

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 622.271.333: 624.131.32

Н. А. Смирнов, С. М. Простов

ПРОГНОЗ ПАРАМЕТРОВ ОТКОСОВ БОРТОВ КАРЬЕРОВ ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Оценка устойчивости действующих и проектируемых откосных сооружений является неотъемлемой частью открытой геотехнологии. На этапе проектирования обычно требуется определить оптимальные параметры откосов, которые будут обеспечивать устойчивость откосного сооружения при минимальных объемах вскрышных пород. Расчет проектных параметров откоса ведется в рамках определенной геомеханической модели приоткосного массива. В соответствии с концепцией, изложенной в работе [1], эта модель представляет собой систему, включающую три основных элемента:

- структурную модель;
- гипотезу о возможном характере деформирования приоткосного массива;
- физико-механические свойства инженерно-геологических элементов (ИГЭ).

Схематичное изображение геомеханической модели приоткосного массива, характерного для угольных разрезов Кузбасса, показано на рис. 1. Структурная модель характеризует геометрические параметры и условия залегания ИГЭ, конструктивные особенности откоса, положение депрессионных кривых и т.д. В структурную модель приоткосного массива входит угол откоса уступа α , высота уступа H , мощности h_1 , h_2 и углы падения β_1 и β_2 основных слоев горных пород, слагающих массив.

Анализ горно-геологических условий и ранее произошедших нарушений устойчивости позволит принять гипотезу о возможном характере дефор-

мирования прибортового массива и выбрать соответствующую расчетную схему [1, 2].

Физико-механические свойства пород устанавливаются на основе лабораторных испытаний и обратных расчетов. Основными физико-механическими параметрами, используемыми при расчете устойчивости откосных сооружений, являются сцепление C , угол внутреннего трения φ и плотность γ .

Основным критерием безопасности откосных сооружений является коэффициент запаса устойчивости (КЗУ) – отношение суммы моментов всех сил, удерживающих откос в равновесии, к сумме моментов всех сдвигающих сил, стремящихся вывести его из равновесия. В инженерных методах расчета устойчивости действие этих сил переносится на наиболее слабую поверхность скольжения [1, 3]. Расчет устойчивости откосного сооружения или параметров откоса с заданным КЗУ ведется по определенной расчетной схеме, выбор которой определяется горно-геологическими условиями изучаемого прибортового массива. Для расчета устойчивости по выбранной схеме требуется знание физико-механических свойств пород, слагающих массив. Таким образом, правильность выбора расчетной схемы и точность расчета устойчивости определяются степенью изученности элементов геомеханической модели прибортового массива. При этом прямые (скважинные) методы, обеспечивающие основной объем информации о строении, состоянии и свойствах грунтов, трудоемки и недостаточно информативны. В связи с

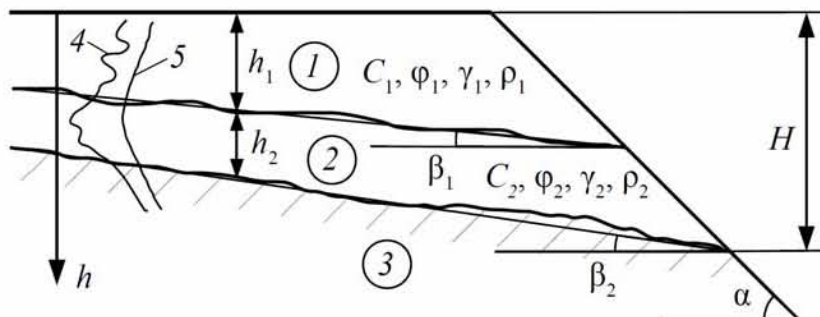


Рис. 1. Геомеханическая модель приоткосного массива:

1 – суглинки и глины четвертичного возраста; 2 – глинистые породы третичного возраста; 3 – коренные породы; 4 – график изменения влажности с глубиной h ; 5 – график изменения кажущегося электросопротивления в зависимости от эффективной глубины h

этим практический интерес представляет использование результатов электрофизического мониторинга для уточнения параметров инженерно-геологических элементов, слагающих прибортовой массив, и определения физико-механических свойств грунтов.

Удельное электрическое сопротивление (УЭС) большинства горных пород определяется их пористостью и водонасыщенностью [4]. При этом многие физико-механические свойства глинистых грунтов в значительной мере определяется их влажностью. Например, в работе [1] приведен пример установления статистической связи сцепления и угла внутреннего трения глинистых пород с влажностью. Зависимости, полученные в результате обработки большого числа испытаний образцов, оказались близки к линейным. Перечисленные факты позволяют сделать предположение о высоком потенциале применения метода УЭС для уточнения структуры и свойств массива при расчете устойчивости глинистых откосов. Примеры успешного применения геофизических методов для изучения оползневых процессов приведены в работе [5].

Методика определения элементов геомеханической модели с учетом данных геофизических измерений показана на рис. 2.

Определение первых двух элементов геомеханической модели начинается с анализа данных инженерно-геологических изысканий и предварительного определения схемы деформирования откосов на данном участке.

Далее на основе выбранной расчетной схемы необходимо определить априорную физико-геологическую модель (ФГМ) оползневой массива и оценить потенциальную проявленность элементов ФГМ на геоэлектрическом разрезе. После этого проводятся измерения методом ВЭЗ и ЭП на участках между скважинами с требуемой плотностью. По результатам интерпретации данных ВЭЗ и ЭП в рамках заданных ФГМ возможно определить геометрические параметры исследуемых ИГЭ по всему объему исследуемого массива.

Уточнение механических свойств ИГЭ, слагающих исследуемый массив производится на основе обратных расчетов для участков с ранее произошедшими оползнями. Обратные расчеты позволяют более надежно определять сцепление и угол внутреннего трения пород по фактическим поверхностям скольжения с учетом природных и технологических факторов, определяющих развитие оползневых процессов [1]. Элементы геомеханических моделей взаимосвязаны друг с другом. Определенные методом обратных расчетов физико-механические свойства пород прибортового массива в наибольшей степени соответствуют механической модели массива, если в прямых и обратных расчетах применяется одна и та же расчетная схема.

Использование для расчета проектных параметров откоса механической и структурной моделей, соответствующих обратным расчетам может компенсировать погрешности, возникающие из-за принятия упрощенной модели деформирования



Рис. 2. Методика определения элементов геомеханической модели

откосов. Методика обратных расчетов приведена на рис. 3.

Обобщенные значения угла внутреннего трения φ и сцепления C определяются по формулам

$$\varphi = \arctg\left(\frac{\sum T_i'}{\sum N_i'}\right); \quad (1)$$

$$C = \frac{\sum T_i - \text{tg } \varphi \sum N_i}{L}, \quad (2)$$

где T_i' , N_i' – соответственно касательные и нормальные силы в оползневом теле; T_i , N_i – соответственно касательные и нормальные силы по поверхности скольжения в массиве до оползня; L – длина поверхности скольжения.

Результатом обратных расчетов являются коэффициенты приведения

$$a_\varphi = \frac{\text{tg } \varphi}{\text{tg } \varphi'}; \quad b_C = \frac{C}{C'}, \quad (3)$$

где C' и φ' – средневзвешенные значения параметров по поверхности скольжения, определенные путем лабораторных испытаний.

Оценка изменения механических свойств исследуемых ИГЭ проводится по результатам прогноза распределения влажности в исследуемом грунтовом массиве на основе данных геофизических измерений. Методика прогноза изменения влажности, основанная на сочетании прямых и бесскважинных электрофизических методов исследования массива, была изложена в работе [6].

Если принять, что зависимости физико-

механических свойств от влажности описываются линейными уравнениями регрессии, то, зная изменение влажности в пределах геологически однородного слоя, возможно прогнозировать изменение механических свойств:

$$C = a_1 W + b_1; \quad \varphi = a_2 W + b_2, \quad (4)$$

где W – влажность, a_1 , a_2 , b_1 , b_2 – постоянные.

При исследовании приоткосного массива скважинными методами нормативное значение прочностного параметра конкретного ИГЭ принимается равным среднему от параметров, полученных в разных точках ИГЭ. Водонасыщение прибортового массива, сложенного слабопроницаемыми породами, поверхностными и подземными водами приводит к изменению в пределах ИГЭ физических свойств, так как изменчивость параметров C , φ и УЭС в данном случае определяется изменением влажности. Результатом интерпретации данных ВЭЗ являются значения мощности и УЭС слоев, слагающих массив [4, 5], при этом водонасыщение описанного массива приводит, как правило, к плавному изменению УЭС в пределах водонасыщенных слоев (см. рис. 1). Следовательно, в результате интерпретации (особенно в рамках заданной опорной модели) определяются эквивалентные значения УЭС слоев, проявляющиеся на кривой ВЭЗ так же, как и реальное изменение УЭС в пределах каждого ИГЭ. В практике электроразведки определение эквивалентных параметров слоев проводится по



Рис. 3. Методика обратных расчетов механических свойств ИГЭ

эмпирическим формулам, известным лишь для некоторых типов геоэлектрических разрезов [4]. Однако в первом приближении эквивалентное УЭС слоя возможно определить как среднее от УЭС прослоек, входящих в слой. Таким образом, точность определения нормативных значений механических свойств методом УЭС в большей степени зависит от точности подбора регрессионных зависимостей между влажностью и механическими свойствами.

При расчете проектных параметров откосов из глинистых горных пород определяют углы откоса при заданных элементах геомеханической модели и высоте уступов. Алгоритм расчета проектных параметров откоса показан на рис. 4.

Для откосов высотой до 100 м и при углах внутреннего трения пород до 20° КЗУ рассчитывают методом алгебраического сложения сил,

блока [1-3].

Коэффициент запаса устойчивости определяется в этом случае соотношением суммы всех удерживающих сил к сумме сдвигающих сил:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i) + \sum_{i=1}^n (C_i l_i)}{\sum_{i=1}^n (P_i \sin \alpha_i)}, \quad (5)$$

где P_i – вес блока пород; α_i – угол наклона поверхности скольжения в середине блока; l_i – длина поверхности скольжения в пределах блока.

Таким образом, конечным результатом определения проектных параметров откоса глинистых грунтов является график зависимости угла откоса от коэффициента запаса устойчивости. При этом



Рис. 4. Алгоритм расчета проектных параметров откоса

предполагающим разделение выделенной призмы обрушения на отдельные фрагменты (блоки) и определение сдвигающих и удерживающих сил отдельно по каждому блоку в зависимости от напряженного состояния и свойств пород в пределах

угла откоса следует выбирать с учетом назначения проектируемого откосного сооружения, а также стадии освоения месторождения (степени изученности элементов геомеханической модели).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов, В. Н. Управление устойчивостью карьерных откосов: учеб. для вузов / В. Н. Попов, П. С. Шпаков, Ю. Л. Юнаков – М.: Изд-ва МГТУ, «Горная книга», 2008. – 683 с.
2. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – СПб.: ВНИМИ, 1998. – 114 с.
3. Фисенко, Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Недра. – М.: Недра, 1965. – 378 с.

4. Хмелевской, В. К. Основной курс электроразведки. Часть 1. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 300 с.
 5. Огильви, А. А. Основы инженерной геофизики: учеб. для вузов / Под редакцией В. А. Богословского. – М.: Недра, 1990. – 501 с.
 6. Смирнов, Н. А. Геолого-геофизический мониторинг при отработке намывных массивов гидроотвалов / Н. А. Смирнов, С. М. Простов // Вестник КузГТУ. – 2011. – №4. – С. 3–7.

□ Авторы статьи:

Смирнов
 Николай Александрович,
 аспирант КузГТУ.
 Email: SmimovNick@yandex.ru;

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

УДК 622.271.333: 624.131.32

Н. А. Смирнов, С. М. Простов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВ УСТОЙЧИВОГО ОТКОСА БОРТА УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА

Объектом исследований является массив горных пород, прилегающий к западному борту участка открытых горных работ Бачатского угольного разреза. План участка представлен на рис. 1. Участок ограничен бортом разреза 1 и насыпным массивом автоотвала вскрышных горных пород, организованного на месте бывшего Сагарлыкского гидроотвала. Размеры опытного участка составили: длина (вдоль бровки борта) – 2000-2200 м, ширина – 300-500 м. Для исследований намечены два профиля вертикального электрического зондирования (ВЭЗ): x, x_1 . Рельеф поверхности – равнинный, на территории участка находятся высоковольтные и низковольтные ЛЭП с опорами на железобетонных основаниях. По контуру отвала 3 расположен водоотводной канал шириной 1,5-2 м и глубиной 1-2 м.

Целью исследования являлось обоснование расчетных параметров откосов рыхлых отложений

на основе данных геофизических исследований и обратных геомеханических расчетов.

При анализе горно-геологических условий установлено, что геологическая структура исследуемого массива горных весьма неблагоприятна для обеспечения устойчивости борта карьера: на многих поперечных сечениях зафиксировано монотонное увеличение мощности рыхлых глинистых отложений при приближении к борту (рис. 2), при этом падение контакта коренных пород было направлено в сторону массива.

При вскрытии замковой части (зоны максимальных мощностей) глинистых отложений, падение контакта коренных пород изменилось в направлении выработки (борта). Таким образом, была удалена упорная часть верхнего участка борта, что инициировало формирование обрушений глинистых отложений по контакту коренных пород

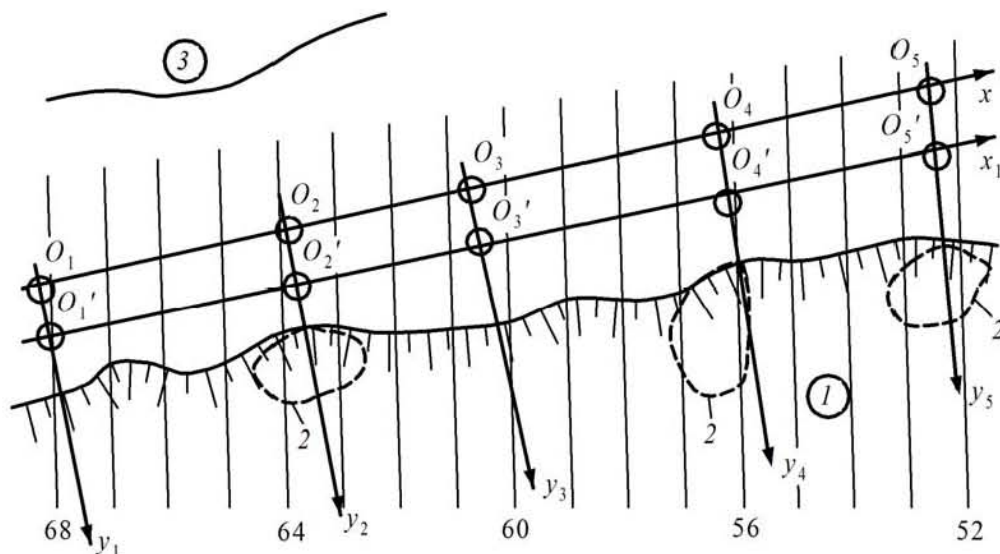


Рис. 1. План исследуемого участка: O – центры установок ВЭЗ; 1 – борт разреза; 2 – оползни; 3 – автоотвал на площади гидроотвала Сагарлыкский; x, x_1 – профили зондирования; 52-68 – разведочные профили