

2. Головними особливостями гірничо-геологічних умов Мотронівсько-Аннівського родовища, крім відносно великої глибини залягання та рельєфу з великою кількістю балок, є тонка зернистість руди, яка обумовлює їх пливунні властивості та виключає можливість осушення традиційними заходами.

3. Обґрунтована доцільність застосування комбінованого способу розкриву і видобутку титано-цирконієвої руди Мотронівсько-Аннівського родовища: розкрив глинистої товщі драглайнами, а розкрив покриваючих піщаних відкладень та видобуток руди за допомогою землесосних снарядів. Показано, що розміщення збагачувальної фабрики на понтонах дозволить утричі скоротити витрати енергії.

4. Застосування комбінованої системи розробки корінним чином зменшує негативний вплив кар'єру на гідрогеологічні умови, оскільки осушення не здійснюється, в кар'єрі підтримується рівень води, що відповідає природному. Тонкозернисті рудні піски замінюються на більш крупнозернисті відмиті піски сарматського горизонту, в результаті утворюється техногенний водоносний горизонт.

5. З метою зменшення площ земель, порушених гірничими роботами пропонується розміщення відходів збагачення на відвалах. Це також дозволить створити нову форму посттехногенного рельєфу, яка буде найбільш сприятливою для подальшої ревіталізації порушеного ландшафту.

Список літератури

1. Собко Б.Е. Совершенствование технологии открытой разработки россыпных титано-циркониевых руд: Монографія. – Д. Національний гірничий університет. 2008. 167 с.

2. Головач Н.А., Воловик В.П. Обоснование параметров горных работ на карьерах Иршанского ГОКА с учётом экологических требований. Материалы международной конф. «Форум горняков -2008». - Днепропетровск. Национальный горный университет, 2008, с.158-163

3. Лазников А.М., Собко Б.Е., Гайдин А.М. Рациональная технология разработки обводненных россыпей. Сб. научных трудов Академии горных наук Украины. – Кривой Рог: «Дионис» -2012, с.130-137,

4. Towner, R.R. Australia's resources of mineral sands - their future liersity the key to prosperity, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Publication Series No 1/96. – 1996, p. 375-384.

5. Гайдин А.М. Основы ревитализации ландшафтов. //Синтез знаний в естественных науках. Рудник будущего: проекты, технология, оборудование. Том 1. Пермь, 2011, с.23-30.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ГЛЕЕВАТСКОГО КАРЬЕРА ЧАО «ЦГОК»

Ю.В. Перегудов, М.Д. Миронов, В.В. Терещенко, ГП «ГПИ» «Кривбасспроект», Украина

Приведены результаты исследований, посвященных корректировке максимально допустимых углов наклонов бортов и откосов уступов Глееватского карьера с целью оптимизации контуров отработанного вида для уменьшения среднего и текущего коэффициента вскрыши

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Основными проблемами при эксплуатации крутопадающих месторождений является неизбежность увеличения коэффициента вскрыши с увеличением глубины карьера. Это приводит к тому, что ряд карьеров Кривбасса, в результате наступившего кризиса на рынке железорудного сырья, оказался на грани выживания, а прибыль от реализации товарной продукции при пониженных мировых ценах на железорудный концентрат оказалась нулевой. Сложившаяся ситуация привела к тому, что карьеры ЧАО «ЦГОК» (Глееватский, Петровский, Артемовский) были

вынуждены в 2015-2016 годах снижать текущий коэффициент вскрыши, что, в свою очередь, может не позволить дальнейшую разработку карьера согласно проекта. В частности, согласно проекта IV очереди углубки Глееватского карьера, ближайшие 15 лет коэффициент вскрыши постепенно должен быть увеличен с 1,6 м³/т до 2,8 м³/т для отработки всех балансовых запасов и поддержания производственной мощности на уровне 6 млн. т/год. Всё это стимулирует собственников, проектные организации и научные учреждения на поиск новых решений для оптимизации параметров карьеров с целью снижения текущих показателей коэффициента вскрыши. В связи с этим, институтом ГП «ГПИ» «Кривбаспроект» совместно с КП «Академический дом» была выполнена научно-исследовательская работа, направленная на обоснование возможности увеличения углов откосов бортов Глееватского карьера и корректировки отработанного вида карьера.

Анализ исследований и публикаций. На данный момент основными регламентирующими документами при проектировании открытых горных работ являются [1] и [2, 3]. Поэтому все решения, направленные на увеличение углов откосов бортов карьеров, должны основываться на многолетней практике и ранее проводимых исследованиях. Основным условием, необходимым для определения величины углов бортов в конечном и временно нерабочем положении, является достаточный коэффициент запаса устойчивости рассматриваемой части массива [4]. Согласно [4], для его расчета необходимо соблюдение нескольких условий: информация о прочностных свойствах рассматриваемого массива, информация о структурных ослаблениях массивов, а также использование для расчетов одного из зарекомендовавших себя методов определения коэффициента запаса устойчивости.

Постановка задачи исследований. Задачей выполнения научно-исследовательской работы являлось обоснование увеличения углов бортов карьера Глееватского карьера на глубину до 700 м без разноса восточного борта, подработанного подземными горными работами, с целью уменьшения среднего коэффициента вскрыши.

Изложение основного материала исследований. Методика исследования включает в себя следующие пункты: определение в лабораторных условиях прочностных свойств горных пород месторождения «Большая Глееватка» и коэффициента структурного ослабления массива; определение допустимых углов наклона уступов, групп уступов и бортов Глееватского карьера, определение перспективных контуров карьера с учетом полученных данных.

На первом этапе на основании разработанной геомеханической модели и фактического состояния горных работ в Глееватском карьере, с учетом ожидаемого положения призм возможного сдвижения восточного борта высотой 700 метров при постановке его на конечный контур путем углубки от текущего положения, определены вероятные места отбора образцов горных пород для прочностных лабораторных испытаний.

Отбор проб для определения механических свойств пород, их транспортирование и хранение производилось в местах, наиболее типичных для горного массива Глееватского карьера, в соответствии с рекомендациями работы [5] и ГОСТ 21153.0-75 [6].

Технология отбора проб обеспечивала максимальное сохранение представительности породы в пробе по составу, строению и состоянию. В качестве проб использовались монолиты, пригодные для выбуривания из них керны. Число и размеры проб определялось в зависимости от вида намечаемых испытаний и числа изготавливаемых из проб образцов, с некоторым запасом. Минимальные размеры породных кусков, пригодных в качестве пробы для механических испытаний, составляли не менее 200x200x150 мм, не считая мест, нарушенных при отделении от массива. Все пробы пород укладывались в ящики для предохранения от толчков, ударов, падения, а также нежелательных температурных и атмосферных влияний. Всего было отобрано 146 проб, в местах, наиболее типичных для Глееватского карьера ЧАО «ЦГОК», представляющих в полной мере геолого-структурную характеристику железорудного месторождения «Большая Глееватка» и, в соответствии с его геомеханической моделью, в том числе и из мест контакта слоев различных горных пород, разломов, трещин и поверхностей ослабления. Всего пробы были отобраны из 65 точек. Количество отобранных проб, разнообразные места их отбора позволяют утверждать, что они полностью характеризуют железорудное месторождение «Большая Глееватка».

Изготовление образцов производилось в соответствии с ГОСТ 21153.0-75 и ГОСТ 21153.5-88 [6, 7] путем их выбуривания из проб горных пород специальным станком. При этом изготавливались образцы цилиндрической формы диаметром 50 мм, высота которых, как правило, равнялась диаметру. Пробы горных пород под буровой штангой располагались таким образом, чтобы получить 3 образца горной породы по напластованию и 3 образца – в крест напластования. После выбуривания, торцы образцов обрезались циркулярной пилой с алмазным кругом. Проверка размеров образца производилась штангенциркулем с нониусом. Производилась проверка прямолинейности образующих, плоскости торцов и перпендикулярности образующих и торцов. Нестандартные образцы выбрасывались. Для прочностных испытаний выбуренных образцов горных пород использовалось специальное прессовое оборудование, совмещенное с маслостанцией. В результате были получены данные о прочностных свойствах коренных пород Глееватского карьера.

Было выполнено определение фактических углов наклона бортов Глееватского карьера на основании текущей маркшейдерской документации и в соответствии с методическими рекомендациями [8]. За основу данной работы по определению фактических углов наклона бортов Глееватского карьера ЧАО «ЦГОК» взято положение горных работ по состоянию на 01.07.2015 года. Фактически существующие углы наклона бортов Глееватского карьера определены для десяти геомеханических разрезов, которые охватывают все характерные части карьера.

Численные расчеты по определению фактически наблюдаемых углов наклона проведены как для бортов карьера в целом, так и для участков бортов карьера, расположенных в руднокристаллической толще (коренных породах). В результате было установлено, что общие фактические углы наклона бортов Глееватского карьера изменяются в пределах от 16° до 31° , а в коренных породах - в пределах от 16° до 34° .

Для определения прочностных свойств пород в массиве была использована методика расчета на основании коэффициента структурного ослабления массива, который представляет собой отношение прочности массива к прочности образца данного вида породы. Коэффициент структурного ослабления не является величиной постоянной. Он зависит от степени структурной раздробленности массива, прочности структурных блоков, ориентировки поверхностей ослабления массива к направлению сдвигающих напряжений.

Проведенный анализ существующих немногочисленных методов определения коэффициента структурного ослабления, показал, что наиболее достоверные результаты в области геомеханики открытых горных выработок получаются при использовании метода проф. Г.Л. Фисенко [4]. При этом необходимо учитывать, что именно этот метод рекомендован к применению нормативными документами в области оценки устойчивости бортов карьеров [9, 10]. С учетом того, что в данной работе рассматривается прочность таких скальных и полускальных пород, по трещинам и поверхностям ослабления которых жильная глина практически не встречается, то коэффициент структурного ослабления целесообразно определять по формуле:

$$k_c = \frac{1}{1 + a \cdot \ln \frac{l_m}{l_k}},$$

где a – некоторый безразмерный коэффициент, зависящий от прочности $\sigma_{сж}$;

l_k – линейный размер испытуемого образца, м;

l_m – линейный размер структурного блока, м;

Как видно из этого выражения, основным параметром, определяемым в натуральных условиях, является коэффициент нарушенности породного массива, который характеризует отношение линейного размера рассматриваемого участка массива горных пород к линейному размеру среднего блока.

Для определения данного коэффициента нарушенности породного массива была выполнена фотосъемка характерных участков обнажений горных пород на некоторых уступах Глееватского карьера ЧАО «ЦГОК». Полученные фотоснимки анализировались путем

фиксации линейного размера рассматриваемого участка борта карьера (уступа) и размера структурного блока горной породы в принятом масштабе, их численного определения и выполнения соответствующих математических вычислений.

Результаты выполненных математических расчетов по определению значений коэффициента нарушенности и коэффициента структурного ослабления для некоторых скальных и полускальных пород железорудного месторождения «Большая Глееватка» приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициента структурного ослабления для скальных и полускальных пород железорудного месторождения «Большая Глееватка»

Наименование группы пород	Статиграф. индекс	L, м	a, м	Коэф. структ. ослабления
Седьмой железистый горизонт	PR _{1SX} ^{7f}	14	7	0.0513
Первый сланцевый горизонт	PR _{1SX} ^{1s}	11	4	0.0944
Первый железистый горизонт	PR _{1SX} ^{1f}	10	7	0.0584
Второй сланцевый горизонт	PR _{1SX} ^{2s}	10	4	0.0979
Второй железистый горизонт	PR _{1SX} ^{2f}	8	7	0.0643
Третий-четвертый сланцевый горизонт	PR _{1SX} ^{3,4s}	10	4	0.0979
Четвертый железистый горизонт	PR _{1SX} ^{4f}	11	7	0.0562
Породы гданцевской свиты	PR _{1gd2}	8	2	0.194

При выборе расчетного метода для проведения геомеханических расчетов по определению максимально допустимых углов наклона уступов, групп уступов и бортов Глееватского карьера при его углубке до 700 м использовались следующие исходные данные:

- высота уступа в песчано-глинистых породах рыхлых отложений верхнего участка борта составляет 10 м;
- высота сдвоенного уступа в скальных породах определена равной не более 30 м;
- для восточного борта карьера при определении допустимых углов наклона необходимо учесть зону воронкообразования в его центральной части;
- при определении допустимых углов наклона сдвоенных уступов восточного борта необходимо учитывать угол напластования горных пород;
- для западного борта целесообразно определить углы наклона участков борта в зоне выветривания (Гданцевская свита) и скальных кристаллических породах;

Исходя из поставленных задач и рекомендаций методических указаний [10], определены как наиболее подходящие методы:

- для определения углов наклона уступов в рыхлых и скальных породах – численные методы расчета устойчивости;
- для определения максимально допустимых углов наклона групп уступов и бортов карьера в скальной толще – использование графика зависимости высоты от угла наклона плоского откоса.

Определение допустимых углов наклона бортов проведено с учетом зон воронкообразования для восточного борта и с учетом широкой зоны выветрелых пород западного борта карьера.

Нормативный коэффициент запаса устойчивости принят равным 1,3, что рекомендовано для нерабочего борта карьера со сроком службы более 10 лет.

Результаты расчетов приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Углы наклона уступов, групп уступов и бортов Глееватского карьера ЧАО «ЦГОК», при высоте до 700 м

Участок борта	м.о.	Угол наклона уступа, град	Угол наклона борта, град.	Примечание
Восточный борт				
Северная часть	0-100	60	41	
Центральная часть	100-200	60	38	
Южная часть	200-360	60	41	
Западный борт				
Северная часть	0-100	50	35	В породах гданцевской свиты
Центральная часть	100-200	50	35	
Южная часть	200-360	50	35	
Северная часть	0-100	70	48	В скальной толще
Центральная часть	100-200	70	48	
Южная часть	200-3600	70	48	
Южный торец				
Внутренний отвал	-	Текущие параметры	Текущие параметры	
Скальная толща	-	60-70	45	
Северный торец				
Северный торец	-	60-70	42	

Таблица 3 – Максимально допустимые результирующие углы наклона бортов Глееватского карьера ЧАО «ЦГОК» при их высоте до 700 м

Участок борта	Маркшейдерские оси	Угол наклона борта, град.
Восточный борт		
Северная часть	0-100	41
Центральная часть	100-200	38
Южная часть	200-360	41
Западный борт		
Северная часть	0-100	40
Центральная часть	100-200	40
Южная часть	200-360	40
Южный торец		
Южный торец	-	42
Северный торец		
Северный торец	-	42

Были рассмотрены два варианта конечных границ карьера, с использованием рекомендуемых КП «Академический Дом» уточненных увеличенных углов откоса уступов и бортов карьера, с максимальным извлечением руды без разноса восточного и южного бортов, а также при ограничении северного борта 0 маркшейдерской осью:

- отработка карьера до отметки минус 494 м (контур определен в НИР «Определение

оптимальных параметров системы разработки балансовых запасов и запасов с неопределённым промышленным значением месторождения Большая Глееватка открытым способом»);

- отработка карьера до отметки минус 422 м в контурах поверху на 2025 год по проекту IV-й очереди углубки Глееватского карьера.

При углубке карьера до отметки минус 494 м (глубина 600 м) площадь зоны воронок, определённая в проекте «Меры охраны карьера № 1 в зоне подработки массива подземными горными работами (шахтами ПАО «КЖРК» и ПАО «ЕВРАЗ Суха Балка »), не увеличится. Отработка карьера по данным рассматриваемым вариантам конечных границ карьера предусматривается за зоной возможного воронкообразования. Также за зоной возможного воронкообразования предусматривается расположение основных транспортных коммуникаций. При дальнейшей углубке карьера с глубины 600 м до 700 м, в восточном борту прогнозируется постепенное увеличение зоны возможного образования воронок. С достижением карьером глубины 700 м, зона воронок примет вид полосы шириной 60 м (между базисами 0+150 ... 0+210) длиной 400 м (между осями 70 и 110), то есть зона воронок увеличится в северном направлении на 2,4 га.

Запасы руды и количество вскрышных пород в проектных контурах карьера по вариантам отработки карьера до отметок минус 494 м и минус 422 м подсчитаны методом горизонтальных сечений.

Эксплуатационные запасы руды в контурах отработанного вида карьера определены с учетом потерь и засорений равных 4%.

Расчет среднего содержания железа в добываемой руде произведен по формуле:

$$q = p - \frac{R(p-r)}{100}, \%$$

где p - содержание железа в массиве,

r - содержание железа в засоряющих породах,

R - засорение, 4 %.

Запасы руды и количество вскрышных пород по состоянию на 01.01.2015 года в контурах отработанного вида карьера по вариантам отработки карьера до отметок минус 494 м и минус 422 м приведены в таблице 4 в сравнении с запасами руды и количеством вскрышных пород в контурах отработанного вида карьера по проекту IV-й очереди углубки.

Таблица 4 – Запасы руды и количество вскрышных пород по состоянию на 01.01.2015 года в контурах отработанного вида карьера по вариантам отработки карьера до отметок минус 494 м и минус 422 м и IV очереди углубки

Наименование показателей	Единицы измерения	Отработанный вид карьера		
		По проекту IV-й очереди углубки	До отметки минус 494 м	До отметки минус 422 м
Промышленные запасы руды в контуре карьера	тыс. т	233250	194850	120824
Потери при добыче руды (4%)	тыс. т	9330	7794	4832
Засорения при добыче руды (4%)	тыс. т	9330	7794	4832
Эксплуатационные запасы руды в контуре карьера	тыс. т	233250	194850	120824
Объем вскрышной массы в контуре карьера	тыс. м ³	538510	310500	148000
Средний коэффициент вскрышной массы	м ³ /т	2,31	1,6	1,23

Срок обеспеченности карьера запасами	лет	38,8	32,4	20,1
Среднее качество руды в массиве:				
- Fe _{общ}	%	33,24	33,55	33,55
- Fe _{магн}		22,64	22,88	23,00
Среднее качество в добытой руде:				
- Fe _{общ}	%	32,86	33,16	33,16
- Fe _{магн}		21,89	22,21	22,23

Средний коэффициент вскрышной массы в контурах отработанного вида карьера до отметки минус 494 м составляет 1,6 м³/т, что позволяет при работе карьера до 2046 года в этих контурах уменьшить выемку вскрышных пород на 3,6 млн. м³/год (115,2 млн. м³ за период до 2046 года) по сравнению с работой карьера по действующему проекту IV-й очереди углубки. Средний коэффициент вскрышной массы в контурах отработанного вида карьера до отметки минус 422 м составляет 1,23 м³/т, что позволяет при работе карьера до 2034 года в этих контурах уменьшить выемку вскрышных пород на 3,96 млн. м³/год (79,2 млн. м³ за период до 2034 года) по сравнению с работой карьера по действующему проекту IV-й очереди углубки.

Были проведены геомеханические расчеты устойчивости бортов и групп уступов по вариантам предпроектных проработок контуров Глееватского карьера ПАО «ЦГОК» при его углубке до отметок минус 422 м и минус 494 м, в результате которых получены значения коэффициента запаса устойчивости в пределах КЗУ = 1,32 - 2,53, все полученные значения не меньше нормативных, а это значит, что варианты углубки Глееватского карьера имеют достаточную степень устойчивости бортов на конечном контуре.

Выводы и задачи дальнейших исследований. Проведенные исследования позволили с научной точки зрения скорректировать параметры Глееватского карьера с целью уменьшения текущего и среднего коэффициента вскрыши. Полученные в результате контуры отработанного вида карьера до отметки минус 494 м и отметки минус 422 м, позволяют установить срок службы карьера на срок более 30 лет с заданной текущей производительностью 6 млн т/год. В дальнейшем планируется провести ряд исследований, посвященных разработке оптимальных схем при отработке карьера без вовлечения подработанного подземными горными работами восточного борта.

Список литературы

1. Правила охраны труда при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. – Харьков: Форт, 2010. – 104 с.
2. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с открытым способом разработки месторождений полезных ископаемых. Часть 1. Горные работы. Ликвидация горнодобывающих предприятий. – К.: 2007.
3. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с открытым способом разработки месторождений полезных ископаемых. Часть 2. Открытые горные работы. – К.: 2008.
4. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Недра, 1965. – 375 с.
5. Ильницкая Е.И., Тедер Р.И. Свойства горных пород и методы их определения. – М.: Недра, 1969. – 392 с.
6. ГОСТ 21153.0-75. Породы горные. Методы отбора проб для испытаний. М.: 1976.
7. ГОСТ 21153.5-88. Породы горные. Методы определения предела прочности при срезе со сжатием. М.: 1988.
8. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости – Л.: 1971. – 186 с.
9. Методичні вказівки з визначення оптимальних кутів нахилу бортів, укосів уступів і відвалів залізрудних та флюсових кар'єрів // Під ред. проф. А.Г. Шапаря // – К.: – 2009. – 201с.
10. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л.: ВНИМИ, 1972. – 165 с.