***Е.Э.МАРТИРОСЯНЦ***
Факультет освоения подземного пространства, аспирант кафедры строительства горных предприятий и подземных сооружений

# ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ПРОТЕРОЗОЙСКИХ ГЛИН В КРОВЛЕ ТОННЕЛЯ НА СМЕЩЕНИЯ КОНТАКТА ГЛИН С НАНОСАМИ

Исследование напряженно-деформированного состояния массива пород при проведении перегонных тоннелей в слоистой среде представляет собой достаточно сложную геомеханическую задачу. В статье отражены результаты исследований плоского (двумерного) напряженно-деформированного состояния массива пород вокруг перегонного тоннеля Санкт-Петербургского метрополитена методом конечных элементов. Обобщены данные испытаний физико-механических свойств протерозойских глин, проведенных в разные годы различными организациями. Приведена расчетная схема, представляющая собой двухслойную пластину размером 80 × 80 м с тоннелем диаметром 6 м, пройденным на глубине 60 м от поверхности в протерозойских глинах, покрытых толщей четвертичных отложений переменной мощности. Выявлены причины и механизм деформирования породной толщи, оседаний контакта четвертичных отложений с наносами и, как следствие, дневной поверхности. Результаты расчетов, величины оседания контура тоннеля, оседания контакта глин с наносами при потолочине 5 и 20 м, оседания дневной поверхности, подтвердили сделанное ранее предположение о том, что на деформации покровной толщи существенно влияет мощность глин в кровле тоннеля.

The research of the stress-strained state of the rock mass when driving stage tunnels in a stratified medium represents a rather complex geomechanical problem. In the article the results of the research of flat stress-strained state of the rock mass around the Saint-Petersburg underground stage tunnel by a finite element method are presented. The test data of physical and mechanical properties of Proterozoic clays, which were carried out by different organizations in different years, are generalized. The design is given and it represents a two-layered plate of 80 x 80 m with a tunnel of 6 m in diameter, driven at the depth of 60 m from the surface in Proterozoic clays, covered with Quaternary deposits of variable thickness. The causes and mechanizm of rock deformation, a subsidence of the contact between Quaternary deposits and overburden and, as a result, a subsidence of the surface are detected. The results of calculations, the value of the tunnel contour subsidence, the subsidence of the contact between clays and overburden at the ceiling of 5 and 20 m, the surface subsidence have confirmed the made earlier supposition that the overburden deformations are essentially influenced by the thickness of clay in the roof of the tunnel.

Из практики строительства станций в зонах размывов (средний станционный тоннель станции «Адмиралтейская») известно, что с уменьшением в кровле тоннеля мощности потолочины протерозойских глин смещения «лба» забоя и контура тоннеля увеличиваются, а устойчивость пород в забое снижается. Можно предположить, что соответственно меняются и осадки контакта наносов с глинами и, как следствие, осадки поверхности*. Для выявления закономерностей деформирования протерозойских глин вокруг строящихся выработок при различной мощности глин от свода до четвертичных отложений выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния массива методом конечных элементов. Задача решалась в плоской (двумерной) постановке. Рассмотрено состояние участка массива глубиной от поверхности 80 м, шириной 80 м, с тоннелем диаметром 6 м, пройденным на глубине 60 м от поверхно-

* Пособие по проектированию мероприятий для защиты эксплуатируемых зданий и сооружений от влияния горнопроходческих работ при строительстве метрополитена / В.Ф.Подаков, В.М.Соловьев, В.М. Капустин и др. Л.: Стройиздат , 1973.

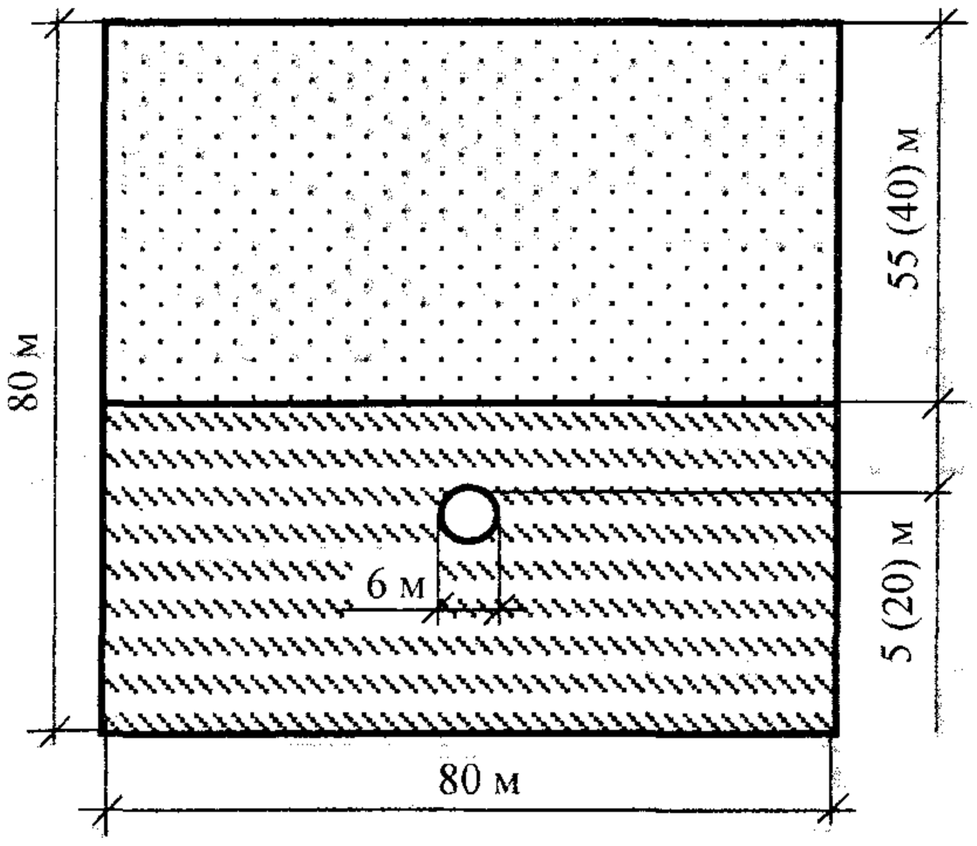



Рис.1. Расчетная схема

сти в протерозойских глинах, покрытых мощной толщей четвертичных отложений. Рассмотрены следующие варианты расчетных схем (рис.1). В первой наносы в районе строительства имеют мощность 55 м, мощность глин (от кровли до контакта с отложениями) – 5 м. Во второй эти величины составляют, соответственно, 40 и 20 м. Физико-механические свойства грунтов представлены в табл.1.

*Таблица 1*

**Свойства грунтов**

| Порода | Объемный вес, кН/м$^3$ | Модуль деформации, МПа | Сцепление, МПа | Коэффициент Пуассона | Угол внутреннего трения, град. |
|---|---|---|---|---|---|
| Четвертичные отложения | 17,5 | 50 | 0,06 | 0,3 | 18 |
| Протерозойские глины | 21,6 | 176 | 0,54 | 0,23 | 23 |

Характеристики свойств глин в табл.1 заданы на основе обобщения данных испытаний глин, выполненных в разные годы в ЛГИ, ЛИИЖТе, ЛИСИ, ВНИМИ, ВНИИ Гидротехники (научные отчеты В.Д.Ломтадзе, Р.Н.Кремневой, М.С.Бузкова, Н.П.Астратова, В.Н.Бадухина, А.В.Кузьмина, Ю.М.Карташова, Б.В.Матвеева и других, 1960-1988 гг.).

Породная толща, представляющая собой двухслойную пластину, моделировалась плоскими треугольными элементами, тюбинговая обделка тоннеля – четырехугольными элементами. Взаимодействие породного контура и крепи-обделки имитировалось с помощью промежуточных двумерных элементов, моделирующих работу слоя тампонажного материала.

На моделях получены перемещения и напряжения в каждом узле сетки МКЭ.

В каждом из двух случаев расчет выполнялся два раза – без тоннеля и с тоннелем. В варианте без тоннеля получены осадки породной толщи под действием собственного веса, в варианте с тоннелем – осадки от собственного веса и от строительства тоннеля, вместе взятые. Разница этих двух величин давала «чистую» величину осадок поверхности контакта с наносами и земной поверхности, вызванных строительством тоннеля (табл.2).

Результаты расчета подтвердили, что мощность глин в кровле тоннеля является фактором, существенно влияющим на деформации покровной толщи. Оседания поверхности контакта с наносами при потолочине 5 м оказались в 2,5 раза больше, чем при 20-метровом перекрытии тоннеля глинами. Характерно, что при малой потолочине осадка поверхности контакта глин с наносами практически не сказалась на поверхности. По-видимому, при мощной толще наносов (55 м) имеет место эффект «заплывания» мульды оседания, имеющей малую ширину, слабыми грунтами покровной толщи. В случае расположения тоннеля на расстоянии 20 м от контакта мульда оседания по границе между слоями шире. Несмотря на значительно меньшее оседание в центре мульды, за счет ее ширины осадки прослеживаются и на земной поверхности.

Изменение напряженного состояния вмещающего массива и крепи изучалось путем сопоставления значений максимальных

*Таблица 2*

**Результаты расчета**

| Расчетный вариант | Смещения, мм | | |
|---|---|---|---|
| | Свод тоннеля | Земная поверхность | Контакт глин с наносами |
| Мощность потолочины 5 м | | | |
| От собственного веса грунта | 123 | 534 | 148,1 |
| От веса грунта и проходки тоннеля | 163 | 534 | 173,6 |
| От проходки тоннеля | 40 | 0 | 25,5 |
| Мощность потолочины 20 м | | | |
| От собственного веса грунта | 130 | 422 | 217,8 |
| От веса грунта и проходки тоннеля | 164 | 427 | 227,7 |
| От проходки тоннеля | 34 | 5 | 9,9 |

*Таблица 3*

**Максимальные напряжения в тоннеле**

| Модель | Напряжения расчетные (числитель) и естественные (знаменатель), МПа | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Бока | Кровля на расстоянии, м | | | |
| | | Контур | 1,0 | 2,5 | 5 |
| Потолочина 20 м | 2,32<br>0,81 | 0,059<br>0,809 | 0,144<br>0,75 | 0,238<br>0,78 | 0,437<br>0,69 |
| Потолочина 5 м | 2,68<br>0,781 | 0,12<br>0,736 | 0,136<br>0,72 | 0,26<br>0,76 | 0,404<br>0,602 |

напряжений в характерных точках модели при мощности потолочины глин 5 и 20 м с напряжениями в массиве до проведения выработки. В табл.3 представлены максимальные напряжения в боках на контуре тоннеля и в перекрывающей толще на расстояниях 0; 1,0; 2,5; 3,5; 5 м от свода тоннеля по вертикальной оси сечения. Все напряжения сжимающие.

По величине напряжений видно, что при «малой» (5 м) потолочине концентрация напряжений в боках и в потолочине несколько выше, чем при мощном (20 м) перекрытии тоннеля глинами. В обоих случаях над тоннелем формируется зона разгрузки с коэффициентами концентрации максимальных напряжений в кровле (на расстоянии до 5 м от контура) от 0,07 до 0,67. На рис.2, 3 показано распределение максимальных напряжений вокруг тоннеля (потолочина 5 м). На рис.2, 3 также заметно выделяется зона разгрузки в кровле и почве тоннеля. Сравнение напряженного состояния вмещающих пород в рассмотренных случаях показывает, что зона влияния тоннеля на НДС потолочины локализуется в ее пределах, т.е. до контакта глин с четвертичными отложениями.

Таким образом, мощность потолочины глин в кровле влияет не только на величину ее смещения, но и на напряженно-деформированное состояние пород в призабойной зоне. Соответственно снижается устойчивость породных обнажений и растет давление глин на временную крепь «лба» забоя. При малых потолочинах нельзя исключать таких опасных для призабойной зоны явлений, как выдавливание глин со стороны забоя при его разработке, когда забой частично неподкреплен. Для выработок больших пролетов вероятность опасных проявлений горного давления в забоях возрастает. В таких условиях первостепенное

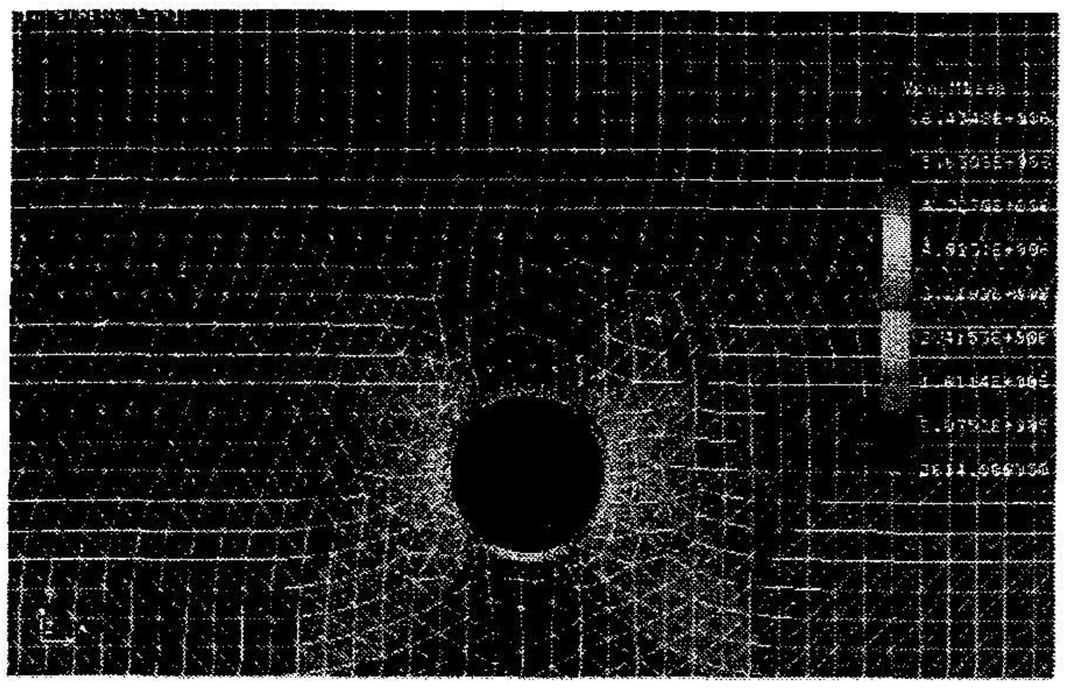


Рис.2. Напряжения в массиве

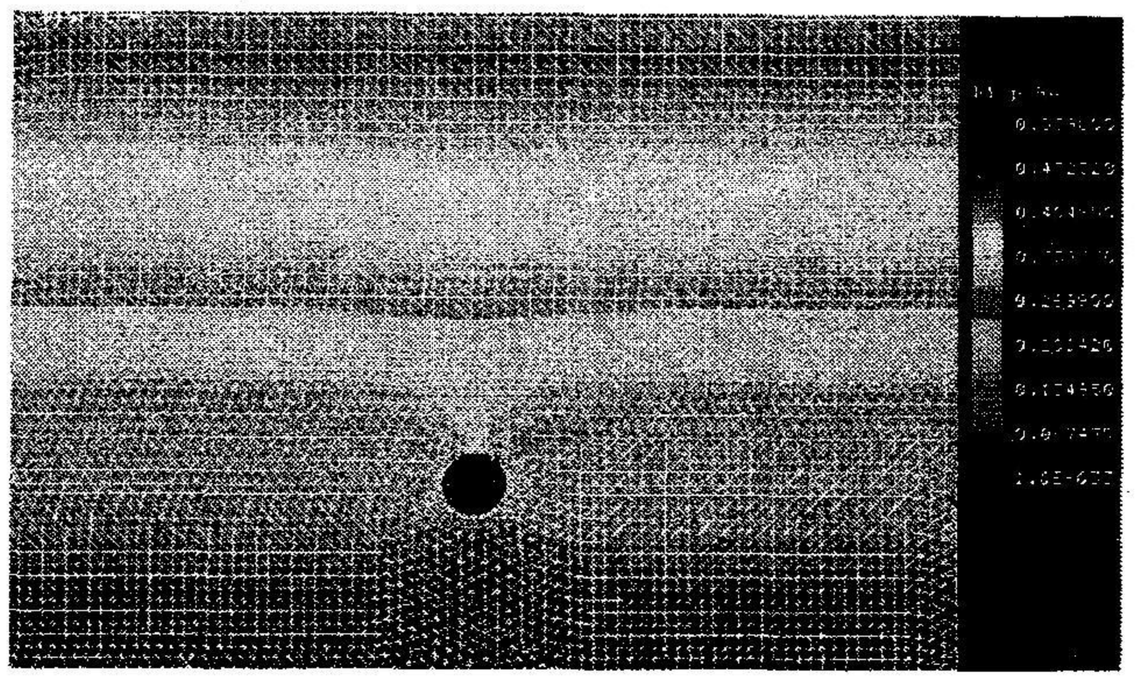


Рис.3. Деформации массива

значение имеют жесткость временной крепи и тампонаж закрепного пространства после установки каждого кольца крепи. В этой связи очевидны преимущества технологии проходки и крепления тоннелей, обеспечивающие опережающий или следующий вслед за забоем ввод обделки в работу, такие как: проходка с опережающим креплением свода с быстротвердеющими смесями, крепление тоннелей блочной крепью, обжатой в породу, крепление прессованой бетонной обделкой.

Научный руководитель профессор, д.т.н. *Ю.Н.Огородников*