

**The originality** is to establish the using area of different types of energy sources (traditional and nontraditional) for decrease the financial expenses and ecological pressure on mining and post mining territories.

**Practical implications** is to propose technological scheme of cogeneration technologies usage for domestic and industrial purposes.

**Keywords:** *mining, cogeneration, heating pump, geological conditions, energy from tradition and nontraditional sources*

УДК 622.271.3

© А.Ю. Дриженко, А.А. Шустов, А.А. Адамчук, Н.А. Никифорова

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КАРЬЕРОВ УКРАИНЫ ПРИ ИХ УГЛУБКЕ**

© A. Drizhenko, A. Shustov, A. Adamchuk, N. Nikiforova

## **IMPROVEMENT OF OPEN-PIT MINING TECHNOLOGY DURING THE SINK RATE OF IRON-ORE DEPOSITS OF UKRAINE**

Рассмотрен вопрос выемки законтурных балансовых запасов полезных ископаемых в глубинной части карьерного поля. Приведены данные о технических показателях работы глубоких карьеров Украины. Показаны новые технологические схемы раздельной выемки и складирования пород вскрыши. Представлена схема последовательности отработки крутопадающего месторождения с минимальной выемкой пород вскрыши. Обоснована экономическая эффективность предложенных решений путем уменьшения объемов выемки пород вскрыши и снижения площади нарушенных земель.

Розглянуто питання виймання законтурних балансових запасів корисних копалин в глибинній частині кар'єрного поля. Наведені дані про технічні показники роботи глибоких кар'єрів України. Показані нові технологічні схеми роздільного виймання і складування порід розкриву. Представлена схема послідовності відпрацювання крутоспадного родовища з мінімальним вийманням порід розкриву. Обґрунтована економічна ефективність запропонованих рішень шляхом зменшення об'ємів виймання порід розкриву та зниження площі порушених земель.

**Введение.** Развитие горнодобывающей промышленности Украины в ближайшей перспективе связано с введением в эксплуатацию мощных пластов железных руд Криворожского железорудного бассейна и прилегающих к нему мощных месторождений железистых кварцитов. Эти месторождения характеризуются крутым падением (60 – 90°) и граничной глубиной открытой разработки 500 – 800 м [1]. С другой стороны, растущая текущая глубина карьеров сопровождается систематическим увеличением объемов выемки пустых пород, которые складываются на прилегающей земной поверхности и на долгие годы

выводят ее из сельскохозяйственной эксплуатации. Вследствие этого технология доработки действующих железорудных карьеров требует коренного усовершенствования.

**Состояние вопроса.** Развитие открытых горных работ на глубоких карьерах ведет к увеличению объема выемки пород вскрыши, который увеличивает себестоимости товарной продукции, а также является причиной утраты значительных площадей земли под сооружение внешних отвалов и горных выработок. Действующие на сегодняшний день системы открытой разработки пород вскрыши горизонтальными слоями характеризуются выемкой основного объема пустых пород в первую треть срока эксплуатации месторождения с последующим их складированием во внешние отвалы высотой 120 – 180 м [2]. Перенесение основного объема вскрышных работ на более поздние сроки эксплуатации возможно за счет отработки пород вскрыши крутонаклонными слоями. При достижении проектной глубины разработки имеется возможность организации внутреннего отвалообразования пород вскрыши в отработанной части карьера. Дальнейшее понижение горных работ в будущем приведет к увеличению параметров рабочей зоны по породам вскрыши и уменьшению ее по полезному ископаемому.

В этой связи актуальной научно-практической **задачей** является разработка нового способа вовлечения в эксплуатацию законтурных запасов полезных ископаемых на глубину до 1000 – 1200 м с минимальным объемом выемки пород вскрыши при сохранении производственной мощности карьера по руде, способствующей полноценной работе комбинатов по производству товарной продукции. **Объектом** исследования является технология открытой разработки крутопадающих месторождений. **Предметом** исследования является технология доработки законтурных запасов крутопадающих месторождений открытым способом. **Идея работы** заключается в обосновании целесообразности увеличения крутизны рабочих и нерабочих бортов путем совершенствования методов заоткоски уступов при эксплуатации последних выемочных заходов при выходе рабочей зоны на предельное положение.

**Изложение основного материала.** Анализ работы горнодобывающих предприятий Украины (табл.) показывает, что железные руды отрабатываются карьерами с проектной глубиной до 500 м, а в отдельных случаях – 700 – 800 м. Размеры таких карьеров в плане составляют 1000 х 3500 м и более по поверхности, а их размеры по дну изменяются от 300 до 1240 м [3-4]. При этом число законтурных балансовых запасов полезных ископаемых по глубине составляет 600 – 1000 млн. т, основная часть которых расположена ниже отметки дна карьера. Вовлечение в эксплуатацию этих запасов приведет: во-первых – к повышению производственной мощности карьера по выемке пустых пород, что характеризуется возрастанием среднего и текущего коэффициентов вскрыши; во-вторых – к необходимости отвода охраняемых целиками объектов: рек, поселков, отвалов пустых пород и бедных руд, железнодорожных путей, фабрик и др.; в-третьих – к расширению площади горного отвода предприятия. Вслед-

ствие этих факторов возрастает себестоимость добычи сырой руды и производства рудного концентрата.

Таблица  
Горно-технические показатели открытой разработки железных руд в Украине

Наименование показателя	Карьер ИнГОКа	Карьер ЮГОКа	Карьер № 2-бис АМКР	Карьер № 3 АМКР	Объединенный карьер ЮГОКа и № 3 АМКР	Карьер № 1 ЦГОКа	Карьер № 3 ЦГОКа	Анновский карьер СевГОКа	Карьер Полтавского ГОКа	Карьер Еристовского ГОКа
Горизонтальная мощность рудной залежи $m_z$ , м	70 – 550	135 – 400	45 – 90	260 – 540	135 – 540	95 – 595	300 – 350	300 – 650	110 – 200	240 – 550
Угол падения залежи $\alpha$ , град	60 – 70	40 – 70	60 – 85	55 – 70	40 – 70	55 – 70	45 – 85	55 – 85	55 – 90	70 – 85
Проектная глубина карьера $H_k$ , м	650	660	415	500	850	500	545	450	390	500
Проектная производительность: – по руде $P_n$ , млн. т**	36,5	34	8,5	18	150	9,5	9	18,5	34	9
– по вскрыше $V_n$ , млн. т**	90,3	69,4	24,7	43	14 – 16	31,7	24,8	87	133,3	65
Размеры карьера по поверхности: – ширина $B$ , м – длина $L$ , м	2250 3600	2550 3000	1200 2200	2000 2550	5500 6750	1630 4290	1360 1700	1500 7300	2100 4460	1500 3750
Размеры карьера по дну: – ширина $b$ , м – длина $l$ , м	240 1000	175 350	100 400	450 800	250 500	70 200	110 126	30 4200	70 3640	100 1880
Годовая производительность карьера по руде $A_{ni}$ , млн. т*	35	35,56	9,7	13,8	37	9,8	4,8	15	32	9***
Годовая производительность карьера по вскрыше $A_{вск}$ , млн. т*	67,6	73,4	26,1	46,7	58	37,8	13,9	77,8	96	65** *
Расстояние перевозки вскрыши $L_{mp}$ , км	7	5	3	4	5	2	11	9	8	9
Объем породы вскрыши в карьере $V_{\delta}$ , млн. м <sup>3</sup>	445,8 8	216,83	78,1	177,1	1985,4	154,5	288,5	397,5	166,4	705,8
Перспективные балансовые запасы $P_{з.б}$ , млн. т	407,3	534,3	838,1	675,2	9146,1	1061	841,7	593,4	61,7	750

\* – 1989 год; \*\* – 2005 год; \*\*\* – 2013 год

Следует отметить, что значение результирующих углов откоса нерабочих бортов карьера существенно влияет на предельный коэффициент вскрыши, по величине которого устанавливают границы отработки месторождений и эффективность их разработки. В то же время путем увеличения углов откоса нерабочих бортов и отдельных уступов на них значительно уменьшают объем пород вскрыши в пределах карьерного поля, вследствие чего существенно повышается экономичность добычи железной руды. Для обеспечения устойчивости бортов проводится специальная заоткоска уступов при постановке их в предельное положение и оборка заколов по плоскости подрыва экскаваторами.

Поставленная задача решается тем, что в известном способе открытой разработки крутопадающих месторождений полезных ископаемых, который включает подготовку карьерного поля, вскрытие, разработку горной массы с установленным темпом углубления и транспортированием ее на дневную поверхность отличается тем, что предварительно на дневной поверхности возводят крутонаклонный скиповый подъемник [5]. Его приемные площадки систематически переносят вниз в соответствии с темпом углубки горных работ. Доставку руды и пустых пород по разновидностям к месту погрузки в скипы обычно производят автосамосвалами. Часть бортов карьера с расположением подъемника формируют под углами  $60 - 90^\circ$  с соответствующим креплением откосов.

Кроме того, в процессе подготовки карьерного поля определяют зоны идентичных мощностей рудного тела, на каждой маломощной из которых в пределах проектной глубины разработки строят приемные бункера с пошаговым перемещением их один относительно другого под соответствующими разгрузочными бункерами. Вскрытие рабочих горизонтов осуществляют путем проведения выездных и разрезных траншей с движением фронта добычных работ в противоположном от крепления приемных устройств. Разрыхленную взрывом горную массу нагружают и транспортируют по разновидностям к приемным бункерам подъемника. Их, в соответствии с установленным темпом углубки, переносят поочередно один за другим вглубь карьера, наращивая крепления вертикальных оградительных стенок. Крепи сооружают сплошными по высоте в пределах узких зон идентичных мощностей рудного тела с открытым рабочим пространством, добычные горизонты которого последовательно соединяют с центральной зоной карьера автомобильными съездами с возможностью выхода в направлении дневной поверхности. Рудное тело отрабатывают в направлении к проектной глубине карьера одновременно с вовлечением мощных зон рудного тела по обычной системе разработки (рис.).

При этом способ открытой разработки крутопадающих месторождений может быть реализован по одной из схем [5-8]. При этом предварительно устанавливают контуры карьерного поля на земной поверхности и проектную глубину его разработки. Определяют целесообразные типы горнотранспортных машин и вспомогательное оборудование. Для организации их четкой работы в условиях систематического изменения текущей глубины карьера рассчитывают экономически целесообразное направление движения уступов в рабочей зоне

карьера и ориентирование выездных траншей с транспортированием горной массы от экскаваторных забоев на дневную поверхность.

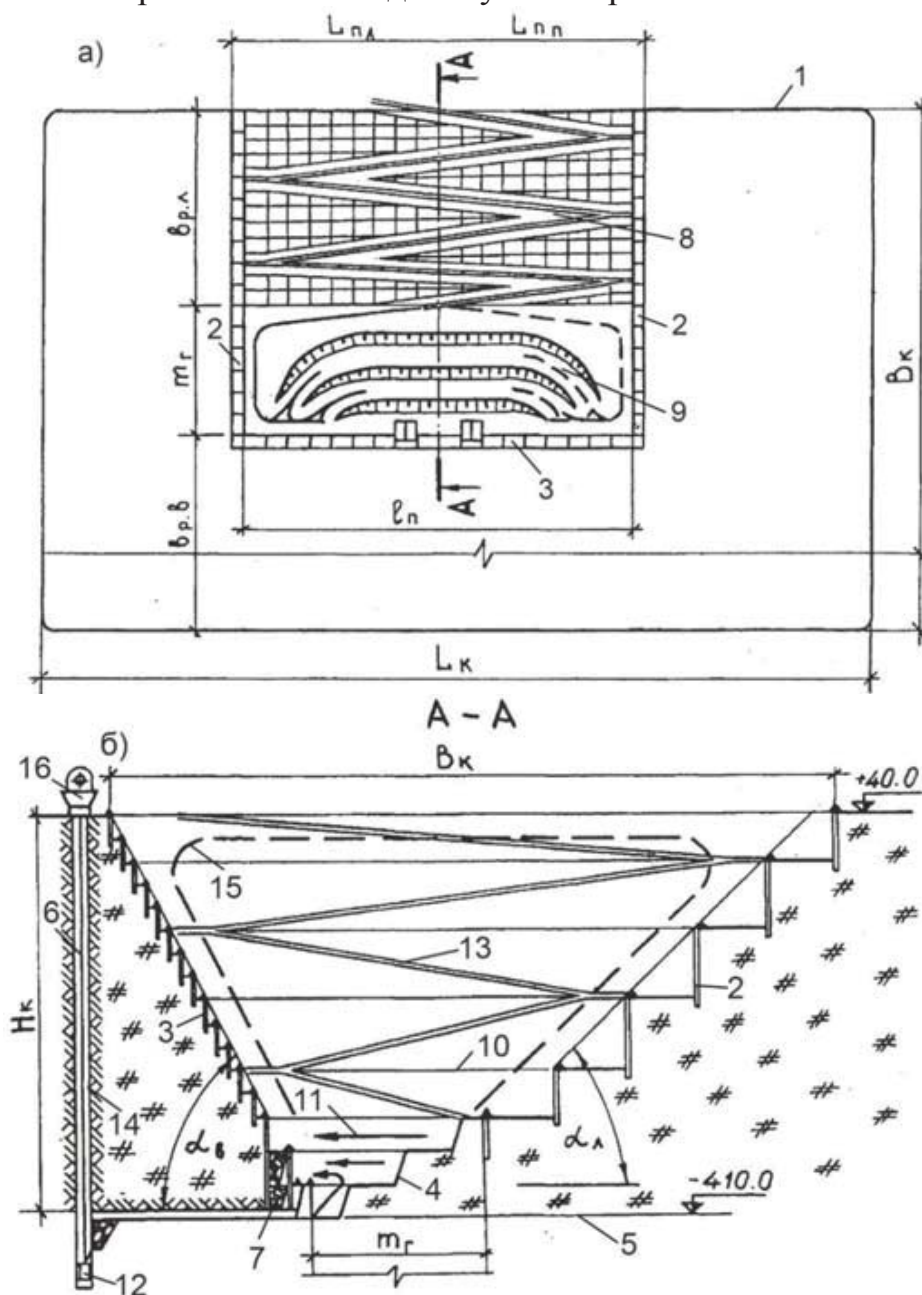


Рис. Схема последовательности отработки крутопадающего месторождения: а – вид в плане, б – вид в поперечном разрезе; 1 – контур карьерного поля на поверхности; 2, 3 – ограждающие железобетонные стенки в торцах карьерного поля и на его нерабочем фронтальном борту; 4 – рабочие уступы; 5 – проектная глубина разработки месторождения; 6 – подъемный скиповый комплекс; 7 – приемные бункеры скипового комплекса; 8, 9 – соответственно выездные и разрезные траншеи; 10 – рабочие горизонты карьера; 11 – направление движения загруженных и пустых автосамосвалов; 12 – скипы; 13 – автомобильные съезды; 14 – ствол скипового подъемника; 15 – контур рудного тела; 16 – выход транспортных коммуникаций на дневную поверхность



С учетом постоянной интенсивности добычи железной руды принимают соответствующий возрастающий темп углубления горных работ, обусловленный уменьшением площади рудного тела с нарастающей глубиной карьера, определяют значение предельного коэффициента вскрыши. При этом устанавливают зоны маломощных, ориентировано в пределах 50 – 200 м, идентичных между собой по параметрам и глубине участков полезного ископаемого, которые характеризуются повышенными в несколько раз долевыми коэффициентами вскрыши. Их открытая разработка обычными технологиями будет резко повышать себестоимость добычных работ. Соответственно заявленному способу разработку ведут одновременно по всей площади карьерного поля 1 с эксплуатацией карьерных экскаваторов и автосамосвалов, снижая общий объем выемки пустых пород.

В торцах карьерного поля 1 и на идентичных участках по простиранию месторождения вынимают только полезное ископаемое с креплением откосов уступов железобетонными стенками 2, 3 на соответствующих маломощных участках месторождения. Рабочие уступы на этих участках с соответствующими площадками 4 перемещают вдоль простирания месторождения от границ карьерного поля 1 к его середине с формированием единого открытого рабочего пространства, где мощные рабочие участки отрабатывают в поперечном направлении к проектной глубине разработки месторождения 5.

Для транспортирования полезного ископаемого на дневную поверхность при разработке маломощных участков на торцах карьерного поля 1 и идентичных участках по простиранию месторождения 3 сооружают скиповые подъемные комплексы 6 с приемными бункерами 7 на нижних рабочих площадках 4, соединяют их с рабочей зоной карьера соответствующими капитальными выездными 8 и разрезными 9 траншеями. Полезное ископаемое по разновидностям транспортируют только с подъемом на один уступ или по рабочему горизонту 10 в направлении 11 к приемному бункеру 7, где перегружают в скип 12 соответствующего подъемного комплекса 6. При понижении глубины разработки приемные бункера соответственно установленному темпу углубления переносят поочередно один за одним вглубь на более глубокие горизонты 4 с соответствующим наращиванием скипового ствола 14. Автосамосвалы в начале работы и по ее завершению перемещаются по автосъездам 13 и системе капитальных траншей с выходом на дневную поверхность. Систему капитальных траншей размещают на нерабочих бермах карьера с выходом выездной траншеи 8 и дальше на дневную поверхность. При этом месторождение в центральной зоне карьера разрабатывают по обычной технологии с вскрытием каждого нижележащего горизонта 4 со стороны, противоположной выезду на дневную поверхность контура 1.

Мощные участки месторождения отрабатывают поперечными заходками с углублением в направлении от выезда из карьера. Благодаря ограждению стенками 2, 3 на маломощных участках рудного тела предупреждается разнос бортов карьера объемом  $V$  (млн. м<sup>3</sup>), и соответствующая площадь земной поверхности  $S$  (га), величины которых определяют по формулам:

$$V = 10^{-6} \cdot n \cdot H_K^2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha (L_M + m_T); \quad S = 2 \cdot 10^{-4} \cdot n \cdot H_K \cdot \operatorname{ctg} \alpha (L_M + m_T);$$

где:  $n$  – количество маломощных участков в пределах карьерного поля, ед.;  $H_K$  – проектная глубина карьера, м;  $\alpha$  – угол наклона нерабочего борта карьера, градусы;  $L_M, m_T$  – длина и горизонтальная толщина маломощных участков полезного ископаемого, м.

При этом одновременно ведут отработку только маломощных участков полезного ископаемого в пределах карьерного поля без разноса соответствующих бортов карьера по породам вскрыши контура 1 с использованием в качестве крепления выработанного пространства на всю глубину железобетонной стенки 2 и 3 и выдачу полезного ископаемого на дневную поверхность 1 скиповыми подъемниками 6.

**Выводы.** Предложенная технология отработки маломощных участков карьерного поля без разноса нерабочих бортов позволяет получить в совокупности значительную экономию материальных и денежных ресурсов, а также предупредить от нарушения значительную площадь сельскохозяйственных угодий. Так, в условиях открытой разработки месторождений железистых кварцитов ПАО «Центральный ГОК» в пределах карьера №3 имеется возможность обрабатывать законтурные запасы руды мощностью 50-100 м без выемки пород вскрыши на торцевых участках длиной по 400 м на глубину до 500 м. Формирование выработанного пространства под углом  $90^\circ$  вместо  $40^\circ$  по аналогии с проектом позволит уменьшить объем выемки пород вскрыши на 300 млн. м<sup>3</sup> и предупредить нарушение земной поверхности только карьером на площади 300 га. Кроме того, предупреждается также и нарушение поверхности земли внешним отвалом.

Общая эффективность предложенного способа будет обоснована в процессе выполнения проектной документации на разработку месторождения и существенно увеличена за счет уменьшения капитальных вложений на сооружение и эксплуатацию крутонаклонных скиповых подъемников с закреплением выработанного пространства глубоких карьеров вертикальными оградительными железобетонными стенками.

#### Перечень ссылок

1. Новожилов М.Г. Технология открытой разработки южной группы месторождений железистых кварцитов Кривбасса на больших глубинах / М.Г. Новожилов, С.А. Бондарь, А.Ю. Дриженко // Сб. материалов 2-го Всесоюзного научно-технического совещания по проблемам разработки глубоких карьеров. – К.: Наукова думка, 1979. – С. 16 – 22.
2. Дриженко А.Ю. Открытая разработка железных руд Украины: состояние и пути совершенствования: моногр. / А.Ю. Дриженко, Г.В. Козенко, А.А. Рыкус. – Д.: НГУ, 2009. – 452 с.
3. Дриженко А.Ю. Карьерные технологические горнотранспортные системы: моногр. / А.Ю. Дриженко. – Д-ск.: НГУ, 2011. – 542 с.
4. Дриженко А.Ю. Відкриті гірничі роботи: підручник / А.Ю. Дриженко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2017. – 590 с.

5. Патент №115127 Спосіб відкритої розробки крутоспадних родовищ корисних копалин: / А.Ю. Дриженко, Н.А. Нікіфорова, Тамуя Садо Арманд, Садо Даніл; заявл. 22.06.16; опубл. 10.04.17, Бюл. №7
6. Патент №111921 Спосіб відкритої розробки нагірно-заглибленого родовища залізної руди: / А.Ю. Дриженко, Траоре Ібрагіма, Ельхадж Умар; заявл. 19.05.16; опубл. 25.11.16, Бюл. №22
7. Патент №117069 Спосіб підготовки до рекультивації відробленого та затопленого водою залізородного кар'єру: / А.Ю. Дриженко, А.А. Адамчук, П.В. Козенко, Н.А. Нікіфорова; Опубл. 12.06.17, Бюл. №11.
8. Адамчук А.А. Исследование параметров доработки глубоких карьеров открытым способом / А.А. Адамчук // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Д.: НГУ, 2017. – №50. – С. 10 – 17.

#### ABSTRACT

**Purpose of research** is the substantiation of depth zone parameters in open-pit during finalizing of steeply iron-ore deposits with identification of rational length transportation of rock mass inside-face dumping trucks to functional dumping stations in operation surface carriers.

**The methodology** of research consists of determination relation of construction parameters combined open-cut transport during finalizing of deep deposits with nominal capacity of iron-ore mining including minimal practicable increasing current stripping ratio and carrying its maximum value on finalizing period of exploitation with achievement of ultimate depth.

**Findings.** To establish the practicability of mining front zones of pit in Central Mining and Concentration Complex #3 to depth for 500 meter without mining of stripping soils at the 90-degree angle instead 40-degree. It will allow decreasing the quantity of overburden operations at 300 million cubic meters and prevent a surface damage at about 300 hectares.

**The originality of research** lies in improvement of finalizing of deep iron-ore deposits in order to decrease of capital and running costs by exploitation steeply of skip winders in front zone of pit field.

**Practical implications** are to substantiate the parameters of finalizing iron-ore deposits with allocation stripping soils in mined-out space providing the ability to cultivation for agricultural works and growing of tree plantation

**Keywords:** *iron-ore pit, steep pitch, ore and stripping soils capacity, loading and spoil banks, slope protection benches, skip winders, capital costs, ore and stripping soils production cost*