УДК 622.245.422.2

В.В. МУСИХИН
Пермский государственный технический университет

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОННЕЛЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МЕТРОПОЛИТЕНА В ПЕРМИ

Предложено проектное решение схемы подземного электротранспорта для г. Перми. Произведены геомеханические расчеты для определения напряженно-деформированного состояния вокруг незакрепленной выработки круглого сечения в упругой постановке с применением ГИС-технологий. Произведен расчет обделки по методике, разработанной Б. А. Картозией и В. Н. Борисовым. Показаны метод крепления выработки и расчетные геометрические параметры крепления.

A project design of underground electrical transportation scheme for the city of Perm is described. Geomecanical calculations of the proposed scheme have been made to determine the stress-and-stain condition around an unsupported round opening in elastic approach with application of geoinformation technologies. Calculation of lining has been done basing on methodology developed by B.A. Kartozia and V.N. Borisov. Barring techniques and calculated geometrical parameters of mine support are given in conclusion.

Пермь – краевой центр, миллионный город, расположенный на р. Каме на западе Урала. Проблема строительства метрополитена решается с 1982 г. Неразрешимость проблемы заключается в сложности постройки метро: город сильно вытянут вдоль реки, а инженерно-геологические условия грунтов таковы, что стоимость строительства хотя бы одной ветки обойдется в приличную сумму, которую не выдержит местный бюджет.

Эту проблему экономически разрешить вполне возможно, но в данной статье предлагается понизить стоимость строительства за счет изменения схемы расположения станций и перегонных тоннелей – перейти от проекта метрополитена к проекту метротрамвая.

Метротрамвай – это технология подземно-наземного горизонтально-вертикального перемещения вагонов с находящимися в них пассажирах [3]. В метротрамвае в отличие от метрополитена роль эскалаторов выполняют сами вагоны (рис.1). Станции, располагающиеся на поверхности, не являются столь дорогостоящими по строи-

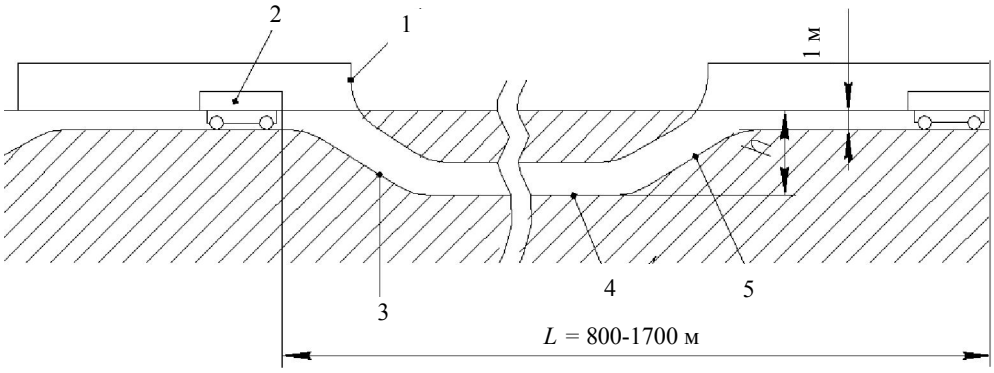


Рис.1. Схема работы метротрамвая

1 – станция; 2 – вагон метротрамвая; 3 – спуск; 4 – тоннель; 5 – подъем; *h* – высота спуска и подъема

тельству и содержанию, а перегонные тоннели необычной конфигурации, расположенные на глубине 10-15 м, не ведут себя пассивно, а непрерывно работают, помогая вагонам поднимать пассажиров на поверхность, и окупают за счет этого стоимость своей постройки и содержания: они обеспечивают огромную (до 50 %) экономию электроэнергии.

В 1982 г. на трассе проектируемого метрополитена были произведены инженерно-геологические изыскания, по которым были определены основные физико-механические параметры грунтов [4]. Полученные физико-механические данные были подвергнуты статистической обработке, для дальнейших расчетов были применены данные опробований для грунтов, находящихся на глубине 15-20 м:

	Песчаник	Аргиллит	Алевролит	Средний показатель
Удельная масса МН/м^3	0,024693	0,024712	0,024731	0,024
Модуль упругости МПа	2604,0	3210,0	1647,3	2503,0
Коэффициент Пуассона	0,375	0,375	0,375	0,375
Глубина залегания, м	0-15	15-22	>22	>0
Угол внутреннего трения, град.				30,0
Коэффициент сцепления, МПа				0,01579

Дальнейшие расчеты не учитывали обводненность грунтов.

Определение поля напряжений и зон разрушения при проходке тоннеля производилось двумя способами. Первый основной способ – расчет напряженно-деформированного состояния поля в программе ANSYS.

Программа ANSYS позволяет производить расчеты различных полей распределения методом конечных элементов. В качестве модели массива использовалось поле с чередованиями пород сверху – песчаник, аргиллит, алевролит (рис.2). Выработка круглого сечения диаметром 5,6 м пройдена на глубине 20 м.

Далее были обсчитаны напряжения в каждом конечном элементе и отстроены графические распределения полей напряжения: радиальных нормальных, тангенциальных нормальных и касательных, отстроена возможная зона разрушений (рис.2).

Второй способ – контрольный – выполнение расчетов по формулам для определения напряжений вокруг незакрепленной выработки круглого сечения в упругой постановке [1] и построение возможной зоны разрушений из условия теории предельного равновесия Кулона – Мора. В этом расчете принималась изотропная модель массива.

В результате расчета были отстроены аналогичные поля распределения нормальных и касательных напряжений вокруг выработки**.**

В итоге были получены схожие результаты двух независимых способов расчетов. Вывод: в данных условиях проходки выработки разрушение массива происходит по всему ее сечению, что говорит о невозможности проходки тоннеля без немедленного его крепления.

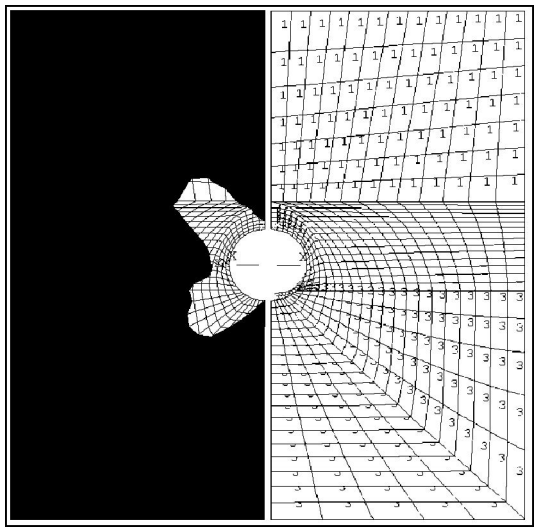


Рис.2. Конечно-элементная модель
(слева возможные зоны разрушений)

а *б*

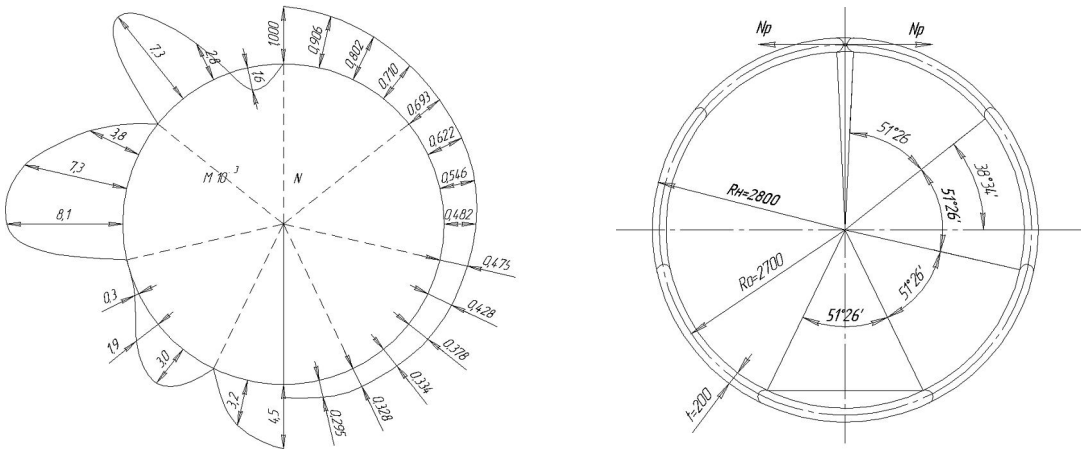


Рис.3. Сводная эпюра изгибающих моментов и нормальных сил (слева), сечение выработки (справа)

Расчет обделки перегонного тоннеля производился по методике, разработанной Б.А.Картозией и В.Н.Борисовым [2]. В начале расчета условились, что выработка будет иметь диаметр 5,6 м, толщина обделки принималась равной 20 см из железобетонных блоков, количество блоков 7, усилие обжатия тюбингов в массив 1500 кН.

После расчета десяти уравнений с десятью переменными были отстроены по получившимся значениям графики распределения в блоках изгибающих моментов и нормальных сил (рис.3). Далее по получившемуся максимальному расчетному значению изгибающего момента расчетным путем была определена несущая способность для блока с заданными параметрами материала, из которого он сделан. Из последнего расчета видно, что блок способен выдержать давление в 60 кН·м, при 49 кН·м, действующем на него (при расчетном усилии разжатия 1500 кН). Таким образом, имеется запас прочности около 20 %, данное давление обеспечивает минимальный запас прочности обделки.

В итоге расчетов имеем тоннель метротрамвая круглого сечения, пройденный щитовым способом на глубине 20 м, диаметр выработки 5,6 м, крепление из сборной железобетонной обделки, количество блоков 7, толщина блока 200 мм, усилие обжатия в шелыге 1500 кН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Булычев Н.С.* Механика подземных сооружений. М.: Недра, 1982.

2. *Картозия Б.А.* Инженерные задачи механики подземных сооружений / Б.А.Картозия, В.Н.Борисов. М.:Изд-во МГУ, 2001.

3. *Мнацаканов В.А.* Метротрамвай – скоростной городской транспорт XXI века // Подземное пространство мира / Метрострой. СПб, 2001.

4. Физико-механические свойства горных пород, горное давление и методы проходки горных выработок при строительстве метрополитена в г.Перми / Пермский политехнический ин-т. Пермь, 1982.

Научный руководитель проф. *Ю.А.Кашников*