УДК 624.1

П.А.ДЕМЕНКОВ, *канд. техн. наук, доцент, dem-petr@yandex.ru*
М.А.КАРАСЕВ, *канд. техн. наук, доцент, blind2006@mail.ru*
Д.А.ПОТЕМКИН, *канд. техн. наук, доцент, potyomkin@list.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

P.A.DEMENKOV, *PhD in eng. sc., associate professor, dem-petr@yandex.ru*
M.A.KARASEV, *PhD in eng. sc., associate professor, dem-petr@yandex.ru*
D.A.POTYOMKIN, *PhD in eng. sc., associate professor, potyomkin@list.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЭТАПНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ПИЛОННОЙ СТАНЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

Выполнено численное моделирование напряженно-деформированного состояния пилонной станции с чугунной обделкой метрополитена глубокого заложения. Сложная геометрия станции и последовательная проходка тоннелей с поэтапной разработкой на полное сечение потребовали применить трехмерное моделирование с учетом технологии возведения станции.

Ключевые слова: станции метрополитена, нагрузки, натурные исследования, пилоны, метод конечных элементов, геомеханический прогноз.

GEOMECHANICAL ANALYSIS OF UNDERGROUND PILLAR STATION WITH STEP BY STEP EXCAVATION

Numerical modeling of cast iron lining stress and strain state of pylon deep underground station is done. Due to complex geometry of underground station, step by step excavation and lining installation numerical modeling was done in three dimensional space.

Key words: metro station, loads, in-situ testing, pillars, finite elements method, geomechanical forecast.

При численном моделировании сложных (геометрия, горно-геологические условия, технология и т.д.) подземных объектов возникает проблема вычленения основных факторов, влияющих на формирование их напряженно-деформированного состояния (НДС).

Пилонная станция метрополитена представляет собой три параллельных протяженных тоннеля, соединенных друг с другом проемами, между которыми остаются защитные пилоны. Таким образом, численное моделирование станции возможно только в объемной постановке, что усложняет разработку общей модели, но позволило получить комплексную оценку напряженно деформированного состояния с учетом сложной геометрии объекта.

Длительные натурные исследования станций метрополитенов глубокого заложения показали, что помимо геометрии, значительное воздействие на распределение напряжений в несущих конструкциях оказывает технология их сооружения*

* *Деменков П.А.* Исследование напряженного состояния обделки пилонной станции метрополитена глубокого заложения / Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. Серия: Науки о земле; П.А.Деменков, М.А.Карасев. Тула: Гриф и К, 2009.

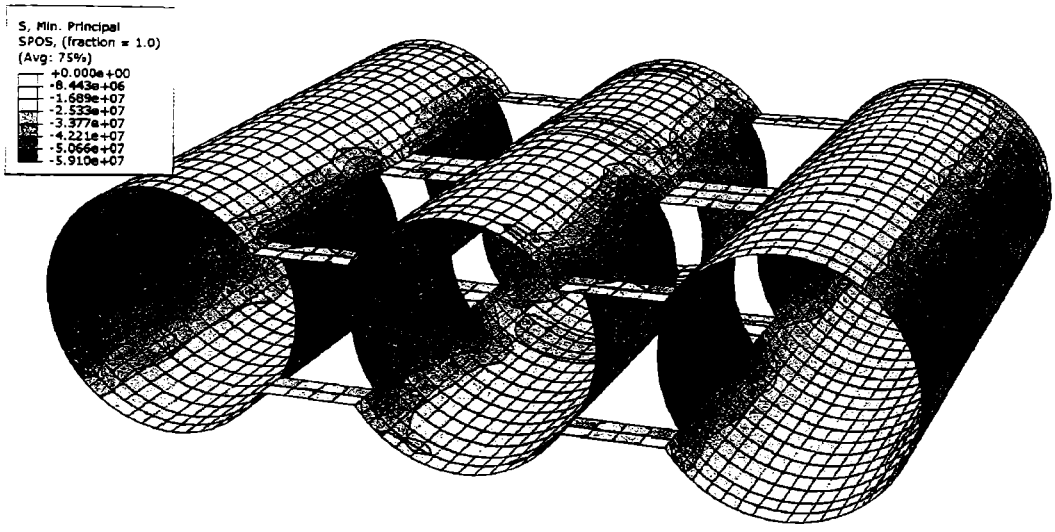


Рис.1. Максимальные сжимающие напряжения в обделке пилонной станции метрополитена после завершения проходческих работ

Моделирование строительства пилонной станции с чугунной обделкой выполнялось в следующей последовательности:

- получение начального напряженного состояния массива под действием сил гравитации;
- поэтапная разработка среднего станционного тоннеля;
- поэтапная разработка левого станционного тоннеля;
- поэтапная разработка правого станционного тоннеля;
- последовательная разработка пилонов.

В результате моделирования получены эпюры распределения максимальных сжимающих и растягивающих напряжений на внешнем и внутреннем контурах обделки в процессе и после проведения всех проходческих работ. Максимальные значения сжимающих напряжений формируются на участках проемов в обделки боковых станционных тоннелей и достигают 59 МПа (рис.1). В боках боковых тоннелей напряжения изменяются в диапазоне 20-25 МПа. В почве и своде обделки бокового станционного тоннеля эти значения несколько меньше. Рассматривая формирование сжимающих напряжений в обделке среднего тоннеля, можно отметить, что как и в боковом тоннеле, максимальные сжимающие напряжения формируются на участке проема, но их максимальные значения несколько смещены от его центра вниз и вверх. Величина напряжений составляет порядка 45 МПа. Характер распределения напряжений в своде и почве среднего тоннеля повторяет распределение напряжений в боковых станционных тоннелях. Сжимающие напряжения в обделке проема невелики и составляют 10-20 МПа.

Растягивающие напряжения в основном формируются в своде и почве как боковых, так и среднего станционных тоннелей. Величина растягивающих напряжений на данных участках составляет 5-15 МПа. На участках проемов растягивающие напряжения в обделке среднего станционного тоннеля достигают 25 МПа. Растягивающие напряжения в обделке проема составляют 15-17 МПа (рис.2).

Demenkov P.A. Research of intense condition lining pier of station of underground deep location / Proceedings of the Tula state university. Natural sciences. A series: Sciences about the earth; P.A.Demenkov, M.A.Karasev. Tula: Grif and K, 2009.

Деменков П.А. Геомеханические проблемы прогноза напряженно-деформированного состояния станций метрополитена глубокого заложения / П.А.Деменков, И.Е.Долгий, В.И.Очкуров // Записки Горного института. 2010. Том 185.

Demenkov P.A. Geomechanical problems in the forecast of stress-strain state of underground stations of the metro at a great depth / P.A.Demenkov, I.E.Dolgiy, V.I.Ochkurov // Proceedings of Mining institute. 2010. Vol. 185.

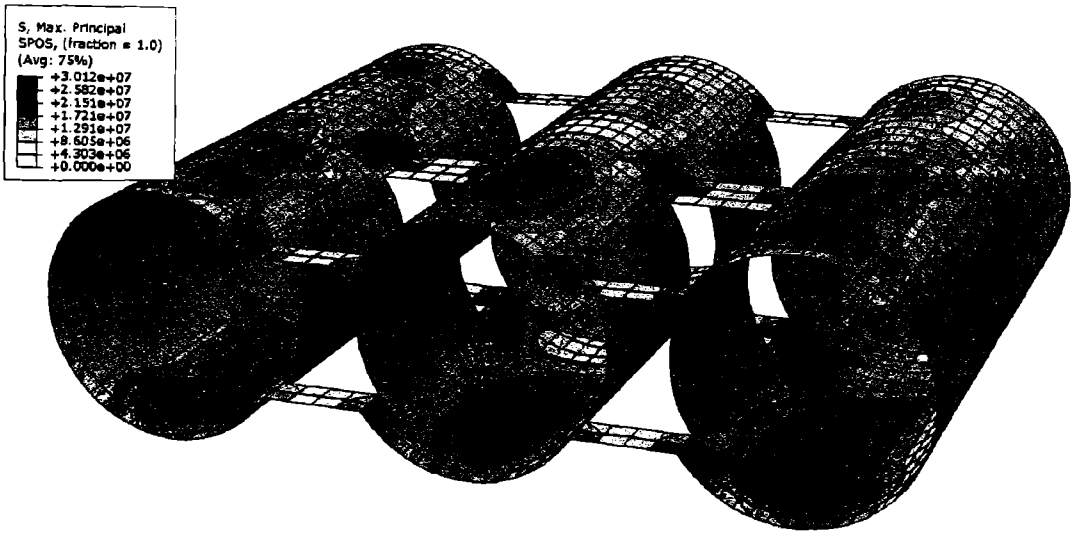


Рис.2. Максимальные растягивающие напряжения в обделке пилонной станции метрополитена после завершения проходческих работ

Сжимающие напряжения в обделке после начала разработки среднего станционного тоннеля на все сечение достигают 16 МПа. По мере продвижения забоя среднего тоннеля максимальные напряжения в сводах увеличиваются до 33 МПа, а в боках изменяются в диапазоне 16-20 МПа. Последующая разработка среднего тоннеля не оказывает значительного влияния на формирование напряженного состояния обделки. Сооружение левого станционного тоннеля приводит к небольшому перераспределению напряжений в обделке среднего тоннеля. В обделке бокового тоннеля максимальные сжимающие напряжения концентрируются в его боках, достигая величины 42 МПа.

Раскрытие правого тоннеля на всю длину позволяет несколько уменьшить напряжения в левом станционном тоннеле до 41 МПа, в то время как картина сжимающих напряжений в правом тоннеле практически повторяет характер распределений в левом тоннеле.

Раскрытие проемов приводит к увеличению напряжений до 53 МПа. После раскрытия проема № 4 максимальные напряжения увеличиваются до 55 МПа. После раскрытия проема № 2 максимальные сжимающие напряжения увеличиваются до 59 МПа. Последующее раскрытие проемов практически не оказывает влияние на величину максимальных напряжений и лишь меняет характер и величину напряжений на участках проемов.

При этом необходимо заметить, что раскрытие проема в левом тоннеле не оказывает значительного влияния на величину напряжений в правом тоннеле, и наоборот (1-2 МПа). Раскрытие рядом расположенных проемов в рамках одного тоннеля увеличивает напряжения в обделке на 4-5 МПа.

На рис.3 приведены зависимости разбития напряжений в обделке на различных этапах строительства станции метрополитена пилонного типа.

На участке проема среднего тоннеля (рис.3) сжимающие напряжения в боках тоннеля, начиная с 5-го этапа (разработка на полное сечение), возрастают. К 10-му этапу значение напряжений достигает 8 МПа и вплоть до 22-го шага остается неизменным. Раскрытие пилот-тоннеля правого станционного тоннеля приводит к дальнейшему росту напряжений до величины 13 МПа. После раскрытия правого станционного тоннеля на полное сечение (этапы 27-31) происходит рост напряжений до величины 20 МПа. Раскрытие проемов приводит к некоторой релаксации напряжений до величины 17 МПа.

В своде тоннеля до 12-го этапа характер развития напряжений совпадает с тем, который получен в боках среднего станционного тоннеля. На этапах 12-31 кривые расходятся, а напряжения в своде к этапу 13 достигают

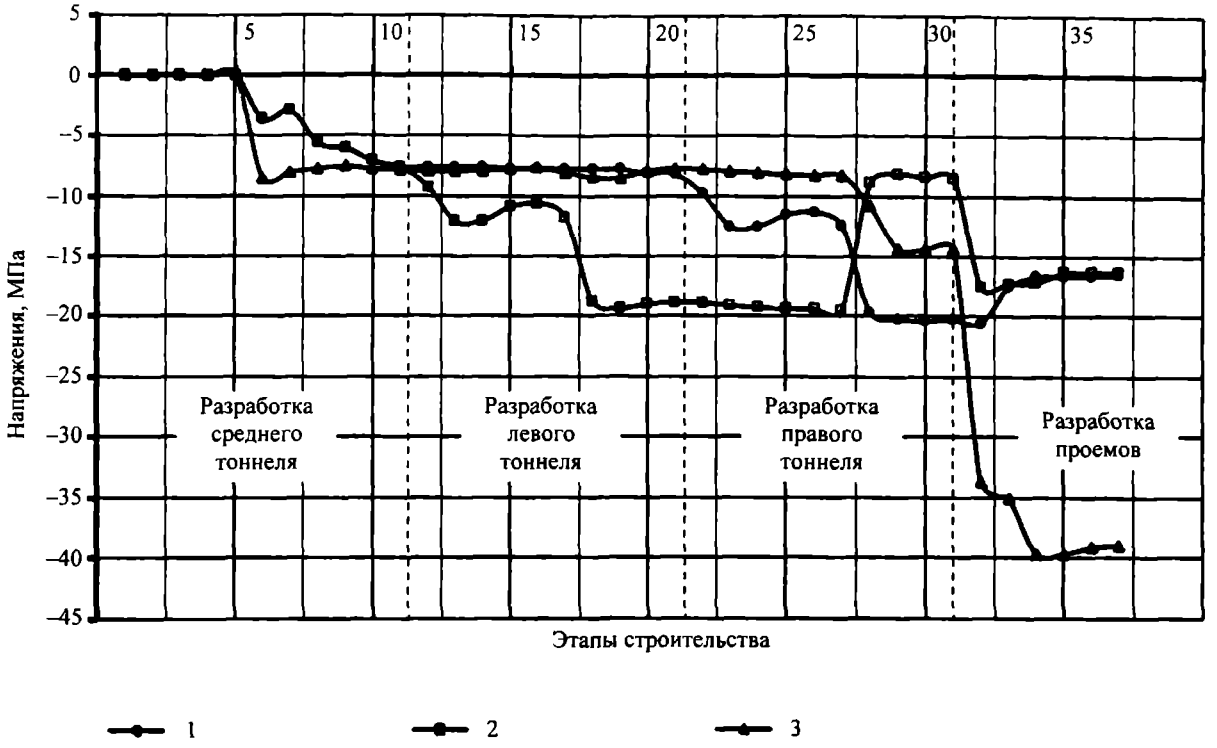


Рис.3. Графики изменения максимальных сжимающих напряжений по мере строительства станции (средний тоннель, сечение по проему)
– в боках тоннеля; 2 – в своде тоннеля; 3 – участок раскрытия пилона

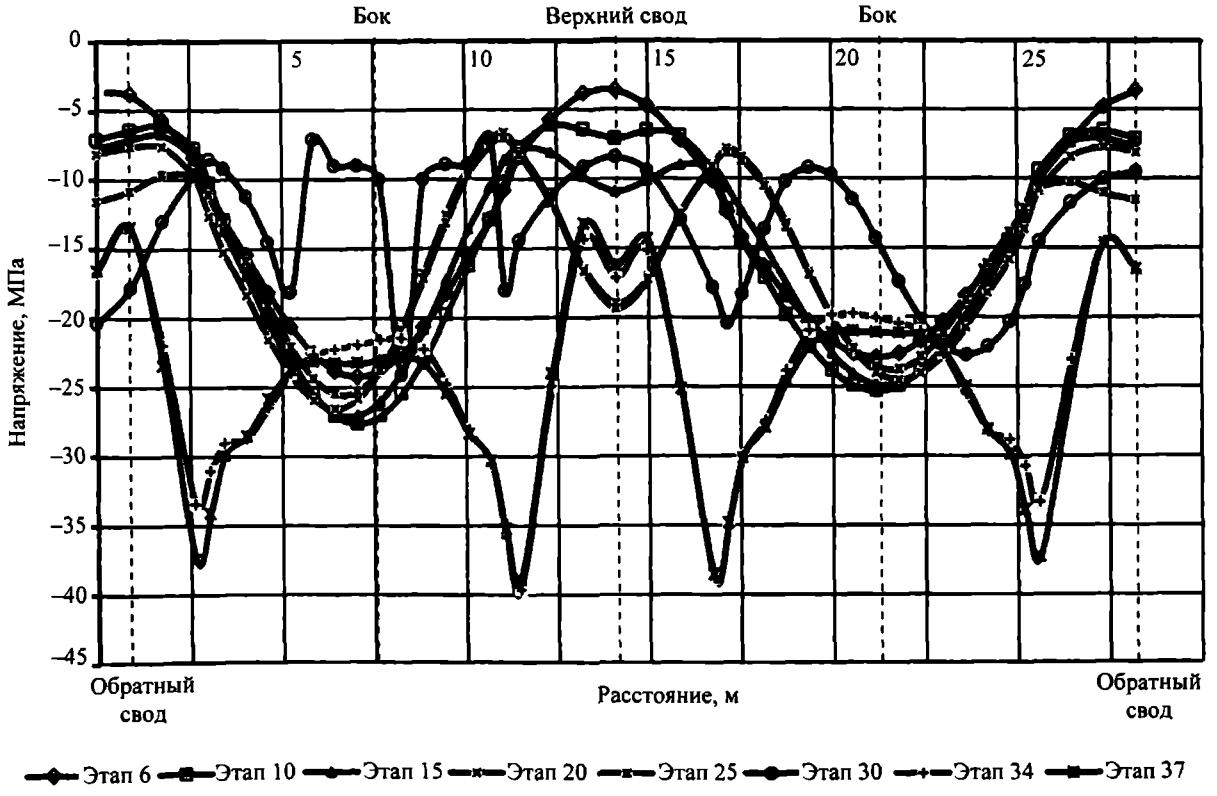


Рис.4. Распределение главных напряжений в обделке станции (средний тоннель, сечение по проему)

13 МПа, а к 17-му этапу 20 МПа. В последующем вплоть до этапа 27 (разработка правого тоннеля на полное сечение) напряжения не возрастают. Затем на этапах 27-28 происходит падение напряжений до 7 МПа и они остаются такими вплоть до этапа, на котором производится раскрытие первого проема. К концу строительства напряжения в своде тоннеля достигают 17 МПа.

В боках обделки среднего станционного тоннеля, после его раскрытия, напряжения увеличиваются до 4 МПа. Вплоть до этапа 22 напряжения остаются неизменными. По мере раскрытия правого пилот-тоннеля напряжения в обделке увеличиваются до 8 МПа. Последующее раскрытие правого станционного тоннеля на все сечение приводит к увеличению напряжений до 17 МПа. Раскрытие проемов практически не сказывается на величине напряжений в обделке на рассматриваемом участке.

В своде обделки тоннеля после раскрытия среднего станционного тоннеля на все сечение напряжения увеличиваются до 5 МПа. Раскрытие левого пилот-тоннеля приводит к увеличению напряжений до 8 МПа. После раскрытия левого станционного тоннеля на все сечение напряжения достигают 16 МПа. Последующее строительство правого станционного тоннеля и раскрытие проемов между пилонами не оказывает значительного влияния на величину напряжений в обделке и на этапе окончания проходческих работ напряжения достигают 18 МПа.

Рассматривая изменение напряжений на протяженном участке среднего станционного тоннеля, в точке, соответствующей участку раскрытия проема, можно отметить, что рост напряжений наблюдается только на этапе строительства среднего станционного тоннеля, дальнейшее строительство станции пилонного типа не оказывает значительного влияния на величину напряжений в обделке (рис.4).

В заключение можно отметить, что рост напряжений в обделке левого и правого станционных тоннелей в основном вызван непосредственно их строительством. Как показывают зависимости, строительство правого тоннеля практически не сказывается на напряженном состоянии обделки в левом тоннеле. Раскрытие проема увеличивает напряжение в своде и на участке раскрытия соответственно на 1 и 3 МПа. Падение напряжений в боках обделки до нуля на этапе раскрытия пилона связано с тем, что точка замера располагалась непосредственно на участке раскрытия, где напряжения после демонтажа обделки стали равными нулю. На данном участке раскрытие проема оказывает более значимое воздействие на напряженное состояние обделки. Например, напряжение в боках увеличивается в четыре раза, в своде происходит падение на 1 МПа. На участке раскрытия также наблюдается некоторая релаксация напряжений, связанная с их перераспределением в сторону участка раскрытия проема.