

М. Е. ЕСКАЛИЕВ, Ж. Ж. КОЖАМКУЛОВА

(Казахский государственный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан)

К РАСЧЕТУ РАЗВИТИЯ ОБЛАСТИ НЕУПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ГРУНТОВОМ МАССИВЕ СЛОЖНОГО СТРОЕНИЯ

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы теоретического обоснования развития неупругих зон в пластически неоднородной среде вокруг выработки различного назначения. Для ортотропного тела привлекается обобщенный условие текучести Мизеса на анизотропные тела. Даны соответствующие характеристики параметрам анизотропии и пределам текучести при сдвиге по отношению к главным осям изотропии. Построены круги напряжений Мора для нахождения значений критических сил и коэффициента внутренних трений.

Ключевые слова: нагрузка, оболочка, алгоритм, параметр, перемещение, вязкость.

Тірек сөздер: жүктеме, қабыршақ, алгоритм, параметр, жылжу, тұтқырлық.

Keywords: loading, cover, algorithm, parameters, moving, viscous.

Проектирование и строительство подземных сооружений требует обоснованного подхода к оценке воздействия статических и сейсмических нагрузок на различные типы конструктивных элементов сооружений, определения их напряженного и деформированного состояний на основе совершенствования упругопластических моделей толщи пород и самих методов расчета.

Определение области возможной упругопластической деформаций в массиве сложного слоистого строения вблизи выработки конечно-элементной дискретизацией реального объекта с использованием табулированной акселерограмма сильных землетрясений различной балльности. Модель массива как изотропного тела далеко не полностью описывает наблюдаемые в природе особенности проявления горного давления. Попытка решить задачу в такой постановке для транстропного массива была предпринята в работах Ж. К. Масанова и М. Е. Ескалиева [1-3] на основе применения полуобратного метода Перлина [4, 5] для выработки находящегося в бесконечной среде. Вопрос исследования закономерности возникновения пластических зон вокруг выработки находящегося в тяжелой полуплоскости, материал, который состоит из горной породы, имеющее наклоннослоистое строение пока еще не изучен. Задача еще более осложниться тем что, если горная выработка находится в массиве неоднородно анизотропного строения. Прежде чем решить задачу в упругопластической постановке, немаловажно знать закономерности перехода массива вокруг выработки в пластическое состояние в направлениях вдоль и вкрест слоев плоскости изотропии, а также в направлениях между ними, т.е. на главных площадках. Неизвестно также, на какой глубине начинается появления пластических зон в тяжелом наклоннослоистом транстропном массиве вокруг горной выработки в зависимости от воздействия геостатических и тектонических сил. Естественно, такую задачу необходимо решить сначала методом предельного перехода. Для решения задач механики деформируемого твердого тела предельным переходом в качестве условия пластичности часто применяется соотношения Кулона-Мора, которая удобна тем, что позволяет одновременно определить возникновения зон пластичности от растягивающих и сжимающих напряжений.

Условие пластичности Мизеса с экспериментальными данными дает достаточно близкие результаты (энергетическое условие пластичности)

$$f(\sigma) = \sqrt{I_2} = \frac{1}{2} S_{ij} S_{ij} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}, \quad (1)$$

здесь I_2 – второй инвариант девиатора напряжений, S_{ij} – компоненты девиатора напряжений $S_{ij} = \sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma_0$; $\sigma_0 = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)/3$, где δ_{ij} – символ Кронекера.

Условие Мизеса приблизительно описывает течение изотропного материала. Поэтому простейшим условием текучести для анизотропного материала является то, которое сводится к закону Мизеса, когда анизотропия исчезающее мала.

Для ортотропного тела Хиллом было предложено условие пластичности, которое является обобщением условия Мизеса на анизотропные тела. Если x, y, z являются главными осями анизотропии, условие пластичности Хилла имеет вид

$$2f(\sigma_{ij}) \equiv F(\sigma_y - \sigma_z)^2 + G(\sigma_z - \sigma_x)^2 + H(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 2L\tau_{yz}^2 + 2M\tau_{zx}^2 + 2N\tau_{xy}^2 = 1, \quad (2)$$

где F, G, H, L, M, N – параметры анизотропии. Постоянные в этом условии текучести можно определить, для частных случаев одноосных растяжений в направлениях осей x, y, z и сдвигов между этими осями. Если $\sigma_{xT}, \sigma_{yT}, \sigma_{zT}$ – пределы текучести при растяжении в главных направлениях анизотропии, тогда

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sigma_{yT}^2} + \frac{1}{\sigma_{zT}^2} - \frac{1}{\sigma_{xT}^2} \right), \quad \frac{1}{\sigma_{xT}^2} = G + H, \\ G &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sigma_{zT}^2} + \frac{1}{\sigma_{xT}^2} - \frac{1}{\sigma_{yT}^2} \right), \quad \frac{1}{\sigma_{yT}^2} = H + F, \\ H &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sigma_{xT}^2} + \frac{1}{\sigma_{yT}^2} - \frac{1}{\sigma_{zT}^2} \right), \quad \frac{1}{\sigma_{zT}^2} = F + G, \end{aligned} \quad (3)$$

Если L, M, N – пределы текучести при сдвиге по отношению к главным осям изотропии, то в этом случае

$$L = \frac{1}{2\tau_{yzT}^2}, \quad M = \frac{1}{2\tau_{xzT}^2}, \quad N = \frac{1}{2\tau_{xyT}^2}. \quad (4)$$

$\sigma_{xT}, \sigma_{yT}, \sigma_{zT}, \tau_{xyT}, \tau_{xzT}, \tau_{yzT}$ – ординаты диаграмм растяжений и сдвигов в различных направлениях.

Для применения условия пластичности Хилла необходимы экспериментальные данные для определения шести параметров F, G, H, L, M, N из выражений (3) и (4) для трансформного горного массива. Этими вопросами также занимались зарубежные ученые из Бельгии – В. Хейгеман, К. Пириякул, из Японии – Ф. Татсуоко, Т. Сато и другие, из Ирана – А. Ахмади, А. Галандарзадех и другие. Но все экспериментальные данные в их работах относятся к грунтам и преимущественно для нахождения упругих свойств грунтов анизотропного строения.

Для нахождения пластических зон вдоль и вкrest слоев плоскости изотропии мы можем определить неизвестные параметры $c_{\perp}, c_{\parallel}, \varphi_{\perp}, \varphi_{\parallel}$ используя круги Мора (рисунок 1). Смысл этих рисунков сводится к следующим. Из экспериментальных данных снимаются критические значения максимальных $\sigma_1 = \sigma_{\max} = \sigma_{1C}$ и минимальных $\sigma_3 = \sigma_{\min} = \sigma_{3C}$ и по ним раздельно строятся круги Мора. Значения $\sigma_1 = \sigma_{1C}$ наносится на положительное направление оси напряжений, а минимальное напряжение наносится на отрицательное направление со знаком минус:

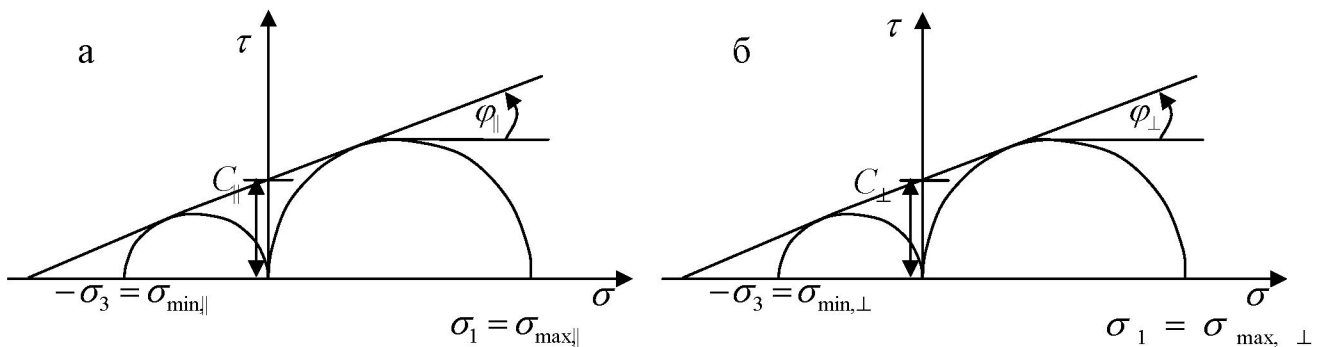


Рисунок 1 – Построение кругов напряжений Мора для нахождения значений критических сил сцеплений и внутренних трений вдоль (а) и вкrest (б) слоев плоскости изотропии – $C_{\parallel}, C_{\perp}, \varphi_{\parallel}, \varphi_{\perp}$

– $\sigma_3 = \sigma_{3C}$. На полученные круги проводим касательные. Точки пересечения по оси τ , нам дадут значения сил сцепления вдоль слоев C_{\parallel} (рисунок 1а) и перпендикулярно слоям C_{\perp} (рисунок 1б). Измеряем углов внутренних трений вдоль слоев φ_{\parallel} и перпендикулярно слоям φ_{\perp} .

Теперь мы можем записать новое обобщенное условие пластичности Кулона-Мора для трансропного массива в следующем виде

$$\tau_{\perp C} = \sigma_{\perp C} \operatorname{tg} \varphi_{\perp} + C_{\perp} \quad (5)$$

$$\tau_{\parallel C} = \sigma_{\parallel C} \operatorname{tg} \varphi_{\parallel} + C_{\parallel} \quad (6)$$

С использованием МКЭ определяются напряжений σ_x, σ_z и τ_{xz} в элементах и значения главных напряжений в направлений главных площадок α – вычисляется с помощью формул теории упругости:

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_z - \sigma_x)^2 + 4\tau_{xz}^2}, \\ \sigma_{\min} &= \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_z - \sigma_x)^2 + 4\tau_{xz}^2}, \\ \operatorname{tg} 2\alpha &= -\frac{2\tau_{xz}}{\sigma_z - \sigma_x}, \\ \tau_{\max} &= \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Кроме максимальных и минимальных компонент напряжений Значений нормальных компонент напряжений $\sigma_n, \sigma_t, \tau_{nt}$ вкрест и вдоль слоев плоскостей изотропии, вычисляем с помощью следующих соотношений, после применения формул преобразования

$$\begin{aligned} \sigma_{n,\bar{\varphi}} &= \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\bar{\varphi} + \tau_{xy} \sin 2\bar{\varphi}, \\ \sigma_{t,\bar{\varphi}} &= \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) - \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\bar{\varphi} - \tau_{xy} \sin 2\bar{\varphi}, \\ \tau_{nt,\bar{\varphi}} &= -\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \sin 2\bar{\varphi} + \tau_{xy} \cos 2\bar{\varphi}. \end{aligned} \quad (8)$$

Но, направления главных площадок α вычисляемый из (7), может не всегда совпадает с углом плоскости изотропии $\bar{\varphi}$. Поэтому нормальных компонент напряжений на главных площадках вычисляется с помощью угла α следующими выражениями

$$\begin{aligned} \sigma_{n,\alpha} &= \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\alpha + \tau_{xy} \sin 2\alpha, \\ \sigma_{t,\alpha} &= \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) - \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\alpha - \tau_{xy} \sin 2\alpha, \\ \tau_{nt,\alpha} &= -\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y) \sin 2\alpha + \tau_{xy} \cos 2\alpha. \end{aligned} \quad (9)$$

Смыслов сказанных раскрывает рисунок 2.

Теперь, можно сформулировать условий возникновения неупругих зон в направлениях вдоль и вкрест слоев плоскости изотропии наклоннослоистого трансропного массива.

Если максимальное значение касательных напряжений τ_{\max} вычисляемый по выражению (7) из МКЭ:

$$\tau_{\max} \geq \tau_{\parallel, c} \quad (10)$$

то пластическая зона развивается вдоль слоев плоскости изотропии.

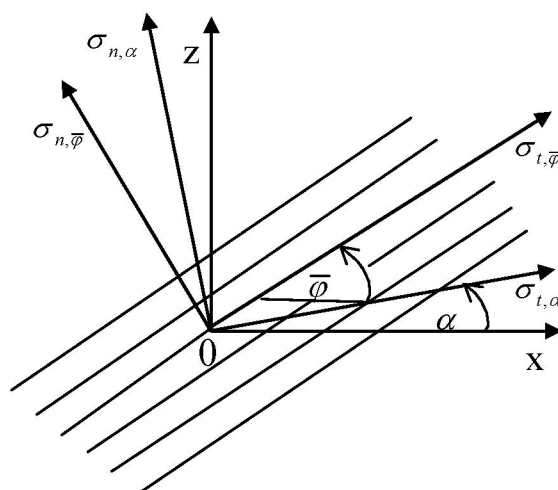


Рисунок 2 – Ориентации главных площадок α главных напряжений и угла наклона плоскости изотропии $\bar{\varphi}$ относительно горизонтальной оси Ox декартовой системы координат xOz

Если

$$\tau_{\max} \geq \tau_{\perp, c} \quad (11)$$

то пластическая зона развивается перпендикулярно слоям плоскости изотропии.

Пластическая зона для заданного $\bar{\varphi}$, может развиваться между направлениями вдоль и вкрест, т.е. в направлений $\perp \leq \alpha \leq \parallel$, а также главных площадок α . Для этих направлений условию пластичности мы можем записать с помощью выражений типа Казагранде–Коррилло в виде

$$\tau_{\alpha} = \tau_{\max, \perp} + (\tau_{\max, \parallel} - \tau_{\max, \perp}) \cos^2 \alpha, \quad (12)$$

где $\tau_{\max, \parallel}$, $\tau_{\max, \perp}$ экспериментально определяемые критические значения горных пород слоистого строения для случаев $\alpha = 0$ и $\alpha = 90^\circ$ т.е. вдоль и вкрест слоев плоскости изотропии. Сравнивая, вычисленные величины максимальных касательных напряжений τ_{\max} по (7) с их критическими величинами по (12) определяется направление и зоны распространения пластичности для любого α .

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ескалиев М.Е., Масанов Ж.К. К приближенному расчету упругопластических напряжений и перемещений в трансформном теле с отверстием, при экспоненциальном условий пластичности // Изв. АН КазССР. Серия физ.-мат. – 1983. – № 5. – С. 69-75.
- 2 Ескалиев М.Е. Влияние дилатансии пород на упругопластическое состояние выработки в анизотропном массиве // Изв. МН-АН РК. Серия физ.-мат. – 1996. – № 3. – С. 72-78.
- 3 Масанов Ж.К., Ескалиев М.Е., Аубакиров С.Б., Баймаханов И.Б. Упругое, вязкое и пластическое состояние анизотропного массива вблизи полости при статических и сейсмических воздействиях // В кн.: Математика и механика. Ч. 3. Теоретическая и прикладная механика. – Изд. КазГУ, 1984.
- 4 Перлин П.И. Приближенный метод решения упругопластических задач // Инженерный журнал. – 1960. – Вып. 28. – С. 145-150.
- 5 Перлин П.И. Упругопластическое распределение напряжений вокруг отверстий // Труды Моск. физ.-техн. ин-та. – 1960. – № 5. – С. 31-39.

REFERENCES

- 1 Eskaliev M.E., Masanov Zh.K. K priblizhennomu raschetu uprugoplasticheskikh naprjazhenij i peremeshhenij v transtropnom tele s otverstiem, pri jeksponencial'nom uslovij plastichnosti. Izv. AN KazSSR. Serija fiz.-mat. 1983. № 5. S. 69-75.
- 2 Eskaliev M.E. Vlijanie dilatansii porod na uprugoplasticheskoe sostojanie vyrabotki v anizotropnom massive. Izv. MN-AN RK. Serija fiz.-mat. 1996. № 3. S. 72-78.
- 3 Masanov Zh.K., Eskaliev M.E., Aubakirov S.B., Bajmahanov I.B. Uprugoe, vjazkoe i plasticheskoe sostojanie anizotropnogo massiva vblizi polosti pri staticheskikh i sejsmicheskikh vozdejstvijah. V kn.: Matematika i mehanika. Ch. 3. Teoreticheskaja i prikladnaja mehanika. Izd. KazGU, 1984.
- 4 Perlin P.I. Priblizhennyj metod reshenija uprugoplasticheskikh zadach. Inzhenernyj zhurnal. 1960. Vyp. 28. S. 145-150.
- 5 Perlin P.I. Uprugoplasticheskoe raspredelenie naprjazhenij vokrug otverstij. Trudy Mosk. fiz.-tehn. in-ta. 1960. № 5. S. 31-39.

Резюме

М. Е. Есқалиев, Ж. Ж. Қожамқұлова

(Қазақ мемлекеттік қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан)

КҮРДЕЛІ ҚҰРЫЛЫМДЫ ЖЕР СІЛЕМДЕРІНДЕГІ СЕРПІМДІ ЕМЕС ӨЗГЕРІСТЕР АЙМАҚТАРЫН ЕСЕПТЕП ШЫҒАРУ

Мақалада құрылымы бір текті емес пластикалық облыстағы қазба маңайында серпімді емес аймақтардың дамуының теориялық негіздеме мәселелері қарастырылған. Ортотропты дене үшін Мизестің жалпыланған шарттары анизатропты дене үшін алынды. Негізгі изотропиялық осьтер үшін анизатроптың параметрлері келтірілген. Шекті жағдайдағы күштің және ішкі үйкеліс коэффициентін анықтау үшін кернеудің Мор шеңбері тұрғызылды.

Тірек сөздер: жүктеме, қабыршақ, алгоритм, параметр, жылжу, тұтқырлық.

Summary

M. E. Yeskaliyev, Zh. Zh. Kozhamkulova

(Kazakh state women's pedagogical university, Almaty, Kazakhstan)

TO THE CALCULATION OF THE DEVELOPMENT OF THE FIELD OF INELASTIC DEFORMATION IN THE EARTHEN ARRAY OF COMPLEX STRUCTURE

The article deals with the problem of development of theoretical justification inelastic zones in plastically inhomogeneous medium around developing various applications. For orthotropic massif involved generalized von Mises yield criterion for anisotropic massif. Listed the appropriate characteristics of the anisotropy parameters and shear yield stress with respect to the principal axes of isotropy. Mohr voltage circles built for finding the values of the critical forces and the coefficient of internal friction.

Keywords: loading, cover, algorithm, parameters, moving, viscous.