УДК 622.284

А.Г.ПРОТОСЕНЯ, *д-р техн. наук, профессор, тел. (812) 328-86-25, kaf-sgp@mail.ru*
И.К.СУПРУН, *аспирант, тел. (812) 328-86-25, igor_suprun@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

A.G.PROTOSENYA, *Dr. tech. sci., professor, phone (812) 328-86-25, kaf-sgp@mail.ru*
I.K.SUPRUN, *post-graduate student, phone (812) 328-86-25, igor_suprun@mail.ru*
National Mineral Resources University (University of Mines), Saint Petersburg

ПРОГНОЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДВУХПУТНОГО ПЕРЕГОННОГО ТОННЕЛЯ ФРУНЗЕНСКОГО РАДИУСА САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

Приводится анализ напряженно-деформированного состояния на внешнем и внутреннем контурах обделки при механизированной проходке подземных сооружений тоннелепроходческими механизированными комплексами с пригрузом забоя. Методом конечных элементов получены эпюры главных минимальных и максимальных напряжений на внешнем и внутреннем контурах выработки. Получена зависимость осадки поверхности в зависимости от глубины залегания перегонного тоннеля.

Ключевые слова: тоннель, тоннелепроходческие механизированные комплексы, пригруз, забой, напряжение, осадки поверхности.

PREDICTION OF SPATIAL STRESS-STRAIN DOUBLE-TRACK TUNNEL SFRUNZENSKY RADIUS SAINT PETERSBURG UNDERGROUND

In this article the analysis of the stress-strain state of the external and internal contours of the lining, which appears during the process of the drilling of tunnels with using of contledge of the face which applied in Tunnel Boring Machines, is adduced. The finite element method diagrams obtained the minimum and maximum principal stresses on the outer and inner contours of output. Relationship obtained in the surface sediments depending on the depth of the tunnels.

Key words: tunnel, Tunnel Boring Machines, contledge, face, stress, earth's surface yielding.

В настоящее время, как правило, при строительстве подземных сооружений в сложных гидрогеологических и градостроительных условиях используют тоннелепроходческие механизированные комплексы (ТПМК) с различными видами пригруза забоя (грунтопригруз, гидропригруз, пневмопригруз и пенопригруз) [3].

Преимуществом технологии строительства с применением ТМПК, является возможность избежания потери устойчивости забоя в процессе проходки за счет его постоянного подпора силой пригруза. При правильном выборе усилия пригруза можно добиться полной компенсации смещений плоскости забоя внутрь выработки, что позволит избежать осадок на поверхности, т.е. позволит создать практически безосадочную технологию строительства [2].

Первоначально строительство третьего пускового комплекса Фрунзенского радиуса длиной 6,4 км предполагал возведение четырех станций глубокого заложения. В 1990-е гг. на этом участке уже были пройдены первые

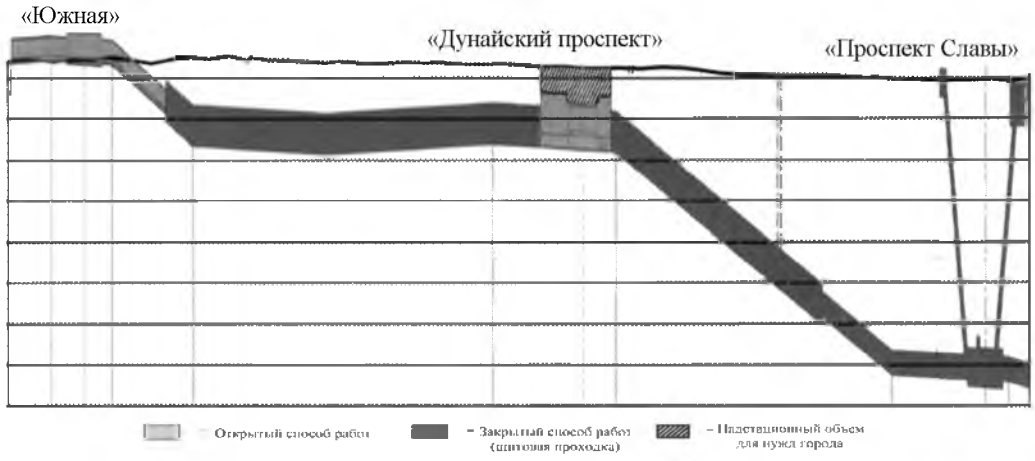


Рис.1. Фрунзенский радиус от станции «Проспект Славы» до станции «Южная» Санкт-Петербургского метрополитена

300 м перегонных тоннелей. Со временем из плана исключили станцию «Балканская» и к проекту были предъявлены новые требования, которые касались, в первую очередь, сокращения затрат и ориентации на мелкое заложение объектов.

Было предложено несколько вариантов строительства. Выбран проект, который предполагал проходку от глубокого заложения с постепенным подъемом за станцией «Проспект Славы» и выходом на поверхность у стания «Южная» (рис.1).

Было внесено предложение о сооружении двухпутного тоннеля с применением механизированного способа проходки, которое может снизить стоимость строительства на 25 %. В заданных условиях строительство двухпутного тоннеля принесет ряд существенных плюсов: значительная экономия время проходки; отсутствует необходимость в дорогостоящем и трудозатратном строительстве перекрестных съездов, эвакуационных сбоек, переходов из тоннеля в тоннель и других сопутствующих выработок; так как эвакуационные выходы будут располагаться в стволах, проект выигрывает с точки зрения безопасности пассажиров; упрощен вопрос размещения эксплуатационных объектов [4].

Для исследования влияния глубины залегания тоннеля на напряженно-деформированное состояние массива и осадку земной поверхности в программном пакете Abaqus выполнено математическое моделирование двухпутного перегонного тоннеля внешним диаметром 10,4м (внутренним 9,4 м). Массив породы был смоделирован четырьмя слоями грунта в соответствии с горно-геологическим и гидрогеологическим строением земной коры на участке строительства Фрунзенского радиуса, начиная от поверхности: супесь мощностью 10 м; песок (15 м), суглинок (20 м), глина. Геомеханические характеристики пород усреднены.

В ходе проделанной работы была выведена графическая зависимость осадки земной поверхности от глубины залегания двухпутного перегонного тоннеля. На глубине залегания тоннеля равной 20 м осадка земной поверхности составляет 7 см, на глубине 40 м – 8,3 см. Также из зависимости видно, что угол падения мульды оседания увеличивается с глубиной залегания тоннеля. Постановка задачи справедлива для условий со значительным отставанием ТПМК на расстоянии 8-10 колец от рассматриваемого кольца обделки.

На рис.2 представлена графическая зависимость тангенциальных и радиальных напряжений от расстояния до контура обделки тоннеля.

Из графика (рис.2) зависимости видно, что зона влияния выработки приблизительно равна 20 м, а зона пластичных деформаций 7 м. Радиальные напряжения на контуре выработки (в боку) для тоннеля на глубине 20 м составляет 0,75 МПа, а на



Рис.2. Графическая зависимость распределения тангенциальных (σ_t) и радиальных (σ_r) напряжений до контура обделки двухпутного тоннеля на глубине 20 и 40 м

1 – распределение σ_t на глубине 40 м; 2 – распределение σ_r на глубине 40 м; 3 – распределение σ_t на глубине 20 м; 4 – распределение σ_r на глубине 20 м

глубине 40 м – 0,35 МПа. Тангенциальные напряжения на глубине залегания двухпутного перегонного тоннеля 20 и на 40 м приблизительно одинаковы и составляют 0,4 МПа.

На рис.3 приведены эпюры главных напряжений σ_1 и σ_3 на контуре обделки двухпутного перегонного тоннеля в зависимости от глубины заложения (20 или 40 м). Значения напряжений, полученные с эпюр, пересчитываются с учетом коэффициента α^* [Б.З.Амусин, 1989], полученного на основании результатов натурных наблюдений за смещениями пород в выработках [1]. Для данной постановки задачи $\alpha^* = 0,07$ (рассматриваемое кольцо обделки находится на расстоянии 10 м от забоя). Значения растягивающих напряжений: на внешнем контуре 0,06-0,075 МПа, на внутреннем контуре в шелыге свода обделки 0,07 МПа, в обратном своде на глубине залегания тоннеля 20 и 40 м соответственно 0,065 и 0,03 МПа. Сжимающие напряжения на внутреннем контуре 0,04-0,0525 МПа, на внешнем контуре обделки в шелыге свода 0,08 МПа; в обратном своде на глубине залегания тоннеля 20 и 40 м 0,085 и 0,04 МПа соответственно.

Появление проекта сооружения принципиально нового для Санкт-Петербургского метрополитена двухпутного перегонного тоннеля облегчает и ускоряет строительство по пути инноваций и передовых технологий. Успешный опыт использования современных проходческих комплексов позволяет гарантировать по-

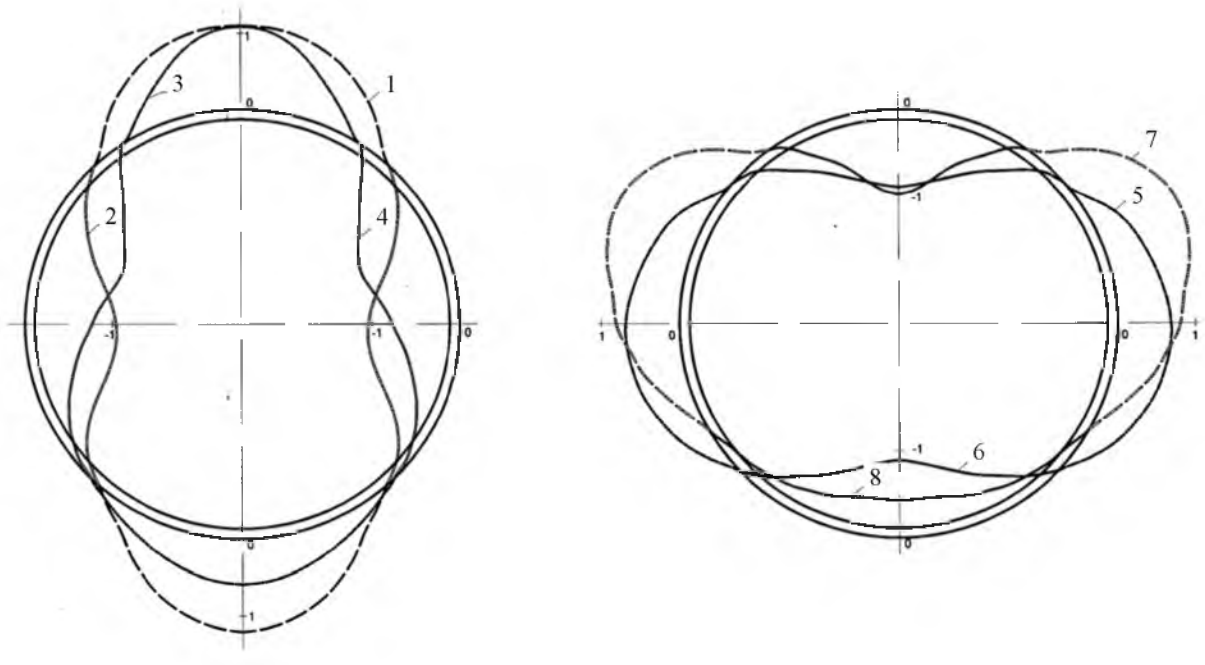


Рис.3. Распределение главных напряжений σ_1 и σ_3 на внешнем (*а*) и внутреннем (*б*) контурах

1 и 5 – σ_1 на глубине 20 м; 2 и 6 – σ_3 на глубине 20 м; 3 и 7 – σ_1 на глубине 40 м; 4 и 8 – σ_3 на глубине 40 м

ложительные результаты на новых, либо уже начатых, либо еще готовящихся к возведению, объектах.

Статья подготовлена по результатам НИР, выполненных по госконтракту № 16.515.11.5080 от 10.10.2011 «Разработка научно-технических основ геомеханически безопасного освоения подземного пространства мегаполисов в сложных инженерно-геологических и градостроительных условиях».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Булычев Н.С.* Механика подземных сооружений: Учебник для вузов. М., 1994.

2. *Гарбер В.А.* Пространственное моделирование при строительстве транспортных тоннелей / В.А.Гарбер, А.А.Кашко, Д.В.Панфилов // Метро и тоннели. 2004. № 5.

3. *Ларс Лангмаак.* Кондиционирование грунта. Передовая технология для проходки тоннелей щитами с грунтовым пригрузом забоя // Метро и тоннели. 2005. № 4.

4. *Старков А.Ю.* Технология строительства двухпутного перегонного тоннеля Санкт-Петербургского метрополитена // Метро и тоннели. 2011. № 2.

REFERENCES

1. *Bulychev N.S.* The mechanics of underground structures: Manual for university. Moscow, 1994.

2. *Garber V.A.* Volume modeling of the transport tunnel construction / V.A.Garber, A.A.Kashko, D.V.Panfilov // Sabway and Tunnels. 2004. N 5.

3. *Lars Langmaak.* Conditioning the soil. Advanced technology for tunneling shield with ground of the working face // Subway and Tunnels. 2005. N 4.

4. *Starkov A.Yu.* The technology of building double-track tunnels of the St. Petersburg Metro // Subway and Tunnels. 2011. N 2.