УДК 622.1:622.271

П.С. Шпаков, Ю.Л. Юнаков, В.В. Руденко

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВЫХ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ЭЛЬДОРАДО»

Рассматрены вопросы, связанные с оценкой устойчивости северо-восточного и юго-западного бортов карьера «Эльдорадо», анализ фактического состояния откосов уступов и бортов карьера с оценкой их устойчивости, определение физико-механических свойств и структурно-тектонических особенностей горных пород, как основы для обоснования расчетных показателей свойств пород прибортового массива карьера, расчет параметров устойчивых откосов отвалов, уступов и бортов карьера.

Ключевые слова: карьер, борт, уступ, откос, породы, прочность, трещиноватость, устойчивость, поверхность скольжения, расчет, коэффициент устойчивости.

Анализ современного состояния откосов уступов и бортов карьера «Эльдорадо»

Прогнозирование и предупреждение деформаций откосов на карьере невозможно без анализа их состояния на текущий период в зависимости от изменяющейся горно-геологической обстановки, а также поведения и состояния пород прибортового массива при их подрезке рабочими уступами. С этой целью было выполнено обследование состояние откосов уступа и бортов карьера (рис. 1, 2).

В результате обследования уступов удалось выявить следующее. Откосы уступов северо-восточного (висячего) борта карьера на всех горизонтах высотой 20–30 м с углом наклона 45°–60°, формируется вкрест сланцеватости по трещинам отдельности. Деформации имеют вид мелкоблочных вывалов, вследствие чего откосы уступов не формируются в однозначную плоскость (рис. 1). Высота северо-восточного борта карьера изменяется от 50 до 90 м, угол откоса борта от 32° до 45°. Критичные деформации отсутствуют. Расчеты по фактическим профилям 5-ти разрезов дают коэффициент запаса устойчивости $n > 1{,}3$.

Откосы уступов в юго-западном (лежачем) борту карьера формируются по крутопадающей сланцевато-

Рис. 1. Уступ северо-восточного борта карьера

Рис. 2. Уступ юго-западного борта карьера

сти. Деформации уступов происходят по сочетанию трещин отдельностей и подсекающих пологих трещин в виде вывалов, представляющих собой клин или блок на всю высоту уступа (рис. 2). Высота юго-западного борта карьера изменяется в пределах от 90 до 120 м, углов откоса борта от 37 до 46. Критические деформации отсутствуют. Расчеты дают коэффициент запаса устойчивости $n > 1{,}3$.

По результатам анализа и расчетов устойчивости реальных откосов уступов и бортов карьера делаются следующие выводы:

1. На верхних горизонтах промоины, оплывины и оползневые явления не наблюдаются.

2. Уступы расположенные в разновидностях сланца высотой h = 20–30 м при сложившихся углах их откосов α от 47° до 63° на существующем контуре подвержены процессам осыпеобразования и незначительным локальным деформациям по плоскостям ослаблений. В целом состояние этих уступов соответствует предъявляемым требованиям по технической эксплуатации.

3. Сформированные в настоящее время рабочие борта карьера с углами откосов α от 32° до 46° и высотой от 50 м до 120 м находятся в устойчивом состоянии.

4. Конструкция нерабочих бортов карьера и их устойчивость зависит от физико-механических свойств в прибортовом массиве и систем трещин различного генезиса: по слоистости, тектоническим трещинам и отдельностям, поэтому нами карьерное поле разбито на два участка (северо-восточный, юго-западный), отличающихся системами влияния трещин на устойчивость откосов. Для них построены решетки трещиноватости. Следует отметить на выделенных участках сравнительно однородную пространственную ориентацию трещин и зон интенсивного рассланцевания и дробления пород.

5. Разломная тектоника месторождения характеризуется многообразием форм проявления. Разнообразна, прежде всего, ориентировка разломов, хотя преобладают северо-западные продольные нарушения. Плоскости разломов в основном крутые и вертикальные и их падение как в массив слагающий борта карьера, так и в сторону выработанного пространства. Продольные нарушения (Ольгинское, Сухоложинское) из-за большого расстояния от контура карьера, не будут оказывать влияние на устойчивость бортов карьера. Диагональные нарушения (Раздельное, Актоликское) и связанная с ними трещиноватость при подходе северо-восточного борта на предельный контур в районе их выходов в карьерное пространство, могут спровоцировать нарушение устойчивости уступов, как в самих зонах нарушений (мощностью 50–120 м), так и виде призм оползания ограниченной ими.

Исследование физико-механических свойств пород

Свойства горных пород оказывают весьма существенное влияние практически на все производственные процессы при разработке месторождений. В связи с тем, что физико-механические свойства горных пород в период эксплуатации не изучались, нами в лабораторных условиях были проведены комплексные исследования по определению следующих величин: прочности горных пород на одноосное сжатие ($\sigma_{сж}$), прочности пород на растяжение, прочности пород при срезе ($\tau_{ср}$), сцепление пород в образце (K), соответствующего им угла внутреннего трения (ρ), объемного веса (γ). Исследования проводились по ГОСТ 21153.3–85, ГОСТ 21153.8–88, ГОСТ 21153.0–75–21153.7–75, ГОСТ 21153.5–88 и другим нормативным документам по методикам изложенных в работах [1–5].

Исследованиями были охвачены отложения горбилокской свиты: Кварц-биотит-мусковитовые сланцы, кварц-биотитовые сланцы, кварц-биотит-хлоритовые сланцы.

Результаты исследований свойств горных пород

Нами было испытано 146 образцов разновидностей сланца и получено более 250 его характеристик.

Для исследования интервала глубин отбора образцов от 0 до 80 метров, отмечено изменение прочностных свойств пород в сторону увеличения их значений с глубиной. Предел прочности на сжатие изменяется от 24 до 35 МПа. Ранее были получены следующие значения $\sigma_{сж}$: для зоны выветривания от 17,6 МПа до 75,5 МПа; для северо-восточного борта от 23,5 МПа до 53,0 МПа; для юго-западного борта от 23,9 МПа до 92,1 МПа. Предел прочности на растяжение изменяется от 5,2 до 6,2 МПа. Ранее были получены следующие значения $\sigma_{раст}$: для зоны выветривания от 1,5 МПа до 6,5 МПа; для северо-восточного борта от 3,8 МПа до 9,3 МПа; для юго-западного борта от 2,9 МПа до 92,2 МПа.

Величина сцепления и угла внутреннего трения в образцах определялась по паспортам прочности. Ранее эти параметры не определялись, а рассчитывались косвенно. Построение паспорта осуществлялось с использованием кругов Мора, количественное значение которых взято из результатов испытаний породы на одноосное сжатие и растяжение, а также из испытаний по определению прочности при сдвиге $\tau_{ср}$ и по сцеплению k методом среза в наклонных матрицах с построением зависимости $\tau = f(\sigma)$. Срез производился при углах наклона $\alpha = 25°$, $\alpha = 35°$, $\alpha = 45°$. Значения сцепления изменяются от 5,6 МПа до 7,4 МПа, угла внутреннего трения от 29° до 32°.

Значения объемного веса, предела прочности на одноосное сжатие, предела прочности на растяжение, углов внутреннего трения и сцепления пород сведены в табл. 1.

Физико-механические свойства грунтов

По результатам выполненных инженерно-геологических изысканий на промышленной площадке карьера «Эльдорадо» установлено, что толща грунтов до разведанной глубины 5,0 м является неоднородной, в ее пределах выделяется 8 инженерно-геологических элементов:

- ИГЭ-1, почвенно-растительный слой с корнями деревьев, мощностью 0,2 м;

Таблица 1

Физико-механические свойства сланца

Название породы (глубина отбора образца, м)	Объемный вес γ, т/м^3	Предел прочности на растяжение $\sigma_р$, МПа	Предел прочности на одноосное сжатие $\frac{\sigma_{сж}}{V\%}$, МПа	Сцепление C_0, МПа	Угол внутреннего трения φ_0
1	2	3	4	5	6
1. Сланец (20, м)	2,69	5,2	24	5,6	29
2. Сланец (40, м)	2,72	5,5	27	6,1	30
3. Сланец (60, м)	2,74	5,8	31	6,7	31
4. Сланец (80, м)	2,76	6,2	35	7,4	32

Таблица 2

Физико-механические свойства грунтов

Наименование показателей	ИГЭ-2	ИГЭ-3	ИГЭ-4	ИГЭ-5	ИГЭ-6	ИГЭ-7	ИГЭ-8
Влажность, д.е. природная на границе текучести на границе раскатывания	 0,12 0,33 0,20	 0,21 0,30 0,25	 – 0,20 0,19	 0,18 0,29 0,19	 - 0,22 0,20	 0,18 0,30 0,27	 - - -
Плотность, г/см^3	1,91	1,93	-	2,04	2,35	1,95	2,27
Удельное сцепление, кПа	34	16	47	21	-	47	-
Угол внутреннего трения, град.	24	28	26	30	-	34	-
Модуль деформации, МПа	25	12	34	32	35	37	-
Расчетное сопротивление, кПа	300	250	450	450	600	-	-

- ИГЭ-2, суглинки дресвянистые, полутвердой консистенции, непросадочные, ненабухающие, среднепучинистые при промерзании, мощность слоя 0,8–1,8 м;
- ИГЭ-3, супеси дресвянистые, полутвердой консистенции, непросадочные, ненабухающие, среднепучинистые при промерзании, мощность слоя 0,4–1,5 м;
- ИГЭ-4, щебенисто-дресвяные грунты с суглинистым заполнителем до 40%, полутвердой консистенции, мощность слоя 1,5 м;
- ИГЭ-5, щебенисто-дресвяные грунты с супесчаным заполнителем до 40%, полутвердой консистенции, мощность слоя 0,6–0,8 м;
- ИГЭ-6, щебенистый грунт, заполнитель супесчаный полутвердый, в количестве 25–30%, мощность слоя 0,4–2,2 м;
- ИГЭ-7, сланцы кварцево-биотит-серицитовые, сильновыветрелые (показатель выветрелости 0,59), весьма низкой прочности, размягчаемые, мощность слоя 1,2–2,8 м;
- ИГЭ-8, сланцы кварцево-биотит-серицитовые, менее выветрелые (показатель выветрелости 0,77), низкой прочности, размягчаемые, мощность слоя 1,5–2,2 м.

Инженерно-геологические элементы грунтов имеют следующие физико-механические свойства, приведенные в табл. 2.

Структурно-тектонические особенности горного массива, характеризующие дизъюнктивную и пликативную нарушенность пород, степень и характер их трещиноватости, слоистость и сланцеватость, являются одним из основных факторов, которые следует учитывать при решении целого ряда задач горного дела. Физико-механические свойства пород во взаимосвязи с их структурно-тектоническими особенностями определяют напряженное состояние горного массива в уступах и бортах карьеров, возникающее под действием внутренних и внешних сил. Тщательное и всестороннее изучение прочности и строения горного массива должно предшествовать решению вопросов предупреждения и борьбы с деформационными явлениями на карьерах [1–4].

В комплексе все работы по изучению трещинной тектоники месторождения, разрабатываемого открытым способом выполнялись по методике [8, 9]. Построены карты трещиноватости карьера.

По характеру размещения структурно-тектонических особенностей прибортового массива выделяется серия характерных зон, как по площади, так и глубине. В нашем случае четко выделяются системы трещин сланцеватости с углами простирания в пределах от 290° до 340° и с углами падения от 55° до 85°. Системы блочной трещиноватости в трех плоскостях: с углами простирания в пределах от 30° до 50° и с углами падения от 55° до 85°; с углами простирания в пределах от 130° до 160° и с углами падения от 15° до 85°; с углами простирания в пределах от 200° до 240° и с углами падения от 60° до 90°. Системы тектонических трещин с углами простирания в пределах от 165° до 200° и с углами падения от 38° до 55°.

Имеющиеся системы трещин говорят о сложном напряженно-деформированном состоянии массива в период формирования месторождения, т.е. главные напряжения меняли свое положение в пространстве. Влияние на устойчивость откосов будут оказывать системы продольных и диагональных трещин как в отдельности так и в сочетании.

Ориентировка разломов (разломная тектоника) с элементами залегания Ольгинское (A = 310–315°, δ = 65–75°), Константное (A = 235°, δ = 70–80°), Раздельное (A = 350°, δ = 70°), Южное (A = 350–360°, δ = 70–75°), Сухоложское (A = 295°, δ = 75–80°), Актоликское (A = 230°, δ = 75–80°) будут сказываться на устойчивость группы уступов на отдельных участках северо-восточного борта, но не будут влиять на устойчивость прибортового массива на предельном контуре. Необходимо обратить внимание на проведение горных работ при их срабатывании в процессе эксплуатации карьера.

Расчет устойчивости

Обоснование расчетных характеристик физико механических свойст проводился по методике [1–5]. Расчет устойчивости проводился по методике [6, 7].

В результате решения задачи по выбранной методике нами получены расчетные характеристики пород (расчетные и предельные), коэффициент запаса устойчивости и геометрические элементы, необходимые для построения поверхности скольжения соответствующие предельному равновесию при полученном n, которые приведены в отчетах, в качестве примера показан расчет по разведочной линии 34 (рис. 3) и ниже по тексту.

Однородный откос, теоретические разработки профессора Шпакова П.С.

Определение коэффициента запаса устойчивости для реального борта карьера юго-западного борта карьера

Исходные данные: угол откоса α = 42,5°; угол внутреннего трения массива ρ = 25,7°; сцепление C = 41,8 т/м^2; плотность пород массива γ = 2,8 т/м^3; заданная высота откоса H = 170,0 м.

Расчетные данные: предельная высота H = 170,0 м; предельный угол откоса α = 42,5°; высота отрыва H_{90} = 30,3 м; ширина призмы обрушения $Б$ = 48,6 м; радиус поверхности скольжения r = 338,5 м; число итераций K_2 = 6; откос приведен в предельное состояние при числе итераций K_2 = 6; коэф. запаса устойчивости по C n = 1,3859; коэф. запаса устойчивости по ρ n = 1,3859; α = 42,5°; H_{90} = 30,3 м; берма = 48,6 м; H = 170,0 м; r = 338,5 м; плотность массива G = 2,8 т/м^3; C = 30,2 т/м^2; ρ = 19,1°.

Определение коэффициента запаса устойчивости для реального борта карьера северо восточного борта карьера

Исходные данные: угол откоса α = 47,0°; угол внутреннего трения массива ρ = 24,0°; сцепление C = 22,3 т/м^2; плотность пород массива G = 2,7 т/м^3; заданная высота откоса H = 100,0 м.

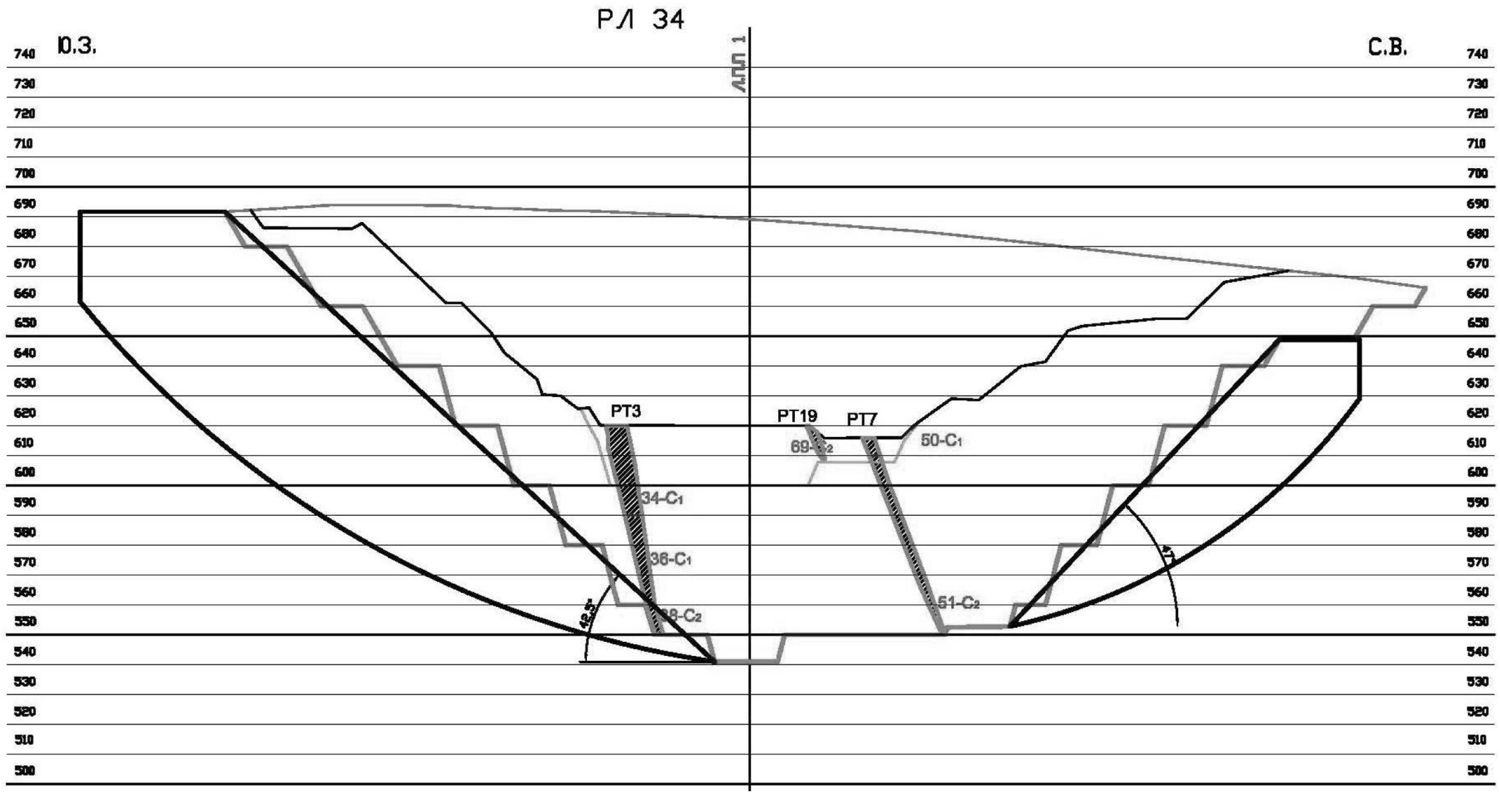

Рис. 3. Расчет устойчивости по профильной линии РЛ 34

Расчетные данные: предельная высота H = 100,0 м; предельный угол откоса α = 47,0°; высота отрыва H_{90} = 19,8 м; ширина призмы обрушения $Б$ = 27,1 м; радиус поверхности скольжения r = 197,3 м; число итераций K_2 = 5; откос приведен в предельное состояние при числе итераций K_2 = 5; коэф. запаса устойчивости по C = 1,1998; коэф. запаса устойчивости по F = 1,1998; α = 47,0°; H_{90} = 19,8 м; берма = 27,1 м; H = 100,0; r = 197,3; плотность массива G = 2,7 т/м^3; C = 18,6 т/м^2; ρ = 20,4°.

Результаты расчетов устойчивости бортов карьера (предельные параметры) для всех разведочных линий приведены в табл. 3.

Расчет параметров откосов нерабочих уступов карьера.

Обследование поверхностей откосов уступов на карьере и анализ их устойчивости показали, что в скальных и полускальных трещиноватых массивах деформации обусловлены сочетанием отдельных систем поверхностей ослаблений естественного происхождения, к которым относятся поверхности сместителей тектонических нарушений, контакты слоистых пород, трещины отдельности большого протяжения.

Совершенно очевидно, что устойчивость прибортового массива определяется устойчивостью отдельных породных откосов, оконтуренных с одной стороны поверхностью откоса,

Таблица 3

Результаты расчетов устойчивости бортов карьера (предельные параметры)

Номер профиля	**Борт карьера**	**Сцепление *K*, т/м^2**	**Угол внутреннего трения ρ, град.**	**Угол откоса α, град.**	**Высота откоса *H*, м**	**Коэф. запаса устойчивости *n***	**Ширина призмы возможного обрушения, м**
1	2	3	4	5	6	7	8
11,5	Юго-западный	41,8	25,7	41,6	220	1,25	56,9
	Северо-восточный	47,1	25	45,8	190	1,30	52,8
14	Юго-западный	41,8	25,7	44,6	220	1,19	54,6
	Северо-восточный	41,1	25	48	198	1,15	49,7
15	Юго-западный	41,8	25,7	40,6	220	1,27	57,7
	Северо-восточный	41,1	25	47,6	200	1,15	50,2
19,5	Юго-западный	41,8	25,7	44,2	213	1,21	53,9
	Северо-восточный	47,1	25	47,6	195	1,24	52,4
21	Юго-западный	47,8	25,7	43,9	205	1,32	56,1
	Северо-восточный	47,1	25	47,3	180	1,3	50,2
25	Юго-западный	22,7	24	43,5	185	1,37	25,7
	Северо-восточный	22,7	24	55	65	1,34	18,9
30	Юго-западный	41,8	25,7	47,9	190	1,43	55,5
	Северо-восточный	35,5	24	48	100	1,5	31,7
34	Юго-западный	41,8	25,7	42,5	170	1,38	48,5
	Северо-восточный	22,3	24	47	100	1,2	27

а с другой – одной или несколькими поверхностями ослабления. В зависимости от вида и количества поверхностей ослаблении можно выделить несколько расчетных схем [8.9]. По все схемам проведены расчеты для всего карьера. Минимальная высота откоса составила 24,0 м, максимальная – 177,8 м.

Анализ показал, что откосы уступов с фактической высотой 20 м и углом откоса α = 60, 75° будут устойчивы в различных разновидностях сланца, что и выявлено в результате обследования и съемки откосов бортов карьера. Наименьшая высота уступа получается по схеме при подрезке продольной трещины уступом с углами падения от 40 до 50°, но при этом следует иметь ввиду, что предельные углы откосов уступов изменяются от 81 до 85°, также наименьшая высота уступа получается по схеме при подрезке двух диагональных поперечных трещин с крутыми углами падения. Третьей, с углом наклона от 30 до 50°. Реализация указанной схемы расчета в условиях карьера «Эльдорадо» может произойти для группы уступов с высотой более 100 м и с результирующим углом борта на этом участке более 53°, и то только на выходах зон разломов в карьерное пространство на верхних горизонтах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Попов В.Н., Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л.* Управление устойчивостью карьерных откосов. Учебник для вузов. – М.: Издательство МГГУ, издательство «Горная книга», 2008. – 683 с.: ил.

2. *Шпаков П.С.* Метод обратных расчетов при оценке устойчивости карьерных откосов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1997. – № 1. – С. 88–92.

3. *Фисенко Г.Л.* Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Недра, 1965. – 378 с.

4. *Методические* указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л.: ВНИМИ, 1972. – 163 с.

5. *Правила* обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – СПб.: ВНИМИ, 1998. – 208 с.

6. *RU ОБПБТ* № 4(75) 20.12.2010. Программы для ЭВМ. Рег. номер 2010614557 (09.07.2010). Авторы: Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л., Шпакова М.В., Фролов И.А.

7. *Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л., Шпакова М.В.* Расчет устойчивости карьерных откосов по программе stability analysis // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 8. – С. 56–63.

8. *Шпаков П.С., Ожигин С.Г., Ожигина С.Б., Долгоносов В.Н., Шпакова М.В.* Способ расчета устойчивости карьерных откосов для сложноструктурных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 11. – С. 221–225.

9. *Попов И.И., Окатов Р.П., Шпаков П.С.* Материалы VI Всесоюзной конференции по механике горных пород «Напряженно-деформированного состояния и устойчивость скальных склонов и бортов карьеров». – Фрунзе, Илим, 1979. – С. 338–346.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Шпаков Петр Сергеевич – доктор технических наук, профессор, e-mail: SPSP01@rambler.ru, e-mail: SPSP01@mail.ru., Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,
Юнаков Юрий Леонидович – кандидат технических наук, профессор, зав. кафедры маркшейдерского дела Сибирского Федерального университета, e-mail: yunakov11@rambler.ru, Институт горного дела геологии и геотехнологий,
Руденко Валентина Владимировна – доктор технических наук, профессор, e-mail: rudenkov@bk.ru, Московский государственный горный университет.

UDC 622.1:622.271

RESEARCH AND VALIDATION OF SUSTAINABILITY PARAMETERS QUARRY SLOPES DEPOSIT ELDORADO

Shpakov P.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: SPSP01@rambler.ru,
e-mail: SPSP01@mail.ru., Murom Institute (Division), Vladimir State University after the Stoletovs,
Junakov Ju.L., Candidate of Engineering Sciences, Professor,
Head, Surveying Department, Institute of Mining, Geology and Geotechnologies,
Siberian Federal University, e-mail: yunakov11@rambler.ru,
Rudenko V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: rudenkov@bk.ru,
Moscow State Mining University.

The problems associated with the assessment of stability of the northeastern and southwestern pit «Eldorado», an analysis of the actual state of the slopes and ledges pit. Shown that the construction of non-working pit and their stability depends on the physico-mechanical properties in the massif and fracture systems of various origins.

A technique for the study of fracture tectonics field. The results of the study of structural and tectonic features of the rock mass. Maps of fracture career. The most dangerous of the fracture. An analysis of the career field is divided into two sections (north-east, south-west), differing systems of influence of cracks on the slope stability. Shown that the properties of the rocks have a very significant impact on virtually all production processes in the development of oil fields. Thorough and comprehensive study of the structure and the strength of the rock mass should be preceded by addressing the prevention and control of deformation phenomena in the quarries. Results of complex studies to determine the physical and mechanical properties of rocks and geotechnical soil elements. Substantiated physical and mechanical characteristics of the calculated properties.

The methods for calculating the stability program stability analysis and performance calculations of limiting slope safety factor and geometric elements needed to build the sliding surfaces corresponding limit equilibrium. Results of calculations of the stability of pit (the limit values) for all lines of exploration.

Key words: careers, board, shelf slope, rock strength, fracture, stability, sliding surface calculation, the stability coefficient.

REFERENCES

1. Popov V.N., Shpakov P.S., Junakov Ju.L. *Upravlenie ustojchivost'ju kar'ernyh otkosov. Uchebnik dlja vuzov* (Pitwall stability control. Higher education textbook), Moscow, Izdatel'stvo MGGU, izdatel'stvo «Gornaja kniga», 2008, 683 p.

2. Shpakov P.S. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'*, 1997, no 1, pp. 88–92.

3. Fisenko G.L. *Ustojchivost' bortov kar'erov i otvalov* (Stability of pitwalls and dumps), Moscow, Nedra, 1965, 378 p.

4. *Metodicheskie ukazanija po opredeleniju uglov naklona bortov, otkosov ustupov i otvalov strojashhihsja i jekspluatiruemyh kar'erov* (Instructional guidelines on determination of slope angles of pitwalls, benches and dumps in open pit mines in operation and under construction), Leningrad, VNIMI, 1972, 163 p.

5. Pravila obespechenija ustojchivosti otkosov na ugol'nyh razrezah (Technical regulations on slope stability in open pit coal mines), Saint-Petersburg, VNIMI, 1998, 208 p.

6. Shpakov P.S., Junakov Ju.L., Shpakova M.V., Frolov I.A. *RU OBPBT № 4(75) 20.12.2010. Programmy dlja JeVM. Reg. nomer 2010614557 (09.07.2010)* (RU ОБПБТ № 4(75) 20.12.2010. Computer programs. Registration number 2010614557 (09.07.2010)).

7. Shpakov P.S., Junakov Ju.L., Shpakova M.V. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'*, 2011, no 8, pp. 56–63.

8. Shpakov P.S., Ozhigin S.G., Ozhigina S.B., Dolgonosov V.N., Shpakova M.V. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'*, 2008, no 11, pp. 221–225.

9. Popov I.I., Okatov R.P., Shpakov P.S. *Materialy VI Vsesojuznoj konferencii po mehanike gornyh porod «Naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija i ustojchivost' skal'nyh sklonov i bortov kar'erov»* (Proceedings of the 6th International Conference on Rock Mechanics: Stress–Strain State and Stability of Hard Rock Slopes and Open Pitwalls), Frunze, Ilim, 1979, pp. 338–346.