

средственной почвы пласта. Очевидно, это связано с наличием в боках выработки слабых вмещающих пород. При этом деформирование носит пластический характер.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические указания по исследованию горного давления на угольных и сланцевых шахтах. – Л.: ВНИМИ. – 1973. – 102с.
2. Черняк И.Л. Повышение устойчивости подготовительных выработок. – М.: Недра, 1993. – 256с.
3. Плетнев В.А., Касьян Н.Н., Петренко Ю.А., Новиков А.О., Сахно И.Г. Результаты внедрения анкерных систем для поддержания горных выработок на шахте «Добропольская»// Геотехнологии и управление производством XXI века. Монография в 2-х томах. ДонНТУ, ДЦНПГО, 2006.- с.39-44.
4. Новиков А.О., Сахно И.Г. Исследование особенностей деформирования породного массива, вмещающего выработку, закрепленную анкерной крепью// Известия Донецкого горного института. – Донецк: ДонНТУ, 2007. – №1. – С. 82-88.
5. Новиков А.О., Гладкий С.Ю., Шестопалов И.Н. Об особенностях деформирования породного массива, вмещающего подготовительные выработки с анкерным креплением //Известия Донецкого горного института. – Донецк: ДонНТУ, 2008. – №1. – С.120-129.

УДК 622.28

Данилова Л.А., Тульский государственный университет. Россия

РАСЧЕТ КРУГОВОЙ ТОННЕЛЬНОЙ ОБДЕЛКИ С ВНУТРЕННИМ КРУГОВЫМ КАНАЛОМ ПРИ ДЕЙСТВИИ СОБСТВЕННОГО ВЕСА ПОРОД

В качестве одного из перспективных направлений совершенствования конструкций крепления канализационных тоннелей можно рассматривать создание специальных каналов внутри обделок, предназначенных для прокладки кабелей и трубопроводов. Это позволяет освободить рабочее пространство в тоннелях и уменьшить негативное воздействие агрессивной среды внутри коллекторных тоннелей на проложенные в них коммуникации. Однако каналы, являясь дополнительным концентратором напряжений, могут существенно снижать несущую способность обделки в целом, поэтому их устройство должно быть обосновано соответствующим расчетом.

В основу математического моделирования обделок тоннелей с внутренними каналами положены современные представления механики подземных соору-

жений о взаимодействии подземной конструкции и окружающего массива грунта как единой деформируемой системы. С этой целью рассматривается соответствующая плоская задача теории упругости, расчетная схема которой приведена на рисунке 1.

Изотропная среда S_0 , моделирующая массив пород, характеризуется модулем деформации E_0 и коэффициентом Пуассона ν_0 .

Круговое кольцо S_1 , моделирующее обделку тоннеля, ограниченное радиусами R_0 и R_1 , имеет внутренний канал радиусом R_2 .

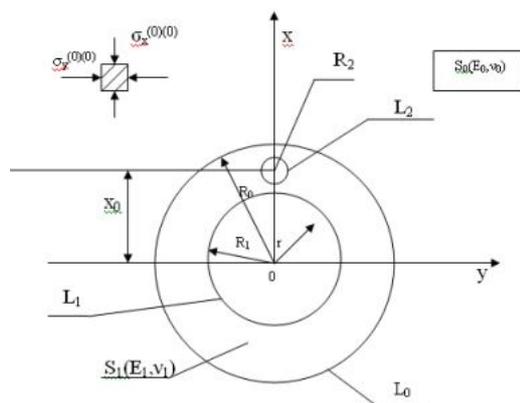


Рис. 1. Расчетная схема

Материал кольца обладает деформационными характеристиками E_1, ν_1 . Кольцо деформируется совместно со средой S_0 , т.е. на линии контакта L_0 выполняются условия непрерывности векторов смещений и полных напряжений. Контуры L_1 и L_2 свободны от действия внешних сил.

Решение поставленной задачи основано на использовании методов теории аналитических функций комплексного переменного [1, 2, 3].

После введения комплексных потенциалов Колосова-Мусхелишвили $\varphi_j(z)$, $\chi_j(z)$, регулярных в соответствующих областях S_j ($j=0,1$) и связанных с напряжениями и смещениями известными соотношениями [1, 2], граничные условия поставленной задачи принимают вид:

$$\varphi_1(t) + (t - \bar{t})\overline{\varphi_1'(t)} + \overline{\chi_1(t)} = \varphi_0(t) + (t - \bar{t})\overline{\varphi_0'(t)} + \overline{\chi_0(t)} - \alpha * \gamma H\left(\frac{1+\lambda}{2}t - \frac{1-\lambda}{2}\bar{t}\right) \quad \text{на контуре } L_0 \quad (1)$$

$$\alpha_1 \varphi_1(t) - (t - \bar{t})\overline{\varphi_1'(t)} - \overline{\chi_1(t)} = \frac{G_1}{G_0} \left[\alpha_0 \varphi_0(t) - (t - \bar{t})\overline{\varphi_0'(t)} - \overline{\chi_0(t)} \right]$$

$$\varphi_1(t) + (t - \bar{t})\overline{\varphi_1'(t)} + \overline{\chi_1(t)} = 0 \quad \text{на контуре } L_1 \quad (2)$$

$$\varphi_1(t) + (t - \bar{t})\overline{\varphi_1'(t)} + \overline{\chi_1(t)} = 0 \quad \text{на контуре } L_2 \quad (3)$$

$$t = \begin{cases} R_0 \sigma, & \text{на контуре } L_0 \\ R_1 \sigma, & \text{на контуре } L_1 \\ R_2 \sigma + x_0, & \text{на контуре } L_2 \end{cases}$$

$$\alpha_j = 3 - 4\nu_j; \quad G_j = \frac{E_j}{2(1 + \nu_j)}; \quad (j = 0, 1)$$

γ - удельный вес пород, H - глубина заложения тоннеля, отсчитываемая от оси туннеля, λ –коэффициент бокового давления пород в ненарушенном массиве, α^* - коэффициент, позволяющий учитывать отставание возведения обделки от забоя выработки.

Комплексные потенциалы $\varphi_1(z)$, $\chi_1(z)$ в области S_1 , регулярные вне контуров L_1 и L_2 , а также внутри контура L_0 , представляются в виде рядов:

$$\varphi_1(z) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n^{(1)(1)} \left(\frac{z}{R_0}\right)^{-n} + \sum_{n=0}^{\infty} c_n^{(3)(1)} \left(\frac{z}{R_0}\right)^n + \sum_{n=1}^{\infty} \tilde{C}_n^{(1)} \left(\frac{z-x_0}{R_0}\right)^{-n} \quad (4)$$

$$\chi_1(z) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n^{(2)(1)} \left(\frac{z}{R_0}\right)^{-n} + \sum_{n=0}^{\infty} c_n^{(4)(1)} \left(\frac{z}{R_0}\right)^n + \sum_{n=1}^{\infty} \tilde{C}_n^{(2)} \left(\frac{z-x_0}{R_0}\right)^{-n} \quad (5)$$

Потенциалы $\varphi_0(z)$, $\chi_0(z)$, характеризующие напряженное состояние бесконечной области S_0 , имеют вид:

$$\varphi_0(z) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n^{(1)(0)} \left(\frac{z}{R_0}\right)^{-n}; \quad \chi_0(z) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n^{(2)(0)} \left(\frac{z}{R_0}\right)^{-n} \quad (6)$$

Здесь $c_n^{(k)(1)}$, $\tilde{C}_n^{(s)}$ ($k = \overline{1, 4}$, $s = 1, 2$) - неизвестные коэффициенты.

На первом этапе решения, следуя работе [3], выражения для комплексных потенциалов (4)-(5) подставляются в граничное условие (3). Это позволяет получить выражения, связывающие коэффициенты $\tilde{C}_n^{(s)}$ ($s = 1, 2$) и $c_n^{(k)(1)}$ ($k = \overline{1, 4}$).

Далее подставляются выражения для комплексных потенциалов (4)-(6) в граничные условия (1). Откуда, после некоторых преобразований находятся соотношения, связывающие коэффициенты $c_n^{(k)(1)}$ ($k = \overline{1, 4}$) и $c_n^{(s)(0)}$ ($s = 1, 2$).

На заключительном этапе, полученные соотношения подставляются в условие (2). В результате удается построить итерационный процесс вычисления не-

известных коэффициентов $c_n^{(s)(0)}$ ($s=1,2$), в нулевой итерации которого полагается $\tilde{C}_n^{(s)} = 0$ ($s=1,2$).

После нахождения искомым коэффициентов разложения, определяются дополнительные напряжения на всех контурах по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma_r^{(1)} &= \operatorname{Re} \left\{ \varphi_1'(z) - e^{2i\theta} \left[(\bar{z} - z)\varphi_1'(z) - z'\varphi_1'(z) + \chi_1'(z) \right] \right\} \\ \sigma_\theta^{(1)} &= \operatorname{Re} \left\{ e^{2i\theta} \left[(\bar{z} - z)\varphi_1'(z) - z'\varphi_1'(z) + \chi_1'(z) \right] + 2\varphi_1'(z) \right\} \\ \tau_{r\theta}^{(1)} &= \operatorname{Im} \left\{ e^{2i\theta} \left[(\bar{z} - z)\varphi_1''(z) - z'\varphi_1'(z) + \chi_1'(z) \right] \right\}\end{aligned}$$

Найденные дополнительные напряжения суммируются с соответствующими начальными напряжениями.

На основе полученного решения разработан полный алгоритм, и в настоящее время составляется программное обеспечение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мусхелишвили И.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М., «Наука», 1966.
2. Шерман Д.И. Об одном методе решения некоторых задач теории упругости для двухсвязных областей. – «ДАН СССР», 1947.
3. Фотиева Н.Н., Козлов А.Н. Расчет крепи параллельных выработок в сейсмических районах. – М.: Недра, 1992.

УДК 622.28

Саммаль С.А. Тульский государственный университет. Россия

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОБДЕЛОК ТОННЕЛЕЙ ПРОИЗВОЛЬНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

С целью математического моделирования напряженного состояния обделок тоннелей произвольного поперечного сечения при динамических воздействиях рассматривается плоская стационарная динамическая задача теории упругости о распространении плоской продольной волны сжатия или сдвига в однородной изотропной линейно - деформируемой среде, ослабленной отверстием произвольной формы, подкрепленным кольцом из другого материала. Предполагается, что падающая волна является гармонической, имеет круговую частоту $\tilde{\omega}_0$ и