

УДК 622.271.324:553.042

Швец Д.В., аспирант
(ИГТМ НАН Украины)

**ВОВЛЕЧЕНИЕ В РАЗРАБОТКУ ЗАКОНСЕРВИРОВАННЫХ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАПАСОВ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ ПОД
СУЩЕСТВУЮЩИМИ ТРАНСПОРТНЫМИ КОММУНИКАЦИЯМИ
ДЕЙСТВУЮЩИХ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ**

Швец Д.В., аспірант
(ИГТМ НАН України)

**ЗАЛУЧЕННЯ В РОЗРОБКУ ЗАКОНСЕРВОВАНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ
ЗАПАСІВ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ ПІД ІСНУЮЧИМИ ТРАНСПОРТНИМИ
КОМУНІКАЦІЯМИ ДІЮЧИХ ГЛИБОКИХ КАР'ЄРІВ**

Shvets D.V., Doctoral student
(IGTM NAS of Ukraine)

**INVOLVEMENT INTO DEVELOPMENT OF GEOLOGICAL IRON-ORE
RESERVES CONSERVED UNDER THE EXISTING TRANSPORT
COMMUNICATIONS IN THE ACTIVE DEEP OPEN PITS**

Аннотация. Снижение себестоимости добычи железной руды в действующих глубоких карьерах, разрабатывающие крутопадающие залежи железной руды, вследствие продолжающегося длительного обвала потребительских цен на мировом рынке железорудного сырья, необходимо обеспечить за счет снижения затрат на выполнение вскрышных работ, а также расходов на отвалообразование и транспортировку вскрышной массы.

Решение данной проблемы предлагается осуществить за счет вовлечения в разработку геологических запасов под существующими системами автомобильных и железнодорожных съездов, концентрационными горизонтами комплексов циклично-поточной технологии, перегрузочными пунктами с автомобильного на железнодорожный транспорт.

Уточнение граничной глубины отработки крутопадающих месторождений, с учетом образовавшихся объемов законсервированных геологических запасов под существующими транспортными коммуникациями, необходимо осуществлять по мере изменения формирования отпускной цены на железорудный концентрат.

Ключевые слова: железорудное сырье, себестоимость, существующие транспортные коммуникации, законсервированные геологические запасы, граничная глубина карьера.

Введение. Вследствие обвала потребительских цен на мировом рынке железорудного сырья [1, 2], которое длится с начала 2014 года, предприятиям горнодобывающей отрасли необходимо обеспечить снижение затрат на выполнение вскрышных работ в действующих глубоких карьерах, а также расходов на осуществление отвалообразования и транспортировку вскрыши для обеспечения конкурентоспособности своей продукции.

Данное технико-экономическое решение обосновывается сложившимся распределением доли затрат и расходов на производство вскрышных работ в

калькуляции себестоимости [3] добычи железной руды на действующих горно-обогатительных комбинатах.

Ввиду отсутствия каких-либо инвестиций в повышение крутизны результирующих углов откосов бортов [4] действующих железорудных карьеров, разрабатывающих крутопадающие месторождения, экономически необходимое снижение объемов выемки вскрышных пород предлагается осуществить за счет вовлечения в разработку геологических запасов под существующими системами автомобильных и железнодорожных съездов, концентрационными горизонтами комплексов циклично-поточной технологии, перегрузочными пунктами с автомобильного на железнодорожный транспорт.

Методы исследований. Исследование развития горных работ глубоких карьеров при доработке их до конечной глубины, с помощью использования графических методов текущего планирования открытых горных работ и геологических погоризонтных планов, позволяет установить объемы законсервированных балансовых запасов под существующими транспортными коммуникациями действующих карьеров, разрабатывающих крутопадающие месторождения железной руды.

Теоретическая и экспериментальная часть. Основной причиной вовлечения в разработку законсервированных геологических запасов железной руды под существующими транспортными коммуникациями в действующих карьерах являются значительные объемы их консервации, увеличивающиеся с глубиной понижения ведения открытых горных работ.

Общие технологические параметры объектов, консервирующих геологические запасы железной руды в действующих карьерах, разрабатывающие крутопадающие месторождения полезных ископаемых, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Общие технологические параметры транспортных коммуникаций

Наименование показателя	Разновидности транспортных коммуникаций			
	ПП авто/жд	ПДП комплексов ЦПТ	железнодорожные станции	карьерные автомобильные дороги
- длина, м	600	120	550	187,5...600
- ширина, м	85	300	70	32
- высота, м	7...12	30	–	до 48 м с учетом обеспечения продольного уклона 80‰

Расконсервация геологических запасов под существующими системами автомобильных и железнодорожных съездов, концентрационными горизонтами комплексов циклично-поточной технологии, перегрузочными пунктами с автомобильного на железнодорожный транспорт позволило бы отработать данные участки месторождений с минимальными объемами выемки вскрышных пород [5-9].

Сравнительные данные законсервированных геологических запасов железной руды под существующими транспортными коммуникациями приведены в

таблице 2.

Таблица 2 – Сводные данные изменения объемов консервации геологических запасов железной руды под транспортными коммуникациями при понижении глубины ведения открытых горных работ

Наименование показателя	Разновидности транспортных коммуникаций			
	ПП авто/жд	ПДП комплексов ЦПТ	железнодорожные станции	карьерные автомобильные дороги
<i>По месту расположения – непосредственно на залежи рудного тела</i>				
Наиболее характерно для карьеров:	АО «ЛГОК»	ЧАО «ИНГОК»	ПАО «ЮГОК»	все карьеры
- при достигнутой глубине / объем консервирования:	443 м / 188,2 млн. т	468 м / 48,9 млн. т	404 м / 9,2 млн. т	418 м / 18,6 млн. т
- при дальнейшем понижении горных работ:				
на 30 м (2 уступа)	+ 47,1 млн. т	+ 9,2 млн. т	+ 2,3 млн. т	+ 2,0 млн. т
на 75 м (5 уступов)	+ 94,5 млн. т	+ 30,8 млн. т	+ 5,8 млн. т	+ 3,0 млн. т
Суммарно консервируется:	235,3 млн. т	88,9 млн. т	17,3 млн. т	23,6 млн. т
<i>По месту расположения – частично на залежи рудного тела</i>				
Наиболее характерно для карьеров:	Первомайский карьер ЧАО «СевГОКа»		ПАО «ЮГОК»	все карьеры
- при достигнутой глубине / объем консервирования:	458 м / 8,4 млн. т	458 м / 60,4 млн. т	404 м / 6,5 млн. т	370 м / 3,4 млн. т
- при дальнейшем понижении горных работ:				
на 30 м (2 уступа)	+ 5,1 млн. т	+ 12,0 млн. т	+ 2,6 млн. т	+ 1,7 млн. т
на 75 м (5 уступов)	+ 17,3 млн. т	+ 78,7 млн. т	+ 6,3 млн. т	+ 7,4 млн. т
Суммарно консервируется:	30,8 млн. т	151,1 млн. т	15,4 млн. т	12,5 млн. т

Выполненный горно-геометрический анализ и данные о законсервированных геологических запасах под существующими транспортными коммуникациями действующих карьеров, которые разрабатывают крутопадающие месторождения железной руды, позволили установить зависимость изменения объемов законсервированных геологических запасов железной руды и вскрышных пород от глубины ведения горных работ с учетом угла падения и продуктивной мощности залежи полезного ископаемого. Именно поэтому важным фактором является определение предельной глубины расконсервации геологических запасов под существующими транспортными коммуникациями.

Результаты исследования. Установленная зависимость отображена на графике, приведенном на рисунке 1. Представленный график наглядно описывает динамику изменения первоначально некоторой константы законсервированного объема геологических запасов полезного ископаемого под существующими транспортными коммуникациями; затем с углублением глубины ведения горных работ – увеличение объемов консервируемых геологических запасов железной руды, и в последующем – сокращение объемов консервирования геологических запасов полезного ископаемого с учетом геологического строения разрабатываемого крутопадающего месторождения (угла падения и продуктивной мощности полезного ископаемого).

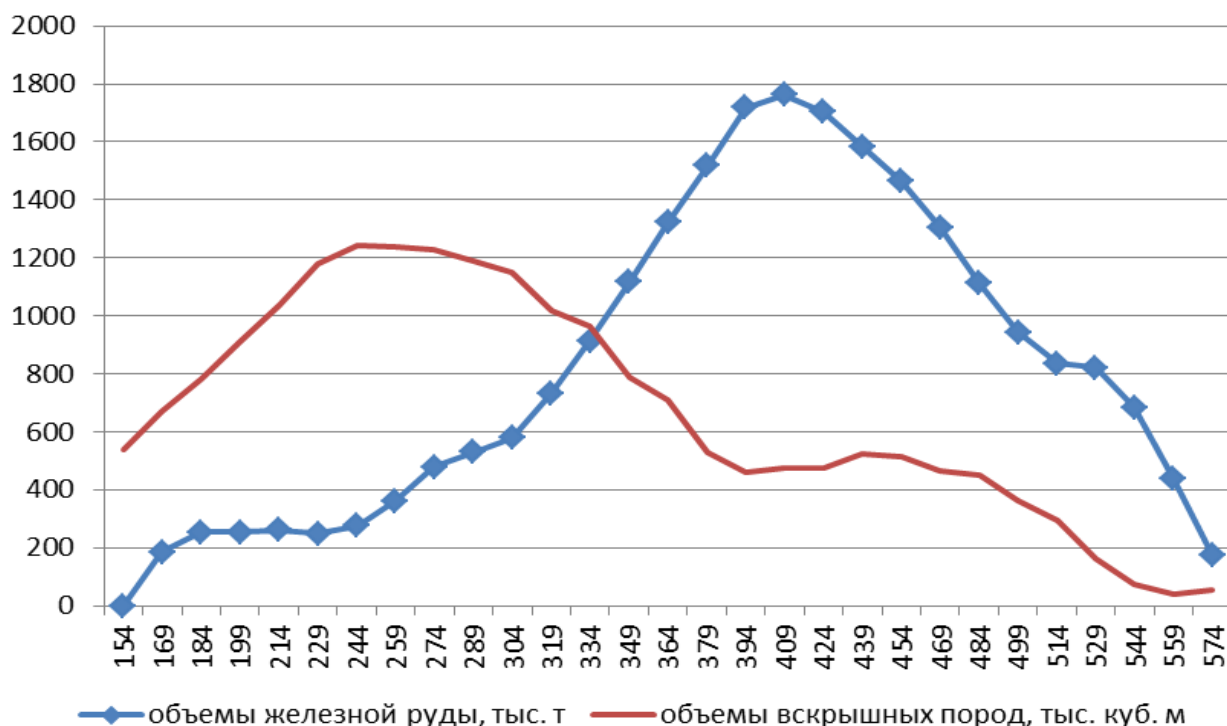


Рисунок 1 - График зависимости изменения объемов законсервированных запасов железной руды (тыс. т) и вскрышных пород (тыс. м³) от глубины ведения горных работ

Предельная глубина расконсервации ($H_{гр.раск.}$) геологических запасов под существующими транспортными коммуникациями определяется зависимостью

$$H_{гр.раск.} = \frac{\phi(C, C_{конц.}, C_v)}{f(H_k, \gamma, m, \alpha_{залежи}, \beta_{борта})}, \text{ где} \quad (1)$$

где C – минимальная цена на концентрат, долл.; $C_{конц.}$ – себестоимость концентрата, долл.; C_v – себестоимость выполнения вскрышных работ, долл.; H_k – глубина карьера, м; γ – выход концентрата, %; m – мощность залежи рудного тела, м; $\alpha_{залежи}$ – угол падения рудного тела, градус; $\beta_{борта}$ – приведенный угол погашения борта карьера, градус.

Следовательно, наиболее эффективное регулирование объемов выемки гор-

ной массы в конкретных горно-геологических условиях разработки месторождения может быть достигнуто при условии работы карьера с минимально возможным текущим коэффициентом вскрыши. При достижении им значения граничного коэффициента вскрыши открытая разработка крутопадающего месторождения осуществляется без дальнейшего понижения глубины разработки месторождения.

Граничная глубина карьера ($H_{зр.к}$), разрабатываемого крутопадающее месторождение железной руды определится как соотношение экономического граничного коэффициента вскрыши $K_{зр}^{ЭК}$ к граничному коэффициенту вскрыши $K_{зр}$

Граничный коэффициента вскрыши описывается функцией

$$K_{зр.} = f(H_{к}, \gamma, m) \quad (2)$$

Экономически граничный коэффициенту вскрыши описывается функцией

$$K_{зр}^{ЭК} = \varphi(C, C_{конц.}, C_{в}) \quad (3)$$

На основании выражений (2) и (3) определяем граничную глубину карьера

$$H_{зр.к} = \frac{\varphi(C, C_{конц.}, C_{в})}{f(H_{к}, \gamma, m)} \quad (4)$$

Суммарный объем железной руды V_p , добываемый при возможном дальнейшем понижении глубины ведения открытых горных работ в карьере состоит из суммы объемов, вынимаемых при углубке $V_{угл.}$. И при дополнительной углубке $V_{угл.дон.}$ [3]

$$V_{угл.} = m \times (H_{угл.} - h) \times L_{ср.}, \quad (5)$$

где $H_{угл.}$ – глубина возможного понижения открытых горных работ, м; h – высота уступа / группы уступов, м; $L_{ср.}$ – средняя протяженность фронта горных работ, м;

$$V_{угл.дон.} = \frac{1}{2} \times (m + Ш_{\delta}) \times h \times L_{ср.}, \quad (6)$$

где $Ш_{\delta}$ – минимальная ширина дна карьера, м.

Следовательно, суммарный объем железной руды, добываемый при возможном дальнейшем понижении глубины ведения открытых горных работ в действующем карьере, разрабатываемом крутопадающее месторождение, с учетом (5) и (6) рассчитывается по формуле (7)

$$V_p = L_{cp.} \times [m \times (H_{ygl.} - h) + \frac{1}{2} \times (m + III_{\delta}) \times h]. \quad (7)$$

Однако при этом не учитывается часть балансовых запасов (V_3) железных руд в карьере при его доработке, которые остаются законсервированными под вскрывающими выработками и транспортными коммуникациями ($V_{p.конс.}$), поэтому в расчет следует принимать геологические запасы в карьере по формуле

$$V_3 = V_p - V_{p.конс.} \quad (8)$$

При определении объема вскрывных пород (V) также необходимо учитывать законсервированные объемы вскрывши под вскрывающими выработками и транспортными коммуникациями ($V_{в.конс.}$).

Используя вышеприведенные формулы (5), (6), (7) и (8), определяем средний коэффициент вскрывши при углубке карьера ($K_{cp.ygl.}$) [10]

$$K_{cp.ygl.} = (V - V_{в.конс.}) / V_3; \quad (9)$$

$$K_{cp.ygl.} = (V - V_{в.конс.}) / \{ L_{cp.} \times [m \times (H_{ygl.} - h) + \frac{1}{2} \times (m - III_{\delta}) \times h] - V_{p.конс.} \}. \quad (10)$$

Учитывая, что средний коэффициент вскрывши меньше контурного коэффициента вскрывши, принимаем, что экономически граничный коэффициент вскрывши определяется исходя из минимума получения прибыли предприятием открытого способа разработки крутопадающего месторождения железной руды.

Выражая зависимость V и $V_{в.конс.}$ с учетом достигнутой глубины карьера, из полученного выражения (10) определяется граничная глубина углубки карьера с учетом объема расконсервации геологических запасов под существующими транспортными коммуникациями.

Выводы. Для эффективной работы горнорудных предприятий по добыче железной руды открытым способом необходимо уточнять граничную глубину отработки крутопадающих месторождений с учетом образовавшихся объемов законсервированных геологических запасов под существующими транспортными коммуникациями по мере изменения формирования отпускной цены на железорудный концентрат.

Расконсервация геологических запасов железной руды под существующими системами автомобильных и железнодорожных съездов, концентрационными горизонтами комплексов циклично-поточной технологии и перегрузочными пунктами с автомобильного на железнодорожный транспорт, позволяет обеспечить снижение себестоимости добычи 1 т железной руды не только за счет сокращения затрат на выполнение вскрывных работ (до 20 %), но также и на отвалообразование и транспортировку вскрывной массы (до 12 %).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. «Двойное дно» рынка железной руды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.metaltorg.ru/analytics/ores/?id=628>. – Загл. с экрана.
2. Технологическая схема дополнительной углубки открытой разработки крутопадающих месторождений с частичным изменением проектных контуров / А.В. Романенко, Д.В. Швец, В.В. Панченко [и др.] // Форум гірників-2014: матеріали міжнар. конф. – Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2014. – Т. 1. – С. 129-134.
3. Швец, Д.В. Приоритетные направления развития горных работ в глубоких карьерах при доработке их до конечной глубины / Д.В. Швец, Е.В. Малеев // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип. 123. – С.172-185.
4. Малеев, Е.В. Технологія заукіски бортів глибоких кар'єрів / Е.В. Малеев, А.Ю. Дриженко // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: НГУ, 2013. – Вип. 43. – С. 144-150.
5. Перспективные технологии открытой добычи руд в условиях Кривбасса (на примере Ингулецкого ГОКа) / М.С. Четверик, В.А. Пивень, А.В. Романенко [и др.]: Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2006». – Д.: НГУ, 2006. – С. 100–113.
6. Гірничо-геологічні фактори рентабельності гірничо-видобувних підприємств / В.Г. Блізнюков, В.О. Пивень, О.В.Плотніков // Проблемы научного обеспечения горнопромышленного комплекса Украины на пороге XXI века: Сб. науч. тр. – Кривой Рог: НИГРИ, 2001. – С. 116–119.
7. Dagdelen, K. Open pit optimization – strategies for improving economics of mining projects through mine planning / K. Dagdelen // *Orebody Modelling and Strategic Mine Planning, Spectrum Series*, 14:125-128, 2007.
8. Evolutionary and revolutionary technologies for mining. Committee on Technologies for the Mining Industry, Committee on Earth Resources, National Research Council. – National Academy of Sciences, USA. – 2002. – 102 p.
9. Медведева, О.А. Параметры глубоких железорудных карьеров при их доработке // О.А. Медведева. – Киев: Наукова думка, 2013. – 127 с.
10. Швец, Д.В. Определение глубин отработки глубоких горизонтов карьеров, разрабатывающих залежи железной руды / Д.В. Швец // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр / 2-я международная научная школа академика К.Н. Трубецкого. – М.: ИПКОН РАН, 2016. – С. 271-273.

REFERENCES

1. "Double bottom" of the market iron ore (2014), available at: <http://www.metaltorg.ru/analytics/ores>, (Accessed 05.07.2015).
2. Romanenko, A.V., Shvets, D.V., Panchenko, V.V. et al. (2014), "Technological scheme additional lowering opencast steep deposits with a partial change in the circuit design", *Forum gornyakov – 2014: materialy mezhdunarodnoy konferentsii* [Mining forum-2014: materials international conference], *Forum gornyakov-2014* [Mining forum-2014], Dnipropetrovsk, Ukraine, 15 october 2014, vol. 1, pp. 129-134.
3. Shvets, D.V. and Maleev, E.V. (2015), "Priority areas of the mining operation expansion in the deep open-pits up to the total depth", *Geo-Technical Mechanics*, no. 123, pp. 172-185.
4. Malieiev, Ye.V. and Drizhenko, A.Yu. (2013), "Technology of pre-splitting of deep quarries boards", *Zbirnyk naukovykh prats NGU*, no. 43, pp.– 144-150.
5. Chetvirik, M.S., Piven, V.A., Romanenko A.V. et al. (2006), "Prospective open-pit ore mining technology in Kryvbas's conditions (for example Ingulets MPP)", *Forum gornyakov – 2006: materialy mezhdunarodnoy konferentsii* [Mining forum-2006: materials international conference], *Forum gornyakov-2006* [Mining forum-2006], Dnepropetrovsk, Ukraine, 5 october 2006, pp. 100-113.
6. Bliznykov, V.G., Piven, V.A. and Plotnikov, O.V. (2001), "Mining and geological factors of profitability MPP", *Problemy nauchnogo obespecheniya gornopromyshlennogo kompleksa Ukrainy na poroge XXI veka: collection of scientific papers*, pp. 116-119.
7. Dagdelen, K. (2007), "Open pit optimization – strategies for improving economics of mining projects through mine planning", *Orebody Modelling and Strategic Mine Planning, Spectrum Series*, no.14, pp.125-128.
8. Committee on Earth Resources, National Research Council, Committee on Technologies for the Mining Industry (2002), "Evolutionary and revolutionary technologies for mining", National Academy of Sciences of USA.

9. Medvedeva, O.A. (2013), *Parametry glubokikh zhelezorudnykh karerov pri ikh dorabotke* [Parameters of iron deep pits at their completion], Naukova Dumka, Kiev, Ukraine.
10. Shvets, D.V. (2016), "Determination of the depth deep horizons of mining open-pits that develop iron ore deposits", *Problemy i perspektivy kompleksnogo osvoeniya i sokhraneniya nedr* [Problems and prospects of integrated development and conservation of the Earth's interior], 2 *Mezhdunarodnaya nauchnaya shkola akademika K.N. Trubetskogo* [2-nd international scientific school of Trubetskoy's academician], Moscow, Russia, 26.01.2016, pp. 271-273.

Об авторе

Швец Дмитрий Валериевич, магистр, аспирант отдела геомеханических основ технологий открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, shvetsdmitriy@yandex.ua.

About the author

Shvets Dmitriy Valerievich, Master of Sciences, Graduate Student in Department of Geomechanics Mineral Open-pit Mining Technology, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, shvetsdmitriy@yandex.ua.

Анотація. Зниження собівартості видобутку залізної руди в діючих глибоких кар'єрах, що розробляють крутоспадні поклади залізної руди, внаслідок затяжного триваючого обвалу споживчих цін на світовому ринку залізорудної сировини, необхідно забезпечити за рахунок зниження витрат на виконання розкривних робіт, а також витрат на відвалоутворення та транспортування розкривної маси.

Рішення даної проблеми пропонується здійснити за рахунок залучення в розробку геологічних запасів під існуючими системами автомобільних і залізничних з'їздів, концентраційними горизонтами комплексів циклічно-потоквої технології, перевагантажувальними пунктами з автомобільного на залізничний транспорт.

Уточнення граничної глибини відпрацювання крутоспадного родовища, з урахуванням утворених об'ємів законсервованих геологічних запасів під існуючими транспортними комунікаціями, необхідно здійснювати по мірі зміни формування відпускної ціни на залізорудний концентрат.

Ключові слова: залізорудна сировина, собівартість, існуючі транспортні комунікації, законсервовані геологічні запаси, гранична глибина кар'єру.

Abstract. Due to the long-term collapse of consumer prices in the global iron ore market, cost of the iron ore produced by the deep open pits with steeply dipping deposits, can be reduced by reducing costs of stripping operations and expenses for the dump formation and rock transportation.

It is propose to solve this problem by involving into development geological reserves under the existing system of the vehicle and railway exit roads, concentration horizons of complexes with cyclic-flow technology, and points for transferring cargoes from vehicles to the rail transport.

Boundary depth of opencast mining of the steeply-dipping deposits should be clarified with taking into account volume of the formed geological reserves under the existing transport communications and changed prices of the iron ore concentrate.

Keywords: iron ore, cost price, existing transport communication, conserved geological reserves, boundary depth of the open-pit.

Статья поступила в редакцию 10.10.2016

Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Четвериком М.С.