

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПЕРЕХОДА ОТ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ К ПОДЗЕМНЫМ ПРИ ДОРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*А.Н. Костянский, В.И. Чепурной, Б.Е. Яценко, НИГРИ Государственный ВУЗ «Криворожский национальный университет» Украина*

Приведен методический подход к определению экономически целесообразной границы разделяющей по глубине запасы месторождения с наклонной или крутопадающей залежью при отработке ее комбинированным способом между карьером и шахтой на основе установленных взаимосвязей между основными показателями карьера и выпускаемой товарной продукцией.

С увеличением глубины карьера объемы пустых пород возрастают быстрее, чем объемы извлекаемого полезного ископаемого [1]. Постоянное увеличение глубины открытых горных работ в совокупности с другими негативными факторами приводит к неизбежному возрастанию себестоимости добываемой руды. Увеличение объемов извлекаемых вскрышных пород и себестоимости руды в конечном итоге удорожают товарную продукцию. Вследствие этого после достижения граничной себестоимости добычи полезного ископаемого карьером может возникнуть вопрос о дальнейшей разработке месторождения более экономичным способом, например подземным, который позволит извлечь законтурные запасы полезного ископаемого с меньшими затратами.

Обычно запасы шахтного поля располагаются за контуром карьера и относительно последнего являются законтурными [2]. Эти запасы разграничены на зоны относительно контура бортов и дна карьера и классифицированы по технологическим признакам. Доработка месторождений с большой глубиной залегания характеризуется затуханием открытых работ в связи с исчерпанием запасов предназначенных для открытых работ. В этом случае переходят с открытых работ на подземные [3]. Несмотря на то, что при одновременной разработке месторождения открытыми и подземными работами затраты как в карьере, так и в шахте несколько повышаются, сравнительная экономичность открытых работ возрастает [4].

Однако определить данные величины представляется возможным только после составления плана горных работ на конец разработки карьера. При этом работа над проектом современного глубокого карьера - сложный и трудоемкий процесс, требующий значительных усилий опытных проектировщиков.

Упростить работу проектировщика возможно, если до построения конечного контура ориентировочно определить некоторые из основных его параметров. К основным параметрам карьера [5] относятся высота и угол откоса рабочих уступов, ширина рабочих площадок, угол откоса рабочего борта, длина добычного, вскрышного и общего фронтов работ, число рабочих уступов, конечная глубина карьера. Решение главных вопросов проектирования карьеров с учетом этих параметров подтверждает актуальность их прогнозирования, особенно в экстремальные периоды работы карьера.

В этой связи при приближении горных работ к граничным контурам карьера и выемке остаточных запасов полезного ископаемого, когда возрастает себестоимость добычи руды вследствие большой глубины, нередко возникает вопрос о переходе от открытых горных работ к другой экономически обоснованной системе разработки - подземным или открыто-подземным способом. При этом параметр, оказывающий наибольшее влияние на технико-экономические показатели карьера может быть принят в качестве оценочного показателя [6].

Так как граничная глубина открытых горных работ [7] определяет границу по глубине экономически целесообразной разработки месторождения открытым способом, то параметром устанавливающим границу перехода от открытого к открыто-подземному или подземному способу

разработки крутопадающего месторождения для дальнейшей выемки законтурных запасов полезных ископаемых может служить экономически целесообразная глубина карьера, определенная с помощью максимального эксплуатационного коэффициента вскрыши. В связи с этим, для горно-обогатительного комбината важно определить не только технологические параметры обеспечивающие экономически выгодную переработку руды, но и рациональную границу между открытым и подземным способами разработки месторождения при современном состоянии технологии добычи и обогащения руд с учетом перспектив в будущем.

Известно, что на большинстве месторождений обрабатываемых открытым способом, изменение одного из параметров (например угла наклона борта карьера) приводит к существенному изменению других технико-экономических показателей: запасов руды, производственной мощности предприятия, капитальных вложений, себестоимости добычи и обогащения, рентабельности производства.

Следует отметить, что способ выемки руды также оказывает существенное влияние на экономические показатели предприятия. Поэтому определение границы между подземными и открытыми работами направлено на выявление закономерных связей между различными технико-экономическими параметрами для выбора оптимального варианта оконтуривания и эксплуатации месторождения, обеспечивающего экономический эффект от разделение остаточных объемов руды между открытым и комбинированным или подземным способами добычи [8].

Среди горняков существует мнение, что одинаковых месторождений не бывает, а соответственно и технологических особенностей отработки каждого из них. Следует подчеркнуть индивидуальный характер обоснования границы между подземными и открытыми горными работами, обусловленный различием экономических и горно-технических условий предприятий. Технико-экономическое обоснование границы производится в целях разделения запасов месторождения на запасы карьерного поля и запасы шахтного поля.

Решение проблемы освоения запасов мощных железорудных месторождений видится в комбинированном способе их отработки. При выемке законтурных запасов необходимо осуществлять взаимоувязку горных работ карьера и подземного рудника. Для обоснования параметров элементов систем разработки этих запасов подземным способом следует учитывать влияние горных работ карьера (в первую очередь буровзрывных) на напряженное состояние массива ниже уровня его дна – в зоне подземных горных работ. При этом необходимо установить четкую границу между открытыми и подземными работами. При определении границы учитывают особенности разработки месторождения подземным способом, которые проявляются в образовании значительного объема пустот, отделенных от карьера целиками и потолочинами, устойчивость которых от обрушения определяется расчетным путем.

Экономические показатели, определяющие величину граничного коэффициента вскрыши зависят от горно-геологических и горнотехнических условий рудника, района разработки, применяемой техники и технологии [9].

Стоимость добычи 1 т полезного ископаемого зависит от системы разработки, способа вскрытия, соотношения горноподготовительных и очистных работ, а они зависят от изменяющихся с глубиной мощности и углов падения залежи. На эту величину оказывает влияние изменение расходов на подъем, водоотлив. Таким образом, стоимость добычи 1 т руды подземным способом зависит от глубины разработки.

Стоимость выемки 1 м<sup>3</sup> вскрышных работ также изменяется с увеличением размеров карьера. Как известно из теории горного дела наибольшее значение коэффициент вскрыши приобретает в тот период эксплуатации карьера, когда рабочие борта подходят к верхним конечным контурам карьера, после чего, как правило, происходит уменьшение этого коэффициента до минимального значения. Методы определения границ карьера подробно рассмотрены в работе А.И. Арсентьева [9], который считает, что «во многих случаях для установления границ карьера и граничного коэффициента вскрыши пользуются несколькими методами. Если из условия сравнения открытых и подземных работ конечная глубина карьера получается меньше, чем по другим факторам, то следует принимать эту меньшую глубину».

В целом в процессе разработки крутопадающих железорудных месторождений углубка карьера и рост объемов вскрышных работ неизбежно повышают себестоимость добычи руды, которую в условиях рыночных отношений для производства конкурентноспособной товарной продукции стремятся уменьшить.

Это противоречие приводит к необходимости совершенствования методов определения границы между открытыми и подземными работами. Определять эту границу целесообразно как на перспективу, так и для месторождений уже обрабатываемых открытым и подземным способами.

Например, в настоящее время разрабатывается проект углубки Глееватского карьера ПАО «ЦГОК», в котором предусматривается увеличение высоты бортов карьера с нынешних 350 м до 500 м [10]. При этом проектные контуры карьера входят в зону подработанную подземными выработками в район возможного сдвижения

Очевидно, предварительно обоснованная и уточненная граница для одновременной отработки месторождения открытым и подземным способами предупредит ухудшение горнотехнических условий доработки карьера.

Все технологические процессы на руднике, где применяется открытая и подземная добыча и различные их варианты, должны быть взаимосвязаны. Проектирование карьера и подземного рудника должно осуществляться на взаимовыгодной основе, а не в интересах каждого из производств в отдельности.

Исследование влияния параметров контура карьера на глубину расположения границы между открытыми и подземными работами (рис. 1) при отработке крутопадающей залежи позволило установить аналитическую зависимость между этими факторами.

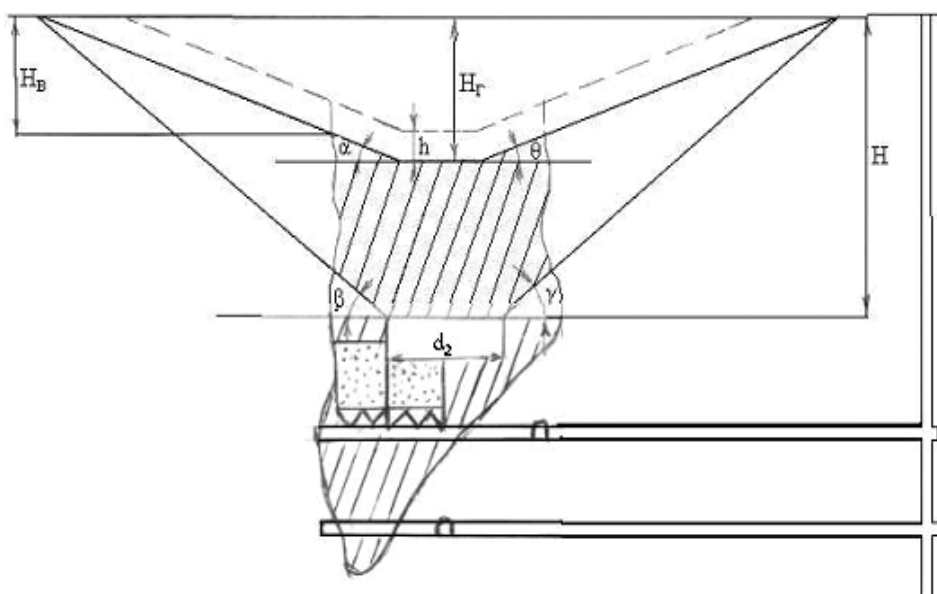


Рисунок 1. Схема к определению предельной глубины карьера при переводе открытых горных работ на подземную выемку подкарьерных запасов.

При этом величина  $H$  определится по формуле, м

$$H = \frac{(2H_B + 2K_{э.м} \cdot H_B \cdot \sigma - h) \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) - 2K_{э.м} \cdot d_2 \cdot \sigma}{2K_{э.м} \cdot (\operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{ctg} \beta) \cdot \sigma}, \text{ м}$$

где:  $H$  - проектная глубина карьера, м;  $h$  - понижение горных работ, м;  $\alpha, \theta$  - углы откоса рабочих бортов карьера, град.;  $\beta, \gamma$  - углы откосов нерабочих бортов карьера со стороны висячего и лежащего боков залежи, град.;  $H_B$  - вертикальная мощность вскрышных пород, м;  $d_2$  - ширина проектного дна карьера, м;  $K_{э.м}$  - максимальный эксплуатационный коэффициент вскрыши, м<sup>3</sup>/т;  $\sigma$  - объемный вес руды, м<sup>3</sup>/т. При этом:

$$K_{э.м.} = \frac{\gamma \cdot (C_k - C_c) \cdot (1-i) \cdot (1-n)}{C_в} + K_m = \frac{\gamma \cdot C_k (1 - Z_{м.к.}) \cdot (1-i) \cdot (1-n)}{Z_{м.к.} \cdot C_в} + K_m, \text{ м}^3 / \text{т}$$

где:  $C_k, C_c$  - цена и себестоимость товарной продукции (концентрата), грн./т;  $K_t$  - текущий коэффициент вскрыши за последний год, 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>;  $i$  - показатель инфляции (средняя величина показателя с 2000 г. составляет 0,1-0,12), доли ед.;  $n$  - налог на прибыль (с 2013 г. равен 0,19), доли ед.;  $Z_{т.п.}$  - затраты на одну гривну товарной продукции, грн./грн.

Глубину  $H_r$  карьера в период работы с максимальным эксплуатационным коэффициентом вскрыши  $K_{э.м.}$  можно ориентировочно рассчитать по установленной зависимости:

$$H_r = \frac{H \cdot (ctg\beta + ctg\gamma) + d_2 - d_1}{ctg\alpha + ctg\theta}, \text{ м}$$

где:  $d_1$  - ширина дна карьера в рабочем положении, м.

При этом большая глубина достигается когда в карьере формируются максимальные углы наклона рабочих бортов и минимальная ширина дна [11]. Углы бортов карьера определяются в основном прочностью образующих их пород и технологией отработки уступов карьера.

На геологических разрезах месторождения по максимальному эксплуатационному коэффициенту вскрыши можно определить приближенную глубину дна карьера для каждого разреза и построить его контуры по контурному коэффициенту вскрыши [7], который приравниваем к  $K_{э.м.}$ . Граничная глубина карьера, определяющая переход от открытой к комбинированной или подземной разработке равна:

$$H_{г.р.} = \frac{\sum_{k=1}^n H_k}{n}, \text{ м}$$

где:  $k$  - порядковый номер разреза;  $n$  - количество разрезов.

Таким образом, если разработка верхней части месторождения возможна открытым способом, а глубинной - подземным способом, методический подход к установлению глубины перехода от открытого к подземному или комбинированному способам разработки, позволяет разграничить запасы карьерного поля и шахтного поля обрабатываемого подземным способом и эффективно отработать запасы данного месторождения. При отработке законтурных запасов подземным способом вскрытие месторождения возможно вертикальными стволами и наклонными конвейерными стволами [8], параметры которых влияют на себестоимость добычи руды (табл. 1).

Таблица 1

Показатели добычи 1т сырой руды комплексом открыто-подземного способа разработки в сравнении с открытым и подземным способами (в у.е.)

Показатели	СевГОК		ЦГОК
	Первомайское месторождение	Анновское месторождение	
Себестоимость добычи 1т сырой руды комплексом открыто-подземного способа разработки при вскрытии вертикальными стволами в зависимости от глубины вскрываемой выработки (от 400 до 1400 м), по данным [8]	3-6,3	4,1-4,2	-
То же при вскрытии наклонными конвейерными стволами, по данным [8]	2,6-6,3	3,8-4,2	-
Себестоимость 1т сырой руды, добытой на СевГОКе (2006 г.) [12]	5,5		-
Себестоимость 1т магнетитовых кварцитов добытых на шахте им. Орджоникидзе ЦГОКа подземным способом (2006 г.) [12]	-		6,9

Следовательно технология добычи руды открыто-подземным способом в современных условиях является вполне конкурентноспособным способом и при применении улучшенных схем вскрытия может быть использована на ГОКах Кривбасса.

#### **Выводы.**

Своевременный переход на комбинированный способ разработки позволит в рациональной области своего применения улучшить технико-экономические показатели технологии разработки крутопадающих железорудных месторождений.

Предлагаемый методический подход учитывает основные параметры горных выработок служащих для разработки месторождения и показатели товарной продукции. Он может использоваться при проектировании предприятий осуществляющих разработку железорудного месторождения или его участков комбинированным, а также открытым и подземным способами.

При использовании комбинированного способа разработки по сравнению с открытым, уменьшается объем выемки вскрышных пород и коэффициент вскрыши, поскольку часть вскрышных пород остается в борту карьера, уменьшается также объем перемещаемых и складированных в отвалы пустых пород.

Установленные зависимости позволяют прогнозировать глубину открытых горных работ при переходе на подземный или комбинированный способ отработки, что позволит избежать негативных последствий от нерационального способа извлечения подкарьерных запасов полезного ископаемого.

Методический подход к определению границы между открытыми и подземными работами может использоваться проектными организациями совместно с научно-исследовательскими институтами, выполняющими проектные работы по доработке железорудных месторождений.

#### **Список литературы**

1. Горное дело /Ю.П. Астафьев, В.Г. Близуков и др.// -М.: «Недра»,1980.-367с.
2. Андреев Б.Н., Сергеева А.А. Определение переходных зон при комбинированной разработке железистых кварцитов // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. Сталій розвиток промисловості та суспільства. ДВНЗ «КНУ». -Кривий Ріг.-2012..-Ст. 24-25.
3. Новожилов М.Г. Открытые горные работы. -М. Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу.-1961.- 474 с.
4. Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Часть 2./ Под общей редакцией М.Г. Новожилова // М. «Недра», 1971.-532 с.
5. Арсентьев А.И. Определение главных параметров карьера. -М. «Недра»,1976.-213 с.
6. Разработка критериев геолого-экономической оценки железорудных месторождений МИНПРОМа Украины: Отчет о НИР/ НИГРИ.:№ 21-94: № Г.Р.0194V035705.-Кривой Рог. 1995.-35 с.
7. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Київ.-2007.-278 с.
8. Черных А.Д., Гушко П.И. Комплексная открыто-подземная разработка железорудных месторождений. -Киев:Тэхника, 1991.-278 с.
9. Арсентьев А.И. Определение производительности и границ карьеров. М., «Недра». 1970.
10. Несмашный Е.А. Устойчивость борта Глееватского карьера, подработанного подземными горными работами, при расширении его границ / Несмашный Е.А., Романенко А.А., Болотников А.В // Металлургическая и горнорудная промышленность №3.2012г.-Стр. 76-79.
11. Чепурной В.И. О влиянии природных факторов на формирование бортов карьера и временных целиков под производственными сооружениями / Чепурной В.И., Яценко Б.Е., Дядечкин Н.И., Костянский А.Н.// Збірник наукових праць за результатами роботи 11 Міжнародної науково-технічної конференції. НДГРІ ДВНЗ «КНУ». - Кривий Ріг.-2012.-Стр.71-73.
12. Технико-экономические показатели горнодобывающих предприятий Украины в 2005-2006 г.г.-Кривой Рог: ГП «НИГРИ». 2007.-156 с.