

УДК:62:624.131.1

Абдылдаев К.К., Асанакунов М.А., Абдылдаев Э.Э.

ИГУ им. К.Тыныстанова

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОДНОГО МАССИВА ВБЛИЗИ ВЫРАБОТОК

В работе приведены результаты оценки устойчивости откосов по напряжениям, полученным на основе метода конечных элементов (МКЭ) с учетом неупругой деформации горных пород.

Оценка устойчивости откосов обычно сводится к определению коэффициента запаса устойчивости для потенциальной поверхности скольжения. При этом коэффициент запаса находится в виде отношения между удерживающими и сдвигающими силами (напряжениями). Если сдвигающее усилие (напряжение), вызванное гравитацией, равно или больше удерживающего определяемого за счет прочности пород на сдвиг, то возникает неустойчивость. Формы поверхностей скольжения могут быть плоскими, круглоцилиндрическими. В некоторых случаях может возникать комбинация из плоских и круглоцилиндрических участков, а также иных поверхностей скольжения. Если предполагается, что среда изотропная, то сначала определяется положение потенциальной поверхности скольжения, затем по ней проверяется устойчивость откоса. В анизотропной и нарушенной среде поверхность скольжения фиксирована (заранее предопределена горно-геологическим строением массива), поэтому расчеты сводятся только к определению коэффициента устойчивости откоса.

Подход к проблеме устойчивости откосов в настоящее время осуществляется двумя направлениями: первое направление, сохраняющее свою большую значимость, связано с дальнейшим обоснованием и совершенствованием инженерных методов расчета круглоцилиндрических и плоских поверхностей скольжения; второе - разработка методов расчета устойчивости, базирующаяся на определении напряженно-деформированного состояния массива с применением различной математической модели сред [1,2], при строгом учете всех действующих сил, свойств горных пород, а также нахождением формы и положения вероятных поверхностей скольжения на основе вариационных принципов.

Практически все расчеты устойчивости основываются на концепции предельного пластического равновесия, при этом в большинстве методов используется только статистический подход. К сожалению, за исключением наиболее простых случаев большинство задач по оценке устойчивости откосов статистически неопределимы. Поэтому для того, чтобы обеспечить единственность решения, предполагаются некоторые упрощающие допущения и на основе этого разработано множество методов. Одно из допущений – это задание формы поверхности скольжения. Если массив однородный и может сформироваться круг значительных размеров, наиболее опасной поверхностью скольжения будет круглоцилиндрическая, так как круг обладает наименьшей площадью поверхности на единицу массы. Если условия для образования круга отсутствуют, как в случае бесконечного откоса с глубиной, значительно меньшей, чем длина, наиболее опасной поверхностью будет плоскость. При наличии поверхностей ослабления наиболее опасная поверхность будет совпадать с поверхностью, проходящей в слабом слое.

В данной работе приведены результаты оценки устойчивости откосов по напряжениям, полученным на основе метода конечных элементов (МКЭ) с учетом

неупругой деформации горных пород. Решение проводили в режиме плоской деформации при величинах углов откосов $\alpha=30^{\circ}$, 45° и 60° (рисунок 1). Глубину массива ниже подошвы и ширину дна карьера принимали равными высоте откоса. Численные характеристики были приняты следующие: высота откосов $H=150$ м; модуль упругости $E=5 \cdot 10^3$ МПа; при $\alpha=60^{\circ}$ сцепление $C=2$ МПа; $\alpha=45^{\circ}$ сцепление $c=1.3$ МПа; при $\alpha=30^{\circ}$ сцепление $C=0.4$ МПа; угол внутреннего трения соответственно $\phi_{60^{\circ}}=30^{\circ}$, $\phi_{45^{\circ}}=30^{\circ}$, $\phi_{30^{\circ}}=25^{\circ}$; объемный вес $\gamma_{60^{\circ}}=25$ кН/м³, $\gamma_{30^{\circ}}=20$ кН/м³.

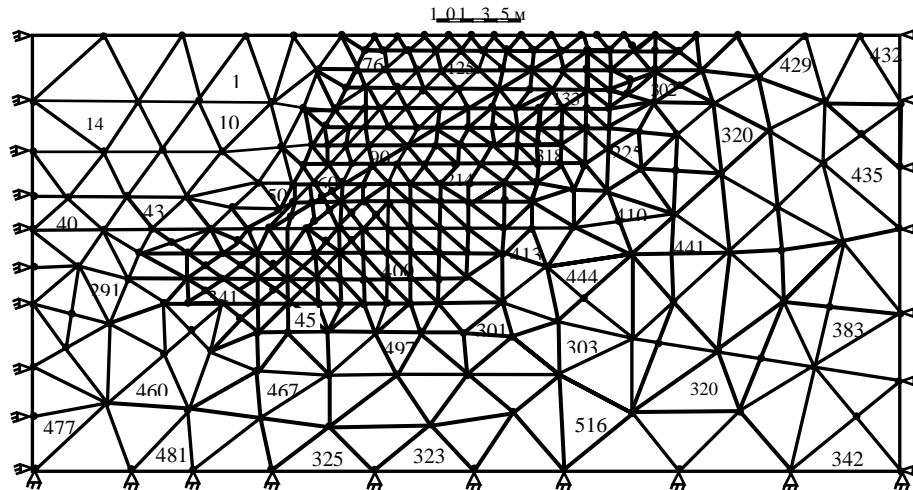


Рис. 1. Сетка конечных элементов для трех откосов.

При данных характеристиках и параметрах откосы, рассчитанные по методу Терцаги-ВНИМИ, находятся в состоянии, близком к предельному равновесию. Направление главных напряжений и их изолинии на рисунках 2 и 3 показаны для σ_1 (сплошные линии) и для σ_3 (пунктирные линии). Полученные результаты позволяют отметить, что векторы главных напряжений σ_1 вдали от откосов направлены почти перпендикулярно горизонтальной оси, затем постепенно выполаживаются и вблизи от поверхности откоса становятся параллельным к последнему.

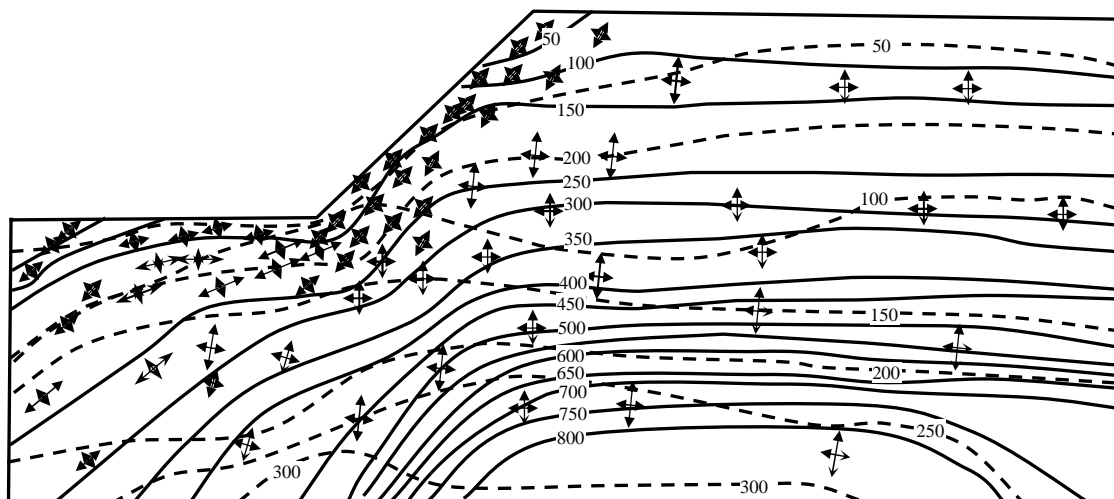


Рис. 2. Направления и величины главных напряжений и их изолинии при $\beta=45^{\circ}$.

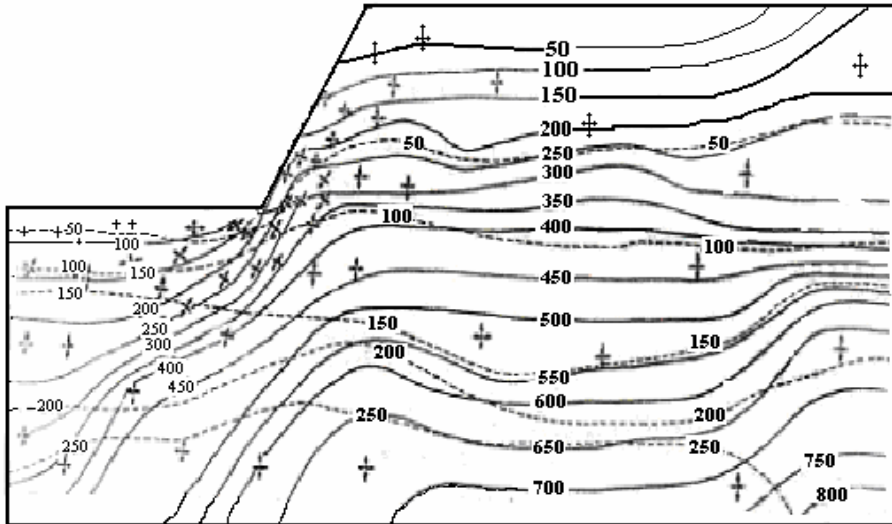


Рис. 3. Направления и величины главных напряжений и их изолинии при $\beta=60^\circ$.

Первоначально устойчивость откосов с использованием результатов решений МКЭ оценивали следующим образом. По методу Г.Л.Фисенко [3] в откосах проводили поверхности скольжения. В каждом конечном элементе, через который проходила поверхность скольжения, определяли нормальные и касательные составляющие напряжения. Переход из главных напряжений в элементах к нормальным касательным составляющим осуществлялся по формулам:

$$\sigma_n = \sigma_1 \sin^2 \beta + \sigma_3 \cos^2 \beta \quad (1)$$

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\beta, \quad (2)$$

где β – угол между направлением главного напряжения σ_1 и касательной к поверхности скольжения в рассматриваемой точке (рисунок 4а).

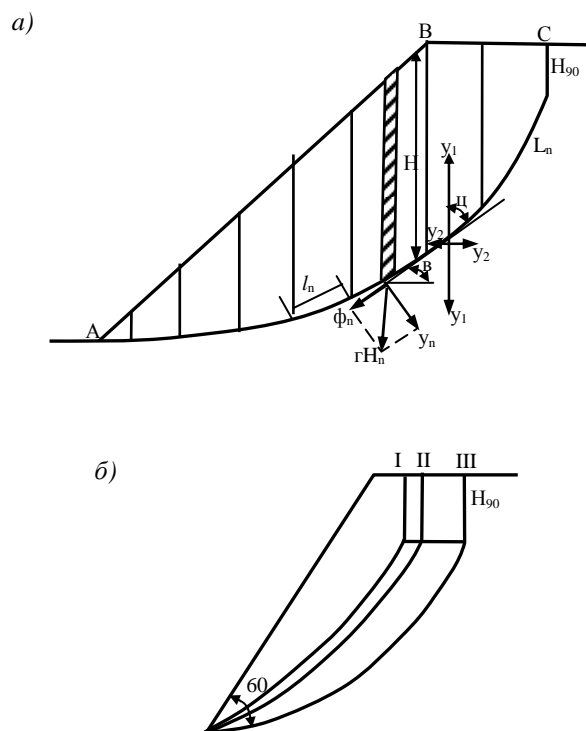


Рис. 4. Схема перехода от главных напряжений к их составляющим- а); б) -

положения поверхностей скольжения: I – метод Г.Л. Фисенко; II – логарифмическая спираль; III – МКЭ.

Полученные значения σ_n и τ_n умножали на длину участка поверхности скольжения и в конечном итоге определили коэффициент запаса устойчивости откоса по формуле:

$$k = \frac{N \operatorname{tg} \varphi + cL}{T}, \quad (3)$$

где N , T – сумма нормальных касательных сил по поверхности скольжения; φ , c – угол внутреннего трения и величина сцепления материалов откоса, L – длина поверхности скольжения в рассматриваемом плоском сечении.

По тем поверхностям скольжения проведена оценка устойчивости трех откосов методом Терцаги. Значения k , найденные по вышеизложенной методике, приведены в таблице 1 в колонках 2, 3, 5 и 6. Положения поверхностей скольжения для этих случаев изображены на рисунке 4б.

В колонке 4 представлено значение k , рассчитанное по МКЭ. Сначала по методике, изложенной в [2], построена изолиния для ω , затем поверхность скольжения. Поверхность скольжения из решений МКЭ имеет глубокое заложение (рисунок 4б). Мощность призмы скольжения значительно больше той, которая принята в существующих способах оценки устойчивости откосов. Ширина ее по поверхности в зависимости от угла наклона откоса составляет $(0,3-0,4)H$ (где H – высота откоса). Необходимо отметить, что в верхнем слое, ограниченном высотой H_{90} , наблюдается разрыв элементов.

Значения коэффициента запаса устойчивости

Таблица 1.

Коэффициент запаса устойчивости k , рассчитанный					
МКЭ			Методом Терцаги		
При поверхности скольжения					
	По [3]	Логарифмическая спираль	По МКЭ	По [3]	Логарифмическая спираль
1	2	3	4	5	6
60	1.00	0.98	0.90	1.06	1.07
45	1.10	1.06	1.17	0.99	1.02
30	1.05	1.02	1.07	1.07	1.12

Итоговые результаты анализа позволяют сделать следующие выводы:

1. В рассматриваемых случаях откос с углом $\alpha=60^\circ$ и заданными прочностными, деформационными свойствами неустойчив.

2. Коэффициент запаса устойчивости (см. таблицу 1) наиболее удаленной поверхности скольжения, представленной логарифмической спиралью, из решений МКЭ меньше, чем по другим поверхностям скольжения. При расчетах по методу Терцаги наблюдается обратная связь.

3. Мощность призмы скольжения (обрушение) из решения МКЭ значительно больше, чем в принятых расчетных методах. Она составляет по поверхности однородного откоса $(0,3-0,4)H$. Знание величины призмы обрушения и k необходимо при решении вопросов о размещении технологического оборудования, проектирования и строительства сооружений вблизи вертикальной бровки откоса.

Литература:

1. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.

2. Абдылдаев Э.К. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород вблизи выработок. - Фрунзе: Илим, 1990,-164 с.
3. Фисенко Г.Л. Предельное состояние горных пород вокруг выработок. – М.: Недра, 1976, - 272 с.