

В.Г. БЛИЗНЮКОВ, д-р техн. наук, проф.,
И.В. БАРАНОВ, С.А. ЛУЦЕНКО, кандидаты техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ КАРЬЕРОВ

В статье рассматривается вопрос определения конечных контуров карьеров. Описана одна из проблем разработки железорудных месторождений на современном этапе развития открытых горных работ, которая заключается в том, что на большинстве карьеров их рабочие контуры по поверхности достигли проектных отметок. В этих условиях необходима переоценка возможностей сырьевой базы для дальнейшей работы горных предприятий. Выполнен анализ научных достижений в решении вопроса определения конечных контуров карьеров. Приведен общеизвестный принцип определения границ открытых горных работ, сущность которого заключается в определении границ на основе сравнения допустимой себестоимости добычи руды с ожидаемой по проектируемому карьере. На примере карьеров, которые отражают характерные особенности разработки крутопадающих месторождений Украины, продемонстрировано влияние текущих коэффициентов вскрыши действующих карьеров на граничный коэффициент вскрыши, который служит главным критерием при определении границ открытых горных работ для проектируемых карьеров. Разработана методика определения границ карьеров, которая предусматривает применения граничного коэффициента вскрыши как величины не постоянной, а изменяющейся во времени, и такой, которая зависит от изменения текущих коэффициентов вскрыши на карьерах-конкурентах. В результате усовершенствована теория в области определения конечных контуров карьеров. Новая методика отличается от известных учетом изменения граничного коэффициента вскрыши во времени, а также определением влияния технологических показателей карьеров-конкурентов на конечную глубину проектируемого карьера.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время, при разработке крутопадающих железорудных месторождений, на большинстве карьеров их рабочие контуры по поверхности достигли проектных отметок. Развитие горных работ происходит только при их понижении. В таких условиях разработки месторождений необходима оценка возможностей сырьевой базы для дальнейшего развития горного предприятия.

Как показывает практика, глубину и положение конечных контуров большинства крупных карьеров по мере отработки месторождений полезных ископаемых неоднократно пересматривают и корректируют. Однако обязательным является определение конечных контуров отработки карьеров, при которых разработка месторождений открытым способом будет эффективна. Особенно остро этот вопрос возникает при проектировании нового горного предприятия, когда уже работают подобные горнорудные предприятия.

Анализ исследований и публикаций. Значительные достижения [1-5] в теории проектирования границ открытых горных работ принадлежат В.В. Ржевскому, В.С. Хохрякову, А.И. Арсентьеву, М.С. Четверику, В.Г. Близнюкову. В последнее время проводились исследования по определению перспективных границ отработки карьеров: НИГРИ [6-7]; АГН Украины [8] и ГВУЗ «КНУ» [9]. В них определение граничного коэффициента вскрыши выполнялось на основе сравнения показателей работы исследуемого предприятия с показателями предприятий с подземным способом разработки, а также с показателями подобных горно-обогатительных комбинатов. Цена товарной руды (продукции), которая зависит от ее качества, всегда определяла границы открытых горных работ. Однако на различных горнодобывающих предприятиях товарная продукция одного и того же качества может иметь различную цену реализации, что в свою очередь может внести ошибку при определении конечных контуров карьеров. Поэтому в работе [10] было доказано влияние договорных факторов на цену товарной продукции, что делает неточным применение существующих методов определения конечных контуров карьеров. Разработанная методика позволяет привести цены по стоимости одного процента железа в тонне концентрата и избежать влияния субъективных факторов при определении границ открытых горных работ.

Постановка задач. При определении границ карьеров граничный коэффициент вскрыши рассчитывается по технико-экономическим показателям, которые достигнуты на момент проектирования и его величина является постоянной. Анализ работы горнообогатительных комбинатов показал, что их экономические показатели и коэффициенты вскрыши со временем изменялись.

Поэтому была поставлена цель доказать что граничный коэффициент вскрыши величина не постоянная, а изменяющаяся во времени и от этого будет существенно зависеть конечная глубина отработки карьера.

Изложение материалов и результаты. Экономической основой всех расчетных принципов определения границ карьеров является сравнение допустимой себестоимости добычи руды (c_d) с ожидаемой по проектируемому карьере c_{np} , которое выражается неравенством

$$c_d \geq c_{np}, \text{ грн/т.} \quad (1)$$

Следует отметить, что за допустимую себестоимость принимают себестоимость руды одного из базовых горнодобывающих предприятий-конкурентов с открытым способом разработки месторождений. Причем, допустимая себестоимость руды принимается таковой, какой она есть на момент проектирования нового карьера или реконструкции уже действующего. Ожидаемую себестоимость руды по проектируемому карьере рассчитывают в зависимости от величины коэффициента вскрыши n_{np} по формуле, грн/т

$$c_{np} = a + b \cdot n_{np}, \quad (2)$$

где a – себестоимость добычи руды без затрат на вскрышные породы, грн./т; b – затраты на вскрышу, грн./м³; n_{np} – коэффициент вскрыши в проектируемом карьере, м³/т.

После подстановки ожидаемого значения себестоимости добычи руды и преобразования неравенства (1), формула (2) примет следующий вид, м³/т

$$\frac{c_d - a}{b} = n_{np}. \quad (3)$$

Левая часть в выражении (3) определяет величину граничного коэффициента вскрыши $n_{г}$ и тогда с учетом выражений (1,2,3) получим неравенство, м³/т

$$n_{г} \geq n_{np}. \quad (4)$$

Исходя из изложенного, условие конкурентоспособности проектируемого карьера можно сформулировать следующим образом: *коэффициент вскрыши по проектируемому карьере не должен превышать граничного коэффициента вскрыши.*

Следует отметить, что в нормативных документах, регламентирующих работу горнодобывающих предприятий с открытым способом разработки [11], расчетный граничный коэффициент вскрыши для определения конечной глубины карьера принимается величиной постоянной.

Приняв для расчета граничного коэффициента вскрыши показатели одно из действующих горнодобывающих предприятий открытым способом (предприятие-конкурент), по выражению (3) получили значение граничного коэффициента вскрыши равное 1,08 м³/т или 3,6 м³/м³ (для дальнейших исследований будем принимать величину граничного коэффициента вскрыши с размерностью м³/м³).

Однако это базовое предприятие-конкурент продолжает свою работу, и с течением времени будут изменяться его экономические показатели, в нашем случае - себестоимость руды.

Причиной этому является изменение текущих коэффициентов вскрыши в большую или меньшую стороны.

Рассмотрим на примере двух условных базовых карьеров-конкурентов возможные изменения текущих коэффициентов вскрыши (рис. 1,2).

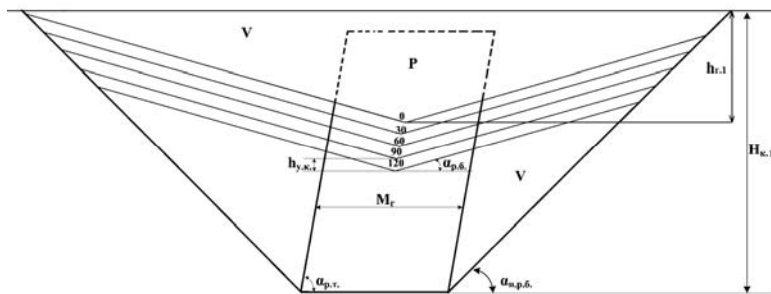


Рис. 1. Карьер-конкурент № 1: V - вскрышные породы; P - руда; $h_{r.1}$ - современная глубина горных работ; $h_{y.k.}$ - шаг понижения горных работ; $\alpha_{p.b.}$ - угол откоса рабочего борта карьера; $\alpha_{n.p.b.}$ - угол откоса проектного борта карьера; $\alpha_{p.t.}$ - угол падения рудной залежи; M_r - горизонтальная мощность залежи; H_{k1} - конечная глубина карьера; 0, 30, 60, 90, 120 - этапы понижения горных работ в карьере

Условный базовый карьер-конкурент № 1 разрабатывает рудную залежь, у которой: угол падения составляет 80°; горизонтальная мощность - 350 м; протяженность - 2700 м. Параметры этого карьера составляют: угол откоса рабочего борта - 16°; угол откоса проектного борта - 45°; конечная глубина карьера 630 м.

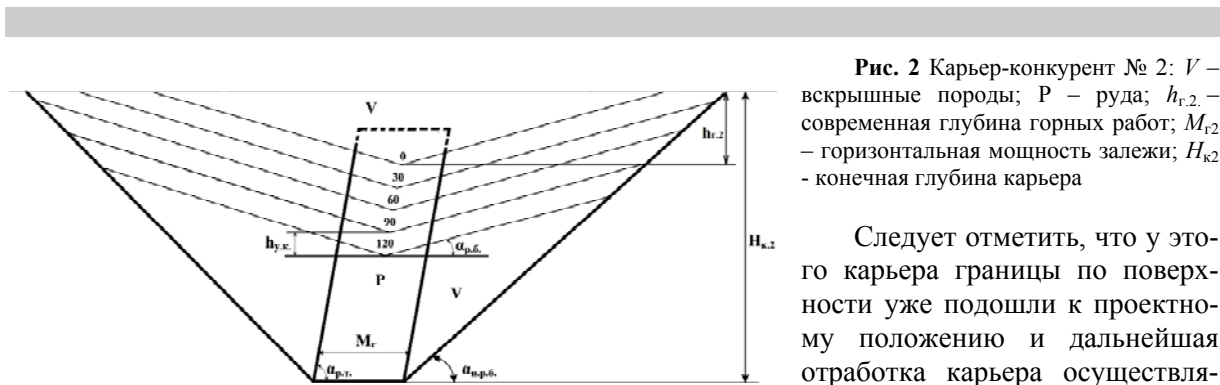


Рис. 2 Карьер-конкурент № 2: V – вскрышные породы; P – руда; $h_{г.2}$ – современная глубина горных работ; $M_{г.2}$ – горизонтальная мощность залежи; $H_{к.з}$ – конечная глубина карьера

Следует отметить, что у этого карьера границы по поверхности уже подошли к проектному положению и дальнейшая отработка карьера осуществляется с развитием горных работ

только в глубину.

Условный базовый карьер-конкурент № 2 (рис. 2) разрабатывает рудную залежь, у которой: угол падения составляет 80° ; горизонтальная мощность - 120 м; протяженность - 4500 м. Параметры этого карьера составляют: угол откоса рабочего борта - 16° ; угол откоса проектного борта - 45° ; конечная глубина карьера - 345 м.

У условного базового карьера-конкурента № 2, в отличие от рассматриваемого условного базового карьера-конкурента № 1, границы по поверхности еще не подошли к проектному положению и дальнейшая отработка карьера осуществляется с развитием горных работ, как в горизонтальном направлении, так и в глубину.

На представленных рис. 1 и 2 цифрами 0, 30, 60, 90, 120 обозначены этапы понижения горных работ в условных базовых карьерах-конкурентах через каждые 30 м. Положение рабочего борта карьера на этапе «0» характеризует текущее состояние горных работ в карьере и служит отправной точкой для дальнейших исследований их развития.

Причем положение рабочих бортов условных базовых карьеров-конкурентов на нулевом этапе подобраны так, чтобы рудные тела были подсечены на всю горизонтальную мощность, а величина текущих коэффициентов была такой же, как и величина рассчитанного граничного коэффициента вскрыши.

Для определения конечной глубины отработки будущего (условного проектируемого) карьера выбран характерный разрез по месторождению, намеченному для эксплуатации у которого: угол падения составляет 80° ; горизонтальная мощность - 230 м; протяженность - 3200 м.

Как на условных базовых карьерах-конкурентах № 1 и № 2, так и для условного проектируемого карьера от положения рабочих бортов на нулевом этапе отстраиваем их дальнейшее положение по этапам развития горных работ через каждые 30 м по глубине. На каждом этапе выполняем замеры объемов руды и вскрышных пород с определением текущих коэффициентов вскрыши.

Строится график изменения текущих коэффициентов вскрыши по этапам понижения горных работ условных базовых и условного проектируемого карьеров (рис. 3). Также на графике отстраиваем линию рассчитанного граничного коэффициента вскрыши (линия 1).

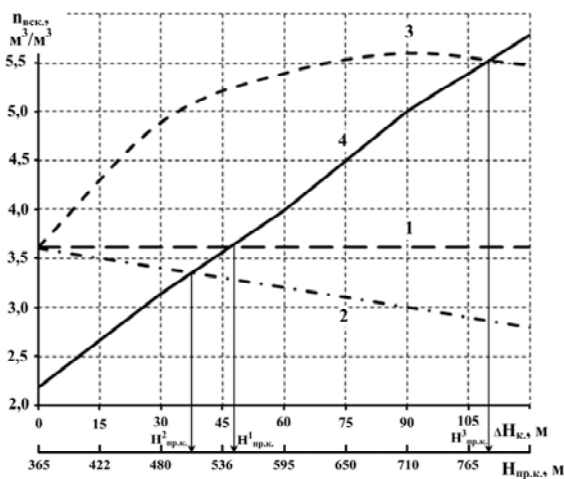


Рис. 3 График зависимости коэффициентов вскрыши от понижения горных работ по этапам углубки карьеров с определением конечной глубины отработки условного проектируемого карьера: 1 – граничный коэффициент вскрыши; 2 – текущий по условному базовому карьере № 1; 3 – текущий коэффициент вскрыши по условному базовому карьере № 2; 4 – текущий коэффициент вскрыши по условному проектируемому карьере

Исходя из принятых горно-геологических условий разработки условных месторождений, текущий коэффициент вскрыши при дальнейшей работе условного базового карьера № 1 будет уменьшаться. При дальнейшей работе условного базового карьера № 2 будет увеличиваться до достижения проектных границ карьера по поверхности, а затем постепенно снижаться. Такое изменение текущих коэффициентов вскрыши показано на рис. 3 линиями 2 и 3.

В данных случаях текущие коэффициенты вскрыши условных базовых карьеров № 1 и № 2 будут также являться граничными коэффициентами для условного проектируемого карьера.

Пересечение этих линий (линии 1,2,3 на рис. 3) с линией текущих коэффициентов вскрыши по условному проектируемому карьере (линия 4 на рис. 3) дает решение определения конечной глубины отработки условного проектируемого карьера.

Как видно из представленного графика (см. рис. 3) для условного проектируемого карьера существует три значения конечной глубины его отработки: $H_{пр.к}^1$ - конечная глубина отработки карьера, определенная по граничному коэффициенту вскрыши и составляет 560 м; $H_{пр.к}^2$ - конечная глубина отработки карьера, определенная по текущим коэффициентам вскрыши условного базового карьера № 1 и составляет 485 м; $H_{пр.к}^3$ - конечная глубина отработки карьера, определенная по текущим коэффициентам вскрыши условного базового карьера № 2 и составляет 800 м.

Графическое решение определения конечной глубины отработки условного проектируемого карьера представлено на рис. 4.

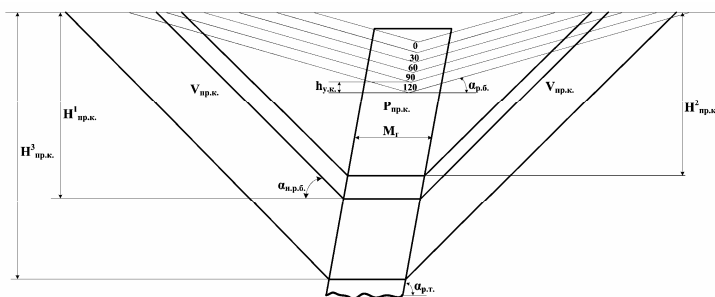


Рис. 4 Поперечный разрез месторождения, которое будет разрабатываться условным проектируемым карьером: $V_{пр.к.}$ – вскрышные породы в проектных контурах карьера; $P_{пр.к.}$ – руда в проектных контурах карьера; $H_{пр.к.}^1$ – конечная глубина отработки карьера, определенная по граничному коэффициенту вскрыши; $H_{пр.к.}^2$ – конечная глубина отработки карьера, определенная по текущим коэффициентам вскрыши условного базового карьера-конкурента № 1; $H_{пр.к.}^3$ – конечная глубина отработки карьера, определенная по текущим коэффициентам вскрыши условного базового карьера-конкурента № 2

отработки карьера, определенная по текущим коэффициентам вскрыши условного базового карьера-конкурента № 2

Из этого следует, что отклонение конечной глубины отработки условного проектируемого карьера, определенной на основе сравнения его текущих коэффициентов вскрыши с текущими коэффициентами вскрыши условных базовых карьеров-конкурентов, от конечной глубины отработки определенной по граничному коэффициенту вскрыши составляет от 14 до 45 %.

Из изложенного следует, что для определения границ проектируемого карьера граничный коэффициент вскрыши необходимо определять с учетом возможного изменения объемов выемки вскрышных пород и добычи руды на базовых предприятиях-конкурентах, т.е. с учетом изменения их текущих коэффициентах вскрыши.

Для подтверждения этого были проанализированы проектные данные по карьерам Кривбасса, которые представлены в таблице.

Текущие коэффициенты вскрыши на карьерах Кривбасса в 2010-2020 гг.

Таблица

Карьер	Годы эксплуатации										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ИнгОК	0,40	0,40	0,45	0,56	0,60	0,66	0,73	0,81	0,85	0,92	0,95
АМКР	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26
АМКР №2-бис	0,22	0,22	0,22	0,23	0,22	0,23	0,21	0,21	0,20	0,17	0,16
АМКР №3	0,33	0,33	0,32	0,32	0,31	0,32	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
ЮГОК	0,37	0,30	0,26	0,22	0,22	0,19	0,19	0,16	0,16	0,13	0,13
ЦГОК	1,36	1,46	1,56	1,60	1,73	1,73	1,73	1,69	1,69	1,69	1,69
ЦГОК №1	1,19	1,19	1,24	1,29	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
ЦГОК №3	1,07	1,30	1,40	1,50	1,50	1,50	1,50	1,40	1,40	1,40	1,40
ЦГОК №4	3,00	2,98	3,25	3,07	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
СевГОК	1,07	1,01	1,03	1,05	1,14	1,07	1,01	1,00	0,97	0,93	0,87
Анновский	1,68	1,50	1,54	1,55	1,53	1,40	1,33	1,31	1,26	1,18	1,10
Первомайский	0,77	0,77	0,78	0,80	0,94	0,90	0,85	0,85	0,83	0,80	0,76

Как видно из представленных таблицы и графика (рис. 5), текущие коэффициенты вскрыши на базовых предприятиях постоянно изменяются с течением времени. Кроме того, видно,

что показатели каждого отдельного предприятия подвержены разным трендам: они могут расти, уменьшаться или изменяться незначительно.

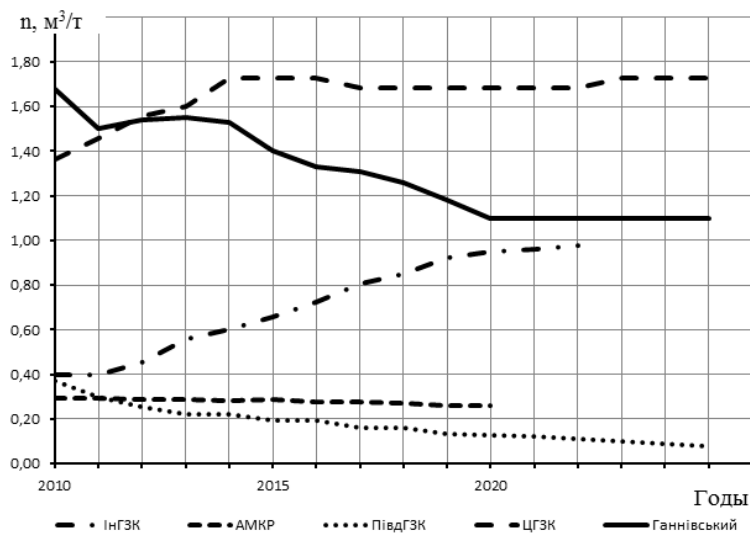


Рис. 5 Динамика текущих коэффициентов вскрыши на карьерах Кривбаса по годам эксплуатации

Это зависит от того, достигли карьеры своих контуров по поверхности, и проводится ли реконструкция или расконсервация бортов карьеров.

Выводы и направление дальнейших исследований. Разработана новая методика определения конечных контуров отработки карьеров, которая отличается от известных учетом изменения граничного коэффициента вскрыши во времени, а

также определением влияния технологических показателей карьеров-конкурентов на конечную глубину проектируемого карьера.

Доказано, что отклонение конечной глубины отработки условного проектируемого карьера, определенной на основе сравнения его текущих коэффициентов вскрыши с текущими коэффициентами вскрыши условных базовых карьеров-конкурентов, от конечной глубины отработки определенной по граничному коэффициенту вскрыши может составлять от 14 до 45 %.

Список литературы

1. **Арсентьев А.И.** Определение производительности и границ карьеров, М.: - Недра, 1970.
2. **Близнюков В.Г.** Определение главных параметров карьера с учетом качества руды, М.: - Недра, 1978.
3. **Арсентьев А.И., Полищук А.К.** Развитие методов определения границ карьеров. Л.: - Наука, 1967.
4. **Ржевский В.В.** Проектирование контуров карьеров. М.: - Metallurgizdat, 1956.
5. **Хохряков В.С.** Проектирование карьеров. М.: - Недра, 1980.
6. Определение перспективных границ и производительности карьера Ингулецкого горно-обогатительного комбината //Отчет о НИР (промежут.), ГП «ГНИГРИ», № ГР 0107U00563 – Кривой Рог, 2007. – 65 с.
7. Определение перспективных границ Анновского карьера ОАО «СевГОК»: Отчет о НИР (заключит.)//Государственное предприятие «Научно-исследовательский горнорудный институт. № ГР 0109U007562.- Кривой Рог. 2010.- 79 с.
8. Определение перспективных границ и производительности Первомайского карьера ПАО «СевГОК»: Отчет о НИР (заключит. Том I)//Академия горных наук Украины. № ГР 0115U002577.-Кривой Рог. 2014.- 93 с.
9. Определение перспективных границ карьера, обеспечивающих конкурентоспособность железорудной продукции Полтавского ГОКа: Отчет о НИР (заключит.)//Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет». № ГР 011U003099.-Кривой Рог. 2014.-115 с.
10. **Близнюков В.Г.** Исключение субъективных факторов при определении конечных контуров железорудных карьеров в составе ГОКов / **Близнюков В.Г., Баранов И.В., Савицкий А.В.** // Вісник Криворізького національного університету: Кривий Ріг. - КНУ, 2012. – Вип. 31. - С.3–6.
11. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с открытым способом разработки месторождений полезных ископаемых, К.: - Министерство промышленной политики Украины, 2007.

Рукопись поступила в редакцию 20.03.15