

Кульбаев М.

**РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭСКАЛАТОРНЫХ ТОННЕЛЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОСТОЯННЫХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК**

*M. Kulbaev*

**CALCULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF TUNNELS ESCALATOR UNDER CONSTANT AND SEISMIC LOADS**

УДК: 622.011.4; 622.023

*В статье на основе вариационной формулировки метода конечных элементов исследуется статическое и сейсмическое напряженное состояние эскалаторного тоннеля в трехмерной постановке. Расчет напряженно-деформированного состояния обделок проводился под действием постоянных нагрузок и сейсмического воздействия.*

*In this paper, based on the variational formulation of finite element method examines the static and seismic stress state of escalator tunnel in three-dimensional formulation. Calculation of stress-strain state of lining was carried out under the permanent loads and seismic impact.*

Целью проведения расчета НДС эскалаторных тоннелей при воздействии постоянных, сейсмических и при особом сочетании нагрузок является научное обоснование возведения обделок его из монолитного железобетона в условиях г. Алматы, позволяющего получить значительный экономический эффект по сравнению с обделкой из чугунных тубингов. Известно, что стоимость одного кубометра сборного железобетона примерно в три раза меньше стоимости одной тонны чугунных тубингов. Можно предположить, что при использовании монолитного железобетона экономический эффект будет ещё больше. Кроме того, разработка практических рекомендаций по возможному конструктивно-технологическому решению обделок эскалаторных тоннелей из монолитного железобетона с учетом инженерно-геологических особенностей г. Алматы.

Современные методы расчета напряжений и соответствующие им программные комплексы позволяют эффективно оценить несущую способность обделки эскалаторного тоннеля и определить напряженно-деформированное состояние окружающего грунтового массива в объемной постановке задачи. Использование МКЭ дает возможность, в полной мере, учитывать конструктивные особенности обделки в объемной постановке задачи и повысить точность получаемых результатов. При этом, сравнительно легко решается задача изменения физико-механических характеристик грунтов, а также изменения граничных условий и нагрузок. Кроме того, МКЭ позволяет выполнять анализ НДС от основного и особого сочетания нагрузок.

Исследование напряженно-деформированного состояния обделки проводилось под действием постоянных нагрузок и сейсмического воздействия.

При исследовании НДС обделки от постоянных нагрузок (статический расчет) для материала обделки эскалаторного тоннеля были приняты следующие физико-механические характеристики: приведенный модуль упругости бетона класса В30 принят  $E_b = 35200 \text{ МПа}$ , коэффициент Пуассона бетона  $\nu_b = 0,2$ , плотность  $\rho_b = 2,585 \text{ т/м}^3$ . Для тяжелого бетона класса В30 расчетное сопротивление сжатию для тяжелого бетона класса В30 –  $R_b = 15,5 \text{ МПа}$ , расчетное сопротивление растяжению  $R_{bt} = 1,1 \text{ МПа}$  [1-3]. Расчеты на сейсмическое воздействие выполняются с использованием двухкомпонентной расчетной акселерограммы, действующей на глубине  $h = 59,0 \text{ м}$ .

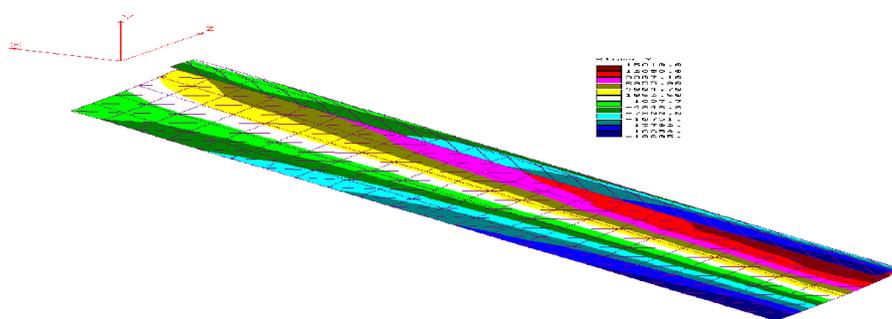
**Расчет и анализ результатов трехмерного НДС обделки эскалаторного тоннеля при воздействии постоянных нагрузок.** Тангенциальные напряжения на внешней поверхности обделки, соответствующие вычисленным деформациям, представлены на рисунке 1. Максимальные растягивающие напряжения наблюдаются в нижней зоне тоннеля на уровне горизонтального диаметра и достигают величину  $\sigma_{\text{max}}^{\text{растяг.}} = 15,8 \text{ МПа}$ . Наибольшие сжимающие напряжения также возникают в нижней зоне тоннеля в лотке и своде и достигают величину  $\sigma_{\text{max}}^{\text{сжимаю.}} = 19,6 \text{ МПа}$ . Тангенциальные напряжения на внутренней поверхности обделки представлены на рисунке 2. Максимальные растягивающие напряжения наблюдаются в нижней зоне тоннеля, в лотке и в своде и достигают величину  $\sigma_{\text{max}}^{\text{растяг.}} = 19,4 \text{ МПа}$ . Наибольшие сжимающие напряжения возникают на уровне горизонтального диаметра и достигают величину  $\sigma_{\text{max}}^{\text{сжимаю.}} = 25,3 \text{ МПа}$ .

Распределение нормальных продольных напряжений на внешней поверхности обделки представлено на рисунке 3. Растягивающие напряжения достигают величину  $\sigma_{\text{max}}^{\text{растяг.}} = 6,0 \text{ МПа}$  и возникают в нижней зоне обделки вблизи лотка. Максимальные сжимающие напряжения достигают величину  $\sigma_{\text{max}}^{\text{сжимаю.}} = 30,9 \text{ МПа}$  и наблюдаются в ограниченной части нижней зоны обделки (длиной около 5,5 м) вблизи свода. Распределение нормальных продольных напряжений на внутренней поверхности обделки представлено на рисунке 4. Растягивающие напряжения достигают величину  $\sigma_{\text{max}}^{\text{растяг.}} = 10,2 \text{ МПа}$

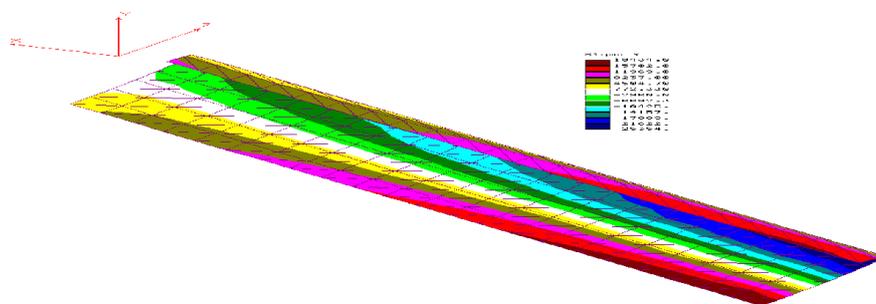
и возникают в нижней лотко-вой зоне обделки. Максимальные сжимающие напряжения достигают величину  $\sigma_{\max}^{\text{сжимаю.}} = 22,8 \text{ МПа}$  и наблюдаются в ограниченной нижней зоне свода (длиной около 3,5 м).

**Расчет и анализ результатов трехмерного НДС обделки эскалаторного тоннеля при воздействии сейсмических нагрузок.** Для анализа напряженно-деформированного состояния конструкции обделки тоннеля в целом при сейсмическом воздействии выбран момент времени  $t^* = 5,19 \text{ с}$ , которому соответствуют экстремальные значения напряжений. На рисунках 5 и 6 представлены распределения нормальных тангенциальных сейсмических напряжений в обделке тоннеля. На внешней поверхности макси-

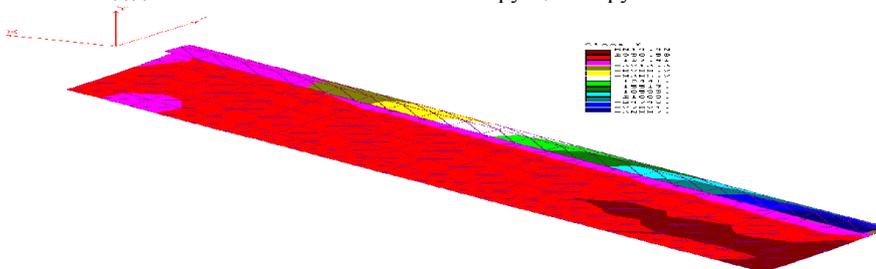
мальные растягивающие тангенциальные напряжения достигают величину  $\sigma_{\max}^{\text{сжимаю.}} = 0,81 \text{ МПа}$  и наблюдаются в перпендикулярном вертикальному диаметральному сечении, максимальные сжимающие напряжения достигают величину  $\sigma_{\max}^{\text{сжимаю.}} = 3,07 \text{ МПа}$  в опорной лотковой зоне. На внутренней поверхности наибольшие растягивающие тангенциальные напряжения достигают величину  $\sigma_{\max}^{\text{растяг.}} = 2,68 \text{ МПа}$  в нижней зоне лотка тоннеля, наибольшие сжимающие напряжения достигают величину  $\sigma_{\max}^{\text{сжимаю.}} = 4,43 \text{ МПа}$  в сечении перпендикулярном к вертикальному направлению в опорной зоне.



**Рис. 1.** Распределение тангенциальных напряжений на внешней поверхности обделки (кПа) под действием собственного веса конструкции и грунтового массива.



**Рис. 2.** Распределение тангенциальных напряжений на внутренней поверхности обделки (кПа) под действием собственного веса конструкции и грунтового массива.



**Рис. 3.** Распределение продольных напряжений на внешней поверхности обделки (кПа) под действием собственного веса конструкции и грунтового массива.

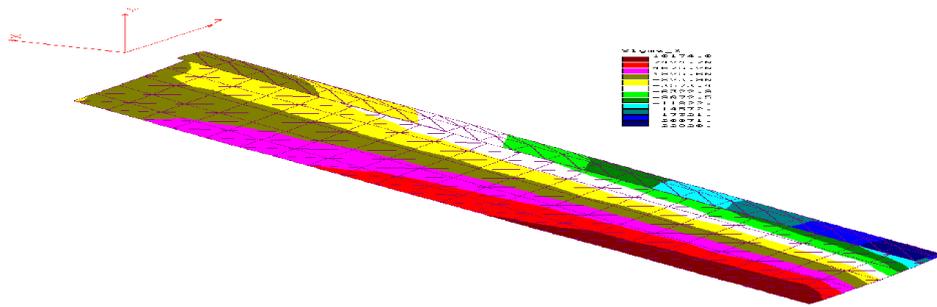


Рис. 4. Распределение продольных напряжений на внутренней поверхности обделки (кПа) под действием собственного веса конструкции и грунтового массива.

На рисунках 7 и 8 даны распределения нормальных продольных сейсмических напряжений в обделке. На внешней поверхности максимальные растягивающие напряжения достигают величину  $\sigma_{\max}^{\text{растяг.}} = 0.58 \text{ МПа}$  и наблюдаются в ограниченной нижней зоне обделки. Наибольшие сжимающие напряжения достигают величину  $\sigma_{\max}^{\text{сжимаю.}} = 1,3 \text{ МПа}$  и возникают в лотковой опорной зоне.

На внутренней поверхности наибольшие растягивающие напряжения достигают величину  $\sigma_{\max}^{\text{растяг.}} = 1.07 \text{ МПа}$  в ограниченной опорной зоне свода, наибольшие сжимающие напряжения достигают величину  $\sigma_{\max}^{\text{сжимаю.}} = 1,41 \text{ МПа}$  в опорной зоне в перпендикулярном вертикальному направлению диаметрального сечения. В остальных зонах тоннеля продольные растягивающие напряжения на внутренней поверхности не превышают  $\sigma^{\text{растяг.}} = 0.6 \text{ МПа}$ .

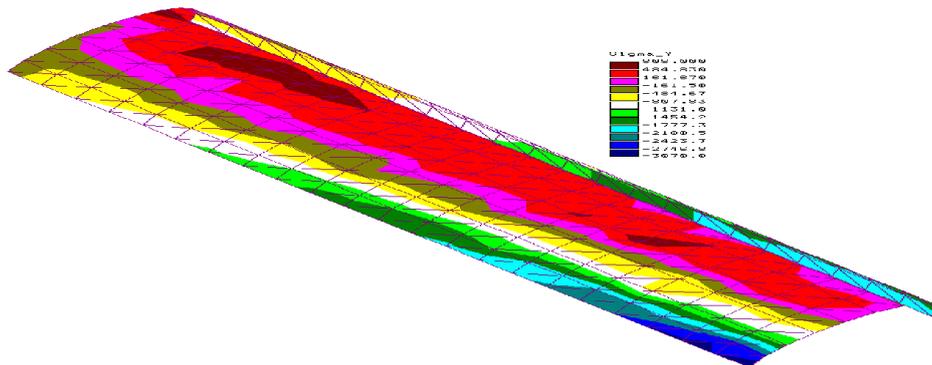
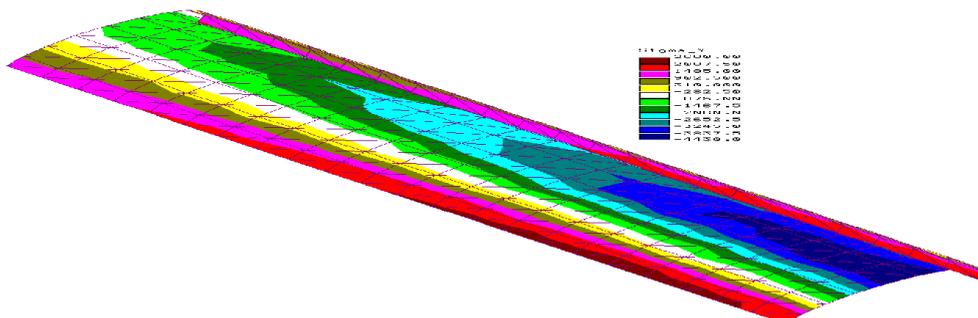
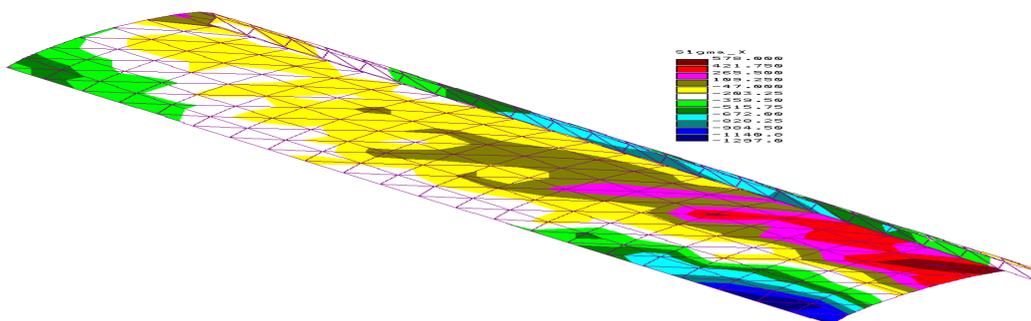


Рис. 5. Распределение тангенциальных напряжений на внешней поверхности обделки (кПа) при сейсмическом воздействии в момент времени  $t^* = 5.19 \text{ с}$ .

Анализ полученных результатов позволил установить, что максимальные растягивающие тангенциальные напряжения на внешней поверхности обделки зафиксированы в нижней зоне тоннеля на уровне горизонтального диаметра  $\sigma_{\max}^{\text{растяг.}} = 15.8 \text{ МПа}$ , а на внутренней поверхности в нижней зоне, лотке и своде  $\sigma_{\max}^{\text{растяг.}} = 19.4 \text{ МПа}$ . Сейсмические напряжения составляют не более 14-18% от напряжений при постоянных нагрузках, причем приурочены к тем же зонам и величины этих напряжений превышают расчетные значения, поэтому требуют выполнения тщательного армирования.

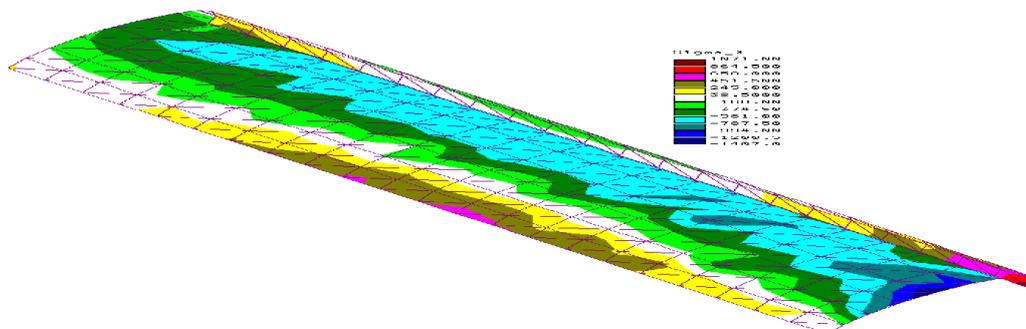


**Рис. 6.** Распределение тангенциальных напряжений на внутренней поверхности обделки (кПа) при сейсмическом воздействии в момент времени  $t^* = 5.19$  с.



**Рис. 7.** Распределение продольных напряжений на внешней поверхности обделки (кПа) при сейсмическом воздействии в момент времени  $t^* = 5.19$  с.

По результатам проведенных исследований даны рекомендации по подбору площади и класса продольной и кольцевой арматуры. Разработанные рекомендации позволяют сделать вывод о целесообразности сооружения эскалаторного тоннеля с обделкой из монолитного железобетона в условиях г. Алматы.



**Рис. 8.** Распределение продольных напряжений на внутренней поверхности обделки (кПа) при сейсмическом воздействии в момент времени  $t^* = 5.19$  с.

#### Список литературы:

1. Maccan S., Carrieri G., Grasso P., Pelizza S., Paagliacci F. 1996. The Pretunnel: A New Construction Technigue in Mechanized Tunnelling. North American Tunnelling. Washington. pp331-338.
2. Голицынский Д.М., Фролов Б.С., Кавказский В.Н., Укшебаев М.Т., Кульбаев М.Н. Исследование методом моделирования напряженно-деформированного состояния обделки тоннелей станции «Жибек Жолы» г.Алматы.//Метро и тоннели, Москва, №1, 2006, с. 44-45.
3. Зерцалов М.Т., Устинов Д.В., Меркин В.Е., Щекудов Е.В., Укшебаев М.Т., Кульбаев М.Н. Пространственное моделирование сооружения станции метрополитена колонного типа «Байконур» в г.Алматы.//Подземное пространство мира–World underground space», Москва, №4-5, 2006, с.12-14.

**Рецензент: д.т.н., профессор Махметова Н.М.**