

ГРАНИЧНАЯ ГЛУБИНА КАРЬЕРОВ, ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ДОРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ

Е.С. Левченко, Д.В. Швеи, Е.В. Малеев, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Украина

Изложены проблемы определения граничной глубины карьера в современных условиях. Рассмотрены технологии отработки карьеров до конечной глубины с извлечением запасов, законсервированных под транспортными коммуникациями, варианты использования отработанных карьеров.

При открытой разработке крутопадающих залежей и добыче полезных ископаемых на глубоких горизонтах возникает необходимость уточнения граничной глубины карьеров, а также обоснования технологических схем доработки законсервированных под транспортными коммуникациями запасов при достижении проектных контуров карьера.

При уточнении граничной глубины карьеров необходимо учитывать два главных фактора.

Первый заключается в учете условий рыночной экономики, которые характеризуются изменяющимися потребностями на железорудный концентрат, зависимостью экономических показателей от цены на электроэнергию, дизельное топливо, расходные материалы и прочее. Поэтому стоимость выемки вскрышных пород, себестоимость руды, а, следовательно, и концентрата может существенно изменяться. При определении граничной глубины карьеров, как правило, руководствуются текущим коэффициентом вскрыши. Однако, при этом, по исследованиям профессора Арсентьева А. И. [1], граничная глубина карьера может быть занижена. При определении граничных контуров карьеров, по мнению авторов работы [2], в расчетных периодах следует руководствоваться фактическими текущими объемами вскрышных пород в проектом контуре, с учетом существующего расположения на момент оценки вскрываемых выработок, транспортной инфраструктуры и технологических комплексов.

Несмотря на большое количество методов определения граничной глубины карьеров, каждый из них имеет определенные недостатки, что вызывает затруднения их использования при проектировании. Проектную документацию, как правило, выполняют на основе балансовых запасов полезного ископаемого, предназначенных для открытой разработки. Граничную глубину карьера при этом, определяют без учета изменяющейся во времени технологии разработки месторождения. Другим важным фактором, который влияет на значение граничной глубины карьера, является сосредоточение больших запасов полезного ископаемого в целиках под транспортными коммуникациями. Особенно большое количество запасов находится в целиках под перегрузочными пунктами при комбинированных видах транспортирования горной массы. При автомобильно-железнодорожном транспорте длина таких перегрузочных пунктов составляет от 400 до 600 метров, а ширина от 50 до 85 м в зависимости от применяемых карьерных автосамосвалов. В глубоких карьерах количество перегрузочных пунктов колеблется от 3-5 до 8-12. Для условий карьеров ПАО «ИнГОК» количество перегрузочных пунктов составляет 8; ПАО «ЮГОК» – 4; для ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»: карьер № 2-бис – 1 и карьер № 3 – 3; ПАО «ЦГОК»: Глееватский карьер – 2, Петровский карьер – 2 и Артемовский карьер – 1; ПАО «СЕВГОК»: Первомайский карьер – 5 и Анновский карьер – 3; ПАО «ПГОК» – 3; ОАО «ЛГОК» – 12 перегрузочных пунктов.

Стоит отметить, что ни один из существующих методов определения граничной глубины карьера не учитывает то, что значительная часть балансовых запасов может быть потеряна в целиках под транспортными коммуникациями. Также при построении планов горных работ карьеров в отработанных видах не учитывается наличие промежуточных транспортных коммуникаций на момент завершения горных работ в карьере.

Далее на примере некоторых железорудных карьеров с комбинированными видами транспорта показано фактическое состояние изучаемого вопроса в отрасли.

1) *Карьер ПАО «Ингулецкий горно-обогатительный комбинат».* Концентрационный горизонт минус 180 м конвейерного тракта «Восточный» комплекса ЦПТ зацеличивает 53,3 млн. т руды, а концентрационный горизонт минус 240 м конвейерного тракта «Западный» комплекса ЦПТ – 35,6 млн. т. Также следует отметить, что перегрузочные пункты располагаются на рабочем борту карьера, что существенно сдерживает интенсивность ведения горных работ и уменьшает протяженность активного фронта по руде.

2) *Первомайский карьер ПАО «Северный горно-обогатительный комбинат».* Концентрационный горизонт рудного комплекса ЦПТ на горизонте минус 115 м зацеличивает 151,1 млн. т железной руды и 4,8 млн. м³ скальных вскрышных пород. Автомобильно-железнодорожный перегрузочный пункт горизонта минус 15 / минус 25 м на западном борту карьера зацеличивает 32,1 млн. т руды ниже горизонта минус 175 м, а также 12,9 млн. м³ скальных вскрышных пород в промежутке горизонтов с минус 175 м до минус 25 м.

3) *Карьер ОАО «Лебединский горно-обогатительный комбинат».* Автомобильно-железнодорожные перегрузочные пункты, размещающиеся частично на залежах руды и кристаллических сланцев, суммарно в карьере зацеличивают 188,2 млн. т балансовых запасов железной руды в проектных контурах карьера, что при достигнутой производственной мощности по добыче составляет более трех лет работы карьера. Ликвидация перегрузочных пунктов в ближайшем будущем невозможна, поскольку существующая транспортная схема в этом случае не обеспечит необходимую пропускную и провозную способности перемещения горной массы от добычных забоев до приемных устройств обогатительной фабрики и пунктов складирования вскрышных пород.

На основании вышеприведенного условия доработки глубоких горизонтов карьеров крутопадающих месторождений до их конечной глубины предлагается классифицировать по экономической и горнотехнической возможности отработки зацеличенных геологических запасов (см. рис. 1).

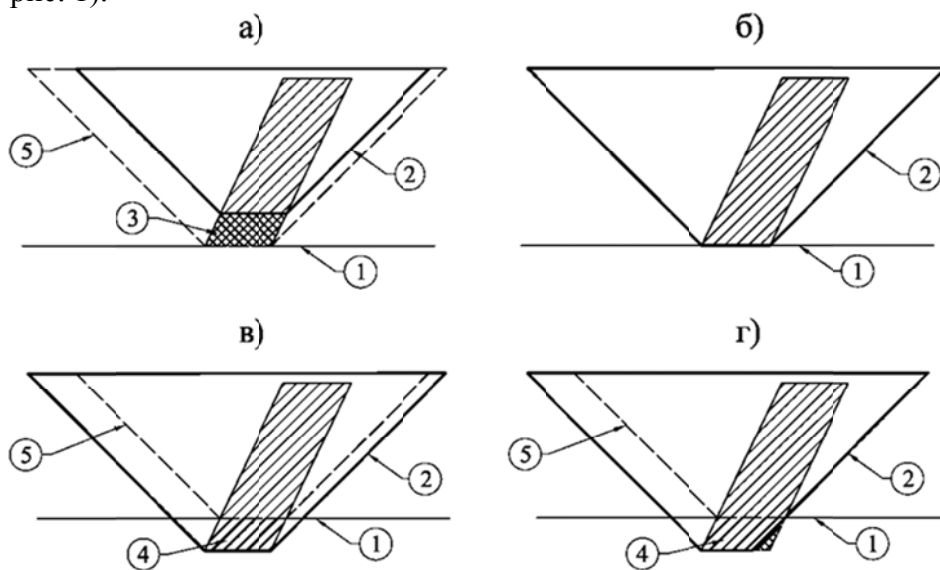


Рис. 1. Классификация условий доработки глубоких горизонтов карьеров:

а) – балансовые запасы не могут быть вынуты; **б)** – балансовые запасы могут быть извлечены в полном объеме; **в)** – могут быть извлечены геологические запасы ниже границы утвержденных балансовых запасов при создании соответствующих горнотехнических условий (разнос бортов, перенос транспортных коммуникаций и др.); **г)** – выемка геологических запасов ниже границы утвержденных балансовых запасов возможна без переноса транспортных коммуникаций, располагающихся на борту карьера со стороны лежачего бока крутопадающей залежи; **1** – граница подсчета балансовых запасов; **2** – граничный контур карьера в отработанном виде; **3** – балансовые запасы, которые не могут быть извлечены открытым способом; **4** – геологические запасы, расположенные ниже границы подсчета балансовых запасов; **5** – первоначальный граничный контур карьера в отработанном виде

При отработке запасов полезного ископаемого ниже проектного контура (рис. 1 в, г) возникает необходимость в пересмотре граничной глубины карьера H_k . В этом случае рекомендуется руководствоваться следующим.

Суммарный объем железной руды V_p , добываемый при возможном дальнейшем понижении глубины ведения открытых горных работ в карьере (см. рис. 2) состоит из суммы объемов запасов, добываемые при возможном дальнейшем понижении глубины ведения открытых горных работ в карьере $V_{угл.}$ и $V_{угл. доп.}$, с учетом средней протяженности фронта горных работ $L_{ср.}$. Кроме того, необходимо учитывать, что часть балансовых запасов железных руд в карьере при его доработке остается в целиках под вскрывающими выработками и транспортными коммуникациями ($V_{р. зацел.}$). Учитывая, что граничный коэффициент вскрыши по экономическим условиям ($K_{эк.гр.}$) определяется исходя из минимума получения прибыли предприятием, с учетом существующей глубины действующего карьера (H_0), необходимо определять граничную глубину карьера или возможное понижение глубины ведения открытых горных работ на основании сравнения $K_{эк.гр.}$ не с максимальным текущим коэффициентом вскрыши, а с прогнозируемой ценой на концентрат [3].

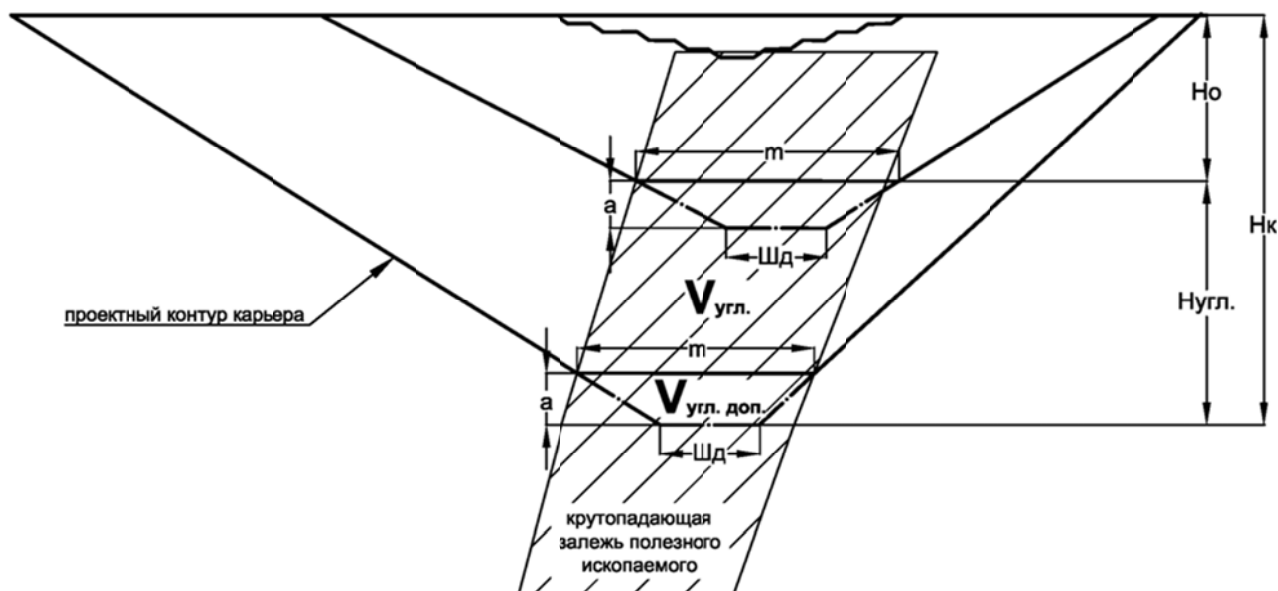


Рис. 2. Схема к определению конечной глубины карьера с учетом понижения горных работ ниже проектного контура:

H_k – граничная глубина карьера, разрабатываемое крутопадающее месторождение полезного ископаемого, м; H_0 – первоначальная глубина карьера к моменту оценки возможности дальнейшего понижения глубины ведения открытых горных работ, м; $H_{угл.}$ – глубина возможного дальнейшего понижения глубины ведения открытых горных работ, м; m – горизонтальная мощность рудного тела, м; $Ш_д$ – минимальная ширина дна карьера; a – высота уступа / группы уступов, м

Анализ производственного опыта и научно-практических разработок [4-7] показал, что законсервированные объемы горной массы при достижении конечных контуров карьера, не вынимаются. Одной из основных причин вышесказанного является то, что для возможности выемки законсервированной руды необходимо демонтировать коммуникации, под которыми эти запасы расположены. Отсюда возникает нерешенная задача, которая заключается в изыскании нового способа транспортирования горной массы при отсутствии основных коммуникаций. Также, в такой ситуации существует необходимость обоснования порядка выемки горной массы с учетом погашения горных выработок. Исходя из вышесказанного, в

статье была поставлена задача обоснования технологической схемы доработки законсервированных запасов при достижении проектных контуров карьера.

Для решения поставленной задачи в данной работе была рассмотрена схема постановки борта в предельное положение с углом откоса уступа под 90^0 . Это позволит увеличить глубину карьера, расположить вскрышные породы во внутреннем пространстве, что в свою очередь приведет к снижению затрат на добычу законсервированных запасов за счет сокращения затрат на отвалообразование.

Суть технологии заключается в следующем. Работы осуществляются послойно [7]. При отработке развала горной массы после взрыва в приконтурной зоне производится оборка уступа. Зачистка откоса производится с применением экскаваторов с удлиненным оборудованием, бутобоев, гидромониторов и др. При ведении горных работ у предельных или временно нерабочих контуров устанавливается приконтурная зона обоснованных размеров. Например, для условий карьера Полтавского ГОКа мощность этой зоны составляет 30 м. Порядок ведения выемочно-погрузочных работ представлен на рисунке 3.

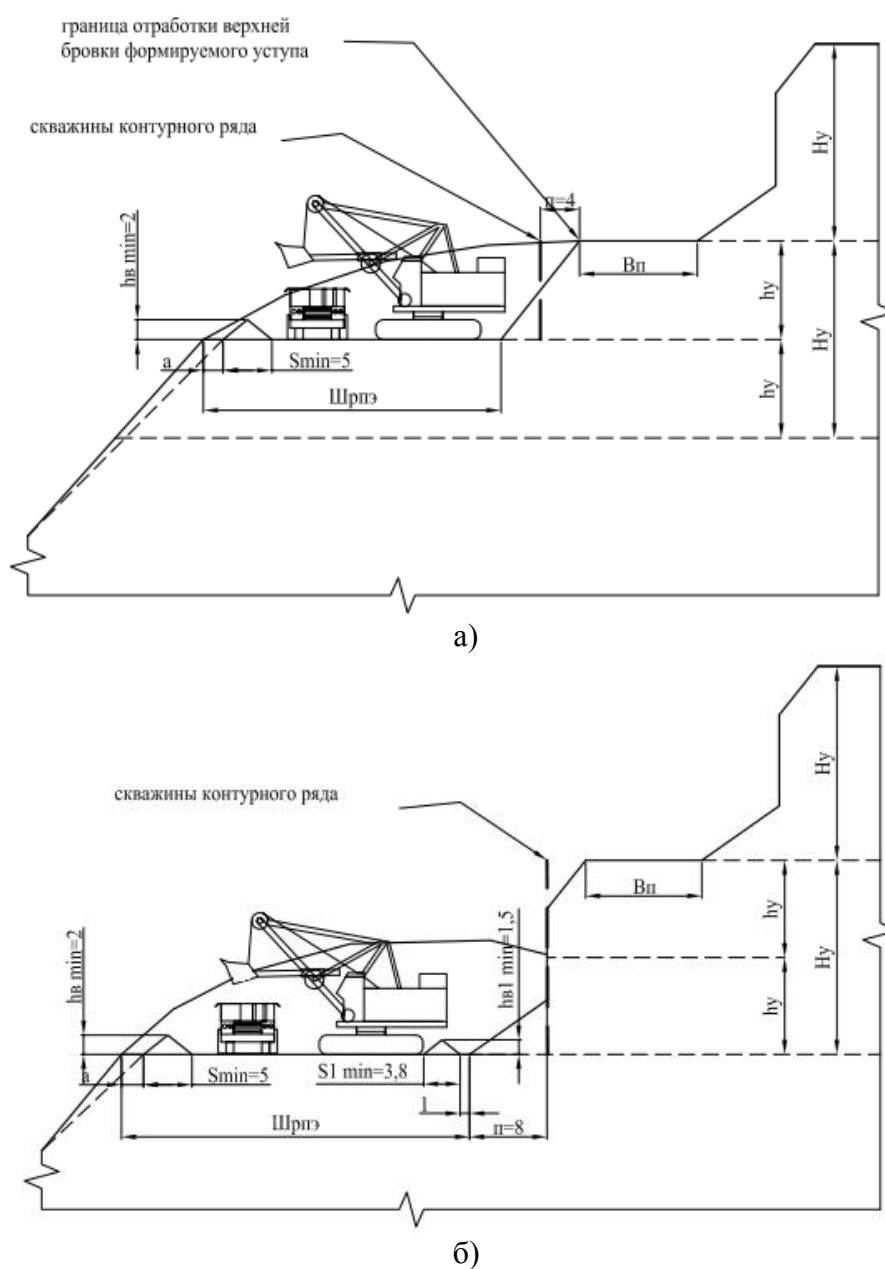


Рис. 3. Последовательность проведения добычных работ при постановке борта в предельное положение: а) отработка верхнего уступа, б) отработка нижнего уступа

На рисунке 3а отображена отработка верхнего уступа, а на рисунке 3б – нижнего. После отработки двух уступов, образуется откос борта карьера со сдвоенными уступами с углом откоса 90° .

Запасы руды, оставленные под транспортными коммуникациями сравнительно небольшие, и сроки их отработки достигают нескольких лет. Транспортирование добытых из целиков запасов предлагается несколькими вариантами: автомобильным транспортом, крутонаклонным конвейером и скиповыми подъемниками [4]. Целесообразность применения скиповых подъемников неоднократно подтверждалась авторами работ [8, 9].

На рис. 4 представлены схемы комбинированного автомобильно-скипового и автомобильно-конвейерного транспортирования горной массы с расположением скипового подъемника на нерабочем борту карьера.

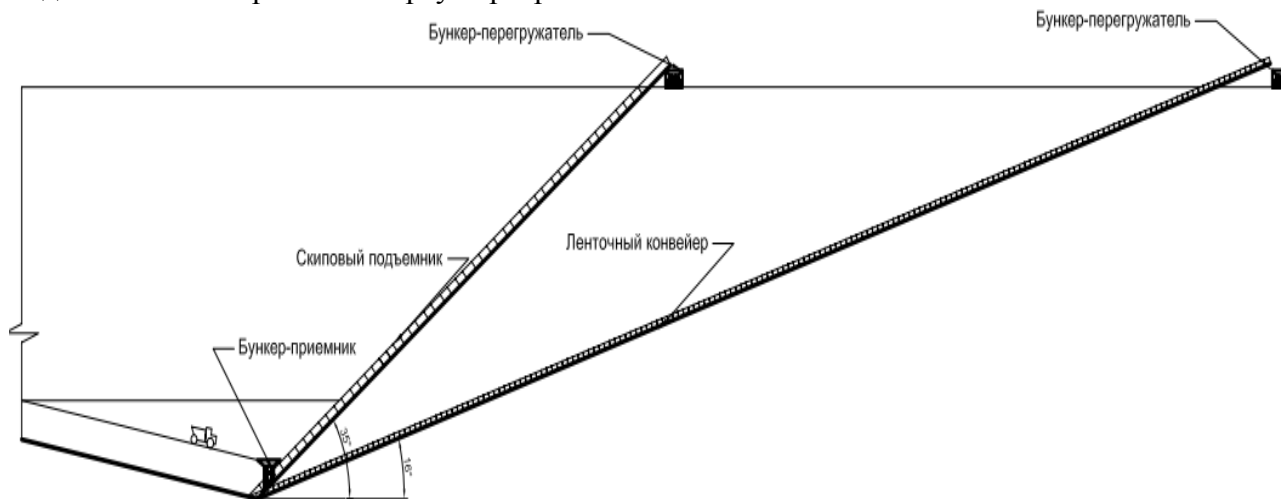


Рис. 4. Технологические схемы применения скипового и конвейерного транспорта

Выбор рационального вида транспорта для комбинированных систем предопределяется эксплуатационными затратами.

Затраты на транспортирование в зависимости от расстояния перемещения полезного ископаемого представлены на рис. 5.

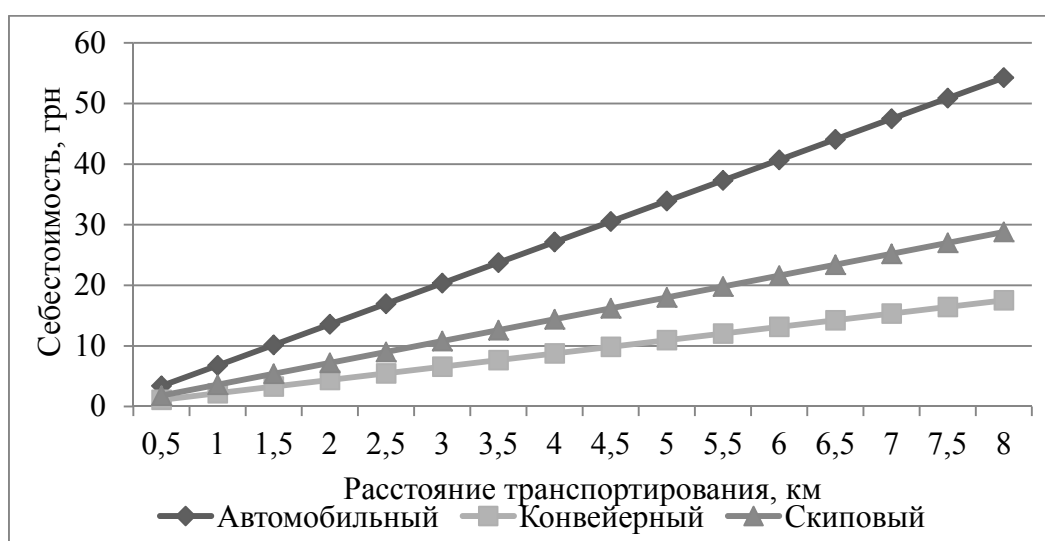


Рис. 5. Показатели эксплуатационных затрат на транспортирование полезного ископаемого в зависимости от расстояния перемещения автомобильным, конвейерным и скиповым видами транспорта

Как показывают приведенные на рис. 5 данные, затраты на транспортирование автомобильным транспортом наибольшие, а наименьшие - при конвейерном транспорте. В качестве критерия выбора использовалась комплексная оценка, включающая капитальные и эксплуатационные затраты, чистый дисконтированный доход. Эксплуатационные затраты определялись исходя из объемов выемки горной массы для условий применения сравниваемых видов транспорта.

Для конвейерного транспорта объем горной массы определен под расположение дробильно-перегрузочного пункта и непосредственно под конвейер. А для скипового транспорта рассчитаны объемы под расположение скипового подъемника.

Рассчитанные выше капитальные и эксплуатационные затраты на применение скипового и конвейерного транспорта являются составляющими частями расчета чистого дисконтированного дохода (ЧДД) для этих видов транспорта. Таким образом, в зависимости от годовой производительности, общего объема руды и цен на железорудное сырье, можно определить целесообразность применения того или другого вида транспорта.

Для условий карьера ПАО «ИнГОК» была рассчитана целесообразность применения конвейерного и скипового транспорта. Результаты изображены на рис.6.

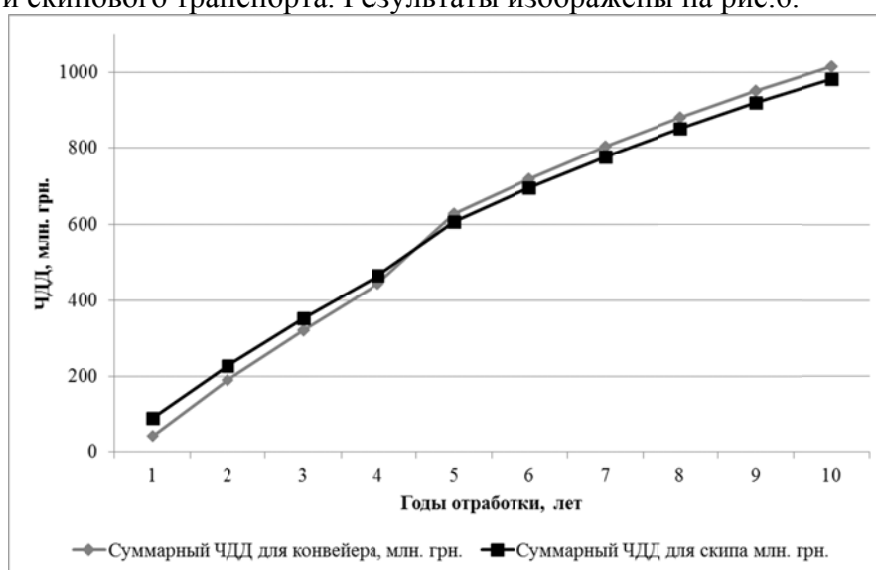


Рис. 6. Результаты расчета чистого дисконтированного дохода для конвейерного и скипового транспорта ПАО «ИнГОК»

Чистый дисконтированный доход для скипового и конвейерного транспорта достигает одинакового значения на 4,5 года отработки. Исходя из этого, для заданных условий применение конвейерного транспорта целесообразно, если отработка руды предусматривается на срок, более чем 4,5 года, а скипового наоборот – на период отработки не более 4,5 лет.

Таким образом, предлагается для определенных условий устанавливать наиболее экономичный вид транспорта в условиях доработки карьера.

После доработки карьеров остаются отработанные пространства, которые при соблюдении определенных условий и технологий, а также природоохранных мер можно использовать для размещения и захоронения различных отходов горного производства, а также рассолов и твердых солепродуктов от опреснения минерализованных карьерных и шахтных вод, вопрос с захоронением которых с каждым годом приобретает все большую актуальность.

Опреснение шахтных и карьерных вод производится по различным технологиям [10].

Независимо от метода опреснения минерализованных шахтных и карьерных вод образуются потенциально опасные для окружающей среды концентрированные рассолы, которые можно размещать в отработанных пространствах с дальнейшим извлечением из них

полезных компонентов. При использовании таких пространств подготовительные работы заключаются в создании в выработанном пространстве нескольких емкостей (по определенной технологии для каждого конкретного случая с учетом природоохранных мер). Емкость для размещения рассолов или твердых солепродуктов предлагается экранировать, путем создания водонепроницаемого основания укаткой глинистых пород, после размещения солепродуктов также предлагается создать водонепроницаемый экран. Это исключит перенос подземными и дождевыми водами загрязняющих веществ. Часть пространства отработанного карьера занимают емкости для минерализованных и пресных вод. При этом энергетический и опреснительный комплекс располагается близи карьера. Полученную пресную воду можно направить потребителям или сбросить в поверхностные водоемы.

На рисунке 7 изображена предлагаемая схема использования выработанного пространства карьера.

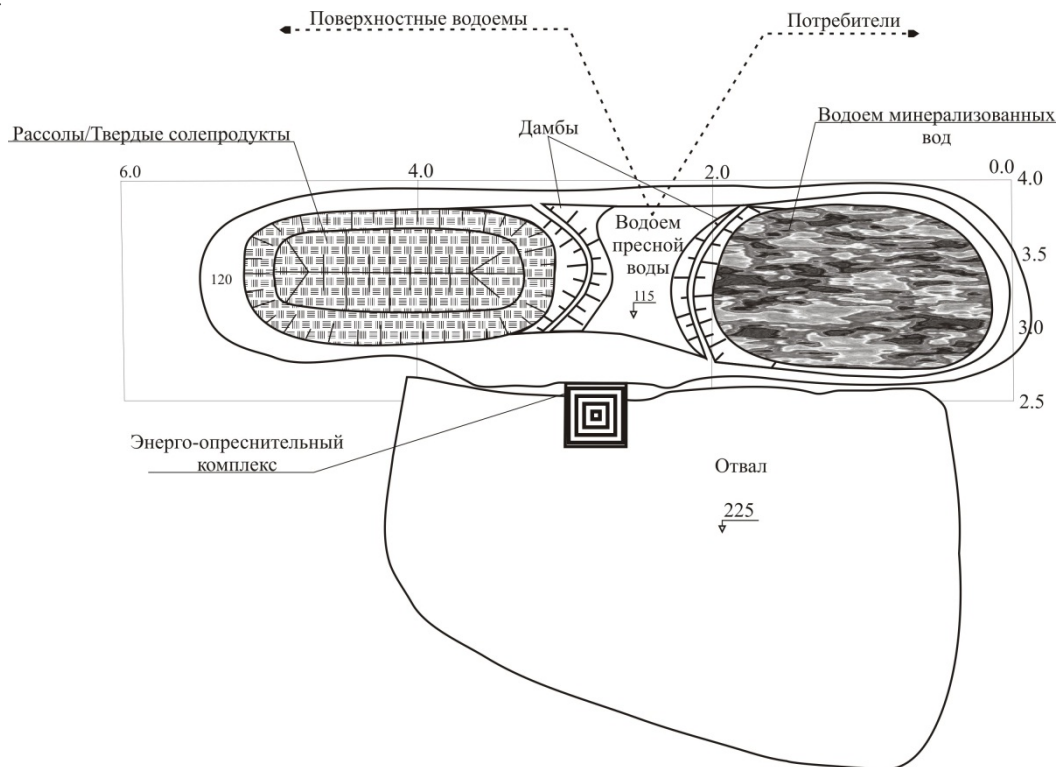


Рис. 7. Схема использования пространства отработанного карьера для размещения энерго-опреснительного комплекса и рассолов

Технология складирования и размещения объектов определяется в каждом конкретном случае, в зависимости от конфигурации выработанного пространства, его геометрических размеров, имеющихся коммуникаций и их расположения.

Выводы. Разработка метода определения граничных контуров открытой разработки с учетом взаимосвязи параметров горнотранспортных комплексов и граничной глубины карьеров, а также исходя из экономичного и наиболее полного извлечения руды из недр, с учетом изменяющихся горнотехнических условий разработки и динамики цен на железорудный концентрат, позволит при проектировании принимать эффективные технологии доработки глубоких карьеров.

В условиях доработки карьера при транспортировании добытых из целиков запасов для определенных условий необходимо устанавливать наиболее экономичный вид транспорта. Например, для условий ПАО «ИнГОК» для выемки законсервированных запасов под транспортными коммуникациями на карьерах необходимо применять конвейерный транспорт, если отработка руды предусматривается на срок, более чем 4,5 года, а скиповый – на период отработки не более чем 4,5 лет.

После доработки карьера до конечной глубины, одним из вариантов использования выработанных пространств, помимо расположения в них пустых пород, отходов горного производства и т.п., является размещение отходов опреснения минерализованных вод. При этом технология складирования определяется в каждом конкретном случае.

Список литературы

1. Арсентьев, А.И. Конечные границы карьеров: Учебное пособие / А.И. Арсентьев. - Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский Горный ин-т, 1995. - 68 с.
2. Товстановский, Д.П. К вопросу определения предельной глубины железорудных карьеров Кривбасса / Д.П. Товстановский, М.С. Четверик // Глубокие карьеры: материалы конф. – К.: Наукова думка, 1970. – С. 162–173.
3. 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., 1 – 4 жовт. 2014 р., м. Дніпропетровськ. – Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2014. – Т. 1.– С. 129–134.
4. Васильев, М.В. Транспорт глубоких карьеров / М.В. Васильев. – М.: Недра, 1983. - 295с.
5. Большегрузные скиповые подъемники для отработки глубоких карьеров / П.Б. Кульбида, В.В. Ройзен, В.И. Сербин [и др.] // Горный журнал. – 1981. - №7. - С. 48-50.
6. Использование наклонных подъемников для транспортирования крупнокусковой горной массы на глубоких карьерах Заполярья / Ю.В. Демидов, Н.К. Трубецкой, С.С. Наумов [и др.] // Горный журнал. - 1998. - № 7. – С. 42-45.
7. Теория и практика открытых разработок / Н.В. Мельников, Э.И. Реентович, Б.А. Симкин [и др.]. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1979. – 354 с.
8. Медведева, О.А. Целесообразность ввода многоканатной скиповой наклонной карьерной подъемной установки на карьере №3 «ЦГОК» / О.А. Медведева // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2006.-№62.- С. 121-127.
9. Гавришев, С.Е. Обоснование факторов обуславливающих применение крутонаклонных подъемников при комбинированном способе разработки месторождений / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, Н.Г. Томилина // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова, 2012. - № 4. - С. 5-10.
10. Бабець, Є.К. Аналіз існуючих технічних рішень і пошук оптимальних шляхів утилізації шахтних вод Кривбасса / Є.К. Бабець, Л.П. Рибалко, А.А. Сова // Сучасні технології розробки рудних родовищ. Еколого-економічні наслідки діяльності підприємств ГМК: збірник наукових праць за результатами роботи III Міжнародної науково-технічної конференції. – Кривий Ріг: Вид. Р.А. Козлов, 2015. – 227 с.