

## **ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ВЕЛИЧИНУ МАКСИМАЛЬНОГО ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ВСКРЫШИ В ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КАРЬЕРАХ**

*Е.К. Бабец, Н.И. Дядечкин, А.Н. Костянский, В.И. Чепурной, Б.Е. Яценко, НИГРИ ГВУЗ  
«Криворожский национальный университет»*

Исследования посвящены установлению значения коэффициента вскрыши для железорудных карьеров в зависимости от основных влияющих факторов, наименее исследованными из которых, является стоимость энергоносителей.

Как известно, основной задачей при проектировании открытых горных работ, является определение конечных контуров карьера. Конечная глубина мощных карьеров, разрабатывающих железорудные месторождения составляет 500-600 м. В настоящее время глубина отдельных криворожских карьеров достигла 400 м. Значительные и растущие объемы извлекаемой при этом горной массы позволяют считать обоснование рациональной области их эксплуатации актуальной задачей. Основным показателем для определения экономической эффективности открытых горных работ, является величина коэффициента вскрыши [1].

При определении конечной глубины карьера по эксплуатационному (текущему) коэффициенту вскрыши экономически выгодной глубиной считается такая, при которой эксплуатационный коэффициент вскрыши равен граничному [2]. В различные периоды работы карьера эксплуатационный коэффициент вскрыши имеет различную величину, поэтому конечную глубину следует определять по его максимальному значению.

В период работы карьера с наибольшим эксплуатационным коэффициентом вскрыши себестоимость добычи полезного ископаемого возрастает до предельной величины. Себестоимость товарной продукции комбината выражающая результаты работы предприятия, определяет величину прибыли производства. Себестоимость является обобщающим показателем, на ее величину влияет размер затрат связанных с производством, которые в значительной степени формируются энергоносители (топливо и электроэнергия расходуемые для технологических процессов).

Себестоимость товарной продукции определяется затратами на производство по элементам, одним из которых являются «энергозатраты» которые учитывают стоимость топлива и электроэнергии расходуемых на производственно-технические нужды предприятия. При проектировании карьеров значение исходных экономических показателей для расчета берут по фактическим достигнутым данным действующих карьеров предполагая их постоянную величину. Однако, как правило, показатели себестоимости руды и вскрышных пород на 20-30 % определяются затратами на транспортирование вынутых объемов горной массы. При этом в энергозатратах выделяются такие виды энергоносителей как топливо и электроэнергия [3]. Начиная с 1994 г цены на энергоресурсы резко возросли. Экономические показатели работы ГОКов резко ухудшились, отдельные предприятия стали убыточными [4].

По экономическому элементу «топливо» в себестоимости единицы вскрышных пород учитывается расход дизельного топлива на производственно-технические нужды горного предприятия, такие как доставку горной массы автосамосвалами к экскаваторным перегрузочным площадкам и вывозка вскрышных пород на отвалы автомобилями или тепловозной тягой, а по элементу «электроэнергия» ее расход на работу экскаваторов, буровых станков, а также при наличии электрифицированного железнодорожного пути: доставка горной массы от перегрузочных площадок к конечным пунктам разгрузки электрифицированным железнодорожным транспортом. О значении этих элементов затрат говорит тот факт, что доля только железнодорожного транспорта в себестоимости 1м<sup>3</sup> вскрышных пород превышает 20 %, а технологического автотранспорта – достигает 30 %, из которых 30-40 % составляют затраты на топливо для работы автосамосвалов горно-транспортного цеха.

При переработке руды в концентрат по элементу «электроэнергия» учитывается расход электроэнергии на работу дробильно-обогащительного оборудования и другого оборудования РОФ при производстве концентрата. Таким образом, исходными данными формирующими в значительной степени себестоимость единицы вынудой горной массы, являются стоимости энергоносителей - дизельного топлива и электроэнергии. Перечисленные элементы затрат в дальнейшем также включаются в себестоимость товарной продукции. При этом прибыль ГОКа зависит от величины упомянутой себестоимости, а последняя - от стоимости энергоносителей.

В настоящее время стоимость энергоносителей не является стабильной величиной. Так в информационных сообщениях по вопросу стоимости энергоносителей отмечается, что «топливо подорожало... сегодня его стоимость на 41,2 % выше, чем год назад, и на 43,6 % выше, чем в начале года» [5].

Запишем изменение себестоимости 1 м<sup>3</sup> вскрышных пород в зависимости от цен на энергоносители в виде:

$$C_{вн} = C_в \cdot (1 - n_m \cdot (1 - \frac{C_{мн}}{C_m})) \cdot (1 - n_э \cdot (1 - \frac{C_{эн}}{C_э})), \text{грн./м}^3; \quad (1)$$

где:  $C_{вн}$  – себестоимость 1 м<sup>3</sup> вскрышных пород после повышения цен на энергоносители, грн./м<sup>3</sup>;  $C_в$  – себестоимость вскрышных пород на текущий момент до изменения цен на энергоносители, грн./м<sup>3</sup>;  $n_m$  – доля стоимости дизельного топлива в себестоимости 1 м<sup>3</sup> вскрышных пород, доли ед.;  $C_m, C_{мн}$  – стоимость единицы топлива в текущем периоде и после повышения цены в расчетном году, грн./т;  $C_э, C_{эн}$  – стоимость единицы (кВт-часа) электроэнергии в текущем периоде и в расчетном году, соответственно, грн./кВт-час;  $n_э$  – доля электроэнергии в себестоимости 1 м<sup>3</sup> вскрышных пород, доли ед.

Себестоимость концентрата после подорожания энергоносителей также изменится, ее величина составит:

$$C_{кн} = C_к \cdot (1 - n_э^1 \cdot (1 - \frac{C_{эн}}{C_э})), \text{грн./т} \quad (2)$$

где:  $n_э^1$  – доля электроэнергии в себестоимости 1 т концентрата, доли ед.

Полученные данные подставим в установленную ранее зависимость, определяющую величину коэффициента ( $K_{э.м}$ ) вскрыши [6,7]:

$$K_{э.м} = \frac{\gamma \cdot (C_к - C_к) \cdot (1 - i) \cdot (1 - n)}{C_в \cdot (2 - d_{у.пер})} + K_m = \frac{\gamma \cdot C_к \cdot (1 - Z_{т.п.}) \cdot (1 - i) \cdot (1 - n)}{Z_{т.п.} \cdot C_в \cdot (2 - d_{у.пер})} + K_m, \text{м}^3 / \text{т} \quad (3)$$

где:  $C_к, C_к$  – цена и себестоимость товарной продукции (например концентрата), грн./т;  $K_t$  – текущий коэффициент вскрыши, м<sup>3</sup>/т;  $\gamma$  – выход концентрата из руды, доли ед.;  $C_в$  – себестоимость 1 м<sup>3</sup> вскрышных пород, грн./м<sup>3</sup>;  $d_{о.і.а.о}$  – условно-переменные затраты в себестоимости товарной продукции концентрата, доли ед.;  $i$  – показатель инфляции (средняя величина показателя с 2000 г. составляет 0,12-0,13), доли ед.;  $n$  – налог на прибыль ( $n=0,2$ ), доли ед.;  $Z_{т.п.}$  – затраты по комбинату на одну гривну товарной продукции, грн./грн. .

Определим как изменится величина максимального эксплуатационного коэффициента вскрыши после подорожания энергоносителей. Подставив в формулу (3) выражение (1) и (2), получим:

$$K_{э.м} = \frac{\gamma \cdot (C_к - C_к) \cdot (1 - n_э^1 \cdot (1 - \frac{C_{эн}}{C_э})) \cdot (1 - i) \cdot (1 - n)}{C_в \cdot (2 - d_{у.пер}) \cdot (1 - n_m \cdot (1 - \frac{C_{мн}}{C_m})) \cdot (1 - n_э \cdot (1 - \frac{C_{эн}}{C_э}))} + K_m, \text{м}^3 / \text{т} \quad (4)$$

или

$$K_{э.м} = \frac{\gamma \cdot (1 - 3_{m.n}) \cdot C_k \cdot (1 - n^1_{э} \cdot (1 - \frac{Ц_{эн}}{Ц_{э}})) \cdot (1 - i) \cdot (1 - n)}{3_{m.n} \cdot C_в \cdot (2 - d_{y.nep}) \cdot (1 - n_m \cdot (1 - \frac{Ц_{mn}}{Ц_m})) \cdot (1 - n_э \cdot (1 - \frac{Ц_{эн}}{Ц_{э}}))} + K_m, \text{м}^3 / \text{т} \quad (5)$$

Если известны исходные технико-экономические показатели в данной формуле по опыту работы за предыдущие годы, то соотношение  $\varphi(t) = (\frac{Ц_{mn}}{Ц_m})$  покажет во сколько раз в расчетном году ( $t$ ) по сравнению с исходным подорожает дизельное топливо. Таким образом, определив функцию отражающую изменение стоимости топлива в течение определенного времени, установим влияние этой величины на максимальный эксплуатационный коэффициент вскрыши.

Подставив данные по СевГОКу за 2006 г. с соответствующими показателями Анновского карьера и преобразовав зависимость, получим:

$$K_{э.м} = \frac{9,086 + 0,478 \cdot \frac{Ц_{эн}}{Ц_{э}}}{19,551 + 1,472 \frac{Ц_{mn}}{Ц_m} + 2,172 \frac{Ц_{эн}}{Ц_{э}} + 0,1635 \frac{Ц_{эн} \cdot Ц_{mn}}{Ц_{э} \cdot Ц_m}} + 1,18, \text{м}^3 / \text{т} \quad (6)$$

Для изучения характера функции  $\varphi(t)$  найдем вид уравнения и его коэффициенты по фактическим данным [8-14] для условий криворожских ГОКов за период с 2006 г. по настоящее время. Установлено, что стоимость дизельного топлива описывается линейным уравнением с коэффициентом корреляции 0,91:

$$Ц_{mn} = a_m \cdot (t_1 + \Delta t) + b_m = 1106,444 \cdot (2006 + \Delta t) - 2216570,5, \text{грн./т} \quad (7)$$

где:  $a_\delta, b_\delta$  – коэффициенты линейного уравнения;  $\Delta t$  – порядковый номер года в расчетном периоде, ед.,  $t_1$  – год начала расчетного периода;

Стоимость 1кВт-часа электроэнергии в этом же периоде с коэффициентом корреляции 0,978 описывается линейной зависимостью:

$$Ц_{э.н} = a_э \cdot (t_1 + \Delta t) + b_э = 0,080121 \cdot (t_1 + \Delta t) - 160,53, \text{грн./кВт час} \quad (8).$$

где  $a_y, b_y$  – коэффициенты уравнения, описывающего изменение стоимости электроэнергии по годам.

В формуле (6) использовано отношение стоимостей 1 кВт часа на расчетный год и исходный, которое представим в виде:

$$\frac{Ц_{эн}}{Ц_{э}} = \frac{a_э \cdot (t_1 + \Delta t) + b_э}{a_э \cdot t_1 + b_э} = 1 + \frac{\Delta t}{t_1 + \frac{b_э}{a_э}} \quad (9)$$

Аналогично представим значение отношения стоимостей дизельного топлива:

$$\frac{Ц_{mn}}{Ц_m} = \frac{a_m (t_1 + \Delta t) + b_m}{a_m \cdot t_1 + b_m} = 1 + \frac{\Delta t}{t_1 + \frac{b_m}{a_m}} \quad (10)$$

Подставив полученные выражения (7,8) в формулу (6) и упростив ее получим::

$$K_{э.м} = \frac{9,086 + 1,478 \cdot \left(1 + \frac{\Delta t}{2006 - \frac{160,53}{0,080121}}\right)}{19,551 + 1,472 \cdot \left(1 + \frac{\Delta t}{2006 - \frac{2216570,6}{1106,14}}\right) + 2,172 \cdot \left(1 - \frac{\Delta t}{2006 - \frac{160,59}{0,080121}}\right) + \dots} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{\dots}{\dots} + 1,18 \text{ м}^3 / \text{м}$$

$$+ 0,1635 \cdot \left(1 + \frac{\Delta t}{2006 - \frac{2216570,6}{1106,14}}\right) \cdot \left(1 + \frac{\Delta t}{2006 - \frac{160,53}{0,080121}}\right)$$

Еще раз преобразовав и упростив полученное выражение, получим зависимость описывающую значение максимального эксплуатационного коэффициента вскрыши с учетом цен на энергоносители на заданный расчетный год:

$$K_{э.м} = \frac{330 + 18,2 \cdot \Delta t}{670 + (7,7 - \Delta t)^2} + 1,18 \text{ м}^3 / \text{м}$$

Для 2015 года согласно полученному выражению максимальный эксплуатационный коэффициент вскрыши составит  $K_{э.м} = 1,9 \text{ м}^3/\text{т}$ , а для 2020 г  $K_{э.м} = 2,0 \text{ м}^3/\text{т}$ , что превышает текущий коэффициент вскрыши и доказывает, что работа карьера с рассмотренными показателями – перспективна.

Значительные инвестиции в кризисном 2008 г. были направлены на развитие горнодобывающего комплекса СевГОКа, в том числе вскрытие нижних горизонтов Первомайского карьера и вовлечение в эксплуатацию южной части Анновского карьера.

Определим показатель ( $K_{э.м}$ ) по формуле (5) приняв за основу данные 2008 г.:

$$K_{э.м} = \frac{24,0116 + 0,478 \cdot \left(1 + \frac{\Delta t}{t_1 + \frac{b_э}{a_э}}\right)}{17,4598 + 1,31418 \cdot \frac{Ц_{ми}}{Ц_m} + 19,3998 \cdot \frac{Ц_{эи}}{Ц_э} + 20,86 \cdot \frac{Ц_{ми} \cdot Ц_{эи}}{Ц_m \cdot Ц_э}} + 1,49 =$$

$$= \frac{24,0116 + 0,478 \cdot \left(1 + \frac{\Delta t}{t_1 + \frac{b_э}{a_э}}\right)}{17,4598 + 1,3142 \cdot \left(1 + \frac{\Delta t}{t_1 + \frac{b_n}{a_m}}\right) + 19,3998 \cdot \left(1 + \frac{\Delta t}{t_1 + \frac{b_э}{a_э}}\right) + 20,86 \cdot \left(1 + \frac{\Delta t}{t_1 + \frac{b_n}{a_m}}\right) \cdot \left(1 + \frac{\Delta t}{t_1 + \frac{b_э}{a_э}}\right)} + 1,$$

$$5 \text{ м}^3 / \text{т}.$$

После подстановки (7,8), преобразований и упрощений зависимость примет вид:

$$K_{э.м} = \frac{6 + 0,05 \cdot \Delta t}{3,38 + (3,33 + t)^2} + 1,5 \text{ м}^3 / \text{м}$$

Подставив значение  $\Delta t$  на 2015 год, получим величину максимального эксплуатационного коэффициента вскрыши, который составит  $K_{э.м} = 1,53 \text{ м}^3/\text{т}$ , а в 2020 г. -  $1,51 \text{ м}^3/\text{т}$ , что на 20-25% меньше рассчитанного на основе показателей 2006 г. Существенное уменьшение прогнозируемой величины максимального эксплуатационного коэффициента вскрыши во втором случае объясняется увеличением затрат на производство товарной продукции в

кризисный период. Таким образом эффективность реконструкции карьера возрастает при ее проведении в межкризисный период.

В заключение укажем, что существенное влияние на величину коэффициента вскрыши несомненно окажет реализация прогрессивных технологических решений позволяющих снизить энергозатраты на производственные процессы при открытой разработке месторождений. Несомненно окажется эффективно применение циклично-поточной технологии (ЦПТ), а также крутонаклонных конвейеров в сочетании с элементами подземных работ при доработке запасов глубоких карьеров. Этому также будет способствовать применение горной техники с более эффективным гидравлическим приводом.

Предлагаемая модель позволит оценить перспективность отработки железорудных карьеров в неблагоприятных экономических условиях.

#### Список литературы

1. Арсентьев А.И. Определение производительности и границ карьера. Госгортехиздат, 1961 г, 240 ст.

2. Горное дело / Ю.П. Астафьев, В.Г. Близнюков, О.Г. Шекун. М.: Недра, 1980, 368 стр.

3. Ревазов М.А., Маляров Ю.А. Экономика, организация производства и планирование на открытых горных работах: Учебник для техникумов.-М.:Недра, 1980.-391 с.

4. Повышение технико-экономических показателей работы горно-обогачительных комбинатов./ Н.К. Воробьев, А.Н. Воробьев/ ПАО НИПИ «Механобрчермет». «Новое в технике и технологии переработки минерального сырья». Кривой Рог: Сборник научных трудов. ПАО «Механобрчермет». 2013 г. стр.3-12..

5. Рост цен продолжает набирать скорость. Газета «Пульс» №28(313) 09.07.2014 г.Кривой Рог.

6. Бабец Е.К., Дядечкин Н.И., Костянский А.Н. и др. Влияние параметров реконструкции железорудного карьера на технико-экономические показатели его работы. /Науководослідний гірничорудний інститут ДВНЗ «КНУ». Збірник наукових праць №54, Кривой Рог. 2013, стр. 201-207.

7. Костянский А.Н., Чепурной В.И. Оценка параметров реконструкции карьера при расширении его границ.. Вісник Криворізького національного університету, вып. 35. 2013 г. Стр. 23-26.

8.РБК «Україна» .06.04.2012р.со ссылкой на «Коммерсант Украины», постановление НКРЭ.

9.Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины. в 2005-2006 г.г.Государственное предприятие «Научно-исследовательский горнорудный институт». Кривой Рог.:2007. 156 ст

10.Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины. в 2006-2007 г.г.Государственное предприятие «Научно-исследовательский горнорудный институт». Кривой Рог.:2007, 146 ст.

11.Технико-экономические показатели горнодобывающих предприятий Украины в 2008-2009 г.г. Государственное предприятие «Научно-исследовательский горнорудный институт». Кривой Рог . 2010, 164 ст.

12.Информационное агенство: Ліга. Бізнес.Економіка.Погорелов С.. Ценовые качели: итоги года на рынке бензина. 28.12.2011.

13. Азарян В.А. Анализ влияния технологических факторов на себестоимость производства железорудных ГОКов Украины. Разработка рудных месторождений, вып. 93, 2010, Криворожский технический университет. Стр.33-36.

14. Постанова Кабінету Міністрів України від 15.08.2005 №745 «Про перехід до єдиних тарифів на електричну енергію, що відпускається споживачам» та постанова НКРЕ від 25.12.2009 р. №1529..