

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НЕОДНОРОДНОГО МАССИВА ПОРОД ВБЛИЗИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

Деев П.В., Цуканов А.А.

Тульский государственный университет, г.Тула

Ключевые слова: массив пород, напряженное состояние, выработка, граница раздела.

Аннотация. Предложен метод оценки напряженного состояния массива пород в окрестности выработки произвольного поперечного сечения, расположенной вблизи границы раздела пород с разными деформационными характеристиками. Метод основан на аналитическом решении плоской задачи теории упругости, полученном с использованием математического аппарата теории функций комплексного переменного. Приводится пример расчета.

STRESS STATE ESTIMATION OF NON-HOMOGENEOUS ROCK MASS NEAR MINE EXCAVATION

Deev P. V., Tsukanov A. A.

Tula State University, Tula

Keywords: rock mass, stress state, excavation, rock interface.

Abstract. A method for stress state estimation of rock mass around an excavation of arbitrary cross-section shape is proposed. The excavation is located near interface of two rocks with different deformation properties. The method is based on the analytical solution of the plane problem of the theory of elasticity. The solution has been obtained using the mathematical apparatus of the theory of complex variables functions. An example of the design is given.

Проблема оценки устойчивости горных выработок является одной из основных задач геомеханики. На основании отнесения выработки к той или иной категории устойчивости выбирается крепь выработки и разрабатывается паспорт крепления. Предварительная оценка напряженного состояния массива пород позволяет уточнить форму поперечного сечения выработки на стадии проектирования и выбрать рациональное место расположения сооружения.

Профессором Н.С. Булычевым предложена методика оценки устойчивости пород по фактору разрушения [1], основанная на анализе конфигурации и размеров условных зон неупругих деформаций, которые определяются на основе решения задачи теории упругости. Указанная методика, в частности, применялась для оценки устойчивости горной выработки при землетрясении [2] и обоснования параметров скважинной гидродобычи железных руд [3].

Размеры условных зон позволяют подобрать длину и расположение анкеров при использовании анкерного крепления.

В случае, когда массив пород не является однородным, задача определения его напряженного состояния значительно усложняется и может быть решена аналитически только для самых простых случаев [4]. С другой стороны, при использовании численных методов расчета для моделирования напряженного состояния неоднородного массива возникают сложности, связанные с постановкой условий на границах рассматриваемой расчетной области.

В настоящей работе рассмотрен случай, когда выработка некругового поперечного сечения расположена в тектоническом поле напряжений вблизи границы раздела пород, деформационные характеристики которых существенно отличаются. Для оценки напряженного состояния окружающего выработку массива рассматривается плоская задача теории упругости, схема которой представлена на рис. 1.

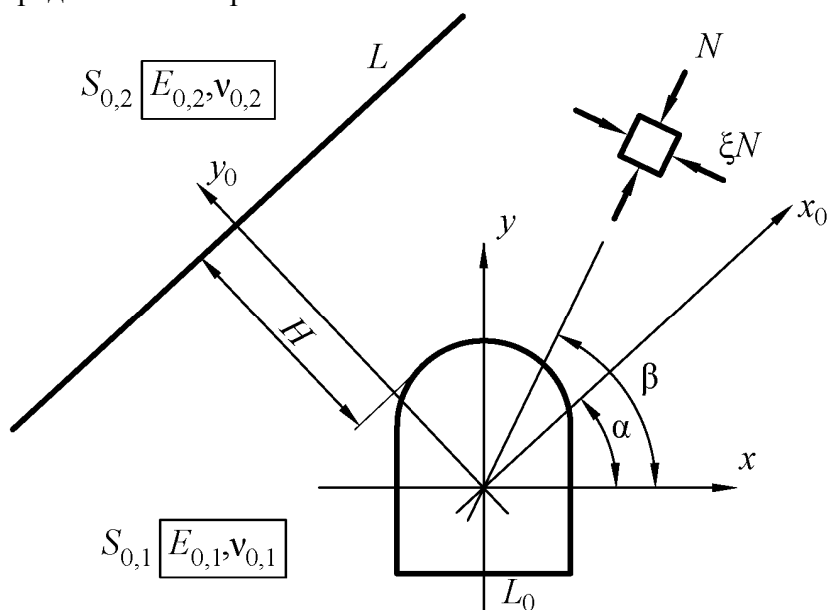


Рис. 1. Схема рассматриваемой задачи

Здесь среда $S_{0,1}$ с модулем деформации $E_{0,1}$ и коэффициентом Пуассона $\nu_{0,1}$ ослаблена отверстием L_0 . В среде действует поле начальных сжимающих напряжений, направление большего из которых образует с горизонталью угол β . Линия L , образуя с горизонталью угол α , отделяет среду $S_{0,1}$ от среды $S_{0,2}$ с характеристиками $E_{0,2}$ и $\nu_{0,2}$. На линии контакта сред выполняется условие равенства дополнительных напряжений и смещений, контур отверстия свободен от внешних сил.

Решение задачи поставленной задачи получено с помощью теории функций комплексного переменного. Напряженно-деформированное состояние рассматриваемых сред описывается с помощью потенциалов Колосова-Мусхелишвили $\varphi_{0,j}(z)$, $\psi_{0,j}(z)$ ($j = 0, 1$) [5], представляющих собой комплексные функции, регулярные в соответствующих областях. Каждая из

функций $\varphi_{0,1}(z)$, $\psi_{0,1}(z)$ отыскивается в виде двух слагаемых, первое из которых является функцией, регулярной в полной плоскости вне отверстия, второе – функцией, регулярной в нижней полуплоскости.

Используя граничные условия на линии раздела L и свойства интегралов типа Коши, можно получить выражения вторых слагаемых через первые, а затем, с помощью конформного отображения и представления первых слагаемых в виде рядов по отрицательным степеням комплексного переменного определить указанные функции из граничных условий на контуре L_0 . Напряжения и дополнительные смещения в областях $S_{0,j}$ могут быть найдены с помощью известных формул [5].

На рис. 2 показано поперечное сечение рассматриваемой выработки и напряжений на контуре. Исходные данные для расчета принимались следующими: $N_1 = N_2$, $E_{0,2}/E_{0,1} = 0,2$, $\nu_{0,1} = 0,2$, $\nu_{0,2} = 0,35$. Пунктирными линиями показаны напряжения, соответствующие случаю однородного массива пород, соответствующие значения приведены в скобках.

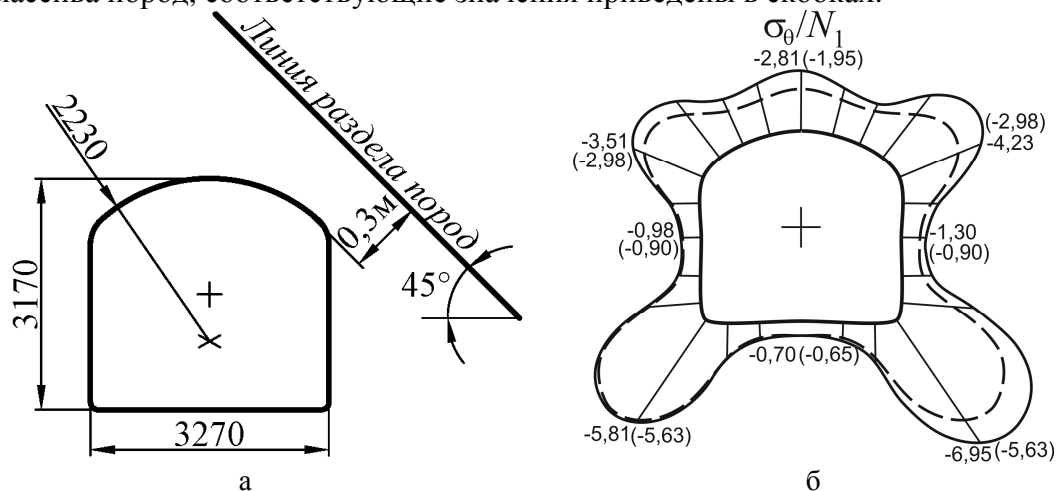


Рис. 2. Поперечное сечение выработки (а) и результаты расчета (б)

Наличие вблизи выработки слоя пород с меньшим модулем деформации приводит к увеличению напряжений на контуре выработки. Увеличение максимальных напряжений на контуре, возникающих в месте сопряжения подошвы со стенами выработки, составляет 23%, рост максимальных напряжений в своде выработки – 42%. Таким образом, наличие границы раздела существенно влияет на напряженное состояние массива и должно учитываться при оценке устойчивости выработки.

Список литературы

1. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений: учеб. для вузов. – 2-е изд. – М.: Недра, 1994. – 381с.
2. Саммаль А.С., Фотиева Н.Н., Деев П.В. Оценка устойчивости пород вокруг горных выработок при тектонических и сейсмических воздействиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003. №5. 2003. С. 186-189.

3. Саммаль А.С., Анциферов С.В., Деев П.В., Сергеев С.В. Оценка устойчивости массива при скважинной добыче богатых железных руд // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2016. №3, Т.1. 2016. С.176-179.
4. Афанасова О.В. Определение условных зон неупругих деформаций вокруг необлицованного тоннеля в неоднородном массиве пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003. № 6. С. 183-185.
5. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М.: Наука, 1966. – 709с.

References

1. Bulychev N.S. Mechanics of underground structures: textbook for universities. – 2nd ed. – М.: Nedra, 1994. – 381p.
2. Sammal A.S., Fotieva N.N., Deev P.V. Assessment of rock stability around mine workings under tectonic and seismic influences // Mining information and analytical Bulletin. 2003. No. 5. 2003. P. 186-189.
3. Sammal A.S., Antsiferov S.V., Deev P.V., Sergeev S.V. assessment of the stability of the massif during borehole production of rich iron ores // Fundamental and applied issues of mining Sciences. 2016. No. 3, Vol. 1. 2016. P. 176-179.
4. Afanaseva O.V. Determination of conditional zones of inelastic deformation around an unlined tunnel in a heterogeneous array of rocks // Mining information-analytical Bulletin. 2003. No. 6. P. 183-185.
5. Muskhelishvili N.I. Some basic problems of mathematical theory of elasticity. – М.: Science, 1966. – 709p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Деев Петр Вячеславович – доктор технических наук, доцент, dodysya@yandex.ru	Deev Petr Vyacheslavovich – doctor of technical sciences, associate professor, dodysya@yandex.ru
Цуканов Александр Александрович – аспирант, dekartkeyn@mail.ru	Tsukanov Alexander Alexandrovich – postgraduate student, dekartkeyn@mail.ru
Тульский государственный университет, Тула, Россия	Tula State University, Tula, Russia

Получена 09.09.2019