

УДК 622.271.333

С. М. Простов, Н. А. Смирнов, Е. В. Гамаюнова

## ПРОГНОЗ УСТОЙЧИВОСТИ УЧАСТКОВ БОРТА «БАЧАТСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА», РАСПОЛОЖЕННЫХ В ЗОНЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ ГИДРООТВАЛА

Разрез «Бачатский», филиал угольной компании «Кузбассразрезуголь», одно из крупнейших угледобывающих предприятий Кузбасса. В последние годы на разрезе имели место деформации участков борта на верхних горизонтах, сложенных песчано-глинистыми отложениями. Характеристика деформаций приведена в табл. 1, объемы оползней достигали 300 тыс. м<sup>3</sup>. Нарушение устойчивости борта разреза оказывает существенное отрицательное влияние на ведение горных работ.

Группа оползневых зон расположена в западном борту участка №4, причем визуальные наблюдения показали, что сезонная активизация деформаций связана с поверхностными и подземными водами. План исследуемого участка с деформациями показан на рис. 1.

К опытному участку прилегает отвал вскрышных пород, организованный на месте бывшего гидроотвала. Вследствие этого в четвертичных отложениях по контакту с коренными породами сформировались фильтрационные коллекторы, способствующие разгрузке влагонасыщенного массива складированных грунтов.

В связи с неблагоприятным гидрогеологическим состоянием исследуемого участка при прогнозе устойчивости необходимо правильно выбрать схему деформирования откоса.

Анализ зафиксированных деформаций участков борта в четвертичных отложениях показал,

что они имеют общие закономерности, заключающиеся в следующем:

- деформации происходят при достаточно пологих углах их наклона;

- в нижней части во всех рассматриваемых случаях деформаций поверхность скольжения выходит на откос борта вблизи границы четвертичных и коренных отложений.

- активизация деформаций происходит в весенне-осенний период, что указывает на их взаимосвязь с поверхностными и подземными водами.

Приведенные выше закономерности зафиксированных деформаций откосов в четвертичных отложениях в полном объеме соответствуют схеме деформирования откосов по слабому слою в основании. Этим также объясняется и тот факт, что деформации в четвертичных отложениях распространены не на всем протяжении бортов, а только на отдельных локальных участках. Такие участки, как правило, приурочены к локальным понижениям почвы четвертичных отложений. На них сосредотачиваются высачивающиеся в откосе подземные воды, что приводит к разуплотнению глинистых пород и, как следствие, к существенному ухудшению условий устойчивости.

Основным критерием безопасности откосов бортов карьеров, дамб (плотин) является коэффициент запаса устойчивости. Среди известных методов расчета устойчивости откосов учесть осо-

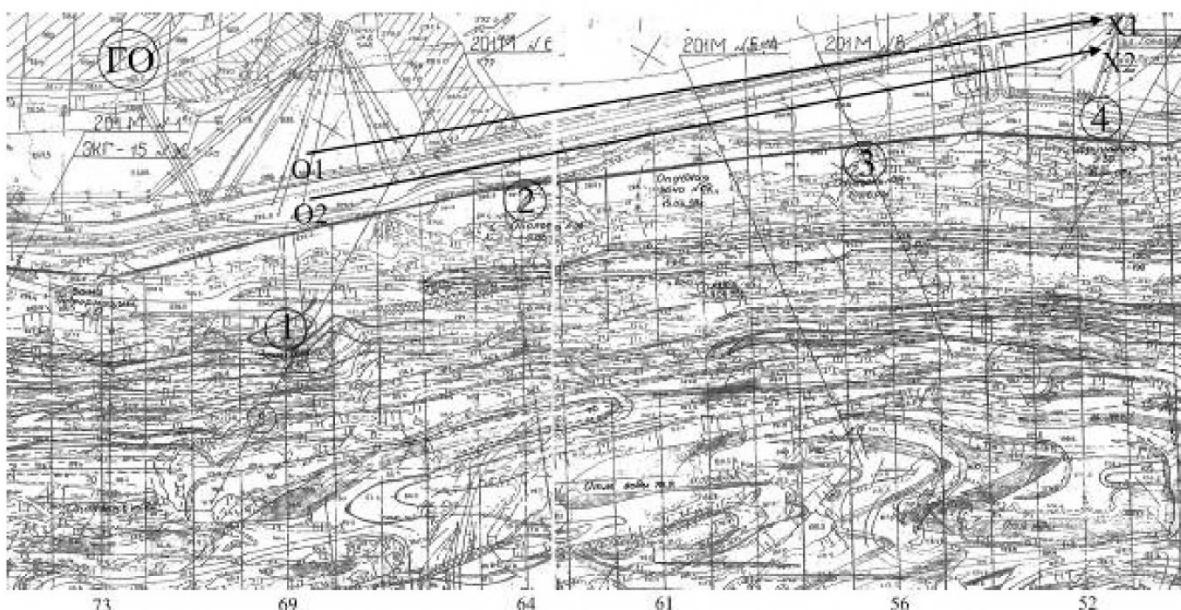


Рис. 1. План участка с проявлениями деформаций бортов:  
O<sub>1</sub>X<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>X<sub>2</sub> – профили ВЭЗ, 1–4 – оползни, ГО – гидроотвал

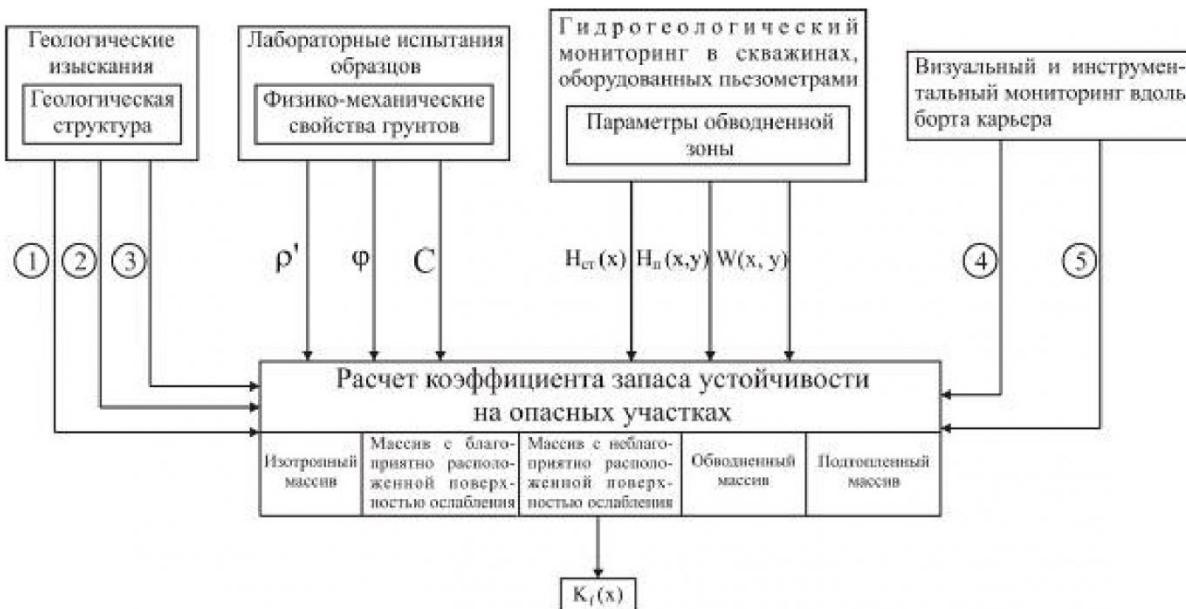


Рис. 2. Схема прогноза устойчивости глинистых пород: 1 – характеристика изменений свойств массива в пространстве; 2 – стратиграфический разрез; 3 – соотношение литологических разностей; 4 – visualные признаки развития оползня; 5 – гидрогеологические аномалии;  $\rho'$  – средняя плотность грунта,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\varphi$  – угол внутреннего трения;  $C$  – сцепление,  $\text{Па}$ ;  $H_{ct}$  – статический уровень воды, м;  $H_n$  – избыточное поровое давление, м;  $W$  – влажность

бенности исследуемого участка позволяет метод алгебраического сложения моментов сдвигающих и удерживающих сил по плавной криволинейной или круглоцилиндрической поверхности скольжения [1, 2]. Коэффициент запаса устойчивости в этом случае определяется:

– без учета обводненности откосов или их оснований:

$$k_f = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i) + \sum_{i=1}^n (C_i l_i)}{\sum_{i=1}^n (P_i \sin \alpha_i)},$$

где  $P_i$  – вес блока пород, отнесенный к единице ширины призмы,  $\text{Н}/\text{м}$ ;  $C$  – сцепление пород,  $\text{Па}$ ;  $\varphi$  – угол внутреннего трения пород;  $\alpha_i$  – угол наклона поверхности скольжения в середине блока;  $l_i$  – длина поверхности скольжения в пределах блока, м;

– с учетом обводненности откосов или их оснований, наличием одного или нескольких водоносных горизонтов напорного или безнапорного характера:

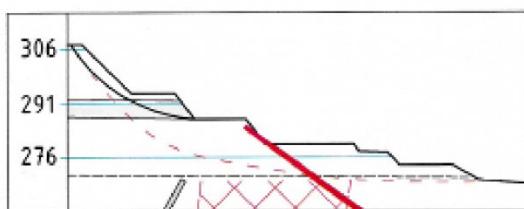
$$k_f = \frac{\sum_{i=1}^n [(P_i \cos \alpha_i - D_i) \operatorname{tg} \varphi_i + C_i l_i]}{\sum_{i=1}^n (P_i \sin \alpha_i)},$$

где  $D_i$  – равнодействующая, включающая совокупное влияние гидростатических и гидродинамических сил в пределах каждого блока,  $\text{Н}$ ;

$$D_i = \frac{\rho_b g (H_i - y_i) b_i}{\cos \alpha_i},$$

где  $b_i$  – ширина блока, м;  $H_i$  – средний напор в блоке, м;  $y_i$  – средняя ордината поверхности скольжения, отсчитываемая от принятой горизонтальной плоскости, м;  $\rho_b$  – плотность воды,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

a



б

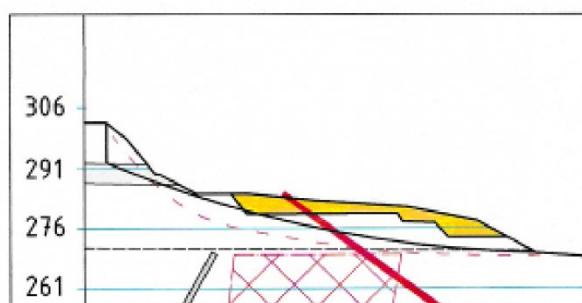


Рис. 3. Расчетные схемы устойчивости борта по профилю 52 с водонасыщенным слоем, диагностированным геофизическими исследованиями (а), после оползня (б)

Таблица 1. Характеристика деформаций бортов разреза Бачатский (1999-2003 г.г.)

Характеристика опасной зоны и результаты наблюдений					
	Вид деформации	Размер деформирующегося массива	Параметры борта на деформирующемся участке	Влияние деформации борта на ведение горных работ	Результаты наблюдений за деформациями
Оползень №35, участок №4, пр. 56-57, гор. 245-290, в четвертичных отложениях. 20.06.03 г	Верхние горизонты западного борта участка представлены четвертичными отложениями. Их мощность доходит до 40 м и более. Естественная влажность – $W \approx 49\%$ , число пластичности = 18, категория по классификации Протодьяконова – $f = V\text{-VII}$	Оползень однородного массива	Распространение деформаций по простиранию борта 120-140 м, по падению 110 м. Средняя мощность 5-7 м. Объем заколовшегося массива ориентировано 85 т. м <sup>3</sup>	Скорости смещения деформирующегося участка борта за весь период отработки, начиная с момента проявления, сравнительно стабильны	Средняя скорость смещения от 16 до 120 мм/сут. Скорость смещения непрерывно возрастает и происходит срыв тела оползня. Высота отрыва до 5-8 м.
Оползень №34, участок №4, пр. 62-64, гор. 245-279, в четвертичных отложениях. 5.03.03 г	Мощность четвертичных отложений по западному борту доходит до 40 м. Представлены в основном лессовидными суглинками и глинами с наличием в толще пластичных прослойков и слабых контактов	Распространение деформаций по простиранию борта 160-180 м, по падению 130 м. Средняя мощность 10-12 м. Объем заколовшегося массива порядка 220 т. м <sup>3</sup>	На момент образования заколов общий угол откоса рассматриваемого борта составлял 18-20°, высота 35 м	В связи с постоянно увеличивающейся зоной деформаций и для уменьшения ее распространения была организована пригрузка борта горными массами	Ежемесячно проводится визуальный осмотр
Оползень №31, участок №12, пр. 99+50-101+50, гор. 207 – 202, в четвертичных отложениях. 16.04.02 г	Мощность четвертичных отложений на юго-западе составляет 35-60 м. Представлены в основном лессовидными суглинками, обогащенными в основании грубообломочным, слегка скатанным дельвиальным материалом	Распространение деформаций по простиранию борта 180-250 м, по падению 150 м. Средняя мощность 8-10 м. Объем заколовшегося массива 290 т. м <sup>3</sup>	На момент образования заколов общий угол откоса рассматриваемого борта составлял 18-20°, высота 60 м	Существенное влияния деформации на ведение горных работ не оказали	
Зона деформаций №30 (в виде обрушения), западный борт участка №4, пр. 51 – 52, гор. 280 – 300. 16.04.02 г	Верхние горизонты западного борта участка представлены четвертичными отложениями. Их мощность доходит до 40 м и более, представлены в основном лессовидными суглинками и глинами с наличием в толще пластичных прослойков и слабых контактов.	Распространение деформаций по простиранию борта 120 м, по падению 70 м. Средняя мощность 5 м. Объем заколовшегося массива ориентировано 45 т. м <sup>3</sup>	На момент образования заколов общий угол откоса рассматриваемого борта составлял 18-20°, высота 20 м	В северной части деформированного массива проходит линия электроподач	Скорости смещения деформирующегося участка борта за весь период отработки, начиная с момента проявления, сравнительно стабильны
Зона деформаций №19 в виде заколов и участок №4 пр. 56-57, гор. 245-290, в четвертичных отложениях. 13.05.99 г	W ≈ 49 %, N = 18, f = V-VII категория	Распространение деформаций по простиранию борта 180-200 м, по падению 100 м. Средняя мощность 5-7 м. Объем заколовшегося массива порядка 115 т. м <sup>3</sup>	На момент образования заколов общий угол откоса рассматриваемого борта составлял 18-20°, высота 30 м	Оползень развивался полностью (по простиранию и падению борта), деформации массива в виде трещин распространялись в южном и северном направлении от основного закола	Скорость развития деформаций имеет ступенчатый характер и зависит от состояния погоды в разные времена года. Скорости смещения до 150 мм/сут

Авторами разработана схема прогноза устойчивости глинистых откосов, учитывающая гидродинамическое состояние прилегающего массива горных пород (рис. 2).

Таким образом, прогноз устойчивости глинистых пород борта карьера основан на расчете коэффициента запаса устойчивости с использованием геологических изысканий, лабораторных испытаний образца, гидрогеологического контроля и результатов геофизического мониторинга.

Проведенное исследование показало, что существовало о завышенных значениях прочностных параметров  $C$  и  $\phi$  грунтового массива, полученных по результатам инженерно-геологических изысканий. С целью корректирования этих параметров были проведены обратные расчеты для всех рассмотренных случаев состояния борта карьера. Результаты обратных расчетов в виде зависимостей  $\eta$  ( $C$ ,  $\phi$ ) для одного из сечений приведены на рис. 4.

Анализ полученных результатов показал, что

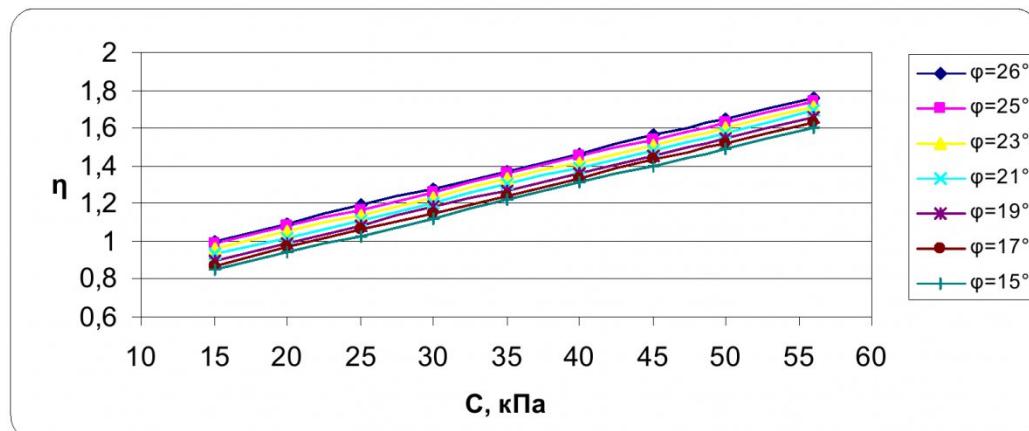


Рис.4. Зависимость коэффициента запаса устойчивости  $\eta$  от средневзвешенных значений сцепления  $C$  и угла внутреннего трения  $\phi$  для откоса с водонасыщенным слоем, пр. 52

На исследуемом участке были проведены вертикальные электрические зондирования, результатом которых явилось выявление расположения гидрогеологических аномалий [3].

По разработанной методике были проведены расчеты коэффициентов запаса устойчивости откоса борта карьера по профилям 52, 56, 64, 69 (рис. 1).

На рис. 3 представлены расчетные схемы устойчивости борта в верхней его части, сложенной рыхлыми четвертичными отложениями.

Полученные первоначально значения коэффициентов запаса устойчивости оказались завышенными и не соответствовали фактическому оползневому опасному состоянию массива, что свиде-

тельствовало о завышенных значениях прочностных параметров  $C$  и  $\phi$  грунтового массива, полученных по результатам инженерно-геологических изысканий. С целью корректирования этих параметров были проведены обратные расчеты для всех рассмотренных случаев состояния борта карьера. Результаты обратных расчетов в виде зависимостей  $\eta$  ( $C$ ,  $\phi$ ) для одного из сечений приведены на рис. 4.

С учетом скорректированных параметров  $C$  и  $\phi$  были проведены повторные расчеты устойчивости. Сводные результаты расчетов коэффициентов запаса устойчивости по всем профилям борта представлены в табл. 2. Завышенные значения коэффициентов запаса устойчивости для 56-69 профилей объясняются различием механических свойств техногенных грунтов, слагающих участки борта.

Таблица 2. Результаты расчета коэффициента запаса устойчивости по профилям 52-69

Профили	Борт откоса обводнен		Борт откоса обводнен, после оползня	
	Водонасыщенный слой	Вода в свободном состоянии	Водонасыщенный слой	Вода в свободном состоянии
	По результатам инженерно-геологических изысканий: $C = 56$ кПа, $\phi = 26^\circ$			
52	1,76	1,64	4,99	4,95
56	2,89	2,52	2,65	2,38
64	2,56	2,36	2,63	2,42
69	3,2	2,9	3,23	2,95
Скорректированные данные: $C = 25$ кПа, $\phi = 19^\circ$				
52	1,08	0,96	2,99	2,94
56	1,81	1,5	1,63	1,39
64	1,62	1,45	1,71	1,5
69	1,86	1,63	1,88	1,66

Проведенные исследования позволили установить, что при мониторинге и прогнозе устойчивости участков бортов карьеров, сложенных песчано-глинистыми грунтами четвертичных отложений, необходимо применять следующие технологические решения:

- расчетные модели борта составлять с учетом выявленных при геофизическом мониторинге аномалиях геологической структуры массива в виде ослабленного водонасыщенного слоя;
- в расчетах устойчивости применять скорректированные прочностные параметры грунтов, полученные путем обратных расчетов для профилей с наиболее развитыми деформациями борта.

В табл. 3. приведены отношения коэффициентов запаса устойчивости, определенных без учета геоэлектрической структуры массива и без корректирования прочностных параметров грунтов к значениям, полученным с учетом разработанных технологических решений.

Таблица 3. Превышения коэффициента запаса устойчивости за счет неучета результатов геофизического прогноза и корректирования прочностных свойств грунтов

Профиль	Превышение коэффициента запаса устойчивости	
	При отсутствии геофизического контроля	Без корректирования прочностных свойств грунтов
52	1,61	1,38
56	1,52	1,29
64	1,88	1,56
69	1,19	1,11

Таким образом, без результатов геофизического мониторинга величина коэффициента запаса устойчивости борта может быть завышена на 19-88%, а без корректирования прочностных свойств грунтов – на 11-56%.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых разрезов. – Л. : ВНИМИ, 1972. – 185 с.
2. Бахаева, С. П. Расчет устойчивости бортов карьеров на ПЭВМ / С. П. Бахаева, А. А. Фадеев, А. В. Гаденов, Т. В. Михайлова ; Учеб. Пособие / Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 1998. – 116 с.
3. Смирнов, Н. А. Контроль гидрогеологического состояния бортов угольных разрезов на основе инверсии электрических зондирований / Н. А. Смирнов, Е В. Гамаюнова, С. М. Простов // Управление механическими процессами дезинтеграции, инъекционного уплотнения и переработки горных пород : м-лы науч.-практ. конф. – Кемерово, ГУ КузГТУ, 2009. – С. 193-203.

□ Авторы статьи:

Простов  
Сергей Михайлович  
- докт. техн. наук, проф.каф. теоретической и геотехнической механики КузГТУ  
Тел. 89050757924

Смирнов  
Николай Александрович  
- аспирант каф. теоретической и геотехнической механики КузГТУ  
Email: [SmirnovNick@yandex.ru](mailto:SmirnovNick@yandex.ru);

Гамаюнова  
Елена Вадимовна  
- выпускница КузГТУ (гр. ФП-031)  
Тел. 89505954280.