

УДК 622.1:550.82

## УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ УСТУПОВ И БОРТОВ КАРЬЕРА В ГЛИНИСТЫХ ПОРОДАХ

**Н. Ф. Низаметдинов, Р. Ф. Низаметдинов, А. А. Нагибин, А. Р. Естаева**

*Карагандинский государственный технический университет,  
E-mail: mdig\_kstu@mail.ru, просп. Н. Назарбаева, 56, 100000, г. Караганда, Казахстан*

На основе изучения геологического строения и физико-механических свойств горных пород по всем литологическим разностям обоснованы параметры откосов уступов и бортов карьера в глинистых породах. Отличительная особенность бортов карьеров — формирование верхних горизонтов слабыми глинистыми породами в виде покровных глин, коры выветривания и переходной зоны с конгломератами общей мощностью до 150 м. В таких случаях необходимо точно рассчитать углы наклона глинистых откосов уступов, затем выполнить специальную заоткоску под рекомендуемыми углами и исключить попадание на откосы большого количества талых и дождевых вод с земной поверхности. Работы на проектном контуре следует проводить при постоянном инструментальном мониторинге за состоянием откосов уступов и бортов карьера.

*Глинистые породы, устойчивость, уступ, борт, карьер, угол внутреннего трения, сцепление, кора выветривания, массив, коэффициент запаса устойчивости*

DOI: 10.15372/FTPRPI20200205

Обеспечение устойчивости откосов уступов и бортов карьеров в глинистых породах является актуальной проблемой, так как прочностные свойства глинистых отложений изменяются в процессе отработки месторождений вследствие увеличения влажности из-за воздействия дождевых и паводковых вод. На практике устойчивость локальных участков глинистых отложений мощностью до 50 м на карьерах повышается путем сооружения контрфорсов из скальной породы. Если борта карьеров сложены глинистыми породами мощностью более 100 м, необходимо определить параметры откосов уступов и бортов и осуществить качественную экскаваторную заоткоску откосов уступов с рекомендуемыми параметрами, выемку вести послойно, высотой до 5 м. В процессе отработки глинистых откосов требуется постоянный инструментальный контроль за их состоянием, например с использованием лазерно-цифровых технологий измерений [1].

Надежное обоснование параметров глинистых откосов основывается на проведении комплексных исследований прочностных свойств пород в лабораторных (по образцам, полученным из кернов геологоразведочных скважин) и полевых условиях на карьерах [1–4]. Изучаются физико-механические характеристики пород: плотность  $\gamma$ , сопротивление на сжатие  $\sigma_{сж}$  и разрыв  $\sigma_p$ , сцепление  $K$  и угол внутреннего трения  $\rho$ , а также свойства породных контактов: сцепление  $K'$  и угол трения  $\rho'$  [1, 2, 5]. Отбор кернов из пробуренных инженерно-

геологических скважин осуществляется на различной глубине. Найденные значения сцеплений и углов трения пород требуют тщательного анализа из-за сомнений в точности их определения. Это связано с влажностью в породных образцах и микротрещинах. Такие значения исключаются в процессе усреднения по основным типам пород (табл. 1). В отдельных случаях по глинистым породам покровных отложений и коре выветривания проводятся исследования путем трехосного объемного сжатия со срезом  $K_M$  и одноплоскостного среза  $K_{обр}$ . Обычно выбираются трехосные испытания, так как в этом случае результаты наиболее близки к массиву и появляется возможность вычислить коэффициент структурного ослабления глинистых пород  $\lambda_0 = K_M / K_{обр}$ . Для глинистой коры выветривания получены результаты  $\lambda_0 = 0.44 - 0.25$ , а для кайнозойских отложений —  $\lambda_0 = 0.42 - 0.31$ . Влажность в образцах глинистых пород колеблется в пределах 10–30%. Усредненные значения сцеплений по глинистым отложениям (кайнозойские) составляют  $K_{уср} = 0.08$  МПа и  $\rho = 14^\circ$ , а в коре выветривания —  $K_{уср} = 0.03$  МПа и  $\rho = 15^\circ$ .

Для получения расчетных показателей прочностных свойств пород в коренных породах (переходной зоне метасоматитов, гранит-порфиров и алевролитов) учитывается коэффициент структурного ослабления  $\lambda_0$ , который включает в себя прочность породы в монолитном образце и характер трещиноватости [1, 2, 5]. Значение  $\lambda_0$  определяется сцеплением в монолите и размерами структурных блоков по глубине залегания на основе исследований на карьере или использования существующих закономерностей изменения размеров породных блоков с глубиной (рис. 1). Тогда сцепление в массиве коренных пород рассчитывается по формуле  $K_M = K_{обр} \lambda_0$ , где  $K_{обр}$  — сцепление в образце. Расчетное значение сцепления устанавливается с учетом коэффициента запаса  $n_3$ , колеблющегося в пределах 1.2–1.3 [2, 6].

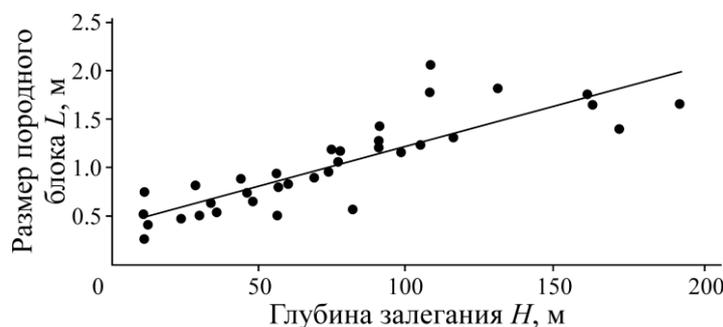


Рис. 1. Изменение размеров структурных блоков горных пород с глубиной их залегания на карьерах Казахстана (зависимость  $L = 0.0084H + 0.4015$  при  $R^2 = 0.7252$  имеет надежную связь)

Следовательно, расчетное сцепление и углы внутреннего трения пород составят  $K_{расч} = K_M / n_3$ ,  $\rho_{расч} = \arctg(\tg \rho_M / n_3)$ . Полученные расчетные значения, включая коэффициент структурного ослабления  $\lambda_0$ , приведены в табл. 1.

Методика оценки устойчивости откосов уступов и бортов карьера основана на применении графоаналитического способа расчета [4, 7, 8]. Когда в прибортовом массиве горных пород нет согласноподлежащих поверхностей ослаблений в сторону дна карьера, то используется схема расчета, в которой поверхность скольжения принимается круглоцилиндрической, а коэффициент запаса устойчивости определяется методом алгебраического сложения удерживающих

и сдвигающих сил. Разработана специальная программа по оценке устойчивости откосов уступов и бортов карьеров с помощью численно-аналитического способа расчета, где в результате анализа различных вариантов, удовлетворяющих основным положениям теории предельного равновесия, устанавливается местоположение поверхности скольжения в приоткосном массиве [9]. Данный способ позволяет создать единую методику расчета параметров предельного откоса или откоса с заданным коэффициентом запаса устойчивости для широкого диапазона изменения горно-геологических условий [7, 9]. Предложено восемь основных моделей приоткосного массива, каждая из которых представлена несколькими расчетными схемами. Структурно-логическая схема анализа геомеханических моделей с использованием системного подхода приведена на рис. 2 [8, 10].

ТАБЛИЦА 1. Расчетные значения прочностных свойств глинистых и коренных горных пород прибортовых массивов карьера Сырымбет

Тип породы	$H$ , м	$a$	$L$ , м	$\lambda_0$	Сцепление, МПа			Угол внутреннего трения, град		$\gamma \cdot 10^3$ , кг/м <sup>3</sup>
					в образце	в массиве	расчетное	в массиве	расчетный	
Кайнозойские (покровные) отложения (усредненные значения)	До 30	—	—	0.420	—	0.100	0.083	22	18.00	1.98
Кайнозойские (покровные) отложения (ураганские пробы исключены)	До 30	—	—	0.310	—	0.070	0.058	27	22.00	1.96
Глинистая кора выветривания (усредненные значения)	До 60	—	—	0.440	—	0.090	0,080	20	17.00	1.96
Глинистая кора выветривания (ураганские пробы исключены)	До 60	—	—	0.250	—	0.030	0.025	14	12.00	1.96
Переходная зона	До 100	—	—	—	—	0.020	0.017	28	24.00	2.10
Переходная зона (усредненные значения)	До 100	—	—	—	—	0,090	0.080	20	17.00	2.10
Метасоматиты	100	3	1.25	0.071	13.00	0.919	0.766	31	26.60	3.00
Известняки — верхняя часть	200	4	2.30	0.053	9.50	0.501	0.418	32	27.51	2.85
Известняки	200	4	2.30	0.053	14.85	0.787	0.656	32	27.51	2.85
Известняки массивные	200	4	2.25	0.053	20.20	1.066	0.888	32	27.51	2.85
Гранит-порфиры — верхняя часть	110	6	2.25	0.041	9.90	0.407	0.339	29	24.79	2.64
Гранит-порфиры	110	5	2.25	0.049	12.65	0.619	0.516	29	24.79	2.64
Гранит-порфиры массивные	110	4	2.25	0.060	15.40	0.930	0.775	29	24.79	2.64
Алевролиты-аргиллиты — верхняя часть	80	3	0.75	0.067	5.90	0.393	0.328	25	21.24	2.93
Алевролиты-аргиллиты	80	2	0.75	0.363	25	0.435			21.24	2.93

Примечание.  $H$  — глубина залегания пород, м;  $a$  — коэффициент, зависящий от прочности пород в куске и характера трещиноватости;  $L$  — размер структурных блоков, м;  $\lambda_0$  — коэффициент структурного ослабления;  $\gamma$  — плотность породы, 10<sup>3</sup> кг/м<sup>3</sup>.

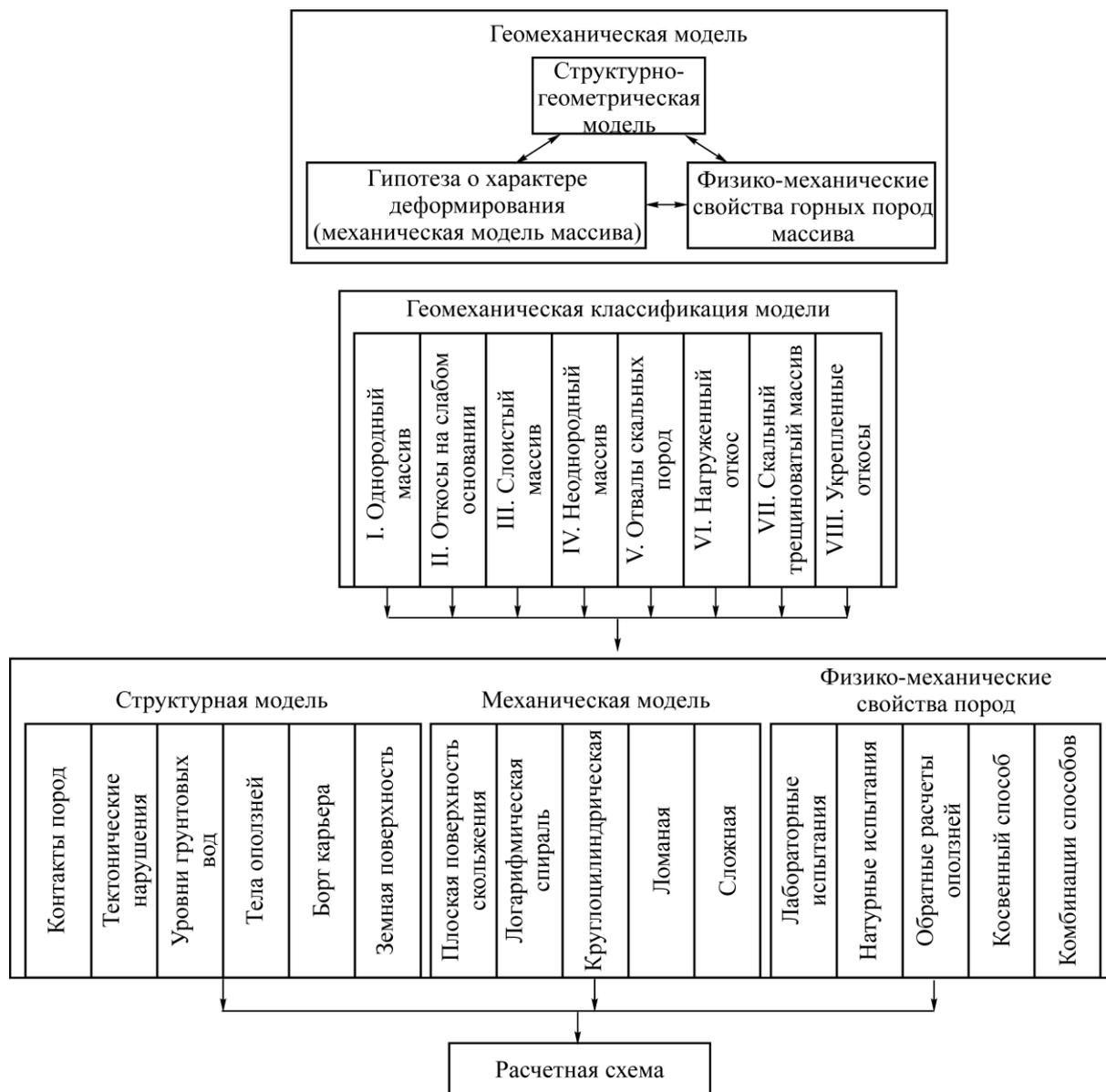


Рис. 2. Структурно-логическая схема анализа геомеханических моделей прибортового массива на основе системного подхода

Все элементы геомеханической модели взаимосвязаны друг с другом. Каждая подсистема (структурная модель, механическая модель и физико-механические свойства пород) должна рассматриваться детально для оценки поведения всей системы “геомеханическая модель массива”, в которую она входит как составной элемент. Получение необходимых результатов возможно на основе изучения всех элементов системы на одном уровне, соответствующем стадии освоения месторождения и уровню научных достижений в данной проблеме. По мере отработки месторождения увеличиваются объем и качество исходной информации о массиве горных пород, что способствует повышению уровня изученности подсистем и всей системы.

Оценка устойчивости бортов карьера выполнялась по восьми выделенным расчетным разрезам (I–VIII), приведенным на проектном плане горных работ карьера Сырымбет (рис. 3). Расчетные разрезы построены нормально к простиранию борта карьера с учетом геологического строения прибортовых массивов. Для примера на рис. 4 показаны разрезы I–I и VII–VII.

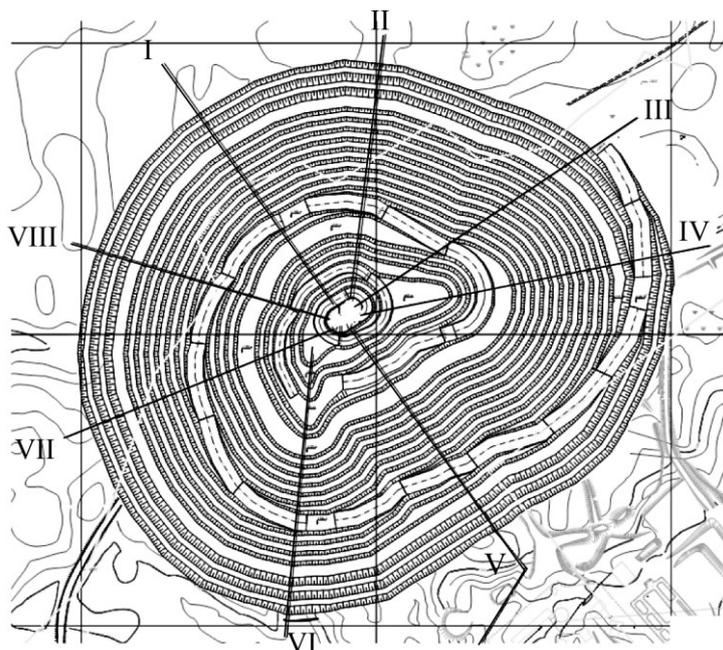


Рис. 3. План карьера с расчетными разрезами

В геологическом строении прибортовые массивы до глубины 150 м представлены слабыми глинистыми породами (покровными отложениями, глинистой корой выветривания и переходной зоной), а нижние горизонты — полускальными и скальными породами (метасоматитами, гранит-порфирами и алевролит-аргиллитами). Устойчивость бортов карьера оценивалась по разработанной программе с учетом реального (проектного) контура карьера по всем выделенным разрезам: I–I, II–II, III–III, IV–IV, V–V, VI–VI, VII–VII и VIII–VIII (рис. 3, табл. 2) [9]. Согласно существующим методическим указаниям, утвержденным МЧС РК, коэффициент запаса устойчивости борта должен составлять 1.2 и более при сроке службы карьера до 10 лет и 1.3 и более — при сроке службы более 10 лет [2, 6].

По каждому геологическому разрезу сначала проводилась предварительная оценка устойчивости группы верхних глинистых откосов уступов в зависимости от условий залегания пород и расчетных прочностных свойств глин и коры выветривания, а затем всего борта карьера. В случае неустойчивости группы откосов уступов в глинистых породах, т. е. коэффициент запаса устойчивости  $n_y < 1.2$ , профиль борта на этом участке выполаживался до достижения допустимого значения  $n_y$ . Далее устойчивость борта карьера оценивается заново.

Северо-западный борт по разрезу I–I высотой 228 м сложен до глубины 133 м глинистой корой выветривания, далее терригенной толщей, а именно песчаниками, алевролитами, аргиллитами (рис. 4). Предварительная оценка устойчивости всего борта карьера показала, что борт устойчив с  $n_y = 1.54$ . Однако верхние глинистые откосы уступов находятся в неустойчивом состоянии, так как у верхней группы откосов  $n_y = 0.92$ , а у нижней — 0.74. В связи с этим угол наклона группы уступов в глинистых породах уменьшался до  $21^\circ$ , тогда коэффициент запаса устойчивости составил 1.16 – 1.22 [9]. По построенному геологическому разрезу VII–VII юго-западный борт карьера в верхней части сложен глинистой корой выветривания мощностью 92 м. В этом случае угол наклона борта следует выдерживать до  $24^\circ$  (рис. 4). Откосы уступов на проектном контуре необходимо отстраивать в породах тер-

ригенной толщи, иначе они могут подвергнуться локальным обрушениям. Юго-западный борт карьера высотой 228 м и генеральным углом наклона  $26^\circ$  будет находиться в устойчивом состоянии с коэффициентом запаса 1.56.

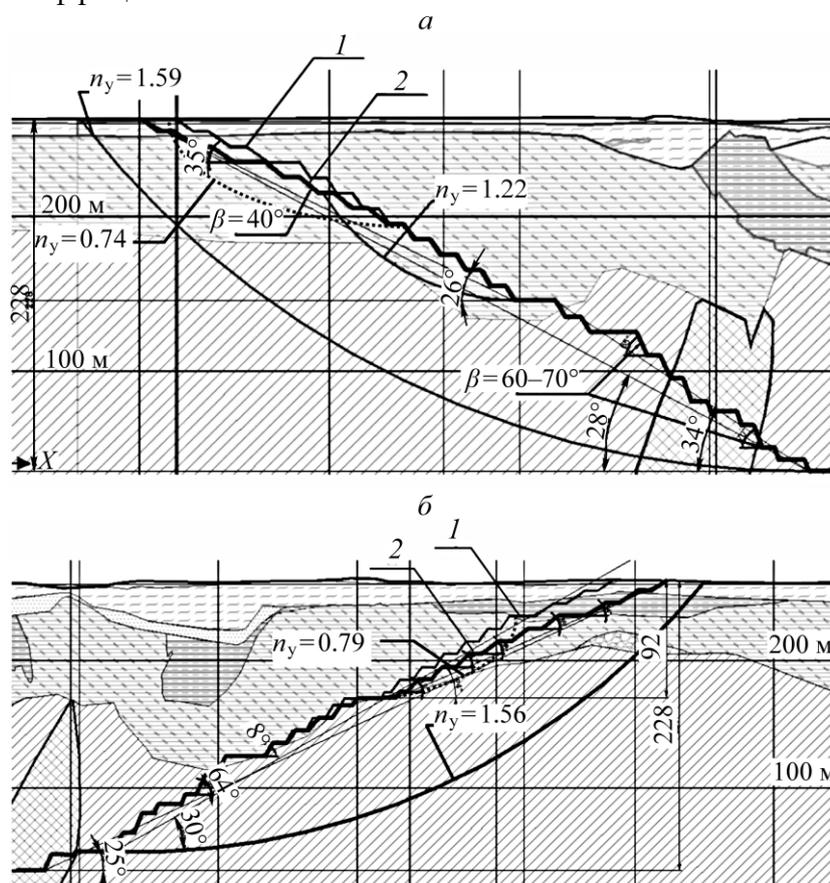


Рис. 4. Расчет устойчивости северо-западного борта по разрезу I–I (а) и юго-западного по разрезу VII–VII (б): 1 — профиль борта карьера для предварительной оценки; 2 — рекомендованный профиль борта

Отдельно оценивалась устойчивость откосов уступов в глинистых и полускальных породах (алевролитах и метасоматитах). В глинистых породах откосы уступов высотой 10–15 м можно отстроить с углами наклона  $35-40^\circ$ , а в алевролитах и метасоматитах —  $70^\circ$  с  $n_y > 1.5$  [6]. Подобные расчеты по оценке устойчивости карьера проведены и по остальным выделенным разрезам (II–II, III–III, IV–IV, V–V, VI–VI и VIII–VIII), а сводные параметры с указанием коэффициентов запаса устойчивости представлены в табл. 2.

Для повышения устойчивости глинистых откосов уступов или группы уступов следует выполнять мероприятия по регулированию стока дождевых и талых вод с помощью планирования прилегающей к карьеру дневной поверхности, строительства необходимых сетей водосборно-водоотводных устройств, борьбы с инфильтрацией воды и размывным действием текущей воды.

Территорию, прилегающую к карьеру, сначала намечают с общим уклоном от предельного контура карьера, затем сооружают нагорные каналы и валы, а на транспортных бермах — водоотводные каналы [8]. В процессе безопасной отработки карьера потребуются разработка проекта наблюдательной станции по созданию мониторинга за состоянием карьерных откосов [11].

ТАБЛИЦА 2. Оценка устойчивости бортов карьера и его отдельных глинистых участков с рекомендованными профилями

Разрез/борт	Высота борта, м	Генеральный угол наклона борта, град	Средний угол наклона борта, град		Высота участка борта, м		Коэффициент запаса устойчивости борта $n_y$ с профилем		
			по нижним скальным породам	по верхним глинистым породам	по скальным породам	по глинистым породам	первоначальным	выполженным	рекомендованным
I–I Северо-западный	228	27	34	21	110	118	0.74	1.22	1.59
II–II Северный	227	29	28	23	160	67	0.90	1.19	1.54
III–III Северо-восточный	229	23	32	18	90	139	0.76	1.18	1.83
IV–IV Восточный	228	27	37/47	22	82	146	0.91	1.45	2.83
V–V Юго-восточный	228	29	33	21	139	89	1.02	1.22	2.06
VI–VI Южный	216	25	28	19	124	92	0.87	1.21	2.28
VII–VII Юго-западный	228	26	30/21	23	161	67	0.79	1.19	1.56
VIII–VIII Западный	226	30	33	22	150	76	0.87	1.19	1.48

## ВЫВОДЫ

Исследования прочностных свойств горных пород в лабораторных условиях и расчеты оценки устойчивости откосов уступов и бортов карьера для особых условий, связанных с наличием ослабленных зон глинистыми породами мощностью 150 м, позволили получить:

— расчетные прочностные характеристики глинистых и коренных пород, используемые при расчете и оценке устойчивости откосов. Надежность определения сцепления и угла внутреннего трения глинистых пород обеспечивается проведением стабилметрических (трехосных) испытаний параллельно с традиционными (плоскими), а коренных — применением выявленной зависимости между размерами структурных блоков горных пород и глубиной их залегания;

— способы оценки устойчивости откосов уступов и бортов карьера с помощью метода предельного равновесия в зависимости от горно-геологических условий прибортовых массивов;

— параметры откосов уступов и бортов карьера на основе восьми расчетных разрезов и расчетов оценки их устойчивости. Расчеты выполнялись поэтапно: с учетом наличия на верхних откосах уступов слабых глинистых отложений и затем всего прибортового массива, включая коренные породы (песчаники, алевролиты и аргиллиты), а также требований существующих методических указаний.

В дальнейшем при разработке месторождения для повышения устойчивости глинистых откосов уступов потребуется разработать защитные мероприятия от влияния поверхностных вод.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фисенко Г. Л.** Устойчивость бортов карьеров и отвалов. — М., 1965. — 378 с.
2. **Правила** обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах открытых разработок. — СПб.: ВНИМИ, 1998. — 164 с.
3. **Низаметдинов Ф. К., Нагибин А. А., Левашов В. В., Низаметдинов Р.Ф., Низаметдинов Н. Ф., Касымжанова А. Е.** Натурные методы исследования прочностных свойств горных пород и породных контактов // ФТПРПИ. — 2016. — № 6. — С. 26–33.
4. **Попов В. Н., Шпаков П. С., Юнаков Ю. Л.** Управление устойчивостью карьерных откосов. — М.: МГТУ, Горная книга, 2008. — 683 с.
5. **Методические указания** по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. — Л.: ВНИМИ, 1972. — 164 с.
6. **Методические указания** по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Утверждено МЧС РК за № 39 от 28.09.2008 г.
7. **Попов И. И., Шпаков П. С., Поклад Г. Г.** Устойчивость породных отвалов. — Алма-Ата: Наука, 1987. — 224 с.
8. **Управление** устойчивостью техногенных горных сооружений / под общей ред. Ф. К. Низаметдинова. — Караганда: Изд-во КРУ, 2014. — 657 с.
9. **Свидетельство** о государственной регистрации прав на объект авторского права под названием: “Устойчивость карьерных откосов”, № 126 от 26.01.2015 г., ИС 000641, РК (авторы: Шпаков П. С., Низаметдинов Ф. К., Ожигин С. Г., Ожигина С. Б., Долгонос Д. С., Малахов А. А., Оленюк С. П., Ожигин Д. С., Нагибин А. А.).
10. **Ожигин С. Г.** Управление устойчивостью прибортовых массивов на карьерах Казахстана. — Караганда: Санат-полиграфия, 2009. — 44 с.
11. **Низаметдинов Ф. К., Ожигин С. Г., Низаметдинов Р. Ф., Ожигина С. Б., Низаметдинов Н. Ф., Хмырова Е. Н.** Состояние и перспективы геомеханического обеспечения открытых горных работ. XV Int. ISM Congress, Germany, Aachen, 2013, Sept.16-20, Proc. Vol.1. — P. 338–349.

*Поступила в редакцию 22/XI 2019*

*После доработки 18/II 2020*

*Принята к публикации 10/IV 2020*