

**Костенко Богдан Валерьевич**

аспирант

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»

г. Санкт-Петербург

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА СМЕЩЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПРОХОДКЕ ОДИНОЧНЫХ ТОННЕЛЕЙ ЗАКРЫТЫМ СПОСОБОМ В ПЛОСКОЙ ПОСТАНОВКЕ**

***Аннотация:** в настоящее время оседание земной поверхности при проходке тоннелей и строительстве станций метрополитена рассчитывается численным моделированием МКЭ или эмпирическими методиками. Оба метода имеют большие расхождения с результатами измерений фактических оседаний. В данной статье предложен ряд идей по разработке аналитической методике расчета оседаний.*

***Ключевые слова:** время, тоннели, мутьда оседания, разуплотнение, модуль деформации, коэффициент пористости.*

### *1. Анализ и критика существующих методов*

В настоящее время задача смещения земной поверхности при проходке тоннелей и строительстве станций метрополитена закрытым способом решается либо на основании аналитически-эмпирического метода Ю.А. Лиманова и В.Ф. Подакова, либо математическим моделированием методом конечных элементов (далее МКЭ).

Автором статьи было проведено сравнение между прогнозируемыми величинами оседаний по первому и второму методам расчета и реальными измеренными оседаниями по станциям «Международная», «Обводный канал», «Комендантский проспект» и «Адмиралтейская». Выяснилось, что МКЭ отлично прогнозирует оседания непосредственно над осью одиночного тоннеля, или оси станционного комплекса. В точках левее и правее осей результаты МКЭ расходятся с измерениями в 2...5 раз. Количественно это расхождение составляет до 50мм. Аналитическо-эмпирический метод «ошибается» в среднем в 2 раза (до

80мм). При этом, расчет по МКЭ дает меньшие оседания, чем реально измеренные (т.е. не в запас), а аналитическо-эмпирический метод – больше оседания, чем реально измеренные (т.е. в запас).

Проблема некорректного прогноза оседаний левее и правее экстремума мульды оседаний состоит в том, что в этих зонах располагаются здания и сооружения, которые оседают вместе с поверхностью. Станции метрополитена «сажаются» на генеральный план города таким образом, чтобы максимальные оседания, по возможности, приходились на незастроенные территории. При этом часть зданий и сооружений попадает в мульду оседания с не максимальными значениями, но, как было указано выше, с некорректным прогнозом.

## *2. Предлагаемый аналитический метод*

Разделим общую схему оседания грунта и ведения работ на четыре отдельных этапа: 1) исходное состояние массива (характеризуется начальным напряженным состоянием) до проходки 2) развитие оседания поверхности земли в продольном направлении в процессе проходки и разработки грунта лба забоя 3) оседание от отстающего/неполного заполнения раствором заобделочного пространства в поперечном направлении 4) оседания, возникающие из-за податливости обделки.

В данной статье рассматривается третий этап задачи в плоской постановке для одиночного тоннеля.

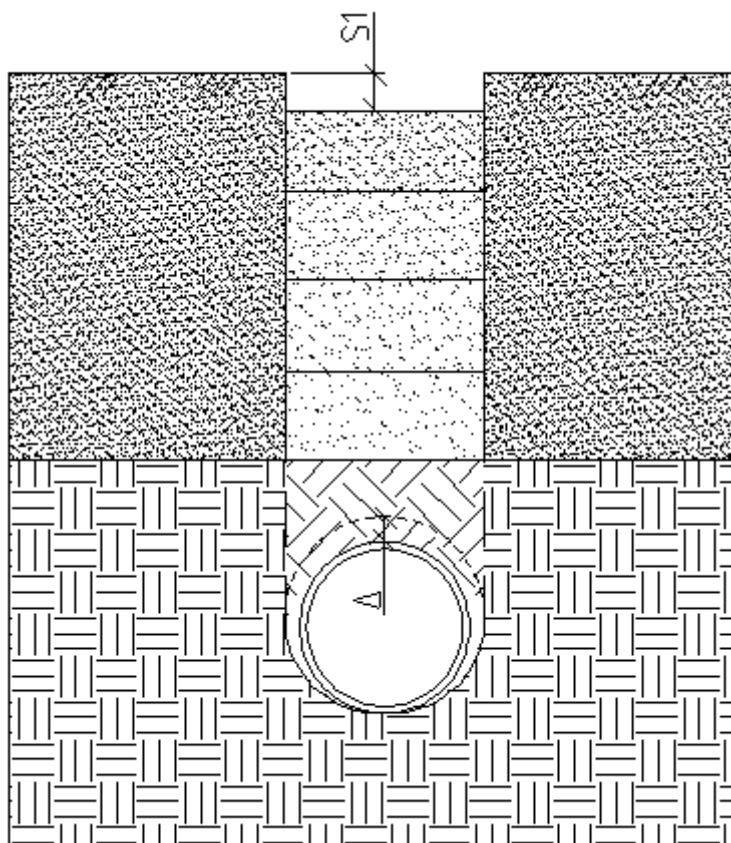


Рис. 1. Схема оседания и «зависания» грунта над тоннелем

Оседания земной поверхности в поперечном направлении возникают из-за зазора между грунтовым массивом и обделкой  $\Delta$ . Однако, в соответствии с натурными данными, оседание над осью тоннеля не равно этому значению. Поэтому примем, что земная поверхность оседает на величину  $s_1$ , а величина  $s_2$  — компенсируется «зависанием» грунта над осью тоннеля. Очевидно, что:  $s_1 + s_2 = \Delta$ . При этом, величина  $\Delta$  напрямую зависит от качества тампонирования зазора с своевременности этого процесса.

Оставшиеся вертикальные зазоры между обделкой и массивом грунта закрываются сдвигающимся массивом, теряющим устойчивость под весом вышележащих четвертичных отложений.

На основании вышесказанного было составлено дифференциальное уравнения, решение которого укажет ширину мульды оседания на контакте глин с четвертичными отложениями:

$$\lambda[(g(x) - f(x))\gamma^{\text{глин}} + h\gamma^{\text{IV}}] + c \cdot (1 + (\frac{\partial f}{\partial x})^2) - [(g(x) - f(x))\gamma^{\text{глин}} + h\gamma^{\text{IV}}] \frac{\partial f}{\partial x} = 0$$

где  $\lambda$  – коэффициент бокового давления грунта

$f(x)$  – функция – плоскость потери устойчивости

$g(x)$  – функция – очертание кровли глин

$\gamma^{\text{глин}}$  – плотность глин, т / м<sup>3</sup>

$h$  – высота четвертичных отложений, м

$\gamma^{\text{IV}}$  – плотность четвертичных отложений, т / м<sup>3</sup>

$c$  – сцепление, т / м<sup>2</sup>

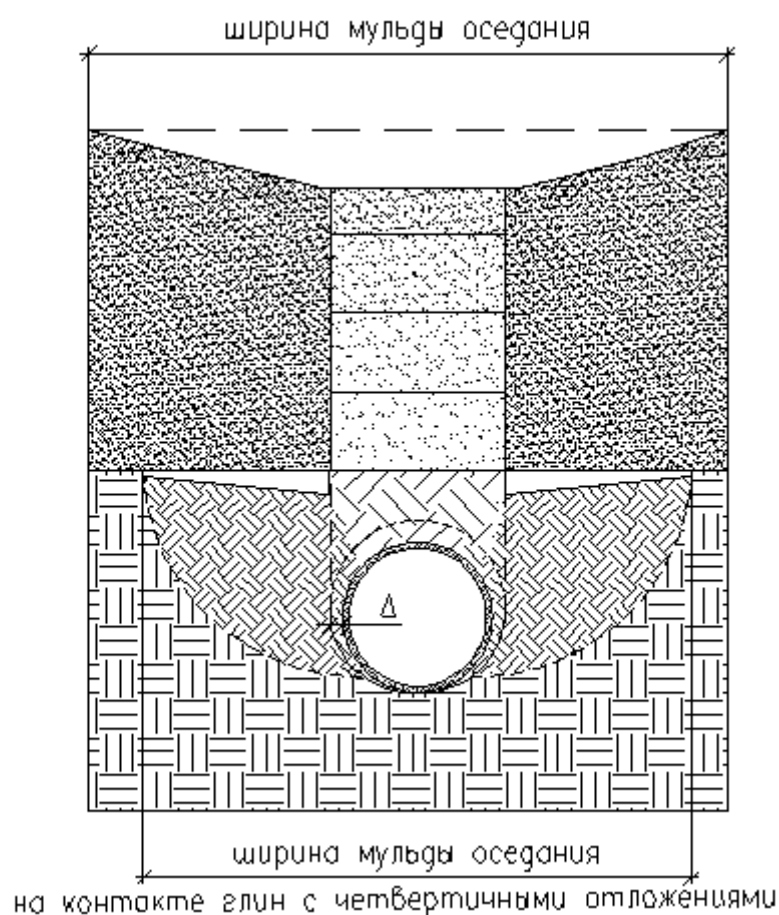


Рис. 2. Схема оседания из-за закрытия вертикальных зазоров между обделкой и грунтом

Это дифференциальное нелинейное уравнение первого порядка второй степени. Решение представляет собой сумму отдельных линейных и экспоненциальных функций. В данный момент происходит поиск решений данного уравнения.

В случае двух тоннелей, расположенных рядом друг с другом, оседание, в соответствии с решением уравнения, сильно зависит от расстояний между ними.

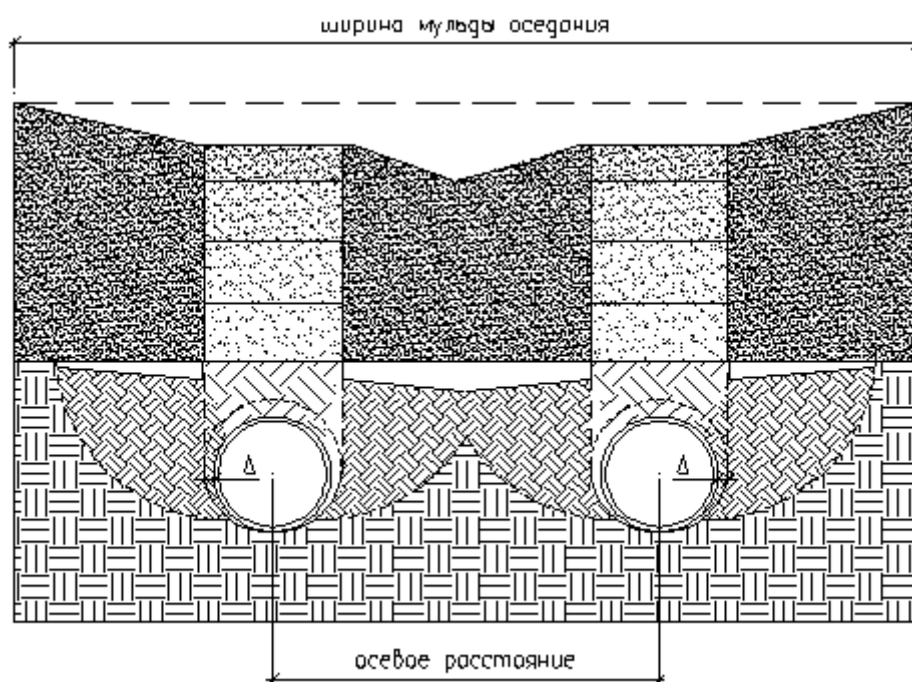


Рис. 3