ}$ - радиус поворота (разворота), м; $\varphi_{ПВ}$ - угол поворота (разворота), рад; L - длина полосы (продольной или поперечной см. рис. 3), м; $W_{ПВ}$ - средняя скорость поворота (разворота), м/с.

В свою очередь, коэффициент забоя - $K_з$ представляющий собой от-ношение длительности фрезерования слоя породы к длительности цикла с учетом постоянного безразмерного соотношения - $\theta = \frac{2W}{\omega D}$, определится как:

$$K_з = \frac{1}{1 + \frac{R_{ПВ}\varphi_{ПВ}}{2L} \cdot \frac{\theta\omega D}{W_{ПВ}}} \quad (8)$$

Таким образом, забойная производительность составит:

$$П_з \equiv \frac{П_T}{K_p} \cdot K_з, \text{ м}^3\text{/час} \quad (9)$$

где K_p - коэффициент разрыхления при фрезеровании слоя породы.

На рис. 4 приведена зависимость коэффициента забоя от скорости вращения шнеко-фрезерного органа карьерного комбайна MTS – 250 при: $R_{ПВ}$ = 7,8 м; $\varphi_{ПВ}$ = π рад; $W_{ПВ}$ = 0,2 м/с; ω = 0,68÷4,4 рад/с; θ = 56,3·10^3; D = 1,6 м; показывающая, что коэффициент забоя в реальном диапазоне скоростей вращения шнеко-фрезерного органа, существенно зависит только от длины (продольной или поперечной) полосы - L слоя породы.

Выводы

Анализ результатов приведенных на рис. 2 и рис. 4 свидетельствует, что:

- техническая производительность карьерного комбайна при заданных его конструктивных (W, D) и энергетических ($N_ш, N_x, \eta_x, \eta_ш$) параметрах не линейно зависит не только от технологических ($\sigma, \varphi_0, \psi, \lambda(\varphi_0, \psi)$), но и от виброреологических ($\omega \pm \Delta\omega, f$) параметров, а также от приемов работы машиниста-оператора при фрезеровании слоя породы;

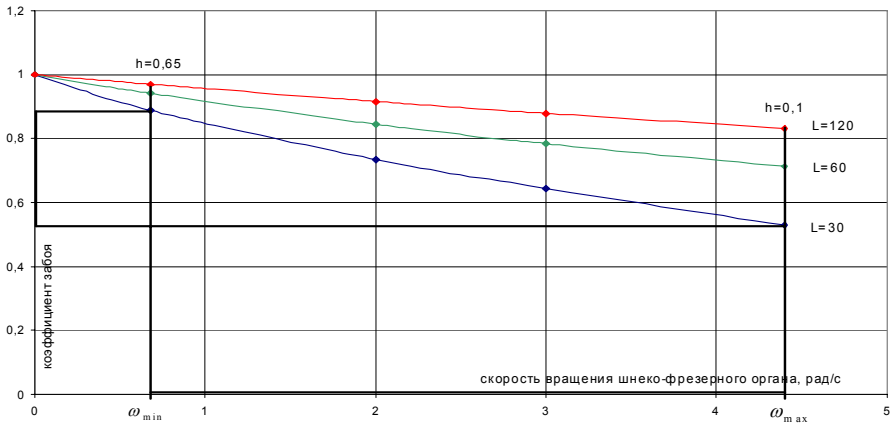

Рис. 4 Зависимость коэффициента забоя от скорости вращения шнеко-фрезерного органа.

- забойная производительность в реальном диапазоне скоростей вращения шнеко-фрезерного органа – $\omega_{min} \leq \omega \leq \omega_{max}$ существенно зависит только от длины (продольной или поперечной) полосы - L слоя породы. С увеличением длины фрезеруемого слоя породы забойная производительность увеличивается, а с увеличением скорости вращения шнеко-фрезерного органа уменьшается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Медников Н.Н, Сытенков В.Н.* Методика расчета производительности роторных экскаваторов и фрезерных комбайнов применительно к технологическим схемам разработки вскрышных пород фосфоритного карьера. Навои НГГИ// Горный вестник Узбекистана №1, 2001. С. 88-91.
2. *Горцакалян Л.О., Мурашов М.В., Нажесткин Б.П., Самсонов Л.И.* Сборник задач по теории и расчету торфяных машин. - М.: Недра, 1966.
3. *Крагельский И.В., Михин Н.М.* Узлы трения машин. Справочник. - М.: Машиностроение, 1984. - 280 с. ил.
4. *Блехман И.И.* Метод прямого разделения движений в задачах о действии вибрации на нелинейные механические системы. – «Известия АН СССР. Серия Механика твердого тела», 1976, №6, с. 13-27.
5. *Блехман И.И., Моласян С.А.* Об эффективных коэффициентах трения при взаимодействии упругого тела с вибрирующей поверхностью. – «Известия АН СССР. Серия Механика твердого тела», 1970, №4, с. 4-10. ГИАБ

Коротко об авторах

Подэрни Р.Ю. – доктор технических наук, профессор,
Грабский А.А. – кандидат технических наук, доцент,
Кузиев Д.А. – аспирант,

Московский государственный горный университет.