

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОБДЕЛКИ ТОННЕЛЯ В ДЕФОРМИРУЕМОМ ГРУНТЕ С УЧЕТОМ ОДНОСТОРОННЕГО КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЕЕ БЛОКОВ ЧЕРЕЗ УПРУГИЕ ПРОКЛАДКИ

© 2010 г. Д.В. Бережной, А.И. Голованов, С.А. Лукашкин, Л.Р. Секаева

Разработана и реализована численная методика исследования напряженно-деформированного состояния колец обделки тоннеля метрополитена в трехмерной постановке с моделированием контактного взаимодействия блоков между собой. Для воспроизведения упругого отпора грунта используются «полубесконечные» конечные элементы. Исследовано напряженно-деформированное состояние обделки тоннеля метрополитена из сборного железобетона, и проведено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** метод конечных элементов; нелинейное деформирование; железобетонные конструкции; контактная задача.

### Постановка задачи

Целью настоящей работы является исследование напряженно-деформированного состояния обделки тоннеля метрополитена из сборного железобетона. Геометрически эта конструкция представляет собой цилиндрическую оболочку, расположенную в грунтовом массиве, под действием веса расположенных выше пород и продольного сжимающего усилия, возникающего при создании этого сооружения. Главной особенностью исследуемой конструкции является то обстоятельство, что сооружается подобная обделка из сегментных блоков, которые взаимодействуют между собой через специальные накладки, неполностью охватывающие поверхности сопряжения, которые целиком передают лишь сжимающие усилия и частично – касательные, в рамках сил трения. На рис. 1 изображены три кольца обделки в реальных пропорциях, с условно удаленными блоками для иллюстрации их относительного расположения. На рис. 2 представлен типовой блок, где штриховкой указано расположение накладок на поперечных стыках.

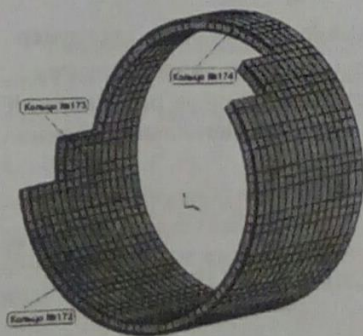


Рис. 1

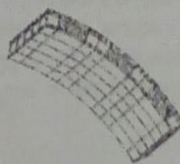


Рис. 2

Расчет проводился МКЭ на базе искривленных 20-узловых изопараметрических конечных элементов трехмерной теории упругости с квадратичной аппроксимацией геометрии и перемещений. Используемая сетка подобных элементов для расчета описанной конструкции также изображена на рис. 1, 2. Методика подобного трехмерного расчета железобетонных конструкций строительных сооружений с учетом их армирования изложена в работах [1, 2].

### Моделирование механического контакта через накладки

Механизм взаимодействия блоков через накладки может быть проиллюстрирован рис. 3, где изображены различные варианты деформирования накладки в зависимости от усилий воздействия блоков друг на друга.

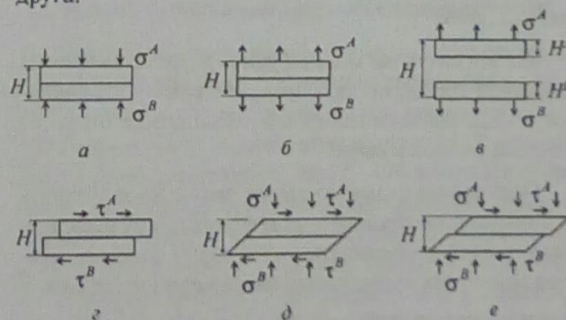


Рис. 3

Для ситуации, изображенной на рис. 3, а, характерно возникновение напряжения обжатия  $\sigma_H = \sigma^A = \sigma^B$  и деформации  $\varepsilon_H = \frac{1}{E_H} \sigma_H$ , где  $E_H$  – модуль упругости материала накладки. Геометрическим условием