

С.З. Полищук, В.В. Голуб, В.А. Пивень, Д.М. Шпирок, Ю.В. Дорошенко, А.В. Романенко, Т.М. Пустоварова

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ

Природа оползневых явлений, весьма сложных по существу, до настоящего времени остается еще далеко не решенной. Несмотря на работы многих специалистов и ученых, а также многих производственных и научных организаций, прогнозы по оценке степени устойчивости склонов и откосов в ряде случаев не оправдываются, что нередко приводит к большим убыткам. Вместе с тем и борьба с явно выраженными оползневыми явлениями, базировавшаяся на этих прогнозах, очень часто оказывалась малоэффективной или даже безуспешной.

"Определенный круг специалистов усматривает причину несоответствия известных методов оползневых расчетов реальным условиям в их теоретическом несовершенстве и дефектах. В частности, известно, что метод круглоцилиндрической поверхности скольжения Терцаги, пользующийся исключительно широкой популярностью в мировом масштабе, является далеко не совершенным..." [1].

Как известно, одним из основных руководств по оценке устойчивости бортов карьеров и отвалов являются "Методические указания..." [2]. При разработке инженерных методов многими авторами достаточно много внимания уделялось задачам определения формы поверхностей сдвижения. Поэтому в расчетах устойчивости откосов применялись всевозможные тривиальные формы априори заданных поверхностей сдвижения (части окружности, части спирали и др.) (рис. 1.a). Как ни парадоксально, но это привело к замене задачи об оценке устойчивости откосов "близкой" задачей об оценке устойчивости части массива откоса на заданной форме конструкции (рис. 1.b). С помощью заданных форм поверхностей сдвижения на массив накладывалась геометрическая связь. Точки несвободной системы не могут двигаться совершенно произвольно. Их совместимые со связями (допускаемые связями) перемещения,

скорости, ускорения должны удовлетворять некоторым соотношениям, вытекающим из уравнений связей. Наиболее распространенная в практике расчета устойчивости откосов форма связи описывается уравнением окружности с центром в точке, выбираемой по определенным правилам.

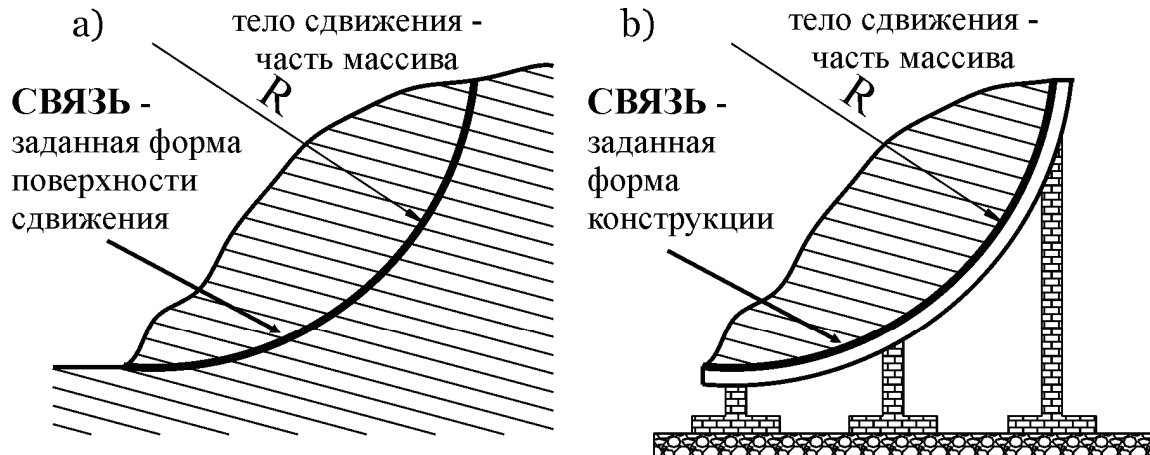


Рис. 1. Особенности традиционных расчетных схем оценки устойчивости откосов и склонов при наложении геометрических связей на породный массив:
 а- традиционное применение заданной формы поверхности сдвига;
 б- реально рассчитываемая конструкция при применении заданной формы поверхности сдвига

Остановимся далее на некоторых положениях рекомендаций «Методических указаний...», которые, на наш взгляд, требуют доработки.

Проведенные исследования [3,4] показали, что заранее (до расчета) вводить коэффициент запаса в прочностные свойства пород нецелесообразно с геомеханической точки зрения.

Не вполне логичным представляется и искусственное разделение бортов карьеров на две категории: со сроком эксплуатации до 5 лет и более, так как это условие в «Методических указаниях...» связывается с принятием нормативного запаса устойчивости 1.5 либо 2.0. Кроме того, выбор тех или иных нормативов устойчивости недостаточно увязан с особенностями горно-геологических условий разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Одним из основополагающих положений «Методических указаний...» является формула определения величины сцепления породы в массиве по соответствующим данным сцепления породы в образце. Практика расчетов выявляет, что получающиеся по выше указанной формуле значения сцепления в массиве для «выветрелого»

состояния породы не всегда меньше по величине соответствующих значений сцепления для «свежего» состояния породы. Такое соотношение получающихся расчетных значений является несовершенством указанной формулы и требует ее корректировки.

Как правило, массивы горных пород имеют сложно-структурное строение. В «Методических указаниях...» оценка устойчивости уступов, бортов карьеров и отвалов основывается на использовании средневзвешенных величин физико-механических свойств пород сложно-структурного горного массива. Такой вынужденный и упрощенный подход в расчетах устойчивости откосов и склонов был приемлем в прошлом, когда распространенным средством вычислений была логарифмическая линейка. В настоящее время такой подход не целесообразен.

Применяемая в «Методических указаниях...» круглоцилиндрическая форма потенциальной поверхности сдвига не соответствует по нескольким позициям современным представлениям о местоположении и форме поверхностей сдвига массивов грунта и горных пород. Как известно, поверхности сдвига в породном массиве образуются с глубины возникновения элементарных площадок сдвига H_{90} . Это положение механики грунтов и горных пород при построении круглоцилиндрической поверхности сдвига учитывается только на верхнем участке поверхности (например, берма уступа), а на нижнем участке поверхности сдвига не учитывается. Также установлено [5,6], что угол наклона к горизонту элементарных площадок сдвига (на глубинах более H_{90}) находится в пределах от величины $\varphi = 45^\circ + \frac{\rho}{2}$ до величины угла внутреннего трения ρ . При построении круглоцилиндрической поверхности сдвига указанные особенности не могут быть учтены. Все отмеченные теоретические несовершенства, главным образом, объясняются тем, что круглоцилиндрическая поверхность является геометрической связью, которая наложена на породный массив, а не потенциальной поверхностью сдвига.

На наш взгляд наклоны элементарных площадок сдвига в массиве не должны задаваться заранее (в соответствии с уравнением связи) (рис. 1.b), а должны определяться на основании общих законов

механики грунтов и горных пород [7]. Базируясь на этом подходе, было получено уравнение, описывающее интегральные поверхности сдвига [5].

Предлагается физически обоснованный новый методический подход, который базируется на применение составных поверхностей сдвига (состоящих из интегральных поверхностей и поверхностей наименьшего сопротивления), что позволяет выполнять оценку устойчивости откосов и склонов без наложения на массив дополнительных геометрических связей. Форма и местоположение элементарных площадок сдвига, формирующих составную поверхность сдвига, определяется физико-механическими свойствами пород массива, их геометрией, а также геометрией дневной поверхности откоса. Установлено, что обыкновенное нелинейное дифференциальное уравнение первого порядка позволяет описывать составные поверхности сдвига $y(x)$ в породном массиве

$$\frac{dy(x)}{dx} = \begin{cases} F_1(h(x), C, \gamma, \rho) & \text{при } h(x) \leq H_{90} \\ F_2(h(x), C, \gamma, \rho) & \text{при } h(x) > H_{90} \end{cases}, \quad (1)$$

где

$h(x) = H(x) - y(x)$ – функция, описывающая глубину заложения площадок сдвига в породном массиве, x – абсцисса, отсчитываемая от подошвы откоса, C – сцепление в породе, γ – объемный вес породы, ρ – угол внутреннего трения породы, $H(x)$ – функция, описывающая дневную поверхность откоса, H_{90} – глубина возникновения площадок сдвига в породном массиве,

$$F_2(h(x), C, \gamma, \rho) = \frac{1}{2 \cdot C} \left\{ \gamma \cdot h(x) - \sqrt{\gamma^2 \cdot h(x)^2 - 4 \cdot C \cdot \gamma \cdot \operatorname{tg}(\rho) \cdot h(x) - 4 \cdot C^2} \right\} -$$

функция, которая формирует интегральную поверхность сдвига,

$F_1(h(x), C, \gamma, \rho)$ – функция, которая формирует поверхность наименьшего сопротивления сдвигу.

Вид функции $F_2(h(x), C, \gamma, \rho)$ для сложно-структурного массива приведен в работе [6]. Подход к получению функции $F_1(h(x), C, \gamma, \rho)$ достаточно громоздкий, поэтому здесь не рассматривается.

В расчетных схемах, которые используются в "Методических указаниях...", на породный массив накладываются дополнительные геометрические связи (рис. 1.б). Несомненно, любопытно оценить устойчивость откосов без наложения дополнительных геометрических

реализовать схему типа (рис. 1.b), заложив в расчет устойчивости физико-механические свойства ослабления по заданной геометрической связи. Продолжая рассмотрение, можно определить, при каких значениях физико-механических свойств ослабления поверхности сдвижения будут проходить по ослаблению. Один из возможных вариантов приведен на рис. 2.b. Отметим, что для этого случая участок поверхности сдвижения V_iW_i описывается дифференциальным уравнением (1), при этом, реализуется, как условие $h(x) > H_{90}$, так и условие $h(x) \leq H_{90}$. Следующий участок поверхности сдвижения W_iD_i реализуется только с условием $h(x) \leq H_{90}$. В точке D_i составная i поверхность сдвижения выходит на дневную поверхность откоса. Дополняют характеристику состояния откоса коэффициенты запаса устойчивости, рассчитанные по методу алгебраического сложения сил для семейства составных поверхностей сдвижения. Как видно из рис. 2, семейство составных поверхностей сдвижения является хорошей иллюстрацией того, как распределяются в массиве участки возможного сдвижения и где следует ожидать заколы на дневной поверхности откоса. Составная поверхность сдвижения, которая имеет наименьший коэффициент запаса устойчивости, является наиболее слабой составной поверхностью сдвижения.

Таким образом, новые методические подходы к оценке устойчивости откосов и склонов позволяют более полно учесть реальную структуру породного массива и исключить при оценке устойчивости дополнительные геометрические связи, обусловленные необоснованно задаваемыми формами поверхностей сдвижения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними) Уч. пособие для вузов.- М.: Стройиздат.- 1977.- 320с.
2. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов, строящихся и эксплуатируемых карьеров. - Л.: ВНИМИ.- 1972. - 164 с.
3. Полищук С.З. Геомеханические задачи рационального природопользования на открытых горных работах.- К.: Наук.думка, 1998. - 180 с.
4. Прогноз устойчивости и оптимизация параметров бортов глубоких карьеров // Под общ. ред. д-ра техн. наук С.З. Полищука.- Днепрпетровск: Полиграфист.- 2001.- 371с.

5. Голуб В.В., Полищук С.З. Дифференциальное уравнение линии сдвижения природных и техногенных откосов // Сб. научн. тр. НГА Украины.- Днепропетровск: РИК НГАУ.- 2000. -№9, Т. 2.- С.140-146.
6. Голуб В.В., Полищук С.З. Оценка устойчивости приоткосной области массивов грунтов и горных пород с использованием интегральных поверхностей сдвижения // Сб. научн. тр.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение. - Днепропетровск: ПГСА.- 2004.- Вып. №28.- С.77-82.
7. Шапарь А.Г., Полищук С.З., Голуб В.В., Баранов Ю.Д., Шурыгин В.Д. Научная идея о местоположении и форме поверхности сдвижения в массивах грунта и горных пород// Научные открытия.- М: «Сударыня».- 2004.- Вып. №2.- С.55-56.

Получено 15.06.2007 г.