ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ВЫРАБОТКИ В СКАЛЬНОМ МАССИВЕ, ЗАПОЛНЕННОЙ НИЗКОМОДУЛЬНОЙ СРЕДОЙ ПРИ БОКОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ СЕЙСМОВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ

Т.А.ДЖАЛИЛОВА, К.АТАБАЕВ

Ушбу мақолада тоғ жинсларига жойлашган чексиз узунликдаги деформацияланадиган цилиндрсимон жисмларга сейсмик тўлқиннинг таъсири масаласи ўрганилади. Цилиндирсимон жисмнинг ички қисми миқдор жиҳатидан кичик модулга эга пескоцемент ёки пеноэпоксид билан тўлдирилган деб қабул қилиниб, масала эластиклик назарияси асосида ҳал қилинади.

The problem about interaction flat seismic waves with infinitely long deformable cylinder in a rocky file is considered. The cylinder is filled short bath by a material of type pescocement or penoapoksid. The problem is solved in elastic statement.

Рассматривается задача о взаимодействии плоской сейсмовзрывной волны с бесконечно-длинным деформируемым цилиндром в скальном массиве. Цилиндр заполнен низкомодульным материалом типа пескоцемент или пеноэпоксид.

Задача решается в упругой постановке. Для численного решения задачи применяется разностный метод М.Л.Уилкинса $[1,2]$. Эта задача позволяет предварительно оценить напряженно-деформированное состояние различных многослойных тоннелей, сооружений, а также защитного экрана и отсека вскрытия расположенного над крышей цилиндрического тела в скальном массиве от сейсмовоздействия наземного взрыва.

Пусть фронт распространяющейся в скале плоской волны в момент $t = 0$ касается внешней поверхности толстостенного цилиндра, заполненного из низкомодульного материала. По заданной интенсивности плоской волны необходимо определить напряженно –деформированные состояния и кинематические параметры скалы и цилиндра с учетом дифракции и деформируемости материала цилиндра.

Так как задача решается в двумерной нестационарной постановке, то уравнения движения скалы и кольцевого элемента цилиндрической выработки в переменной Лагранжа (r,φ) имеют вид:

$$\ddot{U}_r = \frac{1}{\rho_0}\left[\frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{(\sigma_{rr} - \sigma_{\varphi\varphi})}{r}\right],$$

$$\ddot{U}_\varphi = \frac{1}{\rho_0}\left[\frac{\partial \sigma_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial \sigma_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} + 2\frac{\sigma_{r\varphi}}{r}\right], \qquad (1)$$

где ρ_0-начальная плотность, U_r, U_φ – радиальное и угловое перемещения сред, σ_{rr}, $\sigma_{r\varphi}, \sigma_{\varphi\varphi}$-компоненты напряжений. Согласно закона Гука имеем:

$$\sigma_{rr} = \lambda\varepsilon + 2G\cdot\varepsilon_{rr}, \sigma_{\varphi\varphi} = \lambda\varepsilon + 2G\cdot\varepsilon_{\varphi\varphi}, \quad \sigma_{r\sigma} = G\cdot\varepsilon_{r\varphi}, \qquad (2)$$

$$\varepsilon_{rr} = \partial u_r/\partial r, \quad \varepsilon_{\varphi\varphi} = (1/r)\partial u_\varphi/\partial\varphi + u_r/r,$$

$$\sigma_{r\varphi} = \partial u_r/\partial r + (1/r)\partial u_r/\partial\varphi - u_\varphi/r, \qquad (3)$$

где λ, G-постоянные коэффициенты Ламе.

Начальными условиями задачи являются параметры скалы за фронтом падающей на цилиндр плоской волны, которые предполагаются заданными функциями времени. В качестве граничных условий принимаются условия прилипания между скалой и сплошным цилиндром.

Допустим, что напряжение в скале за фронтом плоской волны согласно $[3]$ задано в виде:

$$\sigma_0(t) = \sigma^0_{\max} - K_1K_2(t-\tau)/[(K_1+K_2-1)t - K_1K_2\tau] \quad (4)$$

$$\sigma^0_{\max} = 100 M\ddot{I}\grave{a}\ , K_1 = 0{,}001615, K_2 = 0{,}872 \quad (5)$$

$$\tau = 1{,}3 \tilde{n}\mathring{a}\hat{e}$$

Радиус цилиндрической выработки имеет величину $r = R_3 = 3{,}6$ м, а материал цилиндра пескоцемент и пеноэпоксид обладают следующими упругими характеристиками:

$$\lambda_1 = 432{,}1 M\ddot{I}\grave{a}\ , G_1 = 185{,}19 M\ddot{I}\grave{a}$$

$$\rho_{01} = 2\hat{E}\acute{I}\ \cdot \tilde{n}\mathring{a}\hat{e}^2 / \grave{\imath}^{\ 4}, \grave{a}_{01} = 633\grave{\imath}\ / \tilde{n}\mathring{a}\hat{e} \quad (6)$$

$$\lambda_1 = 6{,}1364 M\ddot{I}\grave{a}\ , G_2 = 2{,}4545 M\ddot{I}\grave{a}$$

$$\rho_{01} = 0{,}1\hat{E}\acute{I}\ \cdot \tilde{n}\mathring{a}\hat{e}^2 / \grave{\imath}^{\ 4}, \grave{a}_{01} = 743\grave{\imath}\ / \tilde{n}\mathring{a}\hat{e} \quad (7)$$

В этом случае для скального массива принято:

$$\lambda_{\tilde{n}\hat{e}} = 21{,}67 \cdot 10^{-3} M\ddot{I}\grave{a}\ , G_{\tilde{n}\hat{e}} = 21{,}67 \cdot 10^{3} M\ddot{I}\grave{a}$$

$$\rho_{\tilde{n}\hat{e}} = 2{,}6\hat{E}\acute{I}\ \cdot \tilde{n}\mathring{a}\hat{e}^2 / \grave{\imath}^{\ 4}, \grave{a}_{\tilde{n}\hat{e}} = 5000\grave{\imath}\ / \tilde{n}\mathring{a}\hat{e} \quad (8)$$

Анализируя результатов полученных на основе численного расчета на ПЭВМ уравнений (1) с учетом (2), (8) заметим, что:

- в случаях заполнения цилиндрической выработки пескоцементом или пеноэпоксидом в интервале времени $0 \le t \le 0{,}008 \tilde{n}\mathring{a}\hat{e}$, когда плоская волна прошла расстояние равное 5,5 диаметра выработки, на поверхности выработки происходит снижение уровня напряжений $\sigma_{rr}, \sigma_{\varphi\varphi}$ например, радиальное напряжения $\sigma_{rr}(R_{3,} 0, t)$ уменьшается до значений $\sigma_{rr\max}(R_{3,} 0, t) \approx -12\hat{e}\tilde{a}/\tilde{n}\grave{\imath}$ для пеноэпоксида и $\sigma_{rr\max}(R_{3,} 0, t) \approx 200\hat{e}\tilde{a}/\tilde{n}\grave{\imath}$ для пескоцемента;

- процесс снижения уровня $\grave{a}_{rr,}$ становится более интенсивным и заметным при заполнении цилиндра пеноэпоксидом, нежели пескоцементом;

- согласно проведенным расчетам в интервале времени $0{,}003 \tilde{n}\mathring{a}\hat{e} \prec 1 \le 0{,}008 \tilde{n}\mathring{a}\hat{e}$ на поверхности цилиндрической выработки появляются растягивающие усиля $\sigma_{rr\eth\grave{a}\tilde{n}\grave{o}\ddot{u}}(R_{3,} 0, t) \approx 18\hat{e}\tilde{a}/c\grave{\imath}^{\ 2}$ -для пеноэпоксида и $\sigma_{rr\eth\grave{a}\tilde{n}\grave{o}\ddot{u}}(R_{3,} 0, t) \approx 300\hat{e}\tilde{a}/c\grave{\imath}^{\ 2}$ -для пескоцемента.

Эти и другие результаты расчетных исследований рассматриваемой задачи могут быть использованы для изучения возможных откольных явлений и зон разрушения пород вблизи поверхности цилиндрической выработки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Вычислительные методы в гидродинамике. –М.: Мир, 1967,-384 с.
2. Атабаев К., Мамадалиев Н., Ханов Р.К., Шамгунов Ш.Д. Численное исследование процесса взаимодействия плоской волны с многослойным цилиндром в грунте.- ПМТФ.- 1992.- №5.- С.154-164.
3. Броуд Г. Расчет взрывов на ЭВМ. Подземные взрывы.- М.: Мир, 1975.- 162 с.

Андижон муҳандислик иқтисодиёт институти
2011 йил 7 январда қабул қилинган
(Тақризчи: проф. В.Муллажонов)