

УДК 622.271

А.М. Гальперин, А.В. Крючков, В.В. Семёнов

**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСНЫХ
СООРУЖЕНИЙ ОТВАЛЬНО-ХВОСТОВОГО
ХОЗЯЙСТВА ОАО СТОЙЛЕНСКИЙ ГОК**

Семинар № 1

Оценку устойчивости откосных сооружений хвостохранилищ и гидроотвалов (упорных призм и дамб обвалования) следует производить с учетом сил гидростатического взвешивания и гидродинамического давления, а также нестабилизированного состояния глинистых водонасыщенных пород [1, 2, 3].

Для расчета устойчивости нестабилизированных породных масс сухих и гидравлических отвалов наиболее пригодны методы алгебраического суммирования сил (при монотонной криволинейной поверхности скольжения) и многоугольника сил [4].

Избыточное давление воды в порах глинистых пород (поровое давление) оказывает существенное влияние на устойчивость откосных сооружений. Поровое давление возникает в результате восприятия поровой водой внешней нагрузки. Уплотнение и упрочнение пород определяются скоростью рассеивания порового давления. При возникновении порового давления уменьшаются эффективные (воспринимаемые минеральным скелетом породы) напряжения и, соответственно, уменьшает сопротивление породы сдвигу.

При расчете устойчивости обводненных откосов, сложенных подверженными влиянию гидростатического взвешивания породами, сопротивление сдвигу

в каждой точке поверхности скольжения снимается с графика сопротивления сдвигу при нормальном напряжении, уменьшенном на величину гидростатического давления.

Если поверхность скольжения не является монотонной и криволинейной, для расчетов устойчивости применяются модификации метода многоугольника сил. Используются значения C и φ консолидированной глинистой породы и дополнительно учитываются поровое давление, а также равнодействующая сил гидродинамического давления и гидростатического взвешивания.

При наличии графиков сопротивления глинистых пород сдвигу, соответствующих различным стадиям их уплотнения, расчет устойчивости выполняются при значениях C и φ , которые получены по тотальным напряжениям. Графики $\tau = f(\sigma)$ принимаются с учетом степени уплотнения соответствующей расчетным моментам.

При криволинейной монотонной поверхности скольжения метод многоугольника сил применяется для поверочных расчетов.

При использовании метода многоугольника сил коэффициент запаса устойчивости откосов определяют построением замкнутого многоугольника при расчетных значениях параметров сопротивления сдвигу

**Значения коэффициентов запаса устойчивости
для отвальных массивов**

| Отвалообразующие породы | Тип отвала | Основание отвала | Рекомендуемый коэффициент запаса устойчивости |
|---|-------------|------------------|---|
| Скальные и полускальные породы | Внешний | Прочное | 1,05 |
| | Внутренний | Слоистое | 1,05* -1,10 |
| Рыхлые песчано-глинистые породы | Внешний | Прочное | 1,10 |
| | | Слоистое | 1,10* -1,20 |
| | Внутренний | Прочное | 1,10* -1,15 |
| | | Слоистое | 1,20 |
| Слабые глинистые породы | Внешний | Прочное | 1,20 |
| | | Слабое, слоистое | 1,20* -1,30 |
| | Внутренний | Прочное | 1,20 |
| | | Слоистое | 1,20* -1,30 |
| Скальные, полускальные. Рыхлые песчано-глинистые породы | Нагруженный | Любое | 1,10* -1,20 |
| | | | 1,20* -1,30 |

* Показатели физико-механических свойств пород отвалов и их оснований определяются методом обратных расчетов или натурными испытаниями.

$$\varphi_p = \frac{\arctg \varphi}{\eta}; \quad C_p = \frac{C}{\eta}, \quad (1)$$

или введением значения η в расчетную величину сдвигающих сил $T_{p_i}^P$, которая для одного блока массой P_i с углом наклона основания α_i имеет вид

$$T_{p_i}^P = \eta \cdot P_i \cdot \sin \alpha_i. \quad (2)$$

Универсальность и математическая обоснованность метода многоугольника сил дают основание рекомендовать его для проведения массовых расчетов, трудоемкость которых существенно снижается при использовании компьютеров.

При углах откоса положе 45° и большом числе блоков границы между ними можно принимать вертикальными, а направления реакций — совпадающими с наклоном площадок скольжения в основании последующего блока. Тогда реакция между блоками определяется по формуле

$$E = \frac{\eta \cdot P_i \cdot \sin \alpha_i - (P_i \cdot \cos \alpha_i - P u_i) \operatorname{tg} \varphi_i - C_i l_i}{\cos \alpha_i - \sin \delta_i \operatorname{tg} \varphi_i} + E_{i-1} \quad (3)$$

где P_i — масса пород в пределах блока; α_i — угол наклона основания блока; $\delta_i =$

$\alpha_i - \alpha_{i+1}$ - угол наклона реакции E_i к основанию i -го блока.

Метод многоугольника сил позволяет также определять некомпенсированное оползневое давление $E_{н.к.}$ и через него — необходимые параметры пригрузки откосов для обеспечения нормативного коэффициента запаса η_n устойчивости в соответствии с выражением [1]

$$P_{np} = \frac{E_{н.к.} \cdot \eta_n}{\operatorname{tg} \varphi}, \quad (4)$$

где φ - угол трения по контакту пригрузка-основание.

Рекомендуемые «Правилами обеспечения устойчивости откосов» [4] значения коэффициента запаса устойчивости отвалов приведены в таблице.

Отвал меловых пород ОАО «Стойленский ГОК» размещается в отроге «Крутой Лог» балки «Чуфичева». На территории отвала меловых пород в ненагруженном основании близ водоема № 1 (ближайшего к головной дамбе хвостохранилища ЛГОКа) шурфами были вскрыты пески мощностью около 3 м, перекрывающие слабые глинистые от-

ложения, опробование которых осуществлялось с помощью бура геолога и при зондировании установкой УГК-1. Пески имеют локальное распространение, границы которого четко не фиксируются.

Расчеты устойчивости мелового отвала производились по 3-м наиболее слабым профилям, положение которых показано на плане (рис. 1). Расчеты выполнялись описанными выше методами алгебраического суммирования сил по вероятной поверхности скольжения и многоугольника сил. Принимались следующие характеристики физико-механических свойств пород тела и основания отвала: насыпь $\varphi = 20^\circ$, $C = 1 \text{ тн/м}^2$, $\gamma = 1.7 \text{ тн/м}^3$; пески в основании $\gamma = 1.9 \text{ тн/м}^3$, $\varphi = 30^\circ$, $C = 0 \text{ тн/м}^2$, слабый слой в основании - $\gamma = 1.8 \text{ тн/м}^3$, $\varphi = 14^\circ$, $C = 1.7 \text{ тн/м}^2$. Прочностные характеристики меловых пород приняты по результатам испытаний по закрытой схеме в стабилометрах М-2, выполнявшихся ранее кафедрой геологии на образцах отвальных масс Щигровского карьера [3]. Эти показатели рассматриваются как предварительные и их следует уточнить с помощью комплексного зондирования насыпей. Прочностные характеристики слабых глинистых отложений основания приняты по результатам трехосных испытаний в стабилометре УСВ-2.

Оценивалась общая устойчивость системы откосов и местная устойчивость нижнего яруса, нижняя бровка которого находится в непосредственной близости к канаве для сброса фильтрационных вод из хвостохранилища ЛГОКа. Расчеты выполнялись для профилей с минимальными значениями ширины берм. Наихудший коэффициент запаса устойчивости получен для профиля III-III, где $\eta_{\text{общ}} \approx 1.02$. (рис. 2)

В натуральных условиях отмечаются локальные деформации нижнего яруса отвала меловых пород. Следует отметить, что прочностные и плотностные характеристики меловых отвальных пород, принятые по данным для объекта-аналога, нуждаются в уточнении. Нами рекомендуется выполнить комплексное зондирование меловых техногенных отложений в 2007 г. с использованием мобильной установки для пенетрационного каротажа СПК-Т или GT-50.

Для обеспечения устойчивости отвала на перспективу предлагается создание водосбросного коллектора для отвода фильтрационных вод хвостохранилища ЛГОКа на правом борту существующей канавы. Укладка коллектора $D \approx 500 \text{ мм}$ производится в траншее с засыпкой грунтом на глубину, превышающую глубину сезонного промерзания. Действующая в настоящее время канава подлежит засыпке скальной вскрышей и служит в качестве контрфорса и дренажа для отвода поверхностных вод. Необходимо разработать проект коллектора, включающий гидравлические расчеты и дополнительные расчеты устойчивости отвала.

Для оперативного дистанционного контроля устойчивости ограждающих дамб гидроотвалов и хвостохранилищ кафедрой геологии МГГУ предложено использовать систему датчиков-пьезодинамометров, заложенных по возможным поверхностям скольжения. В раздельнозернистых грунтах эти датчики служат для определения пьезометрических уровней, в тонкодисперсных породах — для замера порового давления. После установления датчиков и снятия первой серии

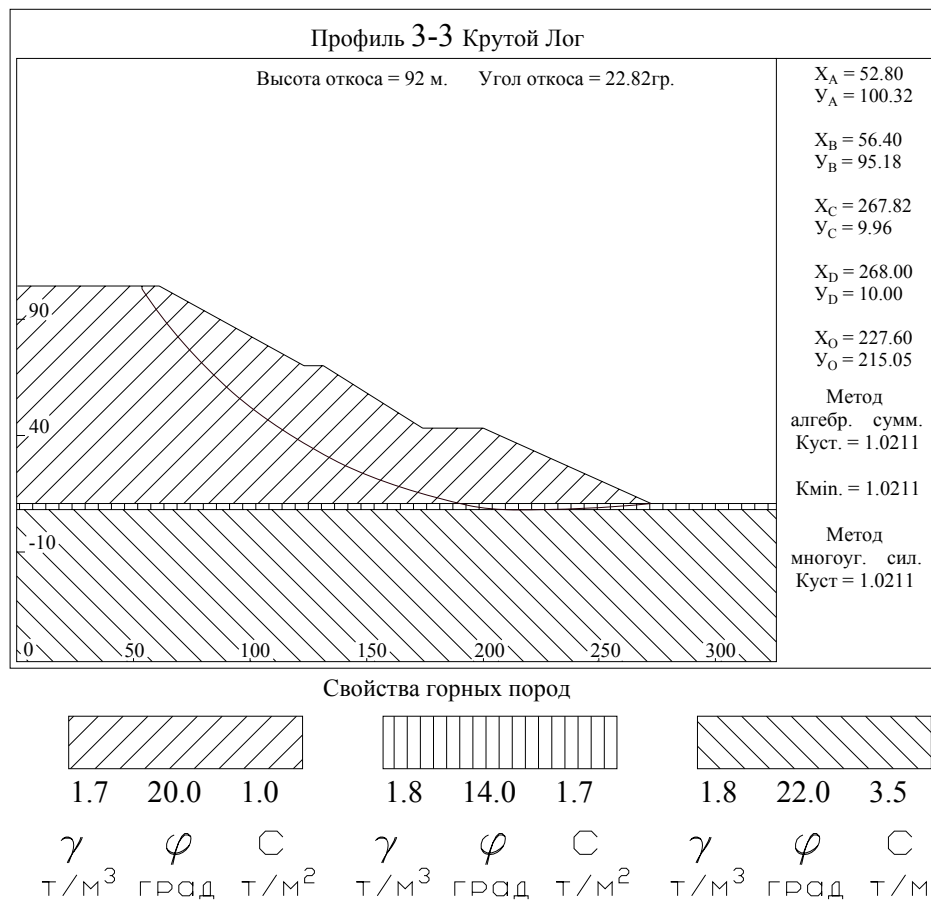


Рис. 2. Расчет коэффициента запаса устойчивости сухого отвала СГОКа

показаний производят расчет устойчивости откосов с использованием натурных данных. Затем выполняют расчеты устойчивости для вариантов, соответствующих различным положениям депрессионной кривой и степеням уплотнения слоев глинистых пород, которые принимают выше или ниже установленных при первичных замерах.

Подобная схема контроля применялась на гидроотвалах «Березовый Лог», «Балка Чуфичева», «Балка Суры» (Лебединский ГОК), хвостохранилище и гидроотвале Михайловского ГОКа, хвостохранилище Вяземского ГОКа.

Эффективный контроль за состоянием откосных сооружений осуществляется путем комплексного зондирования приоткосных зон и использованием стационарных датчиков-пьезодинамометров, заложенных по расчетным профилям в теле и основании дамбы на различных этапах формирования намывного массива.

В МГТУ В.Н. Зуем разработана программа оперативного определения коэффициента запаса устойчивости η в зависимости от измеренного пьезодинамометрами давления воды, приведенного к

вероятным поверхностям скольжения.
Расчет устойчивости

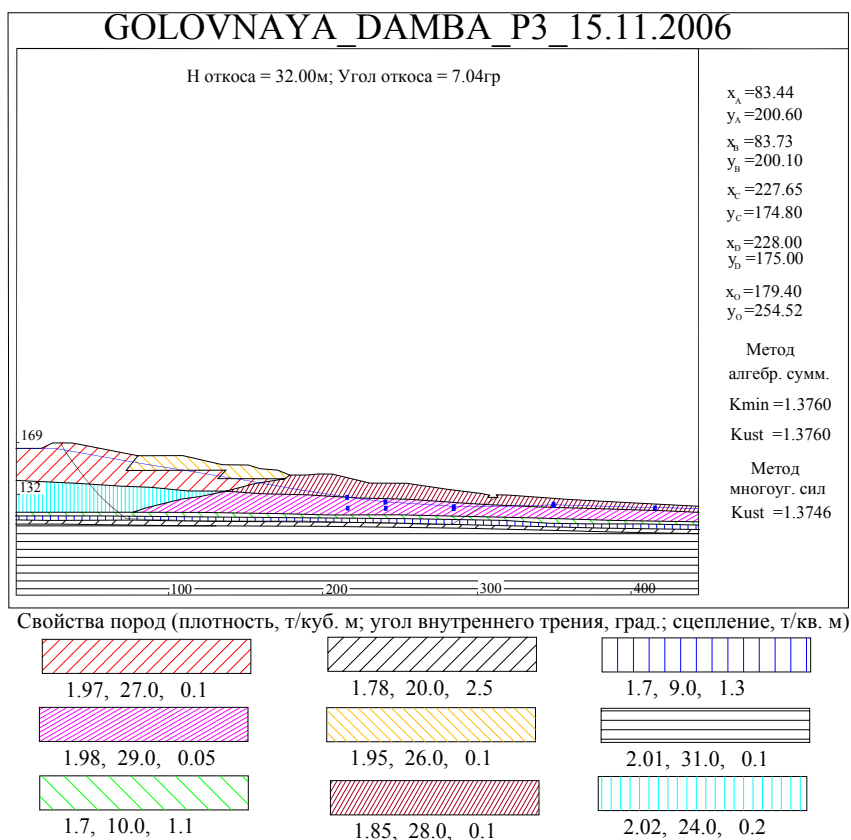


Рис. 4. Расчет коэффициента запаса устойчивости головной дамбы СГОК по профилю 3

выполняется методами алгебраического суммирования и многоугольника сил. Определение текущего коэффициента запаса устойчивости производится в зависимости от площади эпюры давления воды, определяемой путем снятия замеров величин P_w или h_w по вероятной поверхности скольжения [1].

Из-за необходимости проведения полевых испытаний разработанных устройств для удаленного контроля поро-

вого давления, обеспечивающих накопление и передачу информации по сети сотовой связи бурение измерительных скважин в 2006 г. не производилось.

Для замеров порового давления на хвостохранилище в 2006 г. была использована существующая сеть пьезометров на головной дамбе и дамбе защиты отвалов. С помощью переносного датчика порового давления были произведены замеры по 4-м створам. Показания датчика вводились в программу расчетов устойчивости и определялись коэффициенты запаса устойчивости обследованных откосных сооружений.

На рис. 3. дан план головной дамбы с 3-мя расчетными профилями. Расчеты

показали, что минимальный коэффициент запаса устойчивости головной дамбы составляет $\eta=1.37$ для профиля № 3. (рис. 4)

Установлено, что коэффициенты запаса устойчивости близки к нормативным значениям ($\eta>1.3$) и состояние объекта на 2006 г. не вызывает опасений.

Заключение

1. Для профилей отвала меловых пород с минимальными значениями ширины берм получены значения коэффициента запаса устойчивости меньше нормативного ($\eta<1.2$). Принятые в предварительных расчетах физико-механические характеристики меловых отвальных пород нуждаются в уточнении. В 2007 г. для этой цели планируется комплексное зондирование меловых отложений с использованием мобильной установки пенетрационного каротажа СПК-Т или GT-50, для обеспечения устойчивости отвала при его дальнейшем функционировании предлагается создание водосбросного коллектора для отвала фильтрационных вод хвостохрани-

лища ЛГОКа на правом борту существующей канавы.

2. Контроль устойчивости головной дамбы хвостохранилища в 2006 г. включал замеры порового давления по 3-м профилям с помощью переносного датчика, показания которого вводились в программу расчетов устойчивости методами алгебраического суммирования и многоугольника сил. Установлено, что на головной дамбе слабейшим является профиль 3 ($\eta=1.37$). Так как коэффициенты запаса устойчивости обследованных дамб близки к нормативным ($\eta>1.3$), состояние хвостохранилища с позиций устойчивости его откосных сооружений на 2006 г. не вызывает опасений. Для комплексной оценки состояния намывного массива целесообразно также осуществлять контроль состояния его внутренних зон и рассмотреть возможности создания в них дренажных элементов по предложенной МГИ и трестом «Энергогидромеханизация» технологии для повышения вместимости и ускорения водооборота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гальперин А.М.* Геомеханика открытых горных работ. М., изд. МГГУ, 2003.
2. *Мироненко В.А., Стрельский Ф.П.* Практическое применение принципов гидрогеомеханики в целях повышения промышленной и экологической безопасности горных работ. Инж.геология, 1989, № 5, с. 3-14.
3. *Геомеханика* отвальных работ на карьерах. М., Недра, 1972. Авт.: Ржевский В.В., Панюков П.Н., Истомин В.В., Гальперин А.М.
4. *Правила* обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – СПб., ВНИМИ, 1998. **ГИАС**

Коротко об авторах

Гальперин Анатолий Моисеевич – профессор, доктор технических наук, зав. кафедрой геологии, Московский государственный горный университет.

Крючков А.В. – ОАО «Стойленский ГОК»,

Семёнов В.В. – ОАО «Стойленский ГОК»,

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 1 симпозиума «Неделя горняка-2007».

Рецензент д-р техн. наук, проф. *В.А. Ермолов.*

