

Рис. 3. Расчетные напряжения на контурах обделки: а – внутреннем, б – наружном

Как следует из представленных результатов, давление на лотковую часть крепи приводит к появлению не только существенных сжимающих нормальных тангенциальных напряжений в нижней части внутреннего контура поперечного сечения конструкции, но и к значительным растягивающим напряжениям в своде и углах. При этом в случае несимметричного нагружения растягивающие напряжения возникают также и в лотковой части крепи. Эти обстоятельства следует учитывать при проектировании подземных конструкций, особенно сооружаемых в слабых, трещиноватых и сильно нарушенных породах, обладающих низким модулем деформации.

В заключение отметим, что найденные из решения рассматриваемой задачи напряжения должны суммироваться с напряжениями от других видов действующих нагрузок в самых неблагоприятных сочетаниях, после чего можно переходить к проверке прочности сечений обделки на сжатие и растяжение.

Список литературы

1. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах: Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1989. – 270 с.
2. Фотиева Н.Н. Расчет крепи подземных сооружений в сейсмически активных районах. – М.: Недра, 1974. – 240 с.
3. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. - М.: Наука, 1966. – 708 с. Рукопись поступила в редакцию 12.04.12

УДК 622.271.4.012.3

Е.А. НЕСМАШНЫЙ, д-р техн. наук, проф.,
А.В. БОЛОТНИКОВ, А.С. НАМИНАТ, аспиранты
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА №4, ВНЕШНИХ И ВРЕМЕННЫХ ОТВАЛОВ АРТЕМОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Определены предельно допустимые параметры откосов бортов и отвалов Артемовского карьера при разработке проекта его отработки до глубины 195 м (отм. -60 м). Выполнено геомеханическое обоснование параметров проектируемого отвала «Западный» и прогноз его влияния на устойчивость западного борта карьера № 4 ПАО «ЦГОК». При расчетах использовалась автоматизированная обработка данных GPS-мониторинга напряженно-деформированного состояния открытых горных выработок в виде пакета прикладных программ «Репер».

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Железорудные месторождения Кривбасса являются основным объектом использования горно-металлургической отрасли, поскольку продукция горнодобывающих предприятий весьма значима в экономике Украины. В тоже время горнодобывающим предприятиям традиционно свойственны, кроме техногенного воздействия на недра, способы перемещения горной массы в больших объемах с мест природного залегания для дальнейшей переработки и складирования (отвалы, хвостохранилища). Практически все внешние отвалы примыкают к бортам карьеров, образуя единую техно-

генно-нагруженную систему «карьер-отвал». Изменение гидрогеологического баланса, экологического состояния, осложнения горно-технологических условий разработки месторождения на первый план выдвигают вопросы прогнозирования, оперативности и надежности при расчетах устойчивости бортов карьеров и отвалов.

Анализ исследований и публикаций. Многолетний опыт проектирования, строительства и эксплуатации железорудных карьеров показывает, что с ростом глубины разработки возникает много проблем технологического характера, связанных с обеспечением динамики и стабильности горных работ. Территория карьера и прилегающие к нему обширные зоны, которые попадают в область влияния горных разработок, претерпевают сложное деформирование и находятся в напряженно-деформированном состоянии. Анализ предыдущего опыта и научных исследований в данной области показал, что на современном этапе развития открытых горных работ возросли требования к качеству и точности расчетов устойчивости [1,2].

Еще до сравнительно недавнего времени при решении проблемы устойчивости бортов карьеров, и особенно при проектировании, часто ограничивались определением так называемых «генеральных» углов наклона карьеров, и в лучшем случае выбором их профиля, в которые затем без должного обоснования и соответствующих расчетов «вписывались» уступы и бермы. При этом, как правило, параметры уступов и берм, сверху и до дна карьера, были одинаковыми. Это приводило к повсеместному образованию осыпей и обрушениям, так как при обеспеченной общей устойчивости борта не обеспечивалась устойчивость локальных участков – уступов, зон.

На современном этапе развития горной науки конструктивно борт в предельном положении отстраивают, исходя из высот и углов откосов устойчивых уступов, ширины съездов и ширины берм различного назначения, которые, как правило, рассчитываются на основе базовой величины призмы возможного обрушения. Это нашло свое отражение в работах Г.Л. Фисенко, А.И. Арсентьева, В.В. Ржевского, Ю.И. Туринцева, П.С. Шпакова, Р.П. Окатова, А.И. Ильина, Н.К. Звонарева, Э.Л. Галустьяна и др.

Изложение материала и результаты. Геологическое строение карьерного поля Артемовского месторождения характеризуется слоистым горизонтальным залеганием трех основных видов пород: песчано-глинистые наносы; пески; каолины (выветрелые гнейсы); породы скального состава. Структура месторождения и особенно вскрышных пород изучена явно недостаточно. Характерным примером залегания породных слоев Артемовского месторождения железных руд является геометрическая схематизация разреза по м. оси 180 (рис. 1). На большей части месторождения мощность верхнего пласта песчано-глинистых пород составляет 20-30 м до гор. (+105) м. С геомеханической точки зрения наибольшую опасность для устойчивости уступов и бортов карьера представляет слой выветрелых гнейсов (каолинов), мощность которого достигает 50-60 м. В этих породах формируются участки, состоящие из групп уступов высотой до 80 м, сложенные не очень прочными породами.

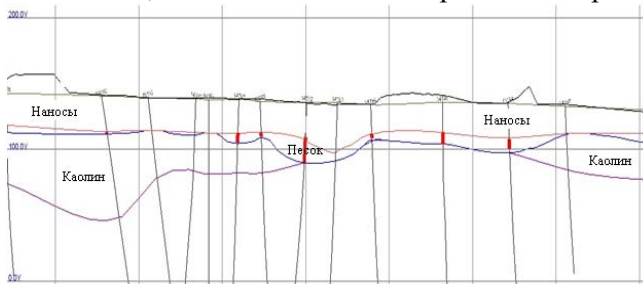


Рис. 1. Схема залегания породных слоев по разрезу 200 м.о.

Прочностные и деформационные свойства пород вскрышного комплекса Артемовского месторождения практически не изучены. Определялись только физико-механические свойства железных руд месторождения с точки зрения их последующей переработки. Однако их использование в геомеханических расчетах возможно только частично, так как устойчивость нерабочих уступов, групп уступов и бортов любого карьера определяют

прочностные параметры вскрышных пород. Таким образом, для определения расчетных показателей прочности горных пород и массивов Артемовского месторождения использовались методы инженерно-геологической аналогии. На основе анализа данных о прочностных и деформационных свойствах пород Глееватского и Петровского месторождений определялись породы аналогичные породам Артемовского месторождения и, таким образом, выбирались значения, которые в последующем использовались для расчета устойчивости уступов, групп уступов и бортов Артемовского карьера и отвала № 3 (табл. 1).

Физико-механические свойства пород Артемовского карьера и отвала №3

Наименование породы	Удельная масса, т/м ³	Угол внутреннего трения, град	Сцепление, Мпа	Коэффициент структурного ослабления	Примечание
Супесь легкая	1,98 - 2,25	24-27	0,05 - 0,105	-	-
Суглинок средний и тяжелый	1,73-2,07	18-26	0,014-0,173	-	-
Глина песчаная	1,86-2,13	14-25	0,046-0,14	-	-
Кварциты	3,302-3,50	30-35	100-200	0,001	Сильно трещиноватый
Кварциты	3,302-3,50	30-35	100-250	0,001	Трещиноватый
Мигматиты	2,77-2,80	28-30	80-95	0,003	
Каолин	2,55-2,65	28-30	1-5	0,025	

Свойства вскрышных пород отвала №3

Породы скальной вскрыши	2,56	35	0,02	-	-
Породы смешанного состава	2,33	16	0,036	-	-

На основании проектного решения по обработке Артемовского карьера до глубины 195 м с учетом тектоники и структуры месторождения определены шесть расчетных разрезов, устойчивость которых и будет, по нашему мнению, определять устойчивость уступов, групп уступов и всех бортов карьера в целом (рис.2). Расположение выбранных вертикальных разрезов на плане карьера № 4, который соответствует проектному положению горных работ на конечном контуре, совмещено с проектным положением первой очереди отсыпки отвала «Западный» (рис. 3). Координаты вертикальных разрезов восточного и западного бортов получены в результате GPS съемки [3,4,6]. Выполнена геометризация трех характерных инженерно-геологических разрезов по юго-западной части отвала, необходимых для расчета устойчивости ярусов и бортов отвала № 3.

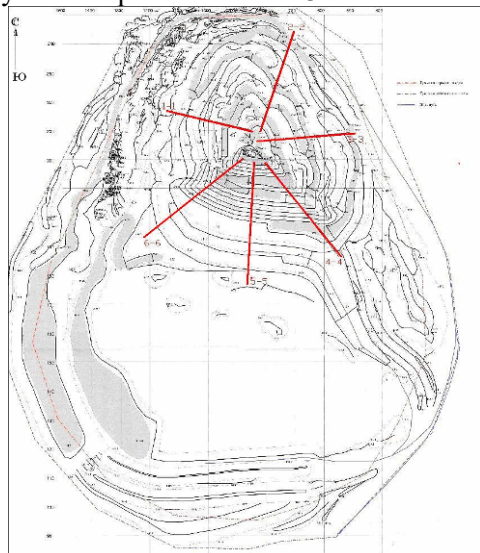


Рис. 2. Расположение расчетных разрезов на плане горных работ Артемовского карьера (проектное положение горных работ на 01.01.2012 г.)

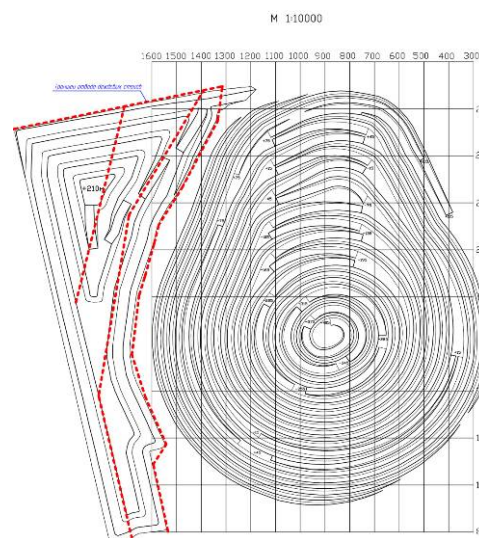


Рис. 3. Совмещенная схема первой очереди отвала «Западный» и карьера с указанием положения закрытых каналов, предназначенных для отвода поверхностного стока с подотвальной территории

Для расчета коэффициента устойчивости использовалась геомеханическая схема для плоского борта карьера, в котором отсутствуют неблагоприятно ориентированные поверхности ослабления и отчетливо прослеживается горизонтальное залегание породных слоев (рис.4) [2]. Именно данная расчетная схема наиболее полно отображает реальную геомеханическую ситуацию на Артемовском карьере (горизонтальное расположение породных слоев, отсутствие неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления или отсутствие достоверных сведений о них).

Форма и расположение поверхности скольжения в неослабленном массиве, прилегающем к откосу, определяется основными положениями теории предельного равновесия сыпучей среды. При углах внутреннего трения $\rho < 13^\circ$ пород, залегающих в нижней части откоса, поверхность скольжения выходит в подошву откоса, пересекая ее под углом $\varepsilon = 45^\circ - \rho/2$. Для оценки устойчивости горных массивов находится наиболее слабая поверхность скольжения с минимальным соотношением удерживающих и сдвигающих сил. От правильности установления формы и местоположения этой линии зависит точность и надежность результатов расчета коэффициента запаса устойчивости. Установлено, что поверхность скольжения призмы возможного обрушения для данных горно-геологических условий является плавно криволинейной, по форме близкой к круглоцилиндрической. Расчеты по определению степени устойчивости бортов и групп уступов Артемовского карьера выполнены с помощью разработанного пакета прикладных программ [5]. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Сравнение полученных значений коэффициента запаса устойчивости с нормативными показало, что устойчивое состояние для бортов и групп уступов (согласно проектному положению горных работ на 01.01.2012 при отработке до отм. (-60 м) не вызывает опасений.

Расчеты показали, что борта карьера № 4 ПАО «ЦГОК» при достижении ими предельного контура, который обеспечивает отработку всех балансовых запасов, будут обладать степенью устойчивости, соответствующей нормативным параметрам.

Таблица 2

Результаты расчета устойчивости бортов и групп уступов Артемовского карьера (проектное положение горных работ на 2011 год)

Номер разреза	Объект	Высота, м.	Угол откоса, град.	Коэффициент запаса устойчивости
1-1	Западный борт в целом	155	30	1,26
2-2	Северный борт в целом группа уступов (м.о. 231-248)	146	27	1,30
		105	40	1,25
3-3	Восточный борт в целом группа уступов (м.о. 227-229)	164	30	1,28
		114	35	1,25
4-4	Южный борт в целом группа уступов (м.о. 211-195)	165	25	1,34
		102	34	1,28
5-5	Южный борт в целом группа уступов (м.о. 201-194)	187	27	1,33
		60	42	1,20
6-6	Южный борт в целом группа уступов (м.о. 212-205)	165	37	1,29
		75	45	1,22

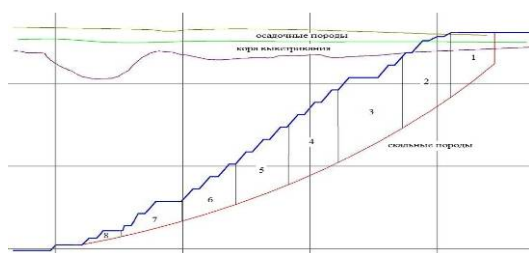


Рис.4. Схема к расчету устойчивости восточного борта карьера № 4 по разрезу 6

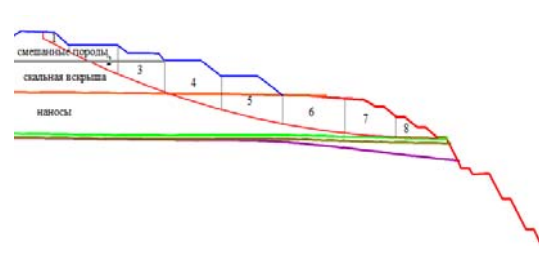


Рис.5. Схема к расчету устойчивости северо-восточного борта отвала «Западный»

В основу расчета устойчивости внешнего отвала «Западный» взято его проектное положение на конец отсыпки первой очереди. При решении этой задачи нами использовались вертикальные разрезы по проектным контурам первой очереди отсыпки внешнего отвала «Западный», совмещенные с конечным контуром отработки карьера № 4; информация об объемах отсыпки горной массы в отвал и ее составе; усредненные физико-механические свойства пород в основании отвала (табл. 1).

Пример расчетного профиля восточного борта внешнего отвала «Западный» и верхней части западного борта карьера № 4 с учетом геологического строения и потенциальной поверхностью скольжения показан на рис.5. При этом мы учитывали тот очевидный факт, что возможное нарушение ус-

тойчивости восточного борта отвала «Западный» может коснуться не только самого отвала, но и захватить верхние уступы, сложенные наносами, западного борта карьера № 4.

Очевидно, что верхние уступы (сложенные песчано-глинистыми породами) западного борта карьера № 4 и внешнего отвала «Западный» необходимо рассматривать при оценке их устойчивости как единую систему «карьер-отвал». Расчеты степени устойчивости северо-восточного борта отвала «Западный» выполнялись по следующим вариантам: вариант №1 – поверхность возможного скольжения выходит в зону верхних, сложенных наносами, уступов западного борта карьера; вариант №2 – поверхность возможного скольжения, характерная для подподошвенных оползней; вариант №3 – поверхность возможного скольжения занимает промежуточное положение вариантов № 1 и № 3).

Таблица 3

Результаты расчета устойчивости внешнего отвала «Западный»					
Номер разреза	№ варианта	Высота борта, м.	Количество ярусов	Угол наклона, град.	КЗУ
Западный борт					
1	1	60	4	13	1,71
	2				1,91
	3				1,96
2	1	30	2	20	1,47
	2				1,60
	3				1,51
1a	1	25	3	15	1,47
	2				1,73
	3				1,66
2a	1	60	4	14	1,71
	2				1,87
	3				1,75
3a	1	45	3	17	1,64
	2				1,62
	3				1,53
Восточный борт					
1		60	4	13	1,86
2a		60	4	14	2,19

Результаты расчетов, представленные в табл.3, показали, что коэффициент запаса устойчивости западного борта отвала «Западный» изменяется по разным профилям в пределах 1,86 – 2,19. Это означает наличие необходимого резерва устойчивости, позволяющего принять нагрузку от отвальных пород его второй очереди отсыпки. Несмотря на то, что прогнозируемая степень устойчивости восточного борта отвала «Западный» на участке его сопряжения с верхней частью западного борта карьера № 4 соответствует нормативным требованиям (коэффициент запаса устойчивости изменяется в пределах 1,47 – 1,71), существуют реальные геомеханические риски нарушения их устойчивого состояния. Эти риски обусловлены, прежде всего, вероятностью существенного изменения гидрологического режима в районе расположения данной системы «карьер-отвал».

Проведенными исследованиями определены довольно высокие прочностные и деформационные параметры пород, входящих в песчано-глинистый комплекс основы отвала «Западный» [3]. Однако эти параметры определены в условиях естественной влажности, которая осенью 2011 года была существенно ниже среднестатистической. На территории повсеместно развиты просадочные грунты, общей мощностью 5,0 – 10,8 м. Логично предположить, что если в процессе замачивания просадочных грунтов произойдет резкое увеличение их влажности, то это приведет не только к снижению их прочностных и деформационных параметров, но и к изменению консистенции грунтов от твердой фазы до мягкопластичной и текучей. Очевидно, что это может отрицательно повлиять на устойчивость всей рассматриваемой системы «карьер-отвал».

При этом необходимо учитывать то, что процесс возведения проектируемого отвала «Западный» существенно изменит рельеф на данной территории. Максимальная высота отвала будет достигать 70–110 м. Вес отвала, при его максимальном развитии будет достигать 173,951 млн. т, что окажет существенное влияние на грунты основания. Опыт строительства подобных отвалов однозначно указывает на возможность формирования и развития техногенного водоносного горизонта под воздействием комплекса природных и техногенных факторов.

Выводы. Выполненные расчеты устойчивости показали, что степени устойчивости западного борта отвала «Западный» и восточного борта отвала «Западный» на участке его сопряжения с верхней частью западного борта карьера № 4 отвечают нормативным требованиям и имеют необходимый резерв, позволяющий принять нагрузку от вскрытых пород второй очереди отсыпки.

Выполненные геомеханические расчеты подтверждают принятое в ТЭО решение о размещении на западном борту карьера автомобильного отвала «Западный» [4].

Также оценка состояния устойчивости показала, что проектные параметры бортов карьера №4 в отработанном виде обеспечивают безопасные, с точки зрения геомеханики, условия производства горных работ. Однако на данном этапе исследований инженерно-геологических особенностей Артемовского месторождения нет предпосылок для возможного увеличения углов откоса нерабочих бортов карьера № 4.

Список литературы

1. Норми технологичного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. – Київ: МППУ. -2008.- 702 с.
2. **Е.А.Несмашний** Оптимизация геометрических параметров открытых горных выработок. – Кривой Рог: Изд-во "Минерал", 1999.
3. Прогноз изменения степени устойчивости бортов карьера, внешних и временных отвалов Артемовского карьера ОАО «ЦГОК»: отчет по нир (заключит.), договор № 118-13-09/10-859-11 от 11.01. 2011 г/ МОНМСУ - КТУ.- Кривой Рог - 104 с.
4. Комп'ютерна програма «Комплекс комп'ютерних програм «РЕПЕР»: Свідчення про реєстрацію авторського права на твір. Україна, МОНУ/Є.Я.Бехлер, А.В. Болотников, Є.О.Несмашний, О.В.Максимов, Г.І.Ткаченко. – № 39943; Зареєстр. 02.09.11.
5. Комп'ютерна програма для оцінки і розрахунку стійкості укосів бортів кар'єрів і ярусів відвалів «KUSTO»: Свідчення про реєстрацію авторського права на твір. Україна, МСП 03680 / **В.О.Півень, Д.М.Шпирок, О.В.Романенко, Є.Я.Бехлер, Є.О.Несмашний, О.В.Максимов, Г.І.Ткаченко.** – № 18720; Заявл. 03.10.06; Зареєстр. 22.11.06.
6. **Болотников А.В.**//Особенности решения маркшейдерско-геодезических задач устойчивости железорудных карьеров и отвалов с использованием GPS-оборудования//Вісник Криворізького технічного університету: Збірник наукових праць. – №26. – Кривий Ріг, 2010.- С. 84-87.
Рукопись поступила в редакцию 14.02.12

УДК 622.235

П.И. ФЕДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «Криворожский национальный университет»
К.Ю. ПАСИЧЕНКО, Ю.К. ПАСИЧЕНКО, кандидаты техн. наук,
Украинский политехнический техникум

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЗАРЯДОВ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ВЗРЫВНЫХ ВОЛН В ПОЛИГОННЫХ УСЛОВИЯХ

Обосновано, что максимальное расстояние от заряда, при котором амплитуда массовой скорости остается такой же по величине, как при неограниченной длине заряда, равна порядка длине заряда.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Для эффективного управления энергией взрыва при отбойке горных пород необходима достоверная информация о закономерностях процессов, протекающих в массиве при взрыве зарядов взрывчатых веществ (ВВ). В частности необходимо знать об закономерностях изменения во времени и с расстоянием параметров волн напряжений, прежде всего массовой скорости частиц массива и величины их смещения за фронтом волны, радиальных и тангенциальных напряжений [1]. Эта информация может быть получена при проведении экспериментальных взрывов с регистрацией параметров волн методом осциллографирования [2].

В горнодобывающей промышленности и в подземном строительстве при взрывной отбойке горных пород преимущественно используются удлиненные (колонковые) заряды, значительно реже – сосредоточенные. При взрыве удлиненного заряда в массиве возникает и распространяется взрывная волна осевой симметрии, при взрыве сосредоточенного – центральной (сферической) симметрии. Затухание параметров волны осевой симметрии в радиальных направлениях происходит значительно менее интенсивно, чем в центральной, а радиус разрушения удлиненного заряда в несколько раз больше, чем сосредоточенного того же диаметра [1].