

УДК 622.271.333:550.837.312

ПРОГНОЗ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВОГО УЧАСТКА КАРЬЕРА, ПРИЛЕГАЮЩЕГО К ГИДРООТВАЛУ

Караблин М.М., аспирант гр. ГМаз-191, I курс
Харитонов Д.Э., студент гр. ФПс-151, V курс

Научный руководитель: Простов С.М., д.т.н., профессор кафедры ТиГМ
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Участки бортов карьеров, непосредственно прилегающие к гидроотвалам, характеризуются повышенной опасностью оползнеобразования, особенно при складировании сухих пород вскрыши поверх намывных. Этому способствует сочетание следующих факторов: увеличение суммарной высоты борта; формирование в борту влагонасыщенной ослабленной зоны, имеющую сложную конфигурацию в плане и по глубине; наличие в пределах этой зоны избыточного порового давления, возрастающего за счет пригруза намывных пород сухим отвалом [1-6].

Целью работы является прогноз устойчивости техногенного массива гидроотвала «Бахтыхтинский» Краснобродского угольного разреза на основе объемной геолого-геофизической модели.

На Краснобродском угольном разрезе с целью прогноза устойчивости техногенного массива, объединяющего краевую часть гидроотвала «Бахтыхтинский» с породами сухой вскрыши и прилегающей к ней борт разреза, были проведены комплексные исследования, включающие инженерно-геологические изыскания, гидрогеологический и электрофизический мониторинг.

Гидроотвал «Бахтыхтинский» является сооружением овражно-балочного типа с односторонним обвалованием высотой в тальвеге лога до 38 м и площадью 98 га. Намыв гидроотвала осуществлялся в период с 1958 по 1962 гг. со стороны дамб обвалования. С 1973 г. гидроотвал служит основанием отвала сухой вскрыши, формирование которого ведется с применением технологической схемы автомобильно-бульдозерного отвалообразования. В 2005 г. при интенсивном развитии отвала в районе профильных линий 18-22 произошло деформирование техногенного массива в сторону горных выработок. После завершения оползневых процессов максимальные отметки отвала превышали значение +380 м. Для изучения геологического строения и характеристик техногенного массива было пробурено 3 геологических скважины.

На момент актуальных изысканий намывные породы уплотнены, имеют высокие показатели плотности ($1,95\text{-}2,16 \text{ т}/\text{м}^3$) и низкие значения влажности (7,5-21,2 %), консистенция пород мягкопластичная и тугопластичная. Отмечается тенденция увеличения сцепления намывных пород за период наблюдений.

Комплексный анализ и качественная интерпретация геолого-геофизической информации следующие:

- глубина зондирований составила $h \approx 0,15AB$ (где AB – разнос питающих электродов установки);
- геоэлектрическая структура массива в районе основной части соответствует двухслойному разрезу; слой влагонасыщенных намывных грунтов расположен на интервале $AB = 90\text{-}240 \text{ м}$ ($h = 13\text{-}36 \text{ м}$), что характеризуется снижением уровня эффективного УЭС ρ_k с 75-80 до 60-65 Ом·м (ВЭЗ №1) до 40-50 Ом·м (ВЭЗ №2); слой намывных влагонасыщенных грунтов неоднороден, возможно чередование прослоев с различной степенью влажности;
- ниже намывного слоя ($AB > 220 \text{ м}$, $h > 33 \text{ м}$) расположен подстилающий слой плотных коренных пород (песчаник), что характеризуется повышением уровня эффективного УЭС ρ_k до 140-150 Ом·м.

Результаты интерпретации электропрофилирования представлены на рис. 1.

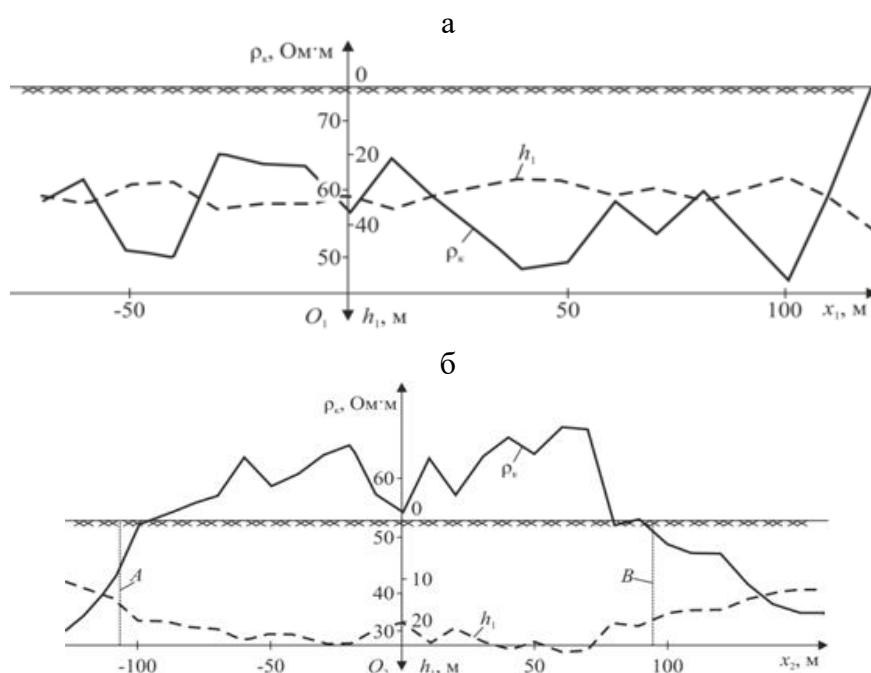


Рис. 1. Результаты ЭП по профилям O_1x_1 (а) и O_2x_2 (б), прогнозируемое изменение глубины h_1 залегания верхней границы влагонасыщенного слоя:
 AB – границы влагонасыщенной зоны

Для детализации изменений свойств исследуемого массива по глубине и в плане проведен электрофизический мониторинг, включающий

зондирование (ВЭЗ) в двух точках O_1 и O_2 , максимально приближенных к устьям геологических скважин №1 и №2, а также электропрофилирование (ЭП) по двум профилям O_1x_1 и O_2x_2 . Разносы AB установки при ЭП были выбраны основании результатов ВЭЗ и соответствовали расположению верхней границы влагонасыщенной зоны. Для прогноза изменения мощности h_1 первого слоя (насыпные породы) по данным ЭП использовалась линейная зависимость

$$h_1(x) = h_1 \frac{\rho_k(x)}{\rho_{k_0}},$$

где x – координата оси профиля; h_1 , ρ_{k_0} – значения h_1 и ρ_k , соответствующие $x = 0$ координате устья контрольной скважины.

Анализ полученных данных показал следующее:

- по O_1x_1 величина h_1 изменяется в диапазоне от 24 до 37 м при среднем значении $h_1 = 31$ м, закономерных изменений h_1 в пределах профиля не установлено;
- по O_2x_2 величина h_1 изменяется в диапазоне от 12 до 24 м, причем при приближении к границам исследуемого участка h_1 имеет минимальные значения, т.е. намывной слой вдавлен в средней части массива насыпными породами, а его верхняя граница изогнута в соответствии с рельефом подстилающих коренных пород естественного лога.

Гидрогеологические процессы в техногенном массиве изучены на основании анализа результатов наблюдений за поровым давлением по пьезометрическим датчикам струнного типа ПДС, установленных в скважинах №1-3. Результаты гидрогоемеханического мониторинга получены на основе данных наблюдательной сети, состоящей из 6 датчиков порового давления, установленных в 3 скважины. Проведенные измерения свидетельствуют о наличии избыточного порового давления в намывных породах района скважины №2 и его отсутствии в верхней части скважины №1 и всей толщи скважины №3. В глинистых грунтах естественного основания избыточное поровое давление отмечалось по всем точкам измерений, при этом максимальные его значения зарегистрированы по датчику, установленному в скважине №3, а минимальные – по датчику скважины №2.

Прогноз устойчивости гидроотвала выполнен для фактического положения методом алгебраического сложения моментов удерживающих и сдвигающих сил. Согласно данному методу величина критерия безопасности – коэффициента устойчивости n вычисляется по формуле

$$n = \frac{\sum_{i=1}^k [(P_i \cos \alpha_i - D_i) \tan \varphi_i + C l_i]}{\sum_{i=1}^k (P_i \sin \alpha_i)},$$

где P_i – вес блока пород, отнесенный к 1 м ширины призмы возможного обрушения, Н/м; C – сцепление пород, МПа; φ - угол внутреннего трения пород, град; α – угол наклона поверхности скольжения в середине блока, град; l_i – длина поверхности скольжения в пределах блока, м; D_i – равнодействующая, включающая совокупное влияние гидростатических и гидродинамических сил в пределах каждого блока, Н;

На основании построенной объемной геолого-геофизической модели выполнен прогноз устойчивости техногенного массива по профильным линиям 18 – 22 [7]. Результаты представлены на рис. 2 и в табл.1.

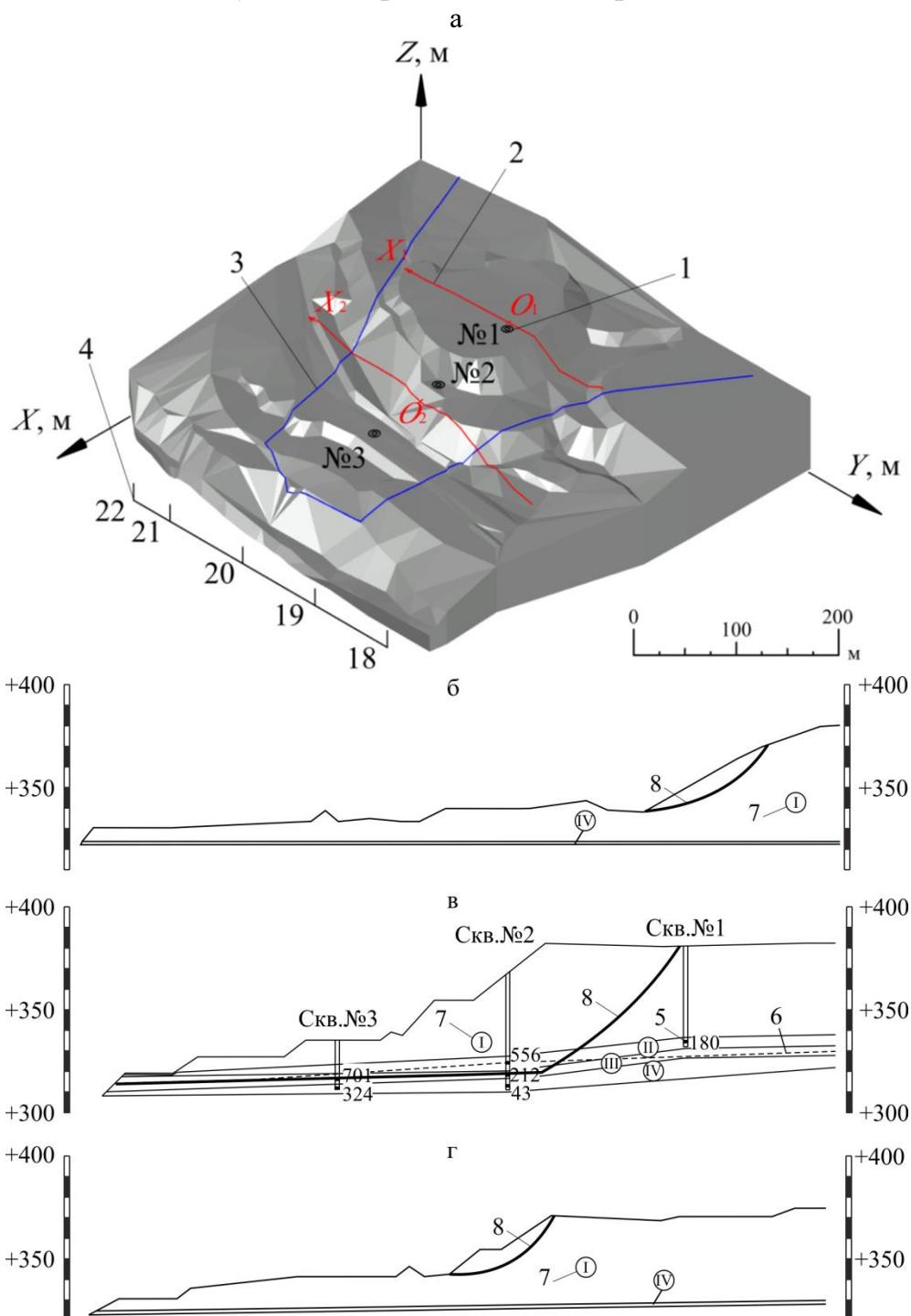


Рис. 2. Объемная геолого-геофизическая модель техногенного массива (а) и профильные линии 18 (б), 20 (в), 22 (г): 1 – геологическая скважина; 2 – профиль ВЭЗ и ЭП; 3 – границы влагонасыщенной зоны; 4 – профильные линии; 5 – номер датчика порового давления; 6 – депрессионная кривая; 7 – геологический слой; 8 – наиболее напряженная поверхность скольжения

Таблица 1. Результаты прогноза устойчивости техногенного массива

Профиль	z_e , м	z_h , м	h , м	α , град	h_1 , м	P , МПа	n
18	373,5	339,2	34,3	28	0	0,508 0,513-0,529 0,536-0,566	1,32
19	357,2	335,1	22,1	21	7-11		1,19
20	382,1	305,2	76,9	19	8-12		1,10
21	378,0	338,0	40,0	27	2-9		1,26
22	370,5	342,0	28,5	30	0		1,46

В таблице приняты сокращения: z_e / z_h – отметки верхней и нижней бровок; h – высота отвала; α – результирующий угол откоса отвала; h_1 – диапазон мощностей влагонасыщенной зоны; P – диапазоны значений порового давления по скважинам №1, 2, 3; n – коэффициент устойчивости.

По результатам прогноза устойчивости техногенного массива установлено следующее:

- величина коэффициента устойчивости n изменяется в диапазоне от 1,10 до 1,46 при нормативном значении 1,20;
- наиболее опасным сечением является профиль 20, приуроченный к центральной части влагонасыщенной зоны.

Список литературы

1. Кутепов, Ю. И. Инженерно-геологические условия внешнего отвалообразования на разрезах Кузбасса / Ю. И. Кутепов, А. Д. Васильева // ГИАБ – 2017 – № 10 – С. 122-131.
2. Гальперин, А. М. Инженерно-геологическое обеспечение формирования и последующего использования отвальных массивов на горных предприятиях / А. М. Гальперин, Ю. И. Кутепов, В. С. Круподеров // ГИАБ – 2015 – № 1 – С. 20-35.
3. Ческидов В. В. Гидрогеомеханический мониторинг состояния откосных сооружений / В. В. Ческидов // Горная Промышленность – 2017 – № 4(134) – С. 78-80.
4. Гальперин, А. М. Изучение нестационарных гидрогеомеханических процессов в глинистых породах / А. М. Гальперин, В. В. Ческидов, Ю. В. Бородина, А. В. Демидов // ГИАБ – 2016 – № 5 – С. 195-205.
5. Буй, К. З. Перспективы развития комплексного зондирования на горных предприятиях / К. З. Буй // ГИАБ – 2016 – № 11 – С. 365-372.
6. Ческидов, В. В. Разработка комплексной системы инженерно-геологического и гидрогеологического контроля безопасности эксплуатации горно-технических сооружений / В. В. Ческидов // ГИАБ – 2016 – № 9 – С. 358-368.

7. Кааблин М. М. Прогноз устойчивости прибортового массива оползня «Центральный» угольного разреза «Ангренский» на основе объемной геолого-геофизической модели / М. М. Кааблин, С. М. Простов // Известия вузов. Горный журнал – 2020 – № 3.