

7. Довгий С. А., Каян В. П. Исследование гидроаэродинамики моделей ветророторов с вертикальной осью вращения // Прикл. гидромеханика. – Киев. – 2004. – **6**, № 3. – С. 76–80.
8. Гульий С. В., Еремеев И. Д., Крашаница Ю. А. и др. Аэродинамическая оптимизация масштабной модели вертикально-осевого ветродвигателя // Вісн. Донбаської ДАБА. Т. 1. Вплив вітру на будинки і споруди. – 2001. – **29**, № 4. – С. 149–153.
9. Dovy S., Kayan V., Kochin V. Experimental Researches of Characteristics of Windrotor Models with Vertical Axis of Rotation // Wind Energy. – Proceedings of the Euromech Colloquium. – Berlin: Springer, 2006. – P. 183–186.
10. Зубковський С. Л., Лятхер В. М., Федоров М. М., Цванг Л. Р. Взаимодействие ветрового потока с ветроэнергетической установкой // Изв. АН СССР Физика атмосферы и океана. – 1990. – **26**, № 9. – С. 899–905.

Институт гидромеханики НАН Украины, Киев

Поступило в редакцию 15.05.2008

УДК 539.3

© 2008

В. С. Зеленский, В. М. Быстров

Краевые эффекты в окрестности прямоугольной горной выработки, ослабленной трещиной

(Представлено академиком НАН Украины А. Н. Гузем)

Edge effects near a mountain development of rectangular cross-section which is weakened by a thin crack are considered, by using numerical methods.

Определение прочности горного массива в окрестности горной выработки относится к основным задачам горной механики, исследование которых осуществляется на основе информации о напряженно-деформированном состоянии в окрестности выработки. Актуальной при этом является задача определения зоны краевых эффектов вблизи горной выработки [2–4].

В настоящей работе рассматривается плоская задача определения зоны краевых эффектов в окрестности прямоугольной горизонтальной горной выработки глубокого залегания, пересекаемой тонкой заполненной геологической трещиной симметричной оси Ox_1 (рис. 1). Из условия геометрической и силовой симметрии относительно осей Ox_i определяется расчетная область Ω (рис. 1). На рис. 1 обозначено: $2m_i$ — размеры сторон горной выработки; $2n$ — толщина геологической трещины; $n + l_1, l_2$ — размеры горного массива соответственно в направлении осей Ox_1, Ox_2 . Величины l_1, l_2 определяются таким образом, что дальнейшее их увеличение не приводит к изменению напряженного состояния в рассматриваемой расчетной области, т. е. возмущением напряжений, вызываемых наличием выработки, можно пренебречь. При постановке рассматриваемой задачи учитывается гипотеза механики горных пород о пренебрежении весом горного массива по сравнению с горным давлением в объеме расчетной схемы [1]. Математической моделью для данной задачи являются уравнения линейной теории упругости, механической — модель однородной линейно упругой среды, т. е. горный массив и материал трещины моделируются линейно упругими изотропными телами, а для оценки зон краевых эффектов используется количественный

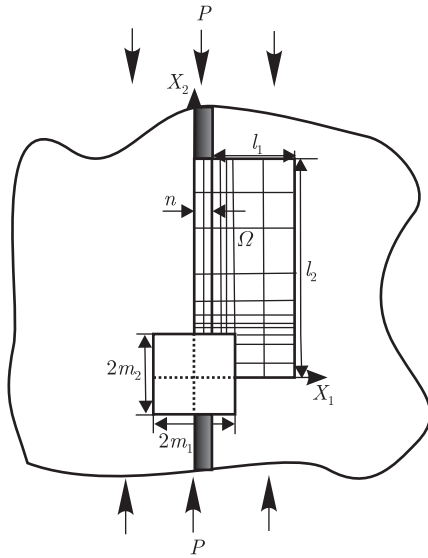


Рис. 1

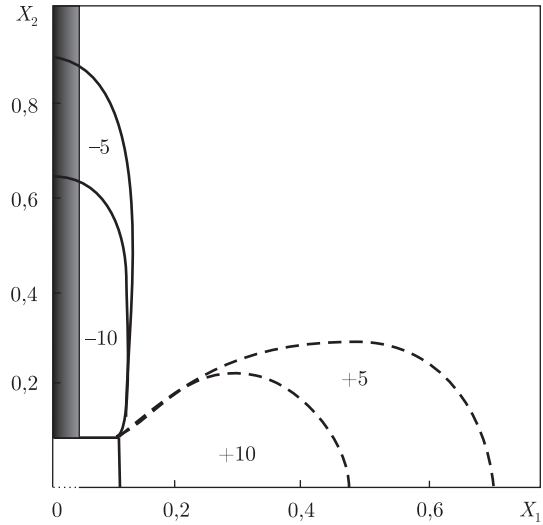


Рис. 2

критерий [6]. Предполагается, что в горном массиве (без выработок и без трещины) реализуется однородное напряженное состояние: $\sigma_{11} = kP$, $\sigma_{22} = P$, $\sigma_{12} = 0$, где $P = \text{const}$ — давление в горном массиве; $k = \nu/(1 - \nu)$ — коэффициент бокового отпора; ν — коэффициент Пуассона. С учетом вышеизложенного исследование напряженно-деформированного состояния горного массива будем проводить в области $\Omega = \Omega^1 - \Omega^2$ (см. рис. 1), где $\Omega^1 = (0 \leq x_1 \leq l_1 \wedge 0 \leq x_2 \leq l_2)$, $\Omega^2 = (0 \leq x_1 \leq m_1 \wedge 0 \leq x_2 \leq m_2)$.

Рассматриваемая область Ω представляет линейно-упругую среду с двумя компонентами. Верхними индексами 1 и 2 обозначим компоненты этой среды (1 — заполненная трещина, 2 — горный массив). Все индексы изменяются от 1 до 2.

Постановка задачи формулируется следующим образом. В области Ω необходимо найти векторную функцию $\bar{u}^q(u_1^q, u_2^q)$, удовлетворяющую уравнениям равновесия

$$\frac{\partial \sigma_{ij}^{(q)}}{\partial x_i} = 0, \quad x \in \Omega, \quad (1)$$

граничным условиям

$$\begin{aligned} \sigma_{22}^{(1)} = 0 \wedge \sigma_{21}^{(1)} = 0, & \quad x_2 = m_2 \wedge 0 \leq x_1 \leq n, \\ \sigma_{22}^{(2)} = 0 \wedge \sigma_{21}^{(2)} = 0, & \quad x_2 = m_2 \wedge n \leq x_1 \leq m_1, \\ u_1^{(1)} = 0 \wedge \sigma_{12}^{(1)} = 0, & \quad x_1 = 0 \wedge m_2 \leq x_2 \leq l_2, \\ \sigma_{22}^{(2)} = kP \wedge \sigma_{12}^{(2)} = 0, & \quad x_1 = l_1 \wedge 0 \leq x_2 \leq l_2, \\ u_2^{(2)} = 0 \wedge \sigma_{21}^{(2)} = 0, & \quad x_2 = 0 \wedge m_1 \leq x_1 \leq l_1, \\ \sigma_{22}^{(2)} = P \wedge \sigma_{21}^{(2)} = 0, & \quad x_2 = l_2 \wedge n \leq x_1 \leq l_1, \\ \sigma_{22}^{(1)} = P \wedge \sigma_{21}^{(1)} = 0, & \quad x_2 = l_2 \wedge 0 \leq x_1 \leq n, \\ \sigma_{11}^{(1)} = 0 \wedge \sigma_{12}^{(1)} = 0, & \quad x_1 = m_1 \wedge 0 \leq x_2 \leq m_2 \end{aligned} \quad (2)$$

и условиям на контакте рассматриваемых компонент

$$\sigma_{1i}^{(1)} = \sigma_{1i}^{(2)}, \quad u_i^{(1)} = u_i^{(2)}, \quad x_1 = n \wedge m_2 \leq x_2 \leq l_2. \quad (3)$$

Закон Гука для изотропного тела имеет вид

$$\sigma_{ii}^{(q)} = A_{ik}^{(q)} \varepsilon_{kk}^{(q)}, \quad \sigma_{ij}^{(q)} = 2G^{(q)} \varepsilon_{ij}^{(q)}, \quad \varepsilon_{ij}^{(q)} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i^{(q)}}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j^{(q)}}{\partial x_i} \right), \quad i \neq j. \quad (4)$$

Модули упругости $A_{ij}^{(q)}$ определяются по формулам

$$A_{ii}^{(q)} = \frac{E^{(q)}(1 - \nu)}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}, \quad A_{ij}^{(q)} = \frac{E^{(q)}\nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}, \quad i \neq j, \quad (5)$$

$E^{(q)}$, $G^{(q)}$, $\nu^{(q)}$ — технические постоянные горного массива и трещины. Граница области краевых эффектов для напряжения σ_{11} , σ_{22} , σ_{12} определяется из соотношений [2]

$$\sigma_{11}^{(q)} = kP(1 + 0,01\rho), \quad \sigma_{22}^{(q)} = P(1 + 0,01\rho), \quad \sigma_{12}^{(q)} = P(0,01\rho),$$

где ρ — заданная величина в процентах допустимого возмущения напряжений на границе зоны краевого эффекта. Решение задачи (1)–(5) реализовано с использованием численных методов на основе сеточного подхода в соответствии с методикой работы [6].

В качестве примера рассмотрена выработка квадратного поперечного сечения, проходящая в песчанике со следующими упругими характеристиками [5]: $E^2 = 34,11$ ГПа, $G^2 = 14,7$ ГПа, $k^2 = 0,182$ и геологическая трещина вертикального распространения с характеристиками: $E^1 = 3,411$ ГПа, $G^1 = 1,21$ ГПа, $k^1 = 0,695$. Геометрические размеры расчетной области, отнесенные к ширине выработки m_1 , следующие: $n = 0,25$, $l_1 = l_2 = 10$. Результаты решения задачи (1)–(5) приведены на рис. 2. Изолинии напряжений σ_{22} определяют границы зон краевых эффектов для $\rho = 5, 10$. Штриховыми линиями представлены границы зон для растягивающих напряжений, а сплошными обозначены границы зон сжимающих напряжений. Из рис. 2 видно, что максимальная протяженность краевых эффектов вдоль оси Ox_1 не превышает шести размеров выработки для $\rho = 10$ и восьми размеров для $\rho = 5$, а вдоль оси Ox_2 максимальная протяженность для $\rho = 10$ и $\rho = 5$ соответственно составляет не более семи и девяти размеров выработки.

1. Гузь А. Н. Основы теории устойчивости горных выработок. — Киев: Наук. думка, 1977. — 204 с.
2. Гузь А. Н., Козаненко Н. В., Гладун О. И. Исследование краевых эффектов горного массива в окрестности прямоугольной выработки // Доп. НАН України. — 2000. — № 2. — С. 47–50.
3. Зеленский В. С. Краевые эффекты в параллельных горизонтальных горных выработках прямоугольного сечения // Там само. — 2005. — № 7. — С. 36–38.
4. Козаненко Н. В., Гладун О. И. Краевые эффекты в окрестности горизонтальной выработки, ослабленной геологическим разрывом // Там само. — 2001. — № 6. — С. 62–65.
5. Справочник по физическим свойствам минералов и горных пород при высоких термодинамических параметрах. — Москва: Недра, 1978. — 24 с.
6. Статика материалов / Под ред. А. Н. Гузя. — Киев: Наук. думка, 1993. — 453 с. — (Механика композитов: в 12 т. Т. 3).

Институт механики им. С. П. Тимошенко
НАН Украины, Киев

Поступило в редакцию 25.04.2008