

УДК 622.83

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ГОРНОГО МАССИВА В ЗОНАХ, НЕДОСТУПНЫХ ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

**Сученко В. Н.**

*(РУДН, г. Москва, Россия)*

**Гришин А. В., Есина Е. Н.**

*(УРАН ИПКОН РАН, г. Москва, Россия)*

*Запропонована методика визначення деформацій гірничих порід в зонах, недоступних для прямих спостережень.*

*The technique of rock deformations definition in zones inaccessible to direct supervision is offered.*

При разработке месторождений полезных ископаемых открытым и подземным способом и строительстве подземных сооружений возникает проблема определения деформаций массива горных пород в зонах, недоступных для непосредственных наблюдений. Актуальным является вопрос определения местоположения потенциальной поверхности скольжения и состояния массива горных пород в окрестностях этой поверхности, от которого зависит устойчивость бортов карьеров, разрезов и котлованов. Динамика геомеханического состояния массива горных пород в окрестностях этой поверхности необходима для своевременного обнаружения признаков, предшествующих возникновению аварийных ситуаций.

Известны теоретические способы определения потенциальной поверхности скольжения, предложенные Г.Л. Фисенко [1] и В.В. Соколовским [2].

Предложенные ими способы базируются на допущении, что массив горных пород представляет собой сыпучую среду и для

описания происходящих в ней геомеханических процессов можно использовать теорию сыпучей среды, согласно которой элементарные площадки скольжения в однородном массиве горных пород возникают при напряжениях не менее

$$\sigma_0 = 2K \operatorname{ctg}\left(45^\circ - \frac{\rho}{2}\right), \quad (1)$$

где  $K$  – сцепление горной породы,  
 $\rho$  - угол внутреннего трения.

Площадки скольжения элементов, на которые разбивается массив, располагаются под углом  $\left(45^\circ - \frac{\rho}{2}\right)$  к направлению наибольшего главного напряжения, которое в массиве пород откосов, обычно совпадает с вертикалью. Изменение направления этих площадок, как показал анализ кривых, построенных по методу В.В. Соколовского, происходит плавно по криволинейной форме, близкой к круглоцилиндрической. Используя указанные закономерности, определяется положение поверхности скольжения в откосе, по которой сумма сил сдвигающих равна сумме сил удерживающих, т.е. откос находится в предельном состоянии. От правильности определения местоположения потенциальной поверхности скольжения зависит точность и надежность расчетов устойчивости откосов и эффективность принимаемых защитных и профилактических мероприятий по обеспечению устойчивости горного массива.

Недостатком данного способа является то, что при принятом допущении не учитываются слоистость, блочность, трещиноватость, тектоническая нарушенность и другие особенности массива горных пород, оказывающих существенное влияние на его геомеханическое состояние и устойчивость бортов карьеров, разрезов и котлованов. Поэтому теоретические способы определения потенциальной поверхности скольжения имеют большую погрешность, а неточное определение ее местоположения приводит к снижению надежности расчетов устойчивости откоса и как следствие не эффективности или значительному удорожанию принимаемых защитных мероприятий.

Широкое распространение получил способ построения потенциальной поверхности скольжения по данным маркшейдерских наблюдений, заключающийся в периодическом определении координат реперных точек, расположенных на откосе и прилегающей к нему земной поверхности. По результатам инструментальных наблюдений отстраиваются полные вектора смещений поверхности откоса, определяется местоположение потенциальной поверхности скольжения и выхода ее на поверхность на прилегающей к откосу территории. Однако недостатком этого способа является то, что на смещение наблюдательных пунктов (реперных точек) большое влияние оказывают эрозионные процессы, происходящие в приповерхностном слое вследствие выветривания, и не связанные с геомеханическими процессами, происходящими внутри горного массива. В результате чего, данные таких наблюдений не характеризуют фактическое состояние массива горных пород и по ним невозможно точно определить местоположение потенциальной поверхности скольжения и состояние горных пород в ее окрестностях. Кроме этого, ограничены возможности закладки наблюдательных пунктов (реперных точек) на застроенной территории или территории, занятой отвалами пустой породы.

В зонах, недоступных для прямых маркшейдерских наблюдений, целесообразно применять дистанционные методы измерений деформаций массива горных пород через специально пробуренные наклонные скважины.

Измерения заключаются в определении направления и величин горизонтальных и вертикальных сдвижений реперных точек, расположенных в скважинах через определенный интервал, с целью построения полных векторов сдвижений, определяющих местоположения потенциальной поверхности скольжения (рис. 1).

Построение полного вектора сдвижения осуществляется путем геометрического суммирования вертикальной и горизонтальной его составляющих, полученных по данным инструментальных измерений (рис. 2). По результатам определения полных векторов сдвижения строятся графики сдвижений и деформаций в скважинах, по конфигурации которых можно определить местоположения потенциальной поверхности скольжения.

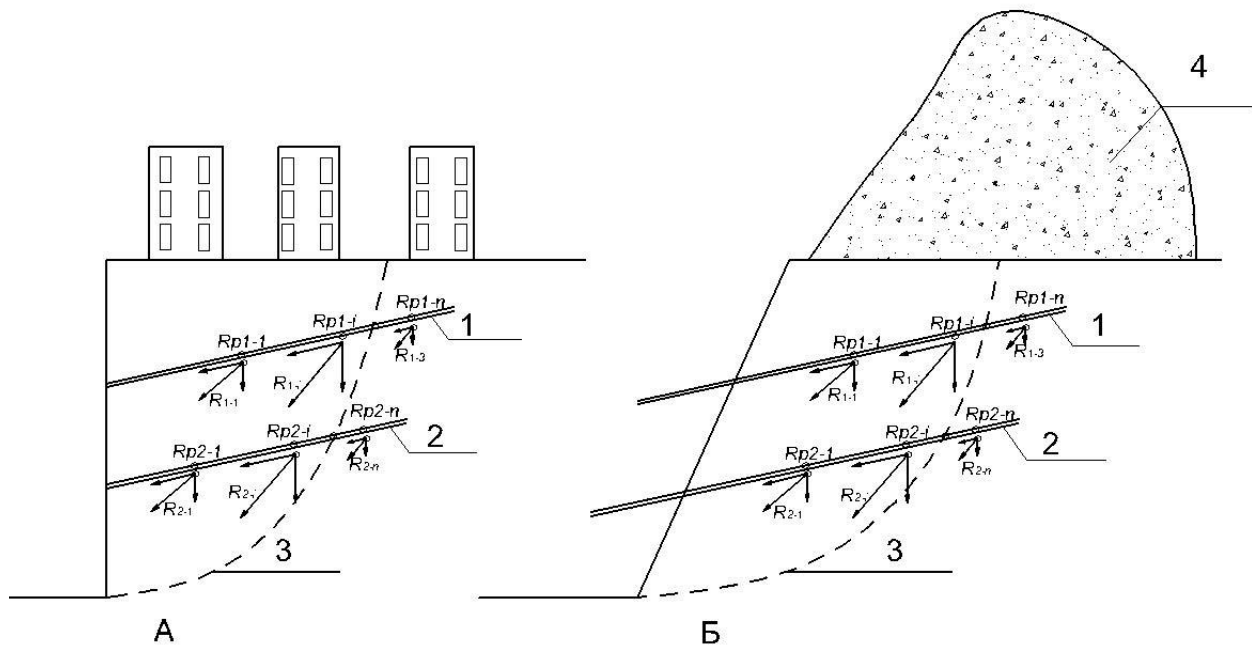


Рис. 1. Определение месторасположения потенциальной поверхности скольжения (3) по результатам измерений в наклонно пробуренных скважинах (1 и 2) при строительстве подземного сооружения методом «стена в грунте» (А) и при отработке карьера (Б); 4 - отвал

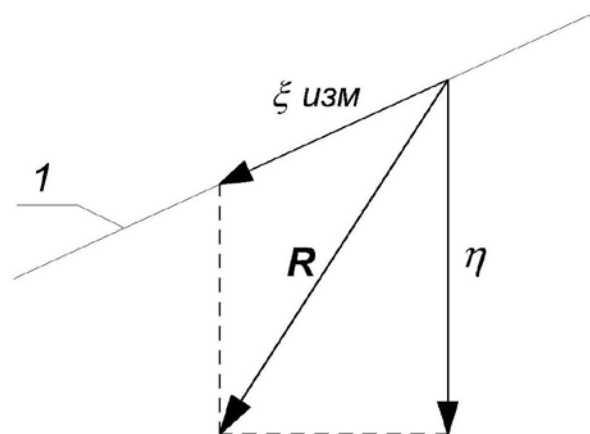


Рис. 2. Определение полного вектора сдвижения. 1 – ось наблюдательной скважины;  $\xi_{изм}$  – измеренное горизонтальное смещение деформационного репера в скважине;  $\eta$  – измеренное оседание;  $R$  – полный вектор смещений

Наблюдения за деформациями массива горных пород предложенным способом позволяют контролировать процесс их развития и своевременно проводить профилактические и (или) защитные мероприятия для недопущения достижения деформациями своих предельных значений. Данные, полученные в результате наблюдений предложенным способом, интегрально отражают влияние всех обозначенных особенностей горных пород и поэтому являются более надежными для определения местоположения линии потенциальной поверхности скольжения и оценки состояния массива горных пород в ее окрестности.

Предложенный способ дистанционного измерения деформаций горных пород в зонах, недоступных для прямых наблюдений реализуется следующим образом. В борту карьера, разреза или котлована пробуривают наклонные скважины, в которых через определенный интервал размещаются деформационные реперы.

Контроль перемещений реперов вдоль оси скважины, осуществляют применением магнито-герконового способа измерений [4].

В наклонно пробуренную скважину помещаются репера с определенным интервалом. Одновременно скважина обсаживается пластиковой трубой, что необходимо для того, чтобы была возможность беспрепятственного прохождения магнито-герконового датчика внутри скважины, а также для доставки деформационных реперов к местам их установки в скважине. Определение местоположения реперов производят путем взятия отчета по мерной ленте во время срабатывания датчика в зоне действия деформационного репера при проводке датчика внутри обсадной трубы.

Для определения вертикальной составляющей сдвижения массива, проводят измерения наклонов скважин, путем инклинометрии [5] или определением высотных отметок в скважине при помощи гидронивелира.

Работа гидронивелира основана на том, что в сообщающихся сосудах любой формы поверхности однородной жидкости устанавливаются на одном уровне (при условии, что давление воздуха над жидкостью одинаково).

Один конец гидронивелира помещается внутрь обсадной

трубы скважины, другой фиксируется снаружи над устьем скважины. Затем при помощи досыльника, который представляет собой сборную конструкцию, состоящую из пластиковых трубок с закрепленной на них измерительной лентой, колба гидронивелира заглубляется внутрь скважины. Заглубление производят с интервалом, так называемым шагом измерения, соответствующим интервалу между деформационными реперами. В конце каждого шага измерения выжидается время необходимое для стабилизации системы и после чего берутся отчеты по поверхности жидкости в колбе расположенной над устьем скважины и по мерной ленте досыльника.

По результатам произведенных измерений вычисляют величины относительных деформаций  $\varepsilon$  для каждой наблюдательной скважины по формуле:

$$\varepsilon = \frac{R_i - R_{i-1}}{l}, \quad (2)$$

где  $R_i$  – перемещение  $i$ -го репера;

$R_{i-1}$  – перемещение предыдущего репера;

$l$  – расстояние между этими реперами.

Линия, соединяющая точки с критическими значениями относительных деформаций  $\varepsilon_{кр}$ , является границей потенциальной поверхности скольжения (рис. 3).

Для оценки состояния массива и необходимости принятия защитных мер определяют коэффициент запаса устойчивости борта  $n$ .

При относительных деформациях  $\varepsilon = 1 \times 10^{-3}$  сдвижения массива горных пород практически не ощутимы, что соответствует коэффициенту запаса устойчивости  $n = 1,4$ , при котором никаких профилактических и защитных мер не требуется.

При относительных деформациях  $0,5 \varepsilon_{кр} > \varepsilon > 1 \times 10^{-3}$  сдвижения массива горных пород считаются допустимыми, что соответствует коэффициенту запаса устойчивости  $n = 1,3$ , при котором никаких специальных мер защиты или профилактики, кроме инструментальных наблюдений, не требуется.

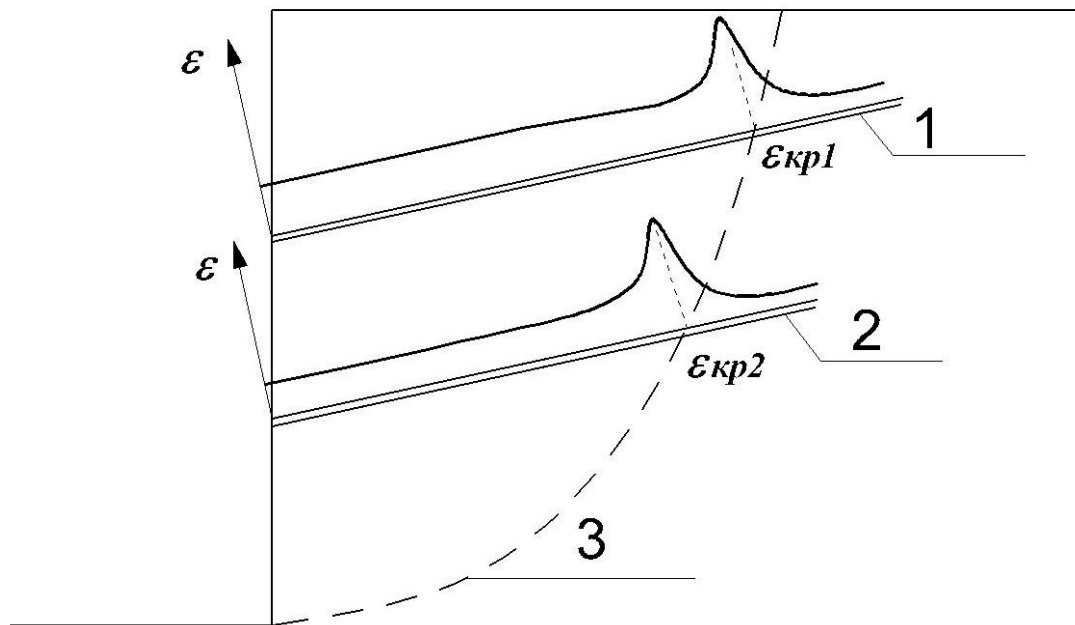


Рис. 3. Схема распределений относительных деформаций горных пород  $\varepsilon$  вдоль скважин. 1 и 2 – наклонные скважины, 3 – потенциальная поверхность скольжения

При относительных деформациях  $\varepsilon_{кр} > \varepsilon > 0,5 \varepsilon_{кр}$  сдвигения массива горных пород считаются критическими, что соответствует коэффициенту запаса устойчивости  $n = 1,2$ , при котором необходимо применять меры по повышению устойчивости бортов карьера, разреза, котлована, в том числе по упрочнению горных пород в окрестностях потенциальной поверхности скольжения.

При относительных деформациях  $2\varepsilon_{кр} > \varepsilon > \varepsilon_{кр}$  сдвигения массива горных пород считаются предельными, что соответствует коэффициенту запаса устойчивости  $n = 1,1$ , при котором резко повышается опасность возникновения оползня и следует начать эвакуацию людей и механизмов из оползнеопасной зоны.

При относительных деформациях  $\varepsilon > 2\varepsilon_{кр}$  сдвигения массива горных пород считаются запредельными, что соответствует коэффициенту запаса устойчивости  $n = 1,0$ , при котором происходят опасные разрушительные процессы и потому пребывание людей в оползнеопасной зоне недопустимо.

Таким образом, новый способ дистанционного измерения деформаций горных пород в зонах, недоступных для прямых из-

мерений, дает возможность определять местоположения потенциальной поверхности скольжения и деформаций массива горных пород в окрестностях этой поверхности, путем измерения полных векторов смещения точек массива, через специально пробуренные скважины. Его отличительной особенностью является то, что измерения осуществляются непосредственно в массиве горных пород и данные, полученные в результате наблюдений предложенным способом, интегрально отражают влияние всех особенностей горных пород и поэтому являются достаточно надежными для определения местоположения линии потенциальной поверхности скольжения и оценки состояния массива горных пород в ее окрестности для своевременного обнаружения признаков, предшествующих возникновению аварийных ситуаций, и принятия необходимых профилактических и защитных мероприятий.

### **СПИСОК ССЫЛОК**

1. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов / Г. Л. Фисенко – М.: Недра, 1965. 301 с.
2. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды/ В.В. Соколовский – М.-Л.: Издательство АН СССР, 1942. 207 с.
3. Методические указания за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретация их результатов и прогнозу устойчивости.
4. Геодезия и маркшейдерия / Попов В.Н., Букринский В.А., Бруевич П.Н. и др. Учебник для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. 100 с.
5. Исаченко В.Х. Инклинометрия скважин/ В.Х. Исаченко – М.: Недра, 1987. С. 62 – 154.