УДК 624.1

П.А.ДЕМЕНКОВ, *канд. техн. наук, доцент, dem-petr@yandex.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

P.A.DEMENKOV, *PhD in eng. sc., associate professor, dem-petr@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ МУЛЬДЫ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПИЛОННОЙ СТАНЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

Дан геомеханический анализ оседания поверхности при строительстве станции метрополитена глубокого заложения. Станция представляет собой типовую пилонную конструкцию, активно используемую при строительстве последних станций Санкт-Петербургского метрополитена. Расчеты выполнены методом конечных элементов с учетом очередности строительства станционного комплекса. В результате численного моделирования построены мульды оседания земной поверхности и получены прогнозные оценки оседания земной поверхности.

Ключевые слова: метрополитен, пилонная станция, метод конечных элементов, оседание поверхности, смещения.

GEOMECHANICAL ANALYSIS OF SURFACE SETTLEMENT TROUGH DEVELOPMENT DUE TO CONSTRUCTION OF DEEP UNDERGROUND PILLAR STATION

Geomechanical analysis of surface subsidence development due to construction of deep underground station is presented. The station is a typical pylon structure, which is usually used during construction of the latest subway station in Saint Petersburg. Numerical modeling of step-by-step underground station construction is conducted. The results of the numerical analysis allow to predict the magnitude of surface settlement and understand the wide of settlement trough.

Key words: metro, pylon station, foundation, finite element method, surface settlemen, deformation, displacement.

В состав станционного комплекса входит три станционных тоннеля, натяжная камера, тягово-понизительная подстанция, а также ряд подходных выработок. Между станционными тоннелями организованы проемы шириной 3 м. Диаметр боковых станционных тоннелей 8,5 м, диаметр центрального станционного тоннеля 9,8 м.

Станция расположена в плотных протерозойских глинах. Глубина заложения станции от поверхности земли до свода среднего станционного тоннеля чуть меньше 50 м. Расстояние от верхнего свода станционного тоннеля до контакта протерозойских глин с дислоцированными плотными глинами (мощностью 7,2 м) 12,6 м. Мощность четвертичных отложений 27,1 м. Мощность слоев по длине и ширине станции не изменялась. При выполнении численного моделирования строительство наклонного хода не учитывалось.

При выполнении прогноза оседания земной поверхности численными методами важным аспектом является корректный выбор размеров рассматриваемой модели. В работе размеры модели подбирались итерационным способом. Границы модели удаляли от центра модели до тех пор, пока результаты численного моделирования на предыдущем и последующем шагах моделирования не совпадали (расхождение не более 5 %). Размеры модели составили 600 м по ширине, 100 м по высоте, в то время как размер модели по направлению продольной оси станции определялся объем-

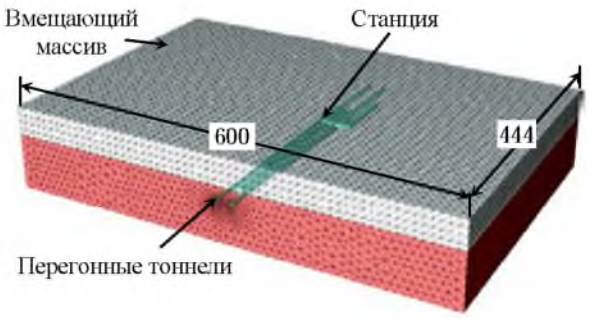


Рис.1. Численная модель станционного узла и вмещающего массива

но-планировочным решением станционного комплекса и примыкающих к нему тоннелей (рис.1).

Разбивка расчетной области на конечные элементы осуществлялась 12 узловыми тетраэдрами, элементами второго порядка. Количество конечных элементов в моделях варьировалось от примерно 500 000 до 800 000.

С учетом рассматриваемых масштабов численной модели детальное численное моделирование последовательности строительства отдельных элементов станционного комплекса не проводилось. В численной модели рассмотрено 10 этапов строительства станционного комплекса, для упрощения анализа результатов моделирования было выделено пять укрупненных этапов строительства станционного комплекса:

- 1-й – проходка среднего станционного тоннеля;
- 2-й – сооружение левого бокового тоннеля;
- 3-й – сооружение правого бокового тоннеля;
- 4-й – строительство пилонов и разработка проемов;
- 5-й – строительство натяжной камеры.

Для построения мульды оседания в продольном и поперечном направлениях было выделено три профиля, два из которых расположены в поперечном направлении посередине станции и вблизи натяжной камеры, а один – в продольном направлении по оси среднего тоннеля (рис.2).

Развитие осадок земной поверхности в процессе сооружения станционного комплекса представлено в виде мульд оседания в продольном направлении по профилю I (рис.3) и в поперечном направлении по профилю II (рис.4).

Как видно из рис.3, мульда оседания достигает максимальных значений над натяжной камерой на этапе ее строительства (5-й этап). Строительство среднего тоннеля сечением 9,8 м вызывает оседание поверхности на 11 мм. При дальнейшем строительстве левого станционного тоннеля происходит значительный рост оседания поверхно-

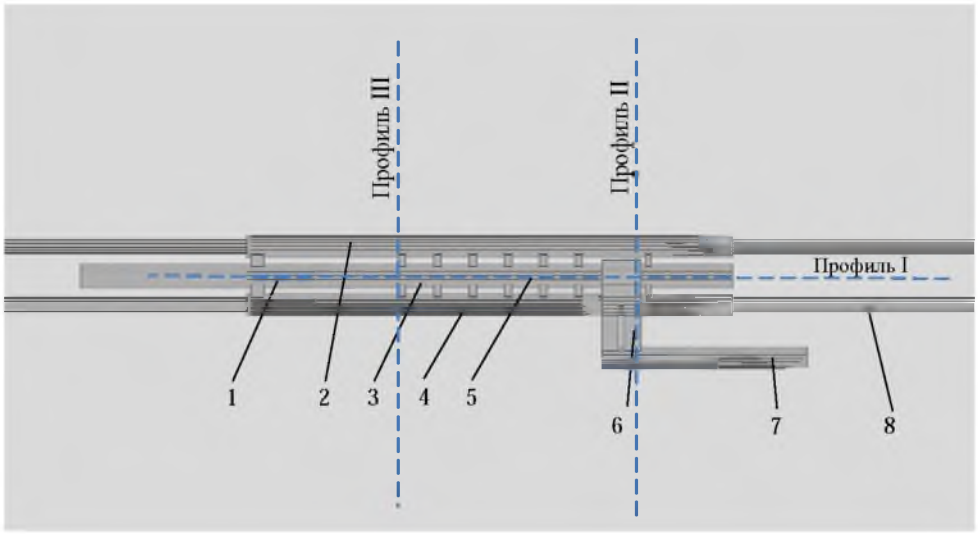


Рис.2. Расположение основных элементов станционного комплекса

1 – тягово-понизительная подстанция; 2 – левый станционный тоннель; 3 – средний станционный тоннель; 4 – правый станционный тоннель; 5 – участок раскрытия проемов; 6 – сопряжение подходной выработки с подземным вестибюлем станции; 7 – переходной коридор; 8 – перегонный тоннель

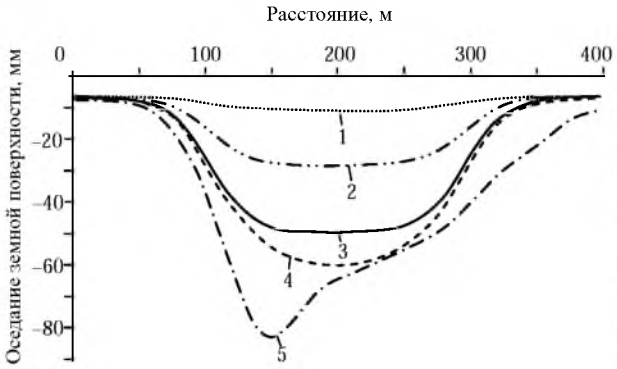


Рис.3. Мульда оседания земной поверхности в продольном направлении (профиль I)

1-5 – номера этапов

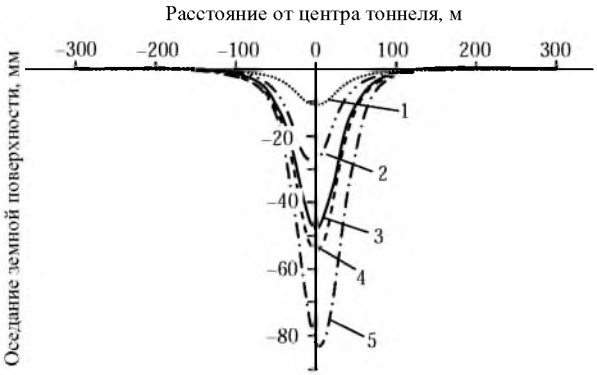


Рис.4. Мульда оседания земной поверхности в поперечном направлении (профиль II)

1-5 – номера этапов

сти, достигающий 28 мм. Последующее строительство правого станционного тоннеля приводит к еще большему росту оседаний поверхности (до 50 мм). Здесь можно сделать вывод об интерференции мульд оседаний от разных тоннелей и связанной с этим большей величины суммарных оседаний поверхности. Разработка проемов увеличивает оседания с 50 до 60 мм.

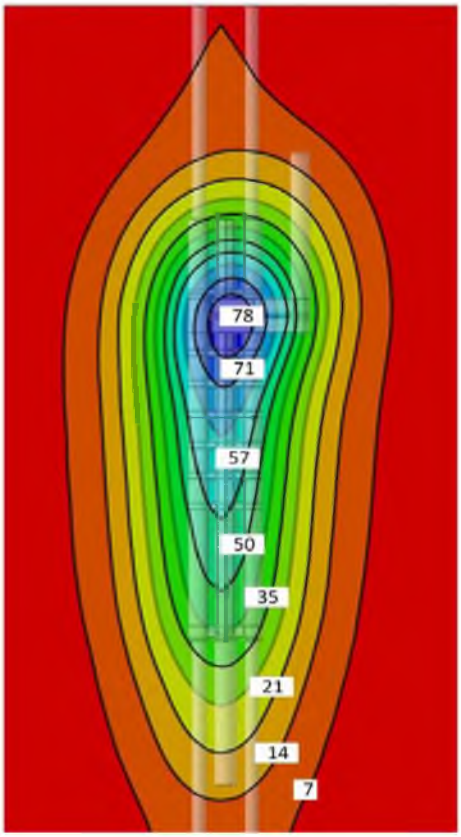


Рис.5.Эпюра оседания земной поверхности над станционным комплексом метрополитена (этап 5), мм

Мульда оседания земной поверхности над станционным комплексом на конечный этап строительства (5-й этап) приведена на рис.5. Максимальная величина оседания зафиксирована над участком строительства натяжной камеры и сопряжения подходной выработки с подземным вестибюлем станции (прогноз 82 мм). На участке раскрытия проемов, вне зоны влияния натяжной камеры величина оседания 60 мм. Вертикальная осадка земной поверхности над станционным комплексом вне участка раскрытия проемов достигла величины около 40 мм.

Ширина мульды оседания около 150 м, оседание над участком перегонных тоннелей не превышает 5 мм. При удалении тоннелей друг от друга величина оседаний поверхности может уменьшиться.

Полученные значения оседаний сопоставимы с данными наблюдений при строительстве пилонных станций в схожих инженерно-геологических условиях, поэтому данное сравнение в первом приближении можно считать корректным.

В целом можно сделать вывод, что пилонная станция метрополитена глубокого заложения ввиду ее большой ширины (более 30 м) с точки зрения развития оседаний земной поверхности является не самой удачной конструкцией по сравнению с колонной станцией открытого типа шириной около 25 м или колонной станцей закрытого типа шириной около 20 м, имеющими более правильную форму сечения.