УДК 624.1

Д.А.ПОТЕМКИН, *канд. техн. наук, доцент, potyomkin@list.ru*
П.А.ДЕМЕНКОВ, *канд. техн. наук, доцент, dem-petr@yandex.ru*
В.Н.ОЧНЕВ, *канд. техн. наук, доцент, тел. (812) 328-86-25*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

D.A.POTYOMKIN, *PhD in eng. sc., associate professor, potyomkin@list.ru*
P.A.DEMENKOV, *PhD in eng. sc., associate professor, dem-petr@yandex.ru*
V.N.OCHNEV, *PhD in eng. sc., associate professor, tel. (812) 328-86-25*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ОБДЕЛОК СТАНЦИОННОГО КОМПЛЕКСА МЕТРОПОЛИТЕНА, ИСПЫТЫВАЮЩЕГО ВЛИЯНИЕ СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА

Рассмотрено напряженно-деформированное состояние одного из станционных комплексов Санкт- Петербургского метрополитена, испытывающего взаимное влияние от расположенного над ним торгово-развлекательного комплекса.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, сваи, станции метрополитена, тоннели, метод конечных элементов.

THE INTENSE-DEFORMED CONDITION OF CONSTRUCTION OF UNDERGROUND STATION COMPLEX UNDER INFLUENCE OF PILES FOUNDATION

The intense-deformed condition of one of station complexes of the Saint Petersburg underground testing mutual influence from a trading-entertaining complex located over it is considered.

Key words: intense-deformed condition, piles, metro station, tunnels, finite elements method.

В условиях развитой городской застройки и интенсивного освоения подземного пространства современных мегаполисов часто приходится решать сложные задачи взаимодействия различных сооружений. На рис.1 представлен разрез здания торгово-развлекательного комплекса, который планировалось расположить над вестибюлем и эскалаторным тоннелем действующей станции Санкт-Петербургского метрополитена.

Расчеты напряженно-деформированного состояния грунтового массива, содержащего элементы станционного комплекса и свайного фундамента торгово-развлекательного комплекса, выполнены методом конечных элементов.

Размеры рассматриваемой части грунтового массива: длина (по оси X) – 240 м, ширина (по оси Z) – 180 м и высота (по оси Y) – 87 м.

Массив вмещает: часть станции метро колонного типа (типовая обделка из сборного железобетона с чугунными колоннами); участки перегонных тоннелей (внешний диаметр 5,5 м с типовой железобетонной обделкой), натяжную камеру (железобетонная обделка диаметром 9,8 м); эскалаторный тоннель (обделка из чугунных тюбингов, диаметр 8,5 м; длина эскалаторного тоннеля 80 м, угол наклона к горизонту 30°, расстояние от поверхности до оси станции 40 м).

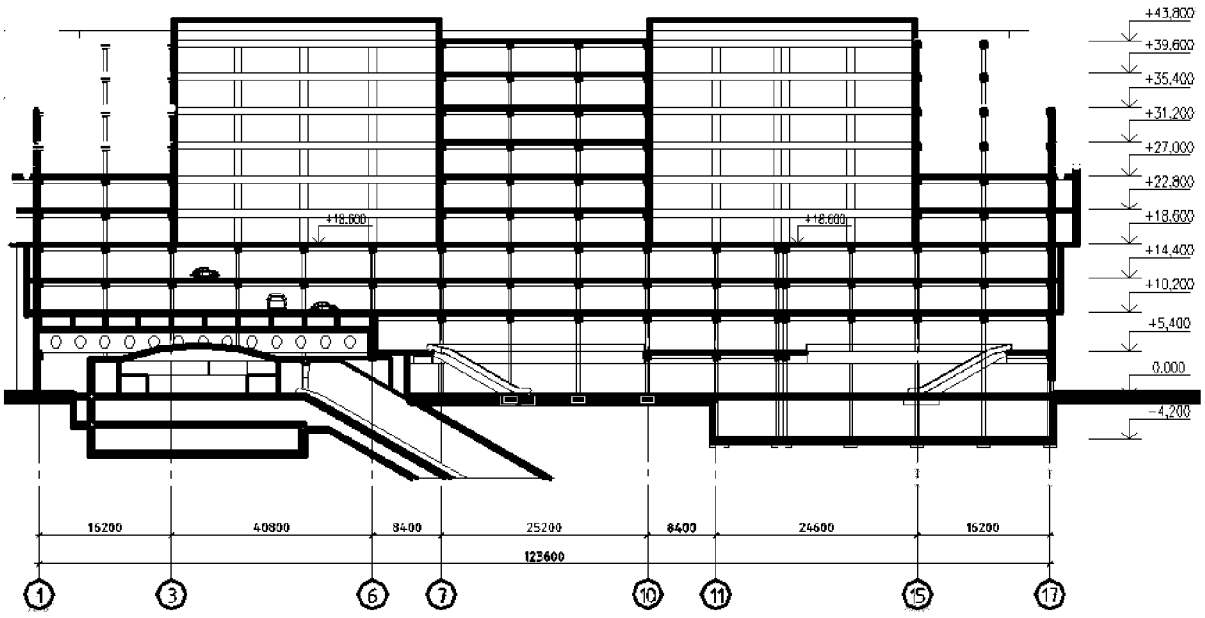


Рис.1. Продольный разрез торгово-развлекательного комплекса с вестибюлем станции метрополитена и эскалаторным тоннелем

Над устьем эскалаторного тоннеля располагается вестибюль, дающий пригрузку 12 т/м^2 на занимаемую площадь. Ось здания в плане составляет с осью станционного комплекса угол ~12,3°.

Реальные грунтовые слои (14 слоев) сгруппированы из соображений схожести физико-механических свойств и характеристики групп (шесть групп) и приняты средневзвешенными по мощности реальных слоев: плотность грунтов менялась в пределах от 1900 до 2170 кг/м^3; модуль деформации – от 8,80 до 28 МПа; коэффициент Пуассона – от 0,30 до 0,37.

Общий каркасный вид модели, включающий станционный комплекс и свайное поле, представлен на рис.2, *а*.

Принятые параметры свай: диаметр 600 мм, длина 25 м. Размеры кустов свай и их расположение принято в соответствии с базовым проектом; кусты состоят из четырех свай (несколько кустов – из пяти). Расстояния между центрами свай 1450 мм (в нескольких кустах 2750 мм). Часть свай объединялась в кусты с количеством более 12 шт., общее количество свай составило 488 шт.

Свайные кусты, приходившиеся по базовому проекту на эскалаторный тоннель, вынесены на расстояние 3 м (по нормали) от обделки. Расстояние от конца 25-метровых свай до обделки перегонных тоннелей составило 7 м. Величина нагрузки на одну сваю колеблется от 60 до 220 т, средняя величина нагрузки – около 180 т.

Размеры мульды оседания в плане (зона влияния): 220 м по продольной оси здания, 190 м по поперечной оси. Зона наибольших оседаний (рис.2, *б*) образуется в центре мульды.

В районе расположения эскалаторного тоннеля форма эпюры несколько искажена (смещения от нагрузок на кусты свай несколько меньше), что объясняется близостью тоннельной обделки, играющей роль «жесткой вставки» в грунтовый массив. В плане наибольшие оседания приходятся на свайные кусты в районе подвала здания (место сосредоточения наибольшего количества свайных кустов с нагрузкой около 180 т на каждую, см. рис.1).

а

б

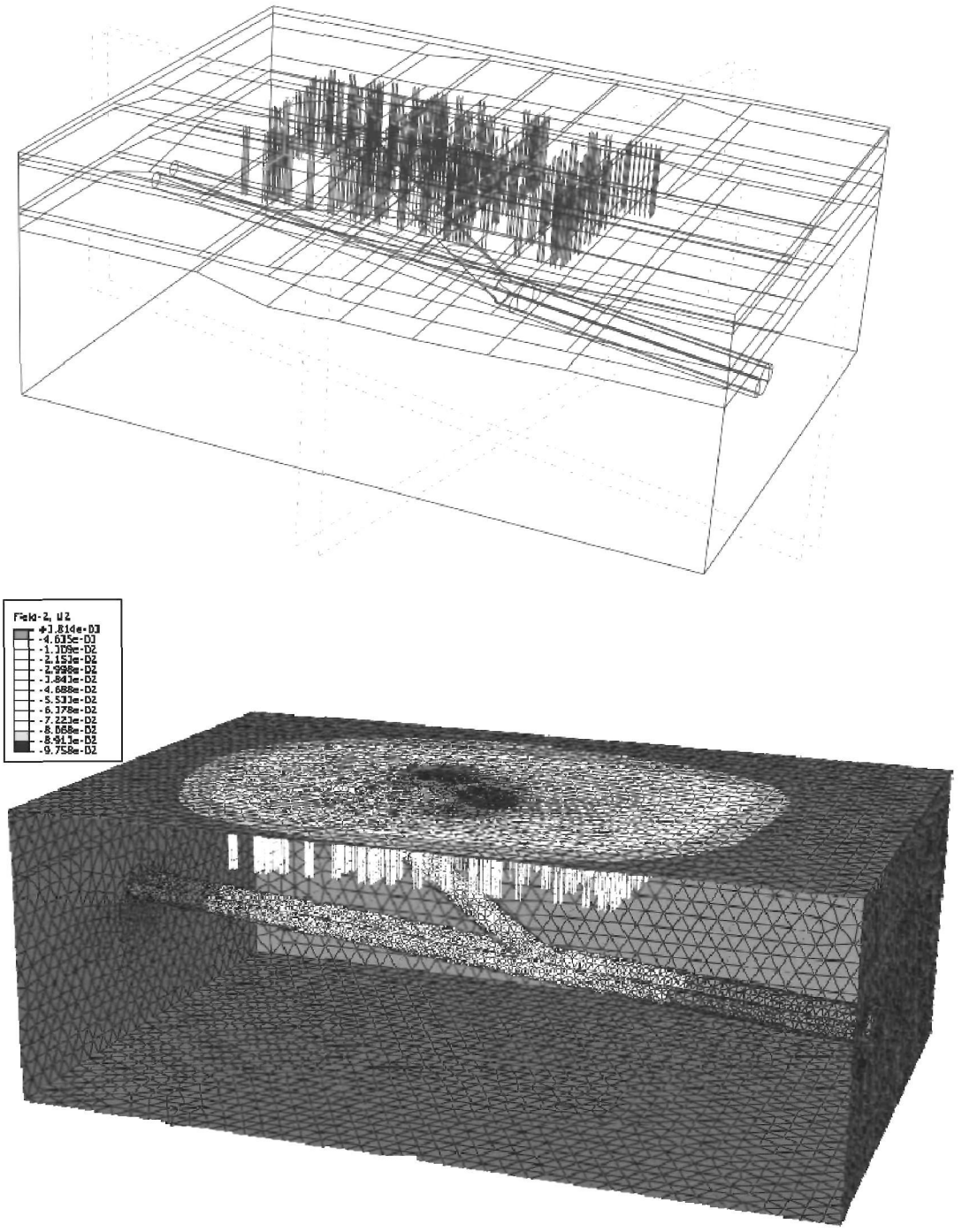


Рис.2. Модель: *а* – общий каркасный вид; *б* – эпюра вертикальных смещений (с границами грунтового массива)

Также произведены расчеты напряженно-деформированного состояния грунтового массива при длине свай 21 м и модуля деформации кембрийских глин 50 и 100 МПа.

Максимальные значения параметров напряженно-деформированного состояния грунтового массива, вмещающего выработки метрополитена и элементы наземного сооружения, представлены в таблице.

Значения расчетных величин при различных исходных параметрах

Наименование расчетной величины	Длина свай 21 м			Длина свай 25 м	
	E = 28 МПа	E = 50 МПа	E = 100 МПа	E = 28 МПа	E = 100 МПа
Максимальное оседание поверхности, м	0,210	0,140	0,100	0,15	0,08
Максимальные напряжения в обделке перегонных тоннелей, МПа*	53/70	30/60	20/40	60/75	21/43
Максимальные напряжения в обделке эскалаторного тоннеля, МПа	150	130	100	140	97

* Значения напряжений в числителе – преобладающие, в знаменателе – пиковые.

а

б

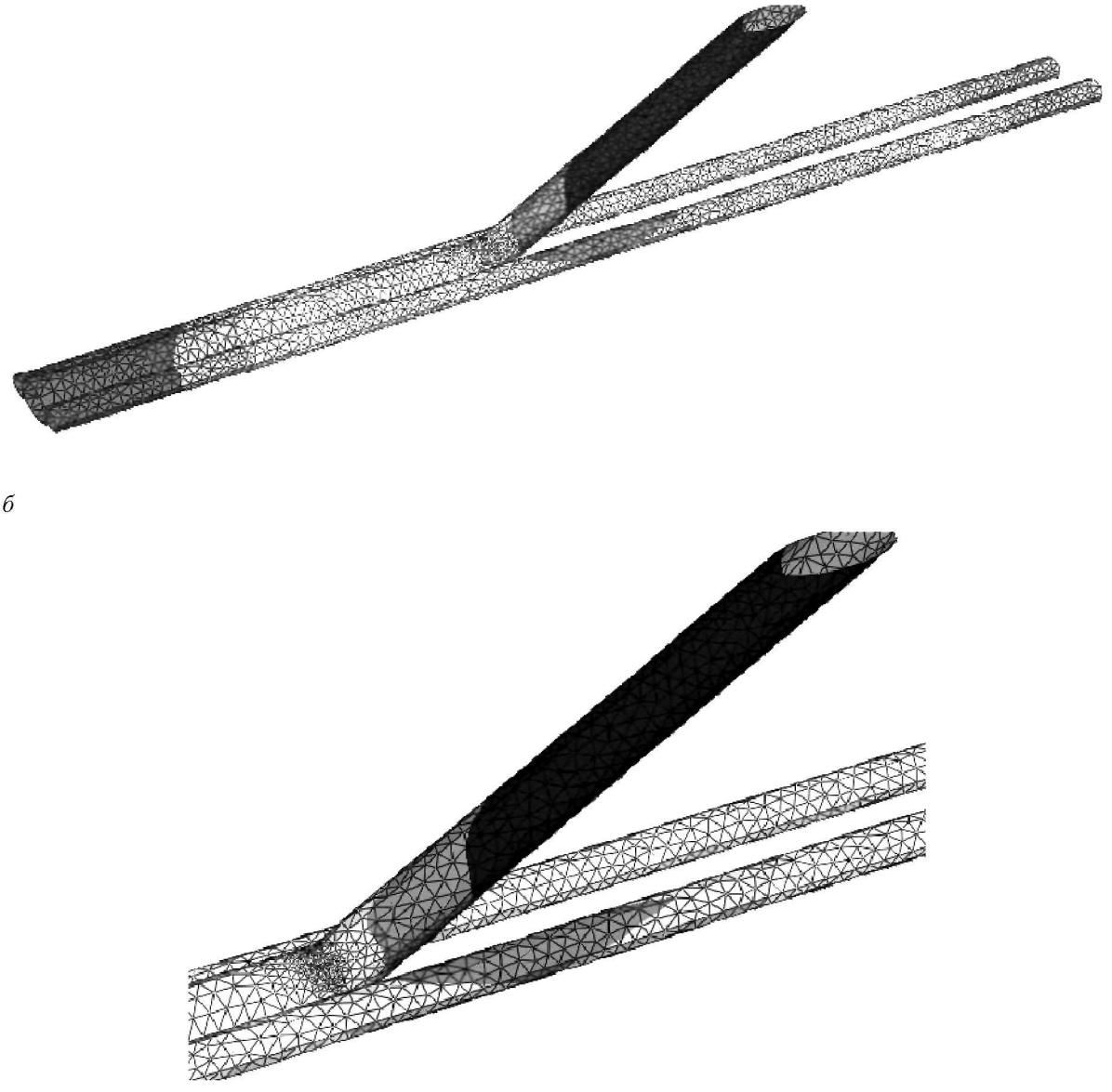


Рис.3. Общая эпюра (*а*) вертикальных смещений в обделке (сваи 21 м, E = 28 МПа) и фрагмент эпюры (*б*) – примыкание эскалаторного тоннеля к станционному

Представление о картине смещений в обделках тоннелей станционного комплекса (рис.3) дают следующие количественные показатели.

Перегонный тоннель (при E = 28 МПа): максимальное оседание кровли 0,139 м, при этом подошва садится на 0,122 м (сближение 1,66 см); проседание по трассе тоннеля составило 0,139 м на 117,32 м. Эскалаторный тоннель (при E = 28 МПа): проседание по трассе тоннеля составило 0,040 м на 80 м (верхнее сечение садится на 0,161 м, нижнее – на 0,122 м).

Перегонный тоннель (при E = 100 МПа): максимальное оседание кровли 0,045 м, при этом подошва садится на 0,038 м (сближение 0,66 см); проседание по трассе тоннеля составило 0,045 м на 110,64 м. Эскалаторный тоннель (при E = 100 МПа): проседание по трассе тоннеля составило 0,030 м на 80 м (верхнее сечение садится на 0,068 м, нижнее – на 0,038 м).

Следует отметить, что оседание боков обделки эскалаторного тоннеля имеет разную величину: 8,5-9,5 см – левый бок и до 10,0 см – правый бок (перемещающийся грунт «стремится» повернуть обделку вокруг продольной оси по часовой стрелке).

Распределение напряжений, ввиду разной жесткости материалов конструкций станционного комплекса и многочисленных грунтовых слоев, а также геометрической сложности объекта, носит неравномерный характер. Обделка станционного комплекса «аккумулирует» напряжения, при этом пиковые значения приходятся на места сопряжений выработок, а также обделку в кровле и почве перегонных тоннелей.

Отдельно следует сказать о напряжениях в области кровли и почвы перегонных тоннелей, значения которых достигают предельных величин. Кроме того, в местах сопряжения перегонных тоннелей с эскалаторным, появляются значительные растягивающие напряжения, разрушающие обделку.