

3. Gal'tseva I.M. Development of conditions for thin veneers facing of particle boards. Cand. techn. sci. abs. diss. Voronezh, 2005. 136 p.

4. Filonov A.A., Zhuravleva Yu.S. Thin veneers facing of wood-based panels // Derevoobrabatvayushchaya promyshlennost'. 2010. № 3. P. 16-19.

5. Plakhov V.N. Production of sliced veneer . M.: Lesn. prom-st', 1975. 128 p.

6. Simonov A.S., Voronin V.A. Production and sorting of rotary-cut and sliced veneer . M.: Vyssh. shkola, 1989. 240 p.

7. Pizhurin A. A., Rozenblit M.S. The researches of wood-working processes . M.: Lesn. prom-st', 1984. 232 p.

УДК 622.232.72

К вопросу об определении производительности карьерных комбайнов в различных условиях эксплуатации

А.Ю. Чебан

Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук, ул. Тургенева 51, Хабаровск, Россия
chebanay@mail.ru

Статья поступила 13.05.2014, принята 27.07.2014

Рассматривается вопрос определения технической производительности карьерных комбайнов в зависимости от физико-механических характеристик разрабатываемых горных пород. Указывается место карьерного комбайна в технологическом комплекте горного оборудования на разработке вскрышных и добычных пород по послойно-полосовой технологии. Анализируются факторы, сдерживающие внедрение и развитие послойно-полосовой технологии на отечественных горнодобывающих предприятиях. Предлагается определение производительности комбайна, исходя из баланса мощности двигателя и мощностей, затрачиваемых на привод рабочего органа, транспортеров и механизма передвижения карьерного комбайна. В расчетной схеме делаются допущения, позволяющие упростить определение технической производительности. Мощность, потребляемая на привод рабочего органа комбайна, определяется с учетом затрат энергии на фрезерование и подъем породы. Эксплуатационная производительность комбайна рассчитывается с учетом потерь времени на обслуживание, маневрирование и смену автосамосвалов под погрузкой. Учитывается также зависимость эксплуатационной производительности комбайна от опыта машиниста. В работе приводятся рекомендуемые величины коэффициентов, учитывающих различные потери времени при определении эксплуатационной производительности. Предлагаемая методика расчета производительности позволяет более обоснованно подходить к выбору модели карьерного комбайна применительно к работе в конкретных горно-геологических условиях.

Ключевые слова: карьерные комбайны, горные породы, техническая и эксплуатационная производительность, послойно-полосовая технология, сложноструктурное месторождение.

On determination of the capacity level of surface miners under various operating conditions

A. Yu. Cheban

Institute of Mining of Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 51 Turgenev Str., Khabarovsk, Russia
chebanay@mail.ru

Received 13.05.2014, accepted 27.07.2014

The article deals with the question of determination of technical capacity level of surface miners depending on the physical and mechanical properties of mined rocks. It also specifies the location of the surface miner in technological package of mining equipment under mining overburden and gain rocks with layer-by-layer and bandpass technology. The factors constraining implementation and development of layer-by-layer and bandpass technology at domestic mining enterprises are analyzed. Determination of a capacity level is also proposed proceeding from the balance of engine power and the power required to the working body drive, transporters and a mechanism of movement of a surface miner. Some allowances have been made in calculation scheme to simplify determination of technical capacity. The power consumed on a drive of the working body of a surface miner is determined by taking into account the energy consumption for rocks milling and hoisting. Operational capacity of the miner is calculated by taking into account the loss of time for maintaining, maneuvering and changing dump trucks under loading. Dependence of operational capacity of a surface miner on operator's experience is also taken into account. The article shows some recommended coefficient values that take into account various losses of time when determining operational capacity. The method proposed for calculating capacity allows choosing the model of a surface miner in a more efficient way relating to the work in particular geological conditions.

Keywords: surface miners, rocks, technical and operational capacity level, layer-by-layer and bandpass technology, complex structured deposit.

Введение. В настоящее время все более широкое распространение на открытых горных работах получают карьерные комбайны, которые используются при разработке месторождений различных полезных ископаемых [1, 2]. В России, и, особенно, в Сибири и на Дальнем Востоке послойно-полосовые технологии с применением карьерных комбайнов пока имеют ограниченное применение [3]. Нежелание горнодобывающих предприятий переходить на новые технологии связано с рядом причин, в частности с недостатком достоверной информации о преимуществах этих технологий и технических возможностях нового оборудования, отсутствием достаточной теоретической и экспериментальной информации по эксплуатационным характеристикам карьерных комбайнов применительно к конкретным условиям эксплуатации. В связи с этим горнодобывающие предприятия в основном используют устаревшие циклические технологии с применением буровзрывных работ и одноковшовых экскаваторов на выемке горной массы [4]. По техническим характеристикам, предоставляемым производителями горного оборудования, не всегда можно судить о производительности комбайна в конкретных горно-геологических условиях, в зависимости от которых производительность комбайна при одной и той же потребляемой мощности может изменяться в несколько раз. В то же время эксплуатирующим организациям при выборе оборудования необходимо с определенной точностью знать возможную производительность машины при ее работе в конкретных условиях для более эффективного вложения средств при выборе из предоставляемого производителями типоразмерного ряда карьерных комбайнов.

Это особенно важно при разработке сложноструктурных месторождений полезных ископаемых, на которых карьерные комбайны весьма эффективно используются при селективной выемке горных пород [1]. На сложноструктурных месторождениях комбайн разрабатывает несколько типов горных пород, которые могут значительно отличаться друг от друга прочностными свойствами, следовательно, производительность машины будет изменяться в течение смены в сторону увеличения и уменьшения. Карьерный комбайн в послойно-полосовой технологии является головной машиной, работающей в комплекте с автосамосвалами, погрузчиками, бульдозерами и другим горным оборудованием, а с изменением производительности карьерного комбайна потребное количество автосамосвалов и других машин постоянно будет изменяться [3]. Следовательно, для рационального формирования парка машин важно знать производительность головной машины комплекта.

Определение технической производительности. Оценить возможную техническую производительность выемочной машины при работе с конкретной горной породой можно из ее физико-механических свойств, через которые аналитическим путем определяются удельные энергетические показатели разрушения породы [5, 6]. К таким физико-механическим свойствам можно отнести сопротивление породы на сжатие $\sigma_{сж}$, сопротивление породы на растяжение σ_p , сопротивление породы на срез

$\sigma_{ср}$, объемную массу горной породы ρ и некоторые другие. Получить эти данные не представляет сложности, поскольку перед освоением месторождения проводится анализ физико-механических свойств пород, слагающих месторождение.

При безвзрывной выемке горных пород карьерными комбайнами разрушение происходит в основном в результате преодоления сопротивления породы на срез, под воздействием резцов фрезерного рабочего органа. Усилие на острие резца создает напряженное состояние в контактирующем с ним массиве породы с формированием уплотненного ядра. Геометрические размеры уплотненного ядра быстро возрастают вплоть до появления в массиве трещины. После чего рост ядра прекращается, и оно начинает играть роль клина, который увеличивает трещину и отрывает элемент породы (стружку) от массива [7, 8].

Техническую производительность карьерного комбайна целесообразно определять из баланса мощности двигателя [9]. В процессе работы потребная мощность двигателя $N_{дв}$ комбайна складывается из мощностей, затрачиваемых на привод рабочего органа N_p и транспортеров $N_{тр}$, а также на перемещение комбайна $N_{п}$, эти слагаемые можно выразить через производительность комбайна. Баланс мощности при работе карьерного комбайна равен:

$$N_{дв} = N_p + N_{тр} + N_{п}. \quad (1)$$

При расчете составляющих мощности сделаем ряд допущений, которые позволят упростить расчет ориентировочной технической производительности комбайна: мощность на разгон грунта рабочим органом примем равной нулю; вектор результирующей сопротивлений, возникающих на рабочем органе, действует в горизонтальном направлении; при разработке породы к рабочему органу подводится номинальный крутящий момент; силы, действующие на рабочий орган, не вызывают изменения силы тяжести комбайна на забой.

Мощность, потребляемая рабочим органом карьерного комбайна, складывается из затрат на фрезерование и подъем породы:

$$N_p = \frac{\Pi}{\eta_p} \left[E_p + \rho g \left(D_p - \frac{h_{тр}}{2} \right) \right], \quad (2)$$

где Π – техническая производительность карьерного комбайна, $m^3/ч$; η_p – коэффициент полезного действия привода рабочего органа комбайна; E_p – удельная энергоемкость разрушения породы при фрезеровании, $МДж/м^3$; ρ – объемная масса породы, $кг/м^3$; g – ускорение свободного падения, $м/с^2$; D_p – диаметр рабочего органа, $м$; $h_{тр}$ – глубина траншеи, $м$.

Мощность на привод транспортеров комбайна складывается из затрат на подъем, горизонтальное перемещение и разгон породы, а также на поступательное и вращательное движение элементов транспортеров:

$$N_{\text{тр}} = \prod_1^i \left[\frac{\rho k_{\delta i}}{\eta_{\text{тpi}}} (gh_i + gk_{\text{тi}}l_i + v_i^2) + \frac{2l_i k_{\delta i} k_{\text{тi}}}{F_i \eta_{\text{тpi}}} (g_{\text{тi}} + g_{\text{pi}}) \right], \quad (3)$$

где i – число транспортеров карьерного комбайна; $k_{\delta i}$ – коэффициент, учитывающий затраты мощности на перегибы тягового органа, вращение концевых барабанов и звездочек i -го транспортера; $\eta_{\text{тpi}}$ – коэффициент полезного действия привода i -го транспортера; h_i – высота подъема породы i -м транспортером, м; $k_{\text{тi}}$ – приведенный коэффициент сопротивления перемещению тягового органа на роликах i -го транспортера; l_i – длина пути перемещения породы по горизонтали на i -м транспортере, м; v_i – скорость перемещения тягового органа i -го транспортера, м/с; F_i – площадь поперечного сечения породы на тяговом органе i -го транспортера, м²; $g_{\text{тi}}$ и g_{pi} – удельные погонные силы тяжести тягового органа и роликов i -го транспортера, Н/м.

С уменьшением производительности карьерного комбайна количество перемещаемой горной массы сократится, и скорость перемещения v_i тяговых органов транспортеров может быть уменьшена.

Мощность, потребляемая приводом передвижения, складывается из затрат на качение комбайна по поверхности рабочей площадки, преодоление уклона и горизонтальной составляющей результирующей сопротивлений, возникающих на рабочем органе:

$$N_n = \frac{\Pi}{F_{\text{тр}} \eta_n} \left[Mg(f \pm a) + \frac{2M_p}{D_p} \right], \quad (4)$$

где $F_{\text{тр}}$ – площадь сечения траншеи, м²; η_n – коэффициент полезного действия привода передвижения комбайна; M – масса комбайна, кг; f – коэффициент сопротивления качения; a – уклон трассы движения комбайна; M_p – номинальный крутящий момент на рабочем органе, Н.м.

Подставим зависимости (2-4) в формулу (1) и выразим из нее производительность:

$$\Pi = \frac{N_{\text{дв}}}{A + B + C}, \quad (5)$$

где в формуле (5): $A = \frac{1}{\eta_p} \left[E_p + \rho g \left(D_p - \frac{h_{\text{тр}}}{2} \right) \right];$

$$B = \sum_1^i \left[\frac{\rho k_{\delta i}}{\eta_{\text{тpi}}} (gh_i + gk_{\text{тi}}l_i + v_i^2) + \frac{2l_i k_{\delta i} k_{\text{тi}}}{F_i \eta_{\text{тpi}}} (g_{\text{тi}} + g_{\text{pi}}) \right];$$

$$C = \frac{1}{F_{\text{тр}} \eta_n} \left[Mg(f \pm a) + \frac{2M_p}{D_p} \right].$$

Таким образом, в первом приближении можно будет определить техническую производительность карьерного комбайна в конкретных горно-геологических условиях.

Определение сменной эксплуатационной производительности. Сменная эксплуатационная производительность карьерного комбайна значительно ниже технической в связи с тем, что часть производственного времени затрачивается на обслуживание комбайна, его маневрирование на рабочей площадке, ожидание самосвалов и их замену под погрузкой. Сменную эксплуатационную производительность можно определить по зависимости:

$$\Pi_{\text{э}} = \Pi T_{\text{см}} k_{\text{маш}} k_{\text{об}} k_{\text{п}} k_{\text{м}},$$

где $T_{\text{см}}$ – продолжительность рабочей смены, ч; $k_{\text{маш}}$ – коэффициент, учитывающий опыт машиниста комбайна; $k_{\text{об}}$ – коэффициент, учитывающий потери времени на обслуживание комбайна; $k_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий потери времени при ожидании и замене автосамосвалов; $k_{\text{м}}$ – коэффициент, учитывающий потери времени на маневрирование комбайна.

Коэффициент, учитывающий опыт машиниста, варьируется в широких пределах от $k_{\text{маш}} = 1,1$ – максимальная опытность до $k_{\text{маш}} = 0,7$ – без опыта [10]. Приобретаемый машинистом за время теоретического обучения и практической работы опыт обеспечивает: работу комбайна с высокой производительностью и малым временем на развороты; аккуратную работу (минимальные перегрузки и избежание заупорков транспортеров); высокую селективность выемки полезного ископаемого и пустой породы; эффективное взаимодействие между комбайном и транспортными средствами (автосамосвалом или перегружателем). В среднем при расчетах данный коэффициент целесообразно принимать равным 0,85-0,95 [10].

Простои комбайна, связанные с его заправкой топливом, водой, ежедневным осмотром и обслуживанием, заменой резцов на рабочем органе и некоторыми другими операциями, характеризуются коэффициентом, учитывающим потери времени на обслуживание комбайна $k_{\text{об}}$. Величина коэффициента $k_{\text{об}}$ варьируется в небольших пределах и в среднем может быть принята равной 0,85.

Коэффициент, учитывающий потери времени при ожидании автосамосвалов и их замене под погрузкой может изменяться в значительных пределах $k_{\text{п}} = 0,70-0,90$ и зависит от производительности карьерного комбайна в конкретных условиях и грузоподъемности автосамосвала. Меньшие значения коэффициента необходимо принимать при работе комбайна на горных породах малой прочности (уголь, мергель, мел и т. п.) и загрузке автосамосвалов небольшой грузоподъемности, когда производительность комбайна высока, и кузов автосамосвала быстро заполняется горной массой [3]. Простои комбайна в ожидании автосамосвалов могут быть связаны с периодическим увеличением дальности транспортировки горной массы при работе комбайна на значительных по длине рабочих площадках.

Величина коэффициента, учитывающего потери времени на маневрирование комбайна, зависит от особенностей применяемой технологии отработки месторождения. Этот коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{м}} = k_{\text{МК}} k_{\text{МД}},$$

где $k_{\text{МК}}$ – кратковременный коэффициент маневрирования;
 $k_{\text{МД}}$ – долговременный коэффициент маневрирования.

Кратковременный коэффициент маневрирования зависит от параметров рабочей площадки обрабатываемого блока, траектории движения комбайна и может быть определен по зависимости [10]:

$$k_{\text{МК}} = 1 - \frac{T_{\text{М}}}{T_{\text{БЛ}}},$$

где $T_{\text{М}}$ – общее время маневрирования при обработке блока, ч; $T_{\text{БЛ}}$ – общее время обработки блока, ч.

При разработке небольших блоков доля времени на маневрирование в общем времени обработки блока максимальна. Так, при обработке блока с величиной рабочей площадки 80x50 м коэффициент $k_{\text{МК}}$ равен 0,70-0,75. С увеличением длины блока величина кратковременного коэффициента маневрирования начинает возрастать, а вместе с ней растет и производительность комбайна. Так, при обработке блока с величиной рабочей площадки 150x50 м коэффициент $k_{\text{МК}}$ в зависимости от траектории движения комбайна (челночная или петлевая схемы) варьируется в пределах 0,75-0,85, а при величине рабочей площадки блока 300x50 м коэффициент варьируется в пределах 0,80-0,90 [10].

Долговременный коэффициент маневрирования учитывает потери времени, связанные с перемещением карьерного комбайна на новый блок и может быть определен по зависимости [10]:

$$k_{\text{МД}} = 1 - \frac{T_{\text{МБ}}}{T_{\text{БЛ}}},$$

где $T_{\text{МБ}}$ – время маневрирования, затрачиваемое комбайном при смене обрабатываемого блока, ч.

Величина долговременного коэффициента маневрирования зависит от размеров блока и производительности карьерного комбайна, для приближенного расчета значение $k_{\text{МК}}$ можно принимать равным 0,9-0,95.

Заключение

Преимущества послойно-полосовой технологии разработки сложноструктурных месторождений полезных ископаемых с применением карьерных комбайнов по сравнению с традиционными технологиями ведения горных работ очевидны. Предлагаемая методика по определению технической и эксплуатационной производительности карьерных комбайнов при работе в различных горно-геологических условиях позволит эксплуатирующим организациям более рационально и обоснованно подходить к выбору модели карьерного комбайна.

Литература

1. Пихлер М., Гуськов В.А., Земцов А.В., Уткин С.П., Панкевич Ю.Б. Программа технического перевооружения карьеров холдинга «ЕВРОЦЕМЕНТ групп» – в действии // Горная промышленность. 2009. № 4. С. 10-14.
2. Чебан А.Ю. Применение фрезерных комбайнов в строительстве и на добыче строительных материалов // Вест-

ник Тихоокеанского государственного университета. 2012. № 3. С. 105-108.

3. Чебан А.Ю. О целесообразности внедрения послойно-полосовых технологий при разработке месторождений цементного сырья в Дальневосточном регионе // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 10. С. 53-58.

4. Рассказов И.Ю., Чебан А.Ю., Литвинцев В.С. Анализ технической оснащенности горнодобывающих предприятий Хабаровского края и Еврейской автономной области // Горный журнал. 2013. № 2. С. 30-34.

5. Шехурдин В.К. Удельная энергоёмкость разрушения горных пород адекватна пределу прочности // Горная промышленность. 1999. № 6. С. 38-39.

6. Тангаев И.А. Энергоёмкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. М.: Недра, 1986. 231 с.

7. Чебан А.Ю. Экспериментальные исследования процесса разрушения породы резцами фрезерного рабочего органа // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2012. № 1. С. 125-128.

8. Иванченко С.Н., Шемьякин С.А., Чебан А.Ю., Рашеня И.С. Физическая картина взаимодействия зуба землеройной машины с крупнообломочным включением в мерзлой породе и определение сопротивления резанию // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2012. № 4. С. 45-52.

9. Шемьякин С.А., Иванченко С.Н., Чебан А.Ю., Еренков А.В., Мамаев Ю.А. Оценка производительности выемочных машин непрерывного действия // Горное оборудование и электромеханика. 2010. № 5. С. 13-17.

10. Дребенштедт К., Песслер С. Методика расчета для горных комбайнов // Матеріали міжнарод. конф. «Форум гірників – 2006». Днепропетровск: Нац. гір. ун-т, 2006. С. 26-32.

References

1. Pikhler M., Gus'kov V.A., Zemtsov A.V., Utkin S.P., Pankevich Yu.B. Programme of technical re-equipment of quarries of the holding «EUROCEMENT group» is in action // Gornaya prom-st'. 2009. № 4. P. 10-14.

2. Cheban A.Yu. The Application of milling combine harvesters in construction and production of building materials // Vestn. Tikhook. gos. un-ta. 2012. № 3. P. 105-108.

3. Cheban A.Yu. About reasonable to introduce layer-by-layer -bandpass technologies in the development of location cement raw materials in the far East of the region // Gornyi inform.-analit. byul. 2013. № 10. P. 53-58.

4. Rasskazov I.Yu., Cheban A.Yu., Litvintsev V.S. Analysis of technical equipment of the mining enterprises of Khabarovsk territory and Jewish Autonomous area // Gornyi zhurn. 2013. № 2. P. 30-34.

5. Shekhuridin V.K. Specific energy of destruction of rocks adequate strength // Gornaya prom-st'. 1999. № 6. P. 38-39.

6. Tangaev I.A. Energy Intensity of processes of extraction and processing of minerals. M.: Nedra, 1986. 231 p.

7. Cheban A.Yu. Experimental researches of process of destruction of rocks by milling cutters operation body // Vestn. Tikhook. gos. un-ta. 2012. № 1. P. 125-128.

8. Ivanchenko S.N., Shemyakin S.A., Cheban A.Yu., Rashchenya I.S. Physical picture of the interaction of the tooth earthmoving machines with macro-grained rock inclusion into the frozen rock and determination of resistance to cutting // Vestn. Tikhook. gos. un-ta. 2012. № 4. P. 45-52.

9. Shemyakin S.A., Ivanchenko S.N., Cheban A.Yu., Erenkov A.V., Mamaev Yu.A. Calculation methods for mining machines // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. 2010. № 5. P. 13-17.

10. Drebenshtedt K., Pessler S. Calculation methods for mining machines // Матеріали міжнарод. конф. «Forum гірників – 2006». Днепропетровск: Nats. gir. un-t, 2006. P. 26-32.