

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, мульда 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. Аналитико-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.

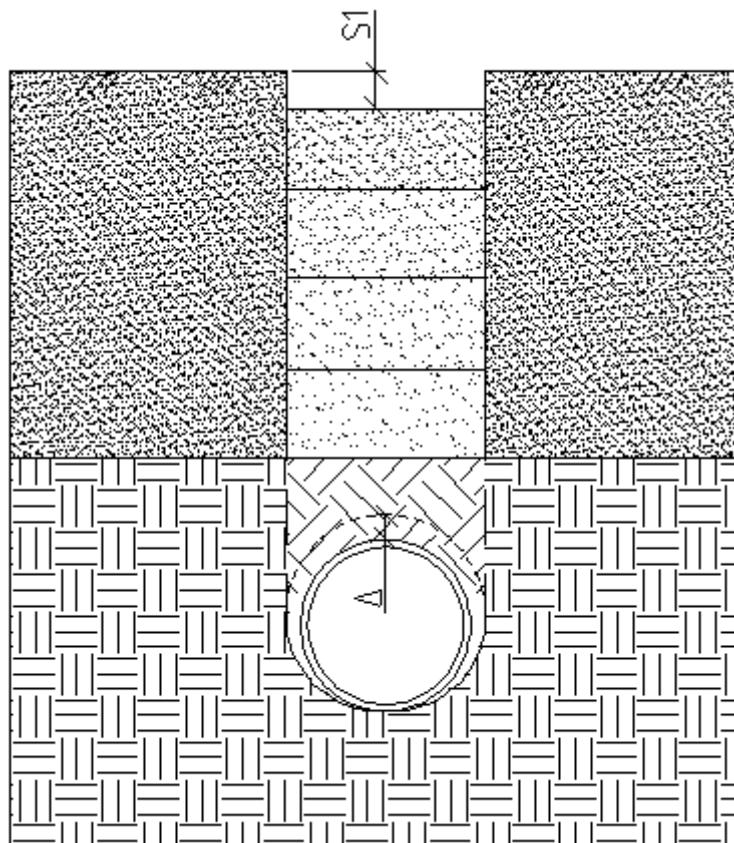


Рис. 1. Схема оседания и «зависания» грунта над тоннелем

Оседания земной поверхности в поперечном направлении возникают из-за зазора между грунтовым массивом и обделкой Δ . 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 Δ 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 уравнение, решение которого укажет ширину мульды оседания на контакте глин с четвертичными отложениями:

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

где λ – коэффициент бокового давления грунта

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

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

$\gamma_{\text{глин}}$ – плотность глин, $\text{т} / \text{м}^3$

h – высота четвертичных отложений, м

γ^{IV} – плотность четвертичных отложений, $\text{т} / \text{м}^3$

c – сцепление, $\text{т} / \text{м}^2$

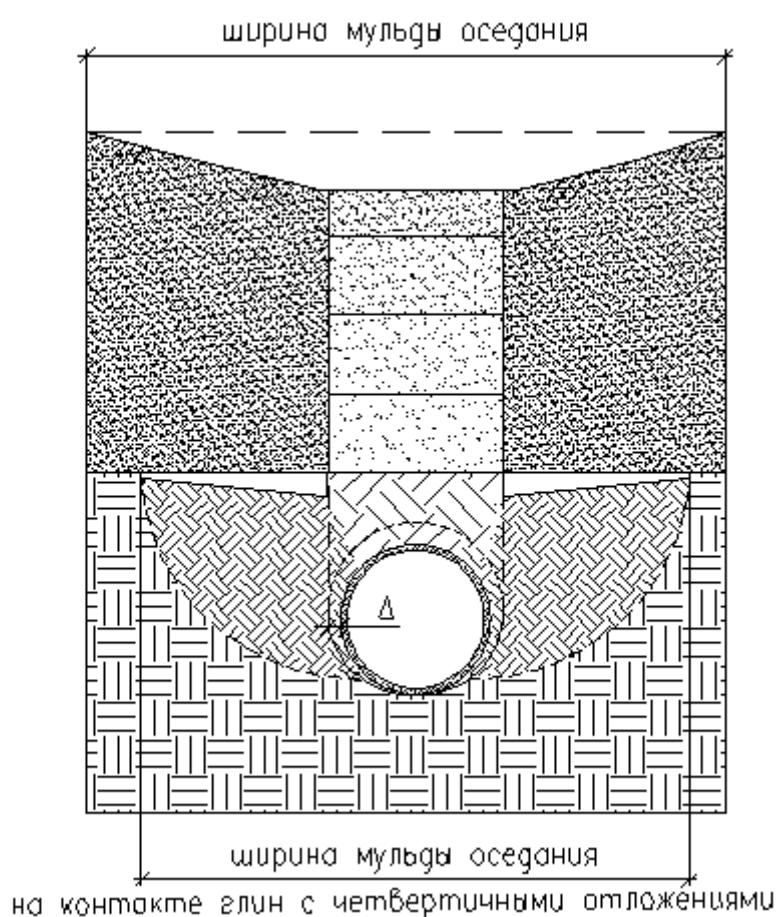


Рис. 2. Схема оседания из-за закрытия вертикальных зазоров между обделкой и грунтом

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.

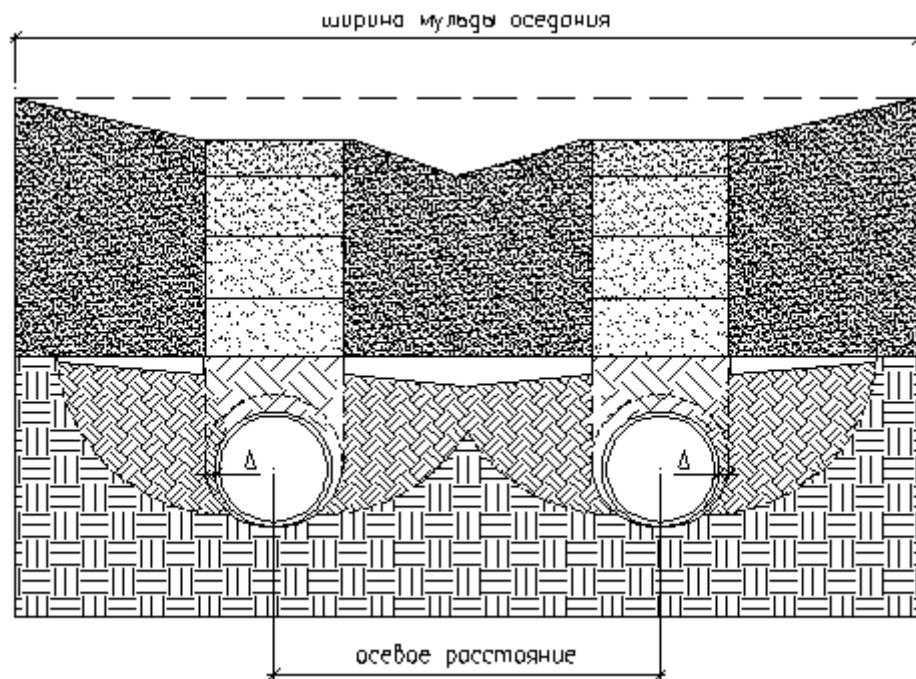


Рис. 3