

Исследование деформированного состояния обделки эскалаторного тоннеля станции метро



Ю. С. Фролов,
докт. техн. наук,
профессор кафедры
«Тоннели
и метрополитены»
Петербургского
государственного
университета путей
сообщения (ПГУПС)



А. Н. Коньков,
канд. техн. наук,
заведующий лабораторией
моделирования тоннелей
ПГУПС



В. Н. Кавказский,
канд. техн. наук, доцент
кафедры «Тоннели и
метрополитены» ПГУПС



Б. Д. Пеньков,
инженер кафедры
«Тоннели и
метрополитены»
ПГУПС



А. Ю. Старков,
главный инженер
ОАО «Метрострой»

В декабре 2011 г. пущена в эксплуатацию станция «Адмиралтейская» Петербургского метрополитена. Ее эскалаторный тоннель построен с помощью механизированного тоннелепроходческого комплекса с грунтовым пригрузом. Определить возможный диапазон осадок и деформаций обделки позволили расчетно-теоретические исследования, выполненные с учетом особенностей конструктивного решения обделки и условий заполнения заобделочного пространства.

Построенная более 10 лет назад подземная часть станционного комплекса «Адмиралтейская» на протяжении всего этого периода не эксплуатировалась. Основной причиной задержки было отсутствие безосадочной технологии сооружения эскалаторного тоннеля, находящегося в исторической части города.

Технология проходки

Для решения проблемы по заказу ОАО «Метрострой» фирмой «Херенкнехт» был разработан тоннелепроходческий комплекс с грунтовым пригрузом, позволяющий производить проходку эскалаторных тоннелей в сложных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга.

Общий вид щитового комплекса и технология сооружения эскалаторного тоннеля представлены на рис. 1.

Грунт разрабатывается с помощью вращающегося ротора (1) и через тех-

нологические отверстия в роторе (2) попадает в очистную камеру (3), выходя откуда он перемешивается в виде пластичной массы.

Щит перемещается с помощью проходческих домкратов (5), которые расположены по контуру оболочки щита (4) и передают усилие на грунт, тем самым препятствуя развитию горного давления со стороны лба забоя. Равновесное состояние достигается, когда грунтовая масса в очистной камере приблизительно соответствует статическому давлению окружающего грунта.

Грунт из находящейся под давлением очистной камеры с помощью шнекового транспортера (6) подается в скип и далее в отвал.

Обделка тоннеля выполняется из железобетонных блоков (7), которые монтируются в хвостовой части щита, а свободное пространство между обделкой и грунтом, равное толщине оболочки щита, заполняется специальным рас-

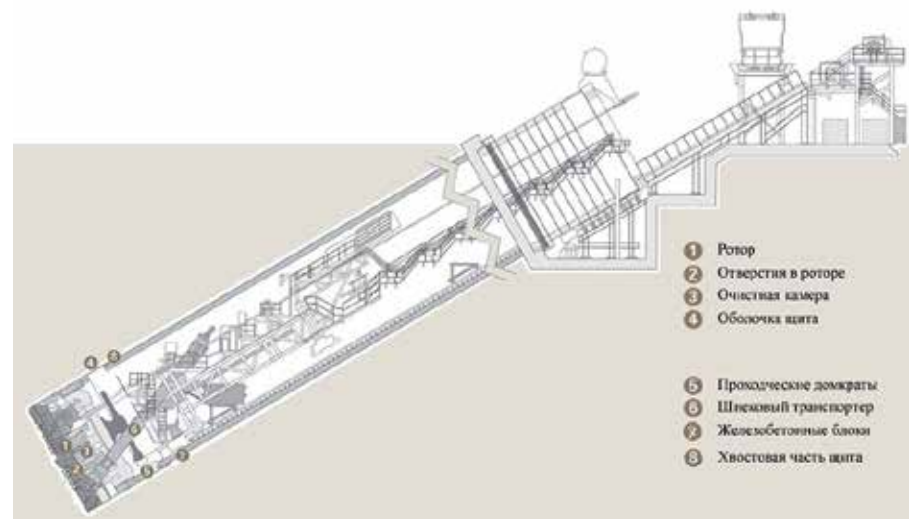


Рис. 1. Схема сооружения эскалаторного тоннеля

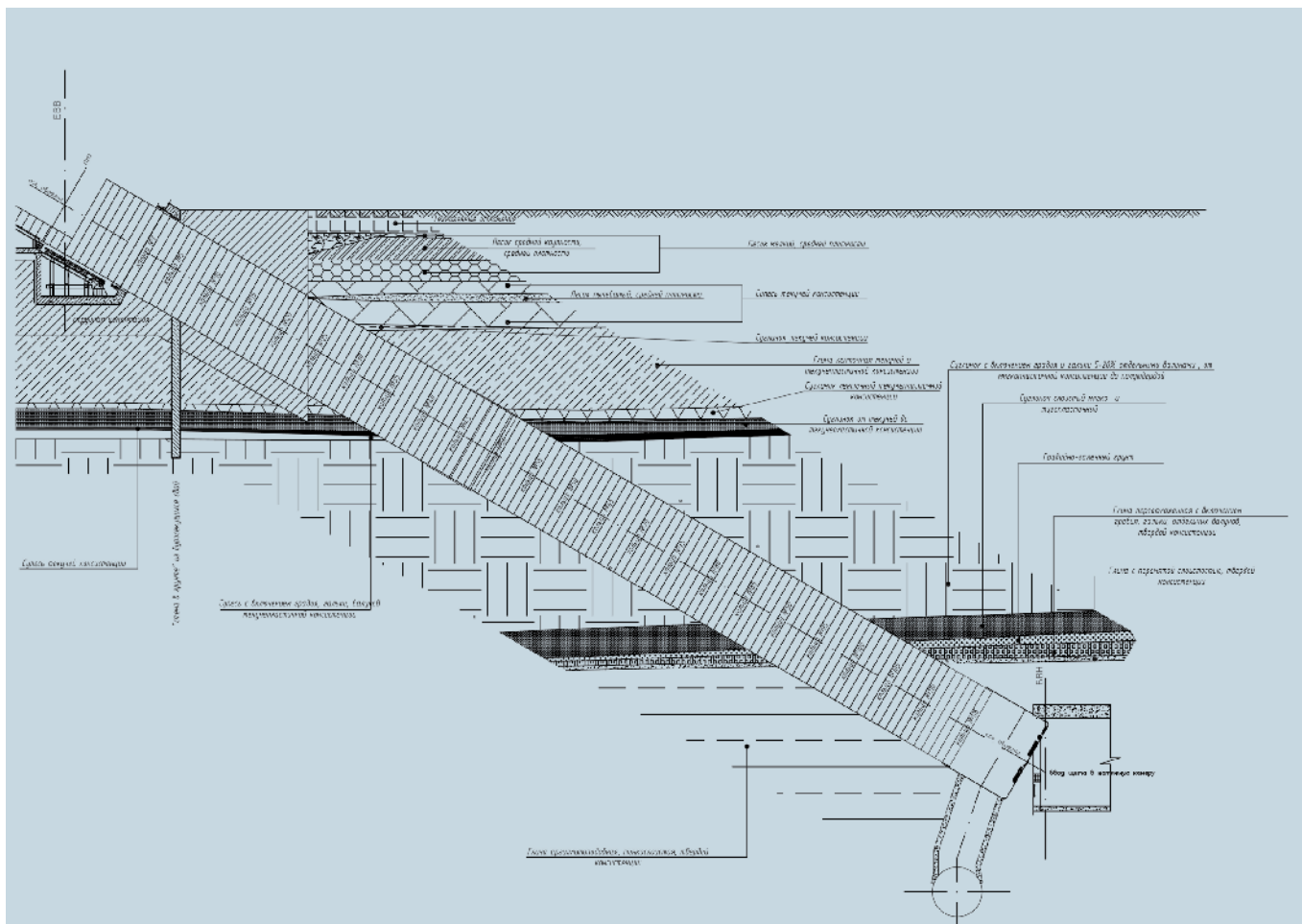


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез по оси наклонного хода

твором, подающимся через инжекторные отверстия щеточного уплотнителя в хвостовой части (8).

При проходке эскалаторного тоннеля станции «Адмиралтейская» применена железобетонная блочная обделка с наружным диаметром 10,4 м и толщиной блоков 0,5 м. Кольцо обделки шириной 1000 мм состоит из семи блоков. Связь между блоками в кольце и блоками соседних колец осуществляется с помощью болтовых связей. Общая протяженность тоннеля составляет 116 м (116 колец).

Тоннель расположен под углом 30 градусов к горизонтальной плоскости в грунтовом массиве, состоящем из переслаивающихся слабых водоносных грунтов четвертичных отложений, подстилаемых протерозойскими глинами (рис. 2).

Расчетная схема и ее варианты

Для оценки деформированного состояния обделки эскалаторного тоннеля кафедра «Тоннели и метрополитены» ПГУПС выполнила расчетно-теоретические исследования, задачей которых была оценка деформированного состо-

яния обделки из железобетонных высокоточных блоков.

Для расчета использовался программный комплекс SolidWorks/Cosmos Works.

Расчетная схема объемной модели обделки эскалаторного тоннеля и грунтового массива представлена на рис. 3.

Каждое кольцо из блоков разбито на 57 элементов. Элементы блочной обделки соответствуют реальным геометрическим параметрам. По периметру внешнего диаметра обделки включен слой элементов, моделирующих материал нагнетания — двухкомпонентный тампонажный раствор.

Анализ деформированного состояния обделки производился с учетом различных допущений, принятых в расчетной схеме.

В первом варианте расчетной схемы обделка представлялась как монолитная железобетонная труба. Такая схема отражает идеальные условия сборки элементов обделки и повсеместное ее обжатие с перевязкой стыков.

Во втором варианте расчетной схемы параметры жесткости обделки приняты

с учетом сборности конструкции и количества стыков в кольце (в соответствии с немецким стандартом DIN-1045).

Для определения возможного диапазона осадок эскалаторного тоннеля рассматривалось два случая, характеризующих качество заполнения зазора между обделкой и грунтовым массивом.

В первом случае моделировалось заполнение технологического зазора составом с прочностными характеристиками 2 МПа в соответствии с Технологическим регламентом.

Во втором случае рассматривался вариант некачественного нагнетания с отклонениями от регламента на всем протяжении тоннеля. Это моделировалось путем снижения характеристик тампонажного раствора до значений характеристик окружающего грунта.

Очевидно, что возможный диапазон осадок и деформаций обделки на этапе освоения новой технологии находится в пределах значений, полученных по результатам расчета этих вариантов.

Значения осадок обделки в своде при представлении расчетной схемы в

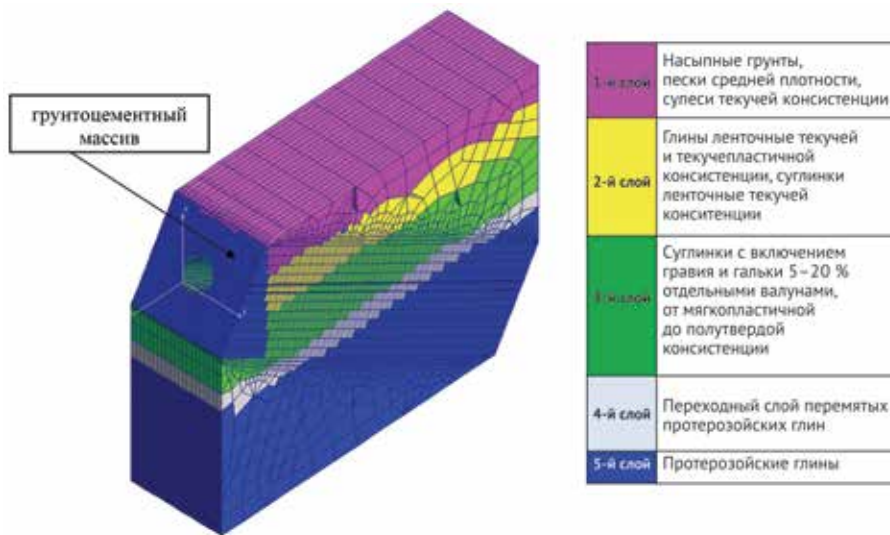


Рис. 3. Расчетная схема грунтового массива

виде монолитной трубы приведены на рис. 4; значения осадок при расчетной схеме обделки с параметрами жесткости, в которых учитывалась сборность конструкции и количество стыков в кольце, — на рис. 5. Верхние кривые в графиках соответствуют случаю качественного проведенного нагнетания, нижние — случаю некачественного нагнетания с отклонениями от регламента (снижение характеристик тампонажного раствора до значений характеристик окружающего грунта).

Расчетно-теоретические исследования, выполненные с учетом особенностей конструктивного решения обделки и условий заполнения заобделочного пространства, позволили сделать следующие выводы.

- При обоих вариантах расчетных схем зона максимальных осадок обделки приурочена к участкам, находящим-

ся в грунтах четвертичных отложений (в глинах ленточных текучей и текучепластичной консистенции и суглинках ленточных текучей консистенции) в диапазоне колец № 53–85. Минимальные значения осадок наблюдаются в зоне закрепления грунтов струйной цементацией (кольца 1–23).

- В случае, если конструкция рассматривается как монолитная труба, при условии соблюдения требований технологического регламента по нагнетанию, максимальные значения осадок свода обделки не превышают 35 мм. В случае некачественного нагнетания (при снижении прочности тампонажного раствора до значений, близких окружающему грунту) значения максимальных осадок увеличиваются почти в 2 раза и составляют 65 мм.

- При расчете конструкции с учетом сборности (в соответствии с ре-

комендацией стандарта DIN 1045) и соблюдении требований технологического регламента по нагнетанию значения осадки увеличиваются и достигают в зонах слабых грунтов 50 мм. В зоне цементированных грунтов значения максимальных осадок практически не изменяются (10–11 мм). При снижении прочности тампонажного раствора до значений окружающего грунта (некачественное нагнетание) осадки в своде существенно увеличиваются и достигают в зоне слабых грунтов максимальных значений 85 мм (кольца № 59–71).

Таким образом, величины осадок тоннеля зависят в основном от следующих факторов:

- в верхней зоне — от качества выполнения грунтоцементного закрепления массива;
- в зонах слабых грунтов — от качества сборки обделки (точности сборки, перевязки кольцевых стыков) и степени соответствия нагнетания требованиям технологического регламента; при несоблюдении этих условий осадки обделки могут увеличиваться почти в 3 раза.

В зоне расположения обделки в перемятых и протерозойских глинах степень влияния вышеприведенных факторов снижается (возможно существенное — до 50 % — увеличение осадок).

Следует ожидать, что при надлежащем выполнении технологического регламента при строительстве эскалаторного тоннеля закономерность проявления осадок будет соответствовать кривым, полученным для обделки приведенной жесткости.

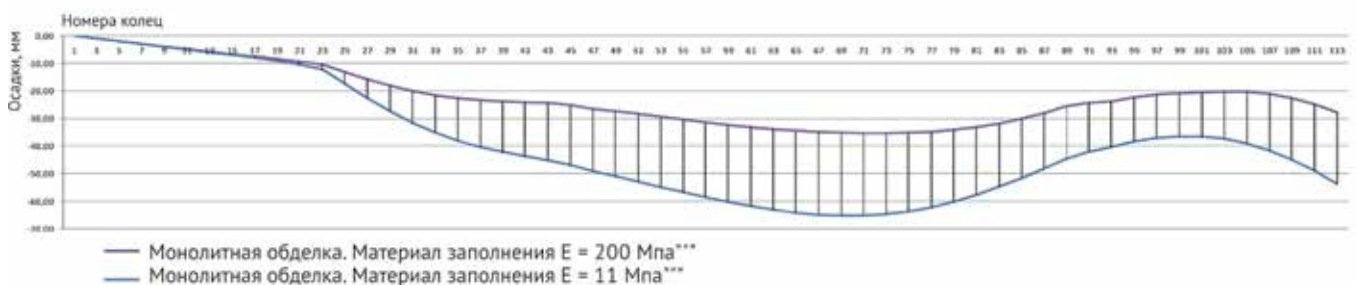


Рис. 4. График осадок свода обделки эскалаторного тоннеля

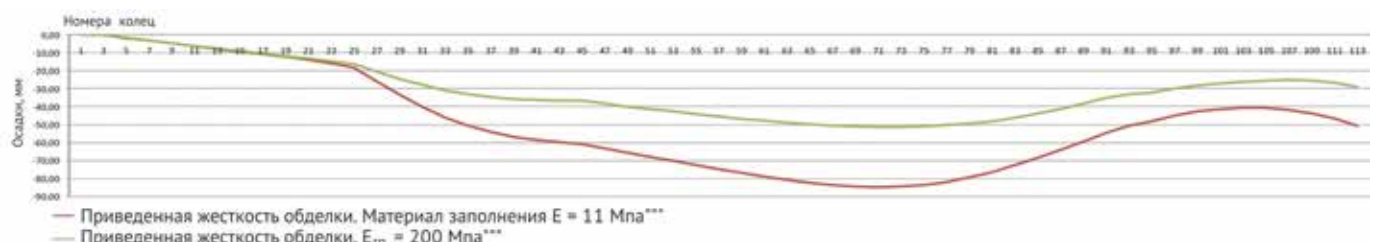


Рис. 5. График осадок свода обделки приведенной жесткости