

## **Abstract**

*N. M. Mahmetova, S. A. Sadat, V. G. Solonenko*

(Kazakh academy of transport and communications named by M. Tynyshpaev, Almaty, Kazakhstan)

### **CALCULATION STRESS-STRAIN STATE OF ESKALATORNY TUNNELS UNDER THE INFLUENCE OF CONSTANTS AND SEISMIC LOADINGS**

**Keywords:** stress-strain state, lining, accelerogram, stress, displacement.

*Aims.* Scientific justification of construction an lining the eskalatorny of tunnels from monolithic reinforced concrete for the purpose of receiving considerable economic effect in comparison with an lining from pig-iron tubings.

*Methods.* On the basis of a method of final elements in combination with a direct method of Gauss and a method of decomposition of movements in forms of own fluctuations the stress-strain state (SSS) of an lining of an eskalatorny tunnel on various combinations of loadings is studied.

*Results.* Work represents the numerical research directed on studying of the SSS as an lining the eskalatorny of tunnels of the subway, and the surrounding soil massif for construction justification an lining the eskalatorny of tunnels from monolithic reinforced concrete. Multiple numerical experiments on studying of the SSS of designs of an lining the eskalatorny of tunnels on action of constants and seismic loadings are made. By results of the conducted researches recommendations about selection of the area and a class of longitudinal and ring fittings are made. Expediency of construction an lining the eskalatorny of tunnels in the conditions of Alma-Ata from monolithic reinforced concrete for the purpose of increase in rigidity and decrease in sizes of tension in ring sections of an lining on the basis of studying of regularities of distribution of tension in an lining is scientifically proved at constants and seismic loadings.

*Н. М. МАХМЕТОВА, С. А. САДАТ, В. Г. СОЛОНЕНКО*

(Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, Алматы, Казахстан)

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

**Аннотация.** Цели. Научное обоснование возведения обделок эскалаторных тоннелей из монолитного железобетона с целью получения значительного экономического эффекта, по сравнению с обделкой из чугунных тюбингов.

**Методы.** На основе метода конечных элементов (МКЭ) в сочетании с прямым методом Гаусса и методом разложения перемещений по формам собственных колебаний изучено напряженно-деформированное состояние (НДС) обделки эскалаторного тоннеля на различные сочетания нагрузок.

**Результаты.** Работа представляет собой численное исследование, направленное на изучение НДС как обделок эскалаторных тоннелей метрополитена, так и окружающего грунтового массива в целях обоснования сооружения обделок эскалаторных тоннелей из монолитного железобетона. Проведены многовариантные численные эксперименты по изучению НДС конструкций обделки эскалаторных тоннелей на действие постоянных и сейсмических нагрузок. По результатам проведенных исследований даны рекомендации по подбору площади и класса продольной и кольцевой арматуры. Научно обоснована целесообразность возведения обделок эскалаторных тоннелей в условиях г. Алматы из монолитного железобетона с целью увеличения жесткости и снижения величин напряжений в кольцевых сечениях обделки на основе изучения закономерностей распределения напряжений в обделке при постоянных и сейсмических нагрузках

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние, обделка, акселерограмма, напряжение, перемещение.

**Тірек сөздөр:** кернеулі-деформациялық күй, бекітпе, акселерограмма, кернеу, жылжу.

**Keywords:** Stress-strain state, lining, accelerogram, stress, displacement.

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 тюбингов. Известно, что стоимость одного кубометра сборного железобетона примерно в три раза меньше стоимости одной тонны чугунных тюбингов. 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 НДС 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 НДС 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  $E_b = 35200$  МПа, коэффициент Пуассона бетона  $\nu_b = 0,2$ , плотность  $\rho_b = 2,585 \text{ т}/\text{м}^3$ . Для тяжелого бетона класса В30 расчетное сопротивление сжатию для тяжелого бетона класса В30 –  $R_b = 15,5$  МПа, расчетное сопротивление растяжению  $R_{bt} = 1,1$  МПа [1, 2]. Расчеты на сейсмическое воздействие выполняются с использованием двухкомпонентной расчётной акселерограммы, действующей на глубине  $h = 59,0$  м.

Расчет и анализ результатов трехмерного НДС обделки эскалаторного тоннеля при воздействии постоянных нагрузок – собственного веса конструкции и грунтового массива. Тангенциальные напряжения на внутренней поверхности обделки, соответствующие вычисленным деформациям, представлены на рисунке 1. Максимальные растягивающие напряжения наблюдаются в нижней зоне тоннеля, в лотке и в своде и достигают величину  $\sigma_{\max}^{\text{растяг.}} = 19.4 \text{ МПа}$ . Наибольшие сжимающие напряжения возникают на уровне горизонтального диаметра и достигают величину  $\sigma_{\max}^{\text{сжимаю.}} = 25.3 \text{ МПа}$ .

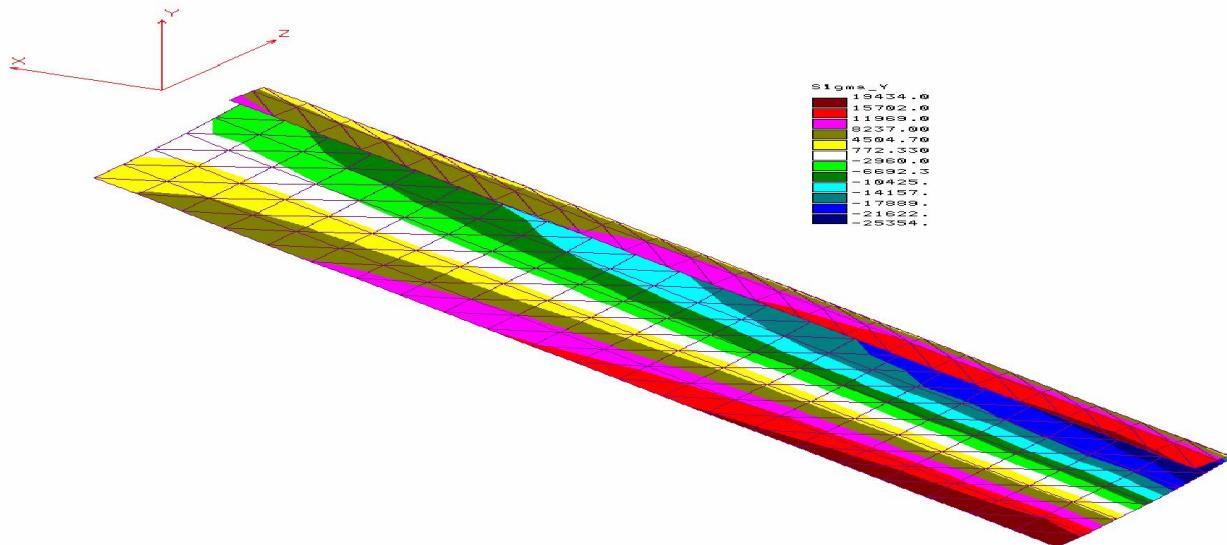


Рисунок 1 – Распределение тангенциальных напряжений на внутренней поверхности обделки (кПа)

Распределение нормальных продольных напряжений на внутренней поверхности обделки представлено на рисунке 2. Растягивающие напряжения достигают величину  $\sigma_{\max}^{\text{растяг.}} = 10.2 \text{ МПа}$  и возникают в нижней лотковой 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).

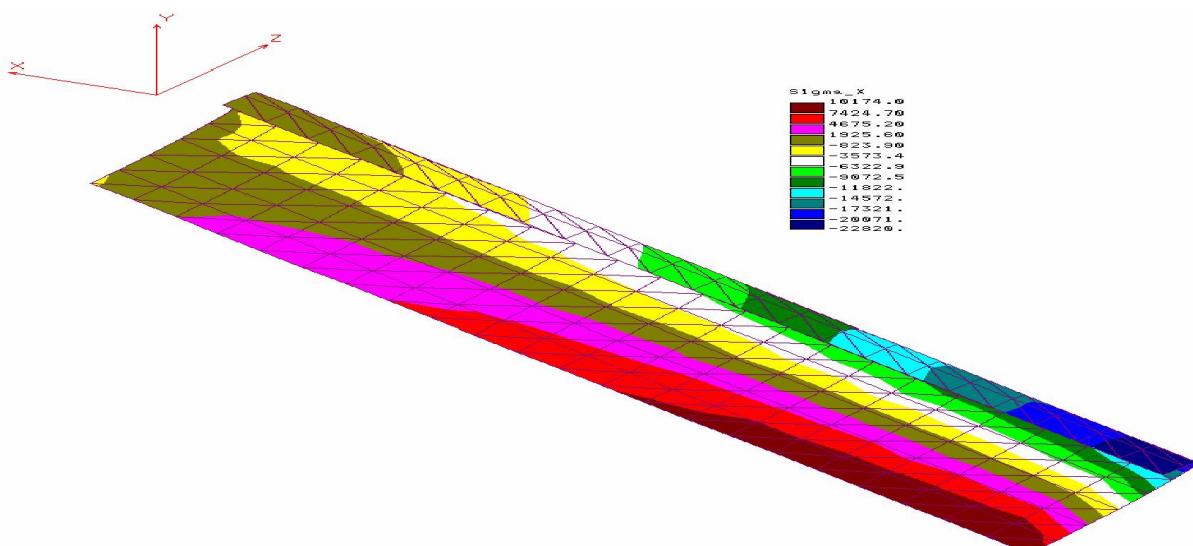


Рисунок 2 – Распределение продольных напряжений на внутренней поверхности обделки (кПа)

*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  $t^* = 5,19$  сек, которому соответствуют экстремальные значения напряжений.

На рисунке 3 представлено распределение нормальных тангенциальных сейсмических напряжений во внутренней обделке тоннеля. 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.

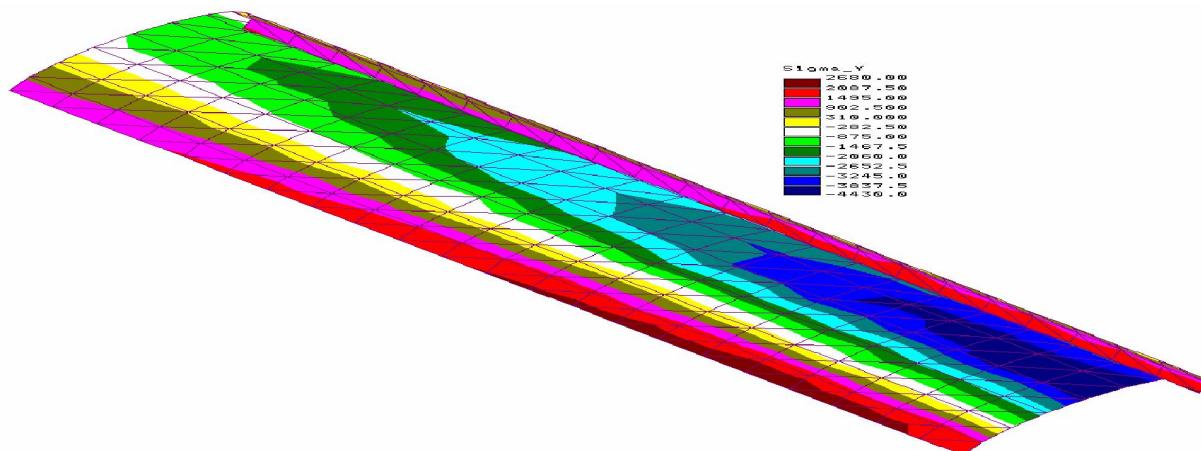


Рисунок 3 – Распределение тангенциальных напряжений на внутренней поверхности обделки (кПа) в момент времени  $t^* = 5.19$  сек

На рисунке 4 дано распределения нормальных продольных сейсмических напряжений во внутренней 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.

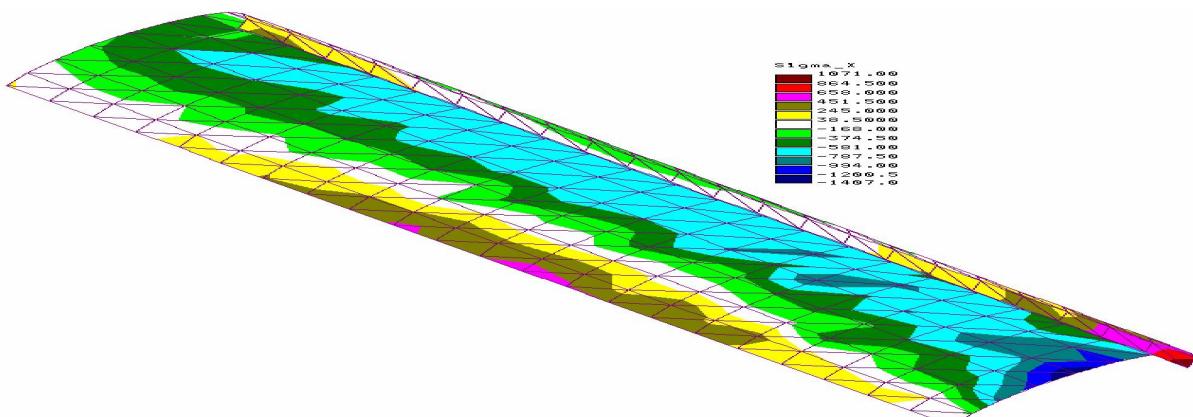


Рисунок 4 – Распределение продольных напряжений на внутренней поверхности обделки (кПа) в момент времени  $t^* = 5.19$  сек

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  $\sigma_{\max}^{\text{сжимаю.}} = 1,41 \text{ MPa}$  в опорной зоне в перпендикулярном вертикальному направлению диаметральном сечении. В остальных зонах тоннеля продольные растягивающие напряжения на внутренней поверхности не превышают  $\sigma^{\text{растяг.}} = 0.6 \text{ MPa}$ .

Анализ полученных результатов позволил установить, что максимальные растягивающие тангенциальные напряжения на внешней поверхности обделки зафиксированы в нижней зоне тоннеля на уровне горизонтального диаметра  $\sigma_{\max}^{\text{растяг.}} = 15.8 \text{ MPa}$ , а на внутренней поверхности в нижней зоне, лотке и своде  $\sigma_{\max}^{\text{растяг.}} = 19.4 \text{ MPa}$ . 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. 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.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Maccan S., Carrieri G., Grasso P., Pelizza S., Paagliacci F. The Pretunnel: A New Construction Technique in Mechanized Tunnelling. North American Tunnelling. – Washington, 1996. – P. 331-338.

2 Махметова Н.М. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния обделки типового участка станции // Вестник КГУСТА. – 2012. – № 3(37). – С. 116-120.

## REFERENCES

1 Maccan S., Carrieri G., Grasso P., Pelizza S., Paagliacci F. The Pretunnel: A New Construction Technique in Mechanized Tunnelling. North American Tunnelling. Washington, 1996. P. 331-338.

2 Mahmetova N.M. Eksperimental'noe issledovanie naprijzhenno-deformirovannogo sostoijniy obdelki tipovogo uchastka stantcii. Westnik KGUSTA. 2012. N 3(37). S. 116-120.

## Резюме

*Н. М. Махметова, С. А. Садат, В. Г. Солоненко*

(М. Тынышбаев атындағы Қазак көлік және коммуникациялар академиясы, Алматы, Қазакстан)

## ТҮРАКТЫ ЖӘНЕ СІЛКІНІС ЖҮКТЕМЕЛЕР ӘСЕРІНДЕГІ ЭСКАЛАТОРЛЫҚ ТОННЕЛДЕРДІҢ КЕРНЕУЛІ-ДЕФОРМАЦИЯЛЫҚ КҮЙІН ЕСЕПТЕУ

*Мақсаты.* Біршама экономикалық тиімділік алу үшін шойын тюбингтерден жасалған эскалаторлық тоннелдердің бекітпесін темір бетоннан жасауды ғылыми тұрғыдан негіздеу.

*Әдістер.* Шекті элементтер, Гаус және жылжуларды еркін тербелістердің формаларына жіктеу әдістері арқылы әртүрлі жүктемелер әсерінде болатын эскалаторлық тоннелдің бекітпесінің кернеулі-деформациялық күйі анықталған.

*Нәтижелері.* Эскалаторлық тоннелдің бекітпесін темір бетоннан жасауды негіздеу мақсатында, метро эскалаторлық тоннелдерінің бекітпелеріндегі кернеулі-деформациялық күйін анықтауға бағытталған ізденісті сандық зерттеу. Тұракты және сілкініс жүктемелер әсерінде болатын эскалаторлық тоннелдердің құрылым бекітпелеріндегі кернеулі-деформациялық күйін анықтау үшін көпвариантты сандық эксперименттер жүргізілді. Жүргізілген ізденістердің нәтижесінде бойлық және сақиналық арматураның ауданы мен класын таңдал алуға кеңес берілген. Бекітпенің көлбесу қималарындағы кернеудің сан мәнін азайту және оның қатаңдығын арттыру максатында, тұракты және сілкініс жүктемелер әсерінен бекітпелердегі кернеудің таралу заңдылықтарын анықтау арқылы, Алматы қаласы жағдайында эскалаторлық тоннелдің бекітпесін темір бетоннан жасау тиімді екендігі ғылыми тұрғыдан негізделген.

**Тірек сөздер:** кернеулі-деформациялық күй, бекітпе, акселерограмма, кернеу, жылжу.

Поступила 21.05.2014 г.