

В поперечном сечении выработки необходимо обеспечивать одновременность радиальных сдвижений пород в ее полость.

Способствовать увеличению сжимающих напряжений с одновременным выравниванием главных нормальных компонент в критических зонах, что окажет положительное влияние через механизм повышения прочности пород.

Создавать и сохранять зоны относительного сжатия пород в окружающем массиве.

Препятствовать зарождению и развитию породной складки.

Устранять возможность поочередного развития зоны разрушения вокруг выработки в разных направлениях, а также возможность повторных доразрушений ранее разрушенного массива.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров С.Н., Лаптеев А.А., Назимко В.В., Сажнев В.П. Численное моделирование увеличения несущей способности вмещающих выработку пород за счет эффекта их саморасклинивания // Известия донецкого горного института. - 1996. - №2. - С. 67-70.
2. S.N. Alexandrov, S.V. Naprasnikov, V.V. Nazimko, V.P. Sazhnev Stabilization of ground movement with yield rock bolts using spatial effect. - Dnipropetrovsk: NMUU, 1999. – pp. 261-264.
3. С.М. Александров, В.П. Сажнев, Красько М.І., Напрасніков С.В. Аналіз закономірностей розвитку зон руйнування навколо підготовчої виробки при впливі очисних робіт з урахуванням ефекту саморозклинювання порід // Проблеми гірського тиску. – Донецьк: “СПЕКТР”. – 2001. – №6. – С. 48–72.

УДК 622.271.322

М.М. Дубина, Д.К. Тесленко, Ю.А. Черняков

### **УСТОЙЧИВОСТЬ ГРУНТОВЫХ ОТКОСОВ ПРИ ПРОТАИВАНИИ С УЧЕТОМ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

Представлено результати впливу зародження і розвитку зони локалізації пластичної деформації у вигляді смуг здвину на стійкість мерзлого ґрунтового відкосу з оглядом на протаювання.

#### **STABILITY OF GROUND SLOPES AT CONCEALING IN VIEW OF LOCALIZATION OF PLASTIC DEFORMATION**

The results of origin influence are submitted and development of localization zone of plastic deformation as strips of shift on stability of frozen ground slope with the account concealing.

Методы расчета устойчивости откосов и склонов, обычно применяемые в инженерной практике позволяют определить величину критической нагрузки и геометрические параметры склонов методами теории предельного равновесия [1]. Однако все эти подходы не учитывают история развития поверхности обрушения. Игнорирование этого обстоятельства, по-видимому, не идет в запас устойчивости откоса и поэтому требует более внимательного рассмотрения. В [2] был предложен алгоритм исследования устойчивости грунтовых откосов с учетом возникновения и развития областей локализации пластической деформации.

Для описания механического поведения грунта используется деформацион-

ная теории пластичности Боткина-Кондера [3]. Данная теория пластичности базируется на условии Шлейхера-Мизеса

$$\tau_i - \sigma_0 \operatorname{tg} \varphi - \tau_c = 0 \quad (1)$$

где  $\tau_c$  и  $\varphi$  – сцепление и угол внутреннего трения соответственно.

Связь объемных деформаций и напряжений при изотропной компрессии определяется соотношением, предложенным Малышевым

$$K_{ep} = \frac{K_0}{1 - \alpha K_0 \varepsilon_0} \quad (2)$$

где  $\alpha$  – экспериментальная константа, определяющая предельное значение изменения объема при всестороннем сжатии,  $K_0$  – начальный (упругий) модуль объемного сжатия.

Окончательно, определяющие соотношения теории пластичности без учета изменения температуры записываются в виде

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{D}_{ep} : \boldsymbol{\varepsilon}, \quad \mathbf{D}_{ep} = [K_{ep} \mathbf{e}\mathbf{e} + 2G_{ep} (\mathbf{I} - \frac{1}{3} \mathbf{e}\mathbf{e})] \quad (3)$$

Для описания поведения грунта с учетом протаивания принимается следующая зависимость

$$\boldsymbol{\sigma} = (\mathbf{D}_{ep}^f - (1 - W)(\mathbf{D}_{ep}^f + \mathbf{D}_{ep}^m)) : \boldsymbol{\varepsilon} \quad (4)$$

где  $W$  – относительная весовая льдистость, определяющая изменение количества льда в порах при изменении температуры, индексы  $m$  и  $f$  – относятся к талому и мерзлomu состоянию соответственно.

Для использования данной теории при решении задач устойчивости необходимо записать соотношения данной теории в скоростях

$$\dot{\boldsymbol{\sigma}} = (\mathbf{D}_1^f - (1 - W)(\mathbf{D}_1^f + \mathbf{D}_1^m)) : \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} + (\mathbf{D}_{ep}^f + \mathbf{D}_{ep}^m) : \boldsymbol{\varepsilon} \cdot \dot{W} \quad (5)$$

Момент возникновения локализованного сдвига грунта будем рассматривать как бифуркацию процесса деформирования. Последнее предположение позволяет свести задачу о зарождении областей локализации пластической деформации к решению следующей граничной задачи [2]:

$$\begin{aligned} \dot{\pi}_{ij,i} &= 0 \\ \dot{\pi}_{ij} N_i &= 0 \text{ на } S_\sigma \\ \dot{u}_i &= 0 \text{ на } S_u \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\pi_{ij}$  – компоненты тензора Пиола-Кирхгоффа первого рода,  $S_\sigma$  и  $S_u$  – части границы тела, на которой заданы внешние нагрузки и перемещения, соответственно. При исследовании локализации пластической деформации в виде полос сдвига собственная форма потери устойчивости в точке бифуркации представляется в виде

$$\tilde{v}_{i,j} = t_i n_j \quad (7)$$

где  $n_i$  – компоненты вектора нормали к полосе локализации,  $t_i$  – вектор, определяющий направление локализации. Для описания процесса дальнейшего развития полосы локализации используется алгоритм, описанный в [2, 5], в котором предполагается, что собственная форма потери устойчивости (2) в процессе послебифуркационного деформирования меняется незначительно. Алгоритм исследования развития полосы локализации с применением метода конечных элементов достаточно полно описан в [4].

В качестве примера, иллюстрирующего описанный выше алгоритм исследования устойчивости откоса, рассмотрим грунтовой откос с углом наклона  $60^\circ$ . Глубина откоса  $H = 10$  м. Первоначально откос предполагается мерзлым, температура грунта откоса  $-5^\circ\text{C}$ . Для грунта с объемным весом  $\gamma = 0.08\text{м} / \text{м}^3$  в данном откосе не возникают области локализации пластической деформации и откос можно считать устойчивым. При увеличении температуры поверхности откоса до  $5^\circ\text{C}$  в откосе возникает область локализации пластической деформации, которая затем развивается вдоль поверхности откоса. На рис.1 представлены изолинии модуля вектора перемещений в откосе, когда средняя глубина области протаивания равна 3 м.

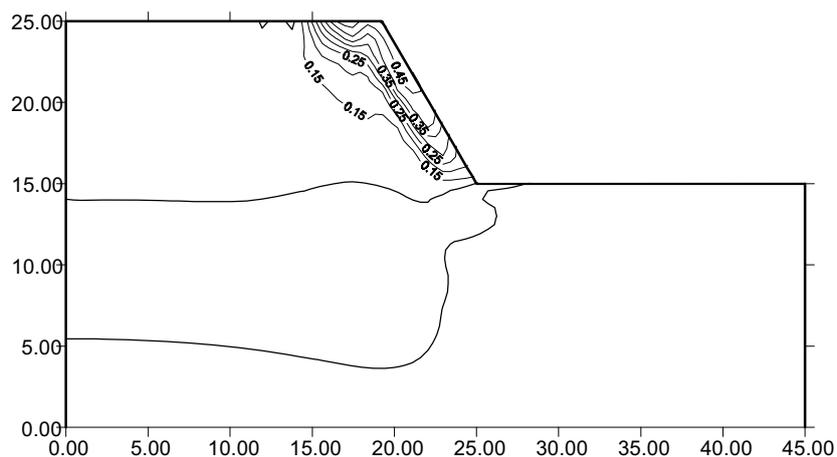


Рис.1 – Распределение модуля вектора перемещения в откосе с учетом локализации деформации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опыт оценки устойчивости сложного геологического строения методами конечных элементов и экспери-

ментами на моделях / Под. Ред. Г.С. Золотарева. М. - 1973.

2. Дубина М.М., Тесленко Д.К., Целицо В.М., Черняков Ю.А. Метод конечных элементов для расчетов фундаментов на выштампованных котлованах и устойчивости откосов. ООО Издательство "Весь Мир", 2001, - 224 с.

3. Боткин А.И. О прочности сыпучих и хрупких материалов // Изв. НИИГ, -1940, - т. 26, - с. 64-69.

4. Hill R. A general theory of uniqueness and stability of elastic plastic solids // J.of Mech.Phys.Solids. - 1958. - Vol.6. - P.236-249.

5. L.G. Sluys, A.H. Berends. Discontinuous failure analysis for mode-I and mode-II localization problems // Int. J. Solids Structures, Vol. 35, pp.4257-4274, 1998.

**УДК 554.232:622.011.4**

Г.В. Левченко

## **УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ РАЗРУШАЮЩИХСЯ ПОРОД ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ ЕГО РАЗВИТИЯ**

Приведені нові результати щодо умов руйнування гірських порід навколо виробки як руху кордону структурних змін з урахуванням властивостей та напруженості середовища, сил підкріплення на вільній поверхні. Запропоновані рекомендації по керуванню станом масиву навколо виробки мірами підтримання виробки.

### **STABILITY OF TUNNELS IN CONDITIONS OF COLLAPSING BREEDS AT RESTRICTION OF ITS DEVELOPMENT**

The new results of destruction conditions of rocks around mine tunnel as movements of border of structural changes are given in view of properties and intensity of environment, forces of a reinforcement on free surface. The offered recommendations for management of massive condition around tunnel by measures of maintenance of tunnel.

Известно, что разрушение пород вокруг выработок происходит постоянно, развиваясь во времени и пространстве, т. е. имеет место движение границы структурных изменений. Его кинетика представляет собой сложный многоактовый процесс, для оценки и описания которого силовых критериев недостаточно, а статика энергетических преобразований не отражает полностью механики происходящих явлений, для этого необходим учет кинетических параметров деформирования и развития разрушения, связанных с изменением напряженности и дефектности среды. Рассмотрев движение границы разрушения в напряженной среде от свободной или подкрепленной поверхности в квазидинамическом режиме в соответствии с моделью В.Н. Николаевского [1] о движении волны двуфронтальной структуры с замыканием основных уравнений условиями на фронтах по предельной скорости движения и прочности материала при разрыве-сдвиге, получена критериальная зависимость, связывающая подкрепление – подпор со стороны свободной поверхности с начальными напряжениями, их изменением, кинетическими и силовыми параметрами движения границы разрушения [3]:

$$P \geq \sigma_{\text{н}} + (\gamma_{\text{н}} + \nu_{\text{р}} \rho_0 - \sigma_{\text{н}}) \frac{0.3 \rho_0^{-2} + \gamma_{\text{н}} - \sigma_{\text{н}}}{\rho_0^{-2} + \gamma_{\text{н}} - \sigma_{\text{н}}}, \quad (1)$$