

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-  
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБДЕЛКИ ТИПОВОГО УЧАСТКА  
СТАНЦИИ**

Н.М.МАХМЕТОВА, В.Г.СОЛОНЕНКО, У.С.АЛДЕКЕНОВА  
*E.mail. ksucta@elcat.kg*

*Макалада метрополитен станциясынын типтүү бөлүгүнүн геомеханикалык моделин*

*түзүү жолу менен станциялык тоннелдердин обделкаларынын чыңалган деформациялык абалы эксперименталдык ыкмада изилденет.*

*В статье путем создания геомеханической модели типового участка станции метрополитена исследуется напряженно-деформированное состояние обделки станционных тоннелей экспериментальным методом.*

*In the article by creating a geomechanical model typical area subway stations studied the stress-strain state of the lining of the station tunnel experimental method.*

Модель грунтового массива принята адекватной инженерно-геологическим условиям заложения пилонной станции «Жибек-Жолы» строящегося метрополитена г.Алматы. Учитывая однородность инженерно-геологических условий по длине станционного комплекса, а также значительную его протяженность относительно размеров поперечного сечения, интегральная модель грунтового массива вдоль оси станции ограничена типовым (повторяющимся) участком длиной  $L=10$  м.

Для представленной геомеханической модели, подбор эквивалентного материала производился с учетом масштаба моделирования 1:40 исходя из соблюдения механического подобия величин, характеризующих эти грунты: модуля упругости  $E$ , удельного сцепления  $C$ , угла внутреннего трения  $\varphi$ , коэффициента Пуассона  $\nu$ . Подбор этих характеристик эквивалентного материала осуществлялся в соответствии с теорией механического подобия по формулам:

$$E_M^\Gamma = \frac{l\gamma_M}{L\gamma_H} E_H^\Gamma, \quad E_M^0 = \frac{l\gamma_M}{L\gamma_H} E_H^0, \quad \nu_M^0 = \nu_H^0, \quad (1)$$

$$C_M^\Gamma = \frac{l\gamma_M}{L\gamma_H} C_H^\Gamma, \quad \varphi_M^\Gamma = \varphi_H^\Gamma, \quad (2)$$

где  $E_M^\Gamma$  и  $E_H^\Gamma$  – модули упругости материала грунтового массива, соответственно, модели и природы;  $E_M^0$  и  $E_H^0$  – модули упругости материала обделки, соответственно, модели и природы;  $\nu_M$  и  $\nu_H$  – коэффициенты Пуассона обделки в модели и природе;  $C_M^\Gamma$  и  $C_H^\Gamma$  – удельное сцепление грунта модели и природы;  $\varphi_M^\Gamma$  и  $\varphi_H^\Gamma$  – угол внутреннего трения грунта материала модели и природы;  $l/L$  – линейный масштаб моделирования модели;  $\gamma_M$  и  $\gamma_H$  – плотность грунта в модели и природе. Значения параметров, в соответствии с формулами (1 и 2) для принятой объемной массы эквивалентного материала и масштаба моделирования 1:40, получились равными: модуль упругости  $E_M=1,4$  МПа; угол внутреннего трения  $\varphi_M=40^\circ$ ; сцепление в модели  $C_M=0,00057$  МПа.

В качестве материала – эквивалента галечниковых грунтов осадочного происхождения был принят грунт, состоящий из смеси кварцевого песка (модуль крупности 2,85 мм), гранитного щебня (фракция 0,5-10 мм), фактиса (резиновой крошки) и технического вазелина в качестве связующего материала. Расчетные и подобранные значения физико-механических характеристик материала представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики материала

№ слоя	Наименование грунтов	Натура	В модели	
			расчетные	подобранные
1	галечниковые	$E = 72 \text{ МПа}$ $\gamma = 2,2 \text{ г/см}^3$ $\varphi = 40^\circ$	$E = 1,4 \text{ МПа}$ $\gamma = 1,64 \text{ г/см}^3$ $\varphi = 40^\circ$	$E = 1,6 \text{ МПа}$ $\gamma = 1,75 \text{ г/см}^3$ $\varphi = 32^\circ$

Модель обделки стационарных тоннелей выполнена в масштабе 1:40. Выбор масштаба модели станции продиктован, с одной стороны, удобством изготовления элементов конструкции, а с другой – возможностью фиксации ее напряженно-деформированного состояния в процессе проведения эксперимента. При этом было учтено, что габариты стенда должны ограничивать моделируемый массив грунта за пределами зоны влияния выработки. Поэтому боковые стенки стенда располагались от оси тоннеля на расстоянии в полтора раза больше ее поперечного сечения. В продольном направлении вдоль оси станции модель ограничивается длиной типового участка станции. В рекомендованном варианте эта длина составила

$L=0,25 \text{ м}$ . В соответствии с выбранным масштабом моделирования 1:40 были приняты следующие размеры поперечного сечения модели станции (рис. 1): ширина  $D_n=770 \text{ мм}$ ; высота  $D_b=250 \text{ мм}$ .

К материалу модели обделки предъявляются следующие требования: удовлетворение условиям подобия модели и обделки тоннеля в натуре; возможность многократного использования конструктивных элементов модели в экспериментах; хорошая обрабатываемость материала механическим способом.

В качестве материала, удовлетворяющего поставленным требованиям, использовался состав на основе гипса и песка. Подбор осуществлялся путем изменения содержания в материале его компонентов. Предварительно, в соответствии с законом подобия, было определено значение модуля упругости материала  $E_m^0$ , из которого должна быть изготовлена модель обделки. Расчет указанного параметра для бетона класса В20 (с учетом армирования  $E=27000 \text{ МПа}$ ) производился по формуле  $E_m^0 = \frac{1}{40} \cdot \frac{1,9}{2,5} \cdot 27000 = 513$

МПа.

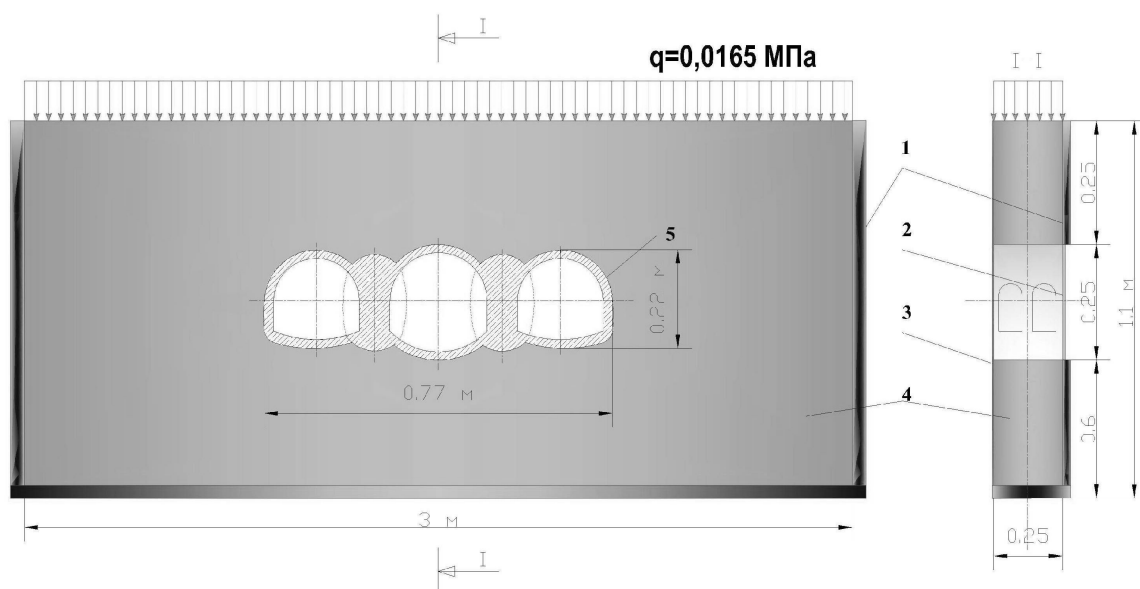


Рис. 1. Схема испытательного стенда:

1 – металлоконструкции испытательного стенда, 2 – вставка из оргстекла, 3 – стенка из закаленного стекла, 4 – эквивалентный материал грунта, 5 – модель типового участка обделки станции

До проходки выработки модель грунтового массива выдерживалась под равномерно распределенной нагрузкой, равной весу вышележащей толщи грунта, с целью ее предварительного уплотнения, после чего в толще грунтового массива осуществлялась проходка в соответствии с принятой схемой организации работ по предлагаемому варианту.

В соответствии с принятой технологией производства работ сооружение стационарного комплекса в модели начиналось с создания замкнутой набрызгбетонной оболочки из пенополиуретана, и осуществлялась проходка пилонных тоннелей. После раскрытия забоя на полное сечение и выемки грунта (из пилонных тоннелей) в готовые выработки вставлялись заранее подготовленные пилоны, выполненные в виде единой конструкции из гипса. Длина пилонов составила 250 мм, что соответствовало длине типового участка стационарного комплекса.

Второй этап включал поочередную проходку двух боковых стационарных тоннелей. Временная крепь сооружалась по отработанной технологии, принятой при сооружении пилонных тоннелей, после чего возводилась постоянная обделка боковых стационарных тоннелей. На заключительном этапе, после сооружения двух боковых стационарных тоннелей, осуществлялась проходка среднего стационарного тоннеля и возводилась постоянная обделка. Окончательный вид типового участка модели пилонной станции представлен на рис. 2.

Результаты экспериментальных исследований. Приводим ниже данные, характеризующие деформированное состояние конструкций станции, полученные в результате проведенного эксперимента. При проходке левого пилонного тоннеля проводились наблюдения за изменением деформированного состояния временной крепи из набрызгбетона с помощью деформометров специальной конструкции. Показания деформометров позволили определить, что смещение точек в сечении 1-2 (рис. 3) по вертикальному диаметру достигло 45 мм (в пересчете на натуру), а смещение по горизонтальному диаметру (сечение 3-4) составило 36 мм. После установки пилон в проектное положение рост деформаций практически прекратился. В дальнейшем, по результатам фотофиксации, горизонтальных и вертикальных смещений в конструкции пилон не зафиксировано /1-3/.



Рис. 2. Сооруженный типовой участок модели станции

При проходке правого пилонного тоннеля изменение вертикального диаметра в сечении 5-6 по показаниям деформометров составило 43 мм, а изменение горизонтального диаметра – 34 мм. Так же, как и в предыдущем случае, смещений пилона не зафиксировано. В левом пилоне тоннеле в процессе проходки правого дополнительных деформаций не выявлено.

При проходке левого станционного тоннеля было зафиксировано общее изменение вертикального диаметра, которое составило 36 мм. Из них смещение свода – 20 мм, а обратного свода – 16 мм. Смещение стены тоннеля в уровне горизонтального диаметра (сечение 9-10) составило 16 мм. После возведения постоянной обделки деформации стабилизировались. Близкие значения получились и при проходке правого станционного тоннеля. Изменение вертикального диаметра составило 34 мм, из них смещение свода – 18 мм, а обратного свода – 16 мм. Смещение стены тоннеля в уровне горизонтального диаметра (сечение 15-16) составило 17 мм. При проходке боковых тоннелей смещений массивных пилонов не зафиксировано. Окончательным этапом сооружения станционного комплекса являлось сооружение среднего станционного тоннеля. При разработке грунта среднего станционного тоннеля деформации временной крепи в шельге свода (сечение 17-18) составили 14 мм. После возведения верхнего свода обделки деформации стабилизировались /4/.

Окончательный вид деформированного состояния постоянной обделки показан на рис. 3. Из рисунка видно, что наибольшие деформации выявлены в сводах боковых станционных тоннелей, которые достигают 20 мм. Наибольшее значение смещений стены тоннеля в уровне горизонтального диаметра зафиксировано в стене станционного тоннеля – 17 мм, а наибольшее значение деформаций обратного свода составило 16 мм. В среднем станционном тоннеле деформации в шельге верхнего свода обделки составили 18 мм. В обратном своде обделки деформации составили 6 мм.

Картина распределения напряжений по внутренней поверхности модели типового участка станции представлена на рис. 4. Из рисунка видно, что наибольшие значения растягивающих напряжений зафиксированы в сводовой части обделки боковых станционных тоннелей. Значения этих напряжений достигают 13 МПа. Наибольшие сжимающие напряжения, выявленные в зоне сопряжения обратных сводов со стенами боковых станционных тоннелей, составили 5 МПа.

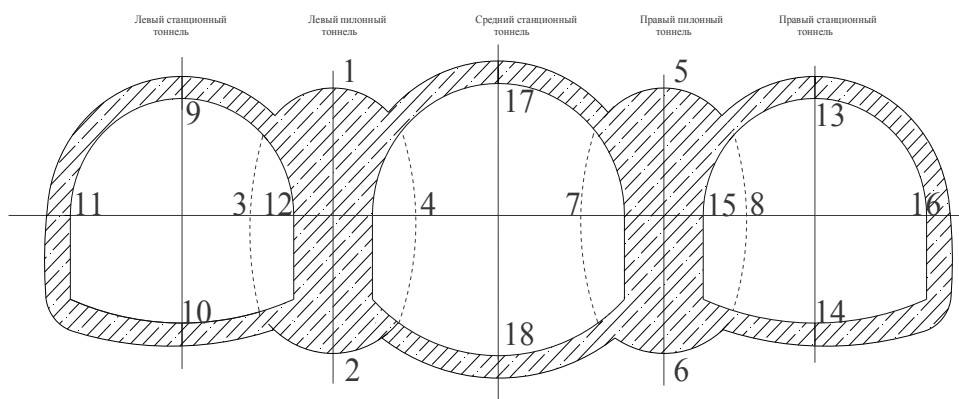


Рис. 3. Схема расположения точек фиксации деформаций поперечного сечения обделки станции

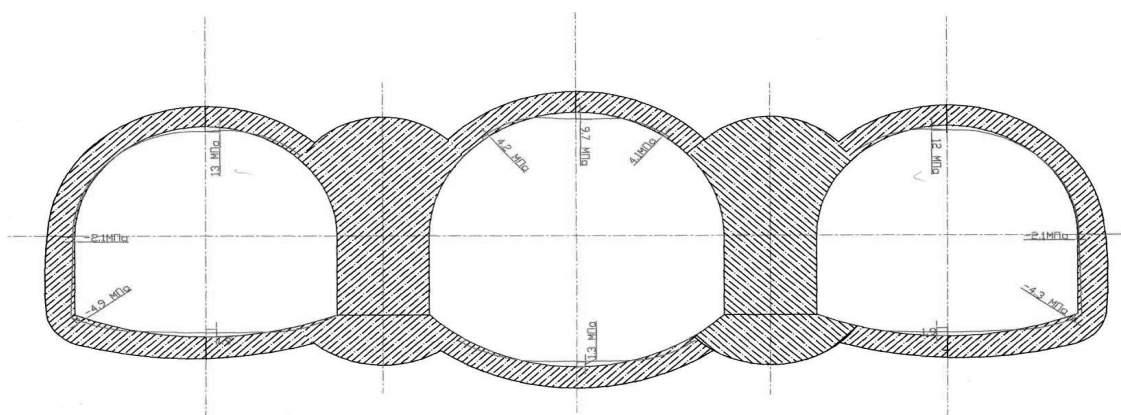


Рис. 4. Распределение нормальных тангенциальных напряжений на внутренней поверхности обделки под действием нагрузки  $\gamma N = 0,0165$  МПа

**Выводы.** Экспериментальное исследование деформированного состояния обделки стационарных тоннелей позволило установить, что наибольшие деформации зафиксированы в сводах боковых стационарных тоннелей. Экспериментальное исследование напряженного состояния обделки стационарных тоннелей позволило установить, что наибольшие значения растягивающих напряжений зафиксированы в сводовой части обделки боковых стационарных тоннелей. Значения этих напряжений превышают расчетный предел прочности бетона на растяжение, следовательно, требуется усиленное армирование. Таким образом, экспериментально установленные закономерности изменения величины напряжений в крепи на различных стадиях сооружения станции «Жибек-Жолы» позволили определить прочностные характеристики материала опережающей крепи.

#### Список литературы

1. Асратян, Д.Р. Тоннели с опережающей крепью [Текст] / Д.Р. Асратян // Метрострой. – 1983. – №5. – С.31-34.
2. Маковский, Л.В. Под защитой экрана из труб [Текст] / Л.В. Маковский // Метрострой. – 1980. – №4. – С.23-24.
3. Асратян, Д.Р. Совершенствование способа строительства тоннелей с опережающей бетонной крепью [Текст] / Д.Р. Асратян // Транспортное строительство. – 1984. – №3. – С. 54-55.
4. Асратян, Д.Р. Натурные экспериментальные исследования технологии проходки тоннелей с опережающей бетонной крепью [Текст] / Д.Р. Асратян // Метрострой. – 1986. – № 2. – С. 15-16.

