

Помимо графического отображения деформаций и критических зон в исследуемой модели, после выполнения расчета, система выдает и текстовый отчет об исследуемом объекте:

1. Информация о материалах.
2. Информация о нагрузках.
3. Информация о закреплениях.
4. Информация о совпадающих поверхностях.
5. Конечно-элементная сетка.
6. Результаты. (Инерционные характеристики модели. Результаты статического расчета.)

Вывод.

Применение компьютерной техники значительно снижает трудоемкость выполнения сложных расчетов при проектировании, обеспечивает выбор необходимого типа расчета, позволяет визуально контролировать результаты для дальнейшего анализа и подготовке расчетно-пояснительной документации. Большое значение имеет возможность выполнения различных вариантов расчетов крепи для выбора оптимального варианта типа крепи.

Использование инструментов систем КОМПАС-3D и АРМ FEM для выполнения прочностного анализа металлической арочной крепи АП-27 позволило смоделировать крепь как трехмерную модель и комплексно проанализировать поведение модели при различных воздействиях с точки зрения статики, собственных частот, устойчивости и теплового нагружения.

Полученный результат имеет не только высокую точность, но и визуален.

Список литературы

1. А.В. Солодянкин, С.Н. Гапеев, В.В. Раскидкин Обеспечение устойчивости сопряжений протяженных выработок шахт. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 5/2011(70).
2. Р.Н. Терещук, С.Н. Гапеев Рациональный способ крепления подготовительных выработок рамно-анкерной крепью. Науковий вісник НГУ, 2011, №5.
3. И.В. Бакланов, Б.А. Картозия, А.Н. Шашенко, В.Н. Борисов Геомеханика. Том 2. Геомеханические процессы. Издательство МГГУ, 2004
4. Г.Г. Литвинский, Э.В. Фесенко, Е.В. Емец Расчет крепи горных выработок на ЭВМ: Уч. пособ., Алчевск, ДонГТУ, 2011, 174 с.
5. КОМПАС-3D-13 Производитель: Научно-технический центр «Автоматизированное проектирование машин»

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТОННЕЛЬНОЙ ОБДЕЛКИ В ОСОБО СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

А.А. Мишедченко, Московский государственный горный университет, Россия

В статье приводится историческая справка о строительстве перегонных тоннелей между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества» Кировско-Выборгской линии Санкт-Петербургского метрополитена и причинах их затопления. Для восстановления движения по данному радиусу метрополитена построены новые тоннели с помощью ТПК, с креплением тоннелей обделкой из высокоточных железобетонных блоков. Для резервного тоннеля Кировско-Выборгской линии были применены чугунные тубинги с внешним желобком и резиновой шиной.

История сооружения тоннельного перегона между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества» широко освещалась в прессе, напомним кратко основные события.

Тоннели между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества» Кировско-Выборгской линии Санкт-Петербургского метрополитена сооружались в пределах древнего размыва кровли

протерозойских глин глубиной от поверхности земли около 120 м, в чрезвычайно сложных горно-геологических условиях – в мелкозернистых водонасыщенных песках, пылеватых супесях, обладающих плавунными свойствами, пылеватых переувлажненных суглинках, при гидростатическом давлении грунтовых вод на тоннельную обделку до 8 атм. Работы велись со сплошным замораживанием. С целью сокращения объемов буровых работ и замораживаемого грунта расположение тоннелей в пределах «Размыва» было принято один над другим с расстоянием между осями тоннелей 12,0 м (Рис.1)

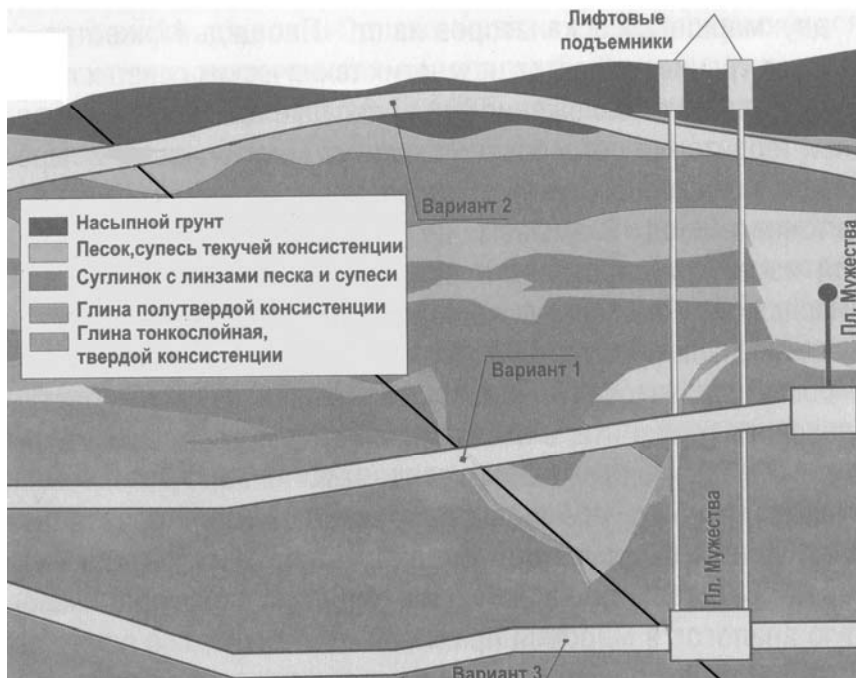


Рис.1 Осуществленный вариант трассы- один тоннель над другим.

Конструкция перегонных тоннелей в зоне «Размыва», проходящих в зоне замороженных пород, представляла собой наружную чугунную обделку и металлическую обечайку. Которая в последствие была заанкерована в железобетонную оболочку (Рис. 2)

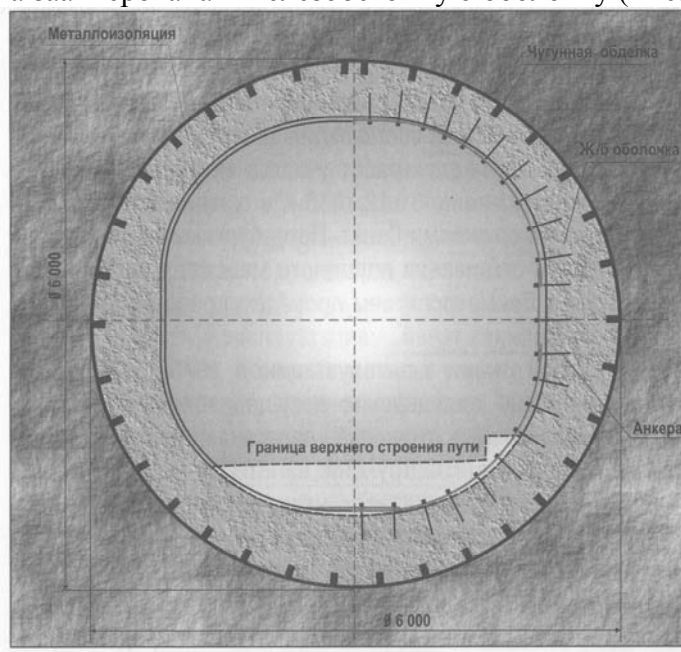


Рис. 2 Конструкция примененной обделки

При проходке нижнего тоннеля были вскрыты не замороженные зоны, в результате чего произошел аварийный прорыв плавуна (44 тыс. м³) в готовую часть нижнего тоннеля, а затем

и в верхний тоннель. Осадки колец обделки составляли в шельге свода 33-37 см. После завершения всех работ участок был сдан в эксплуатацию (в 1975 году) и с этого времени эксплуатировался службами Санкт-Петербургского метрополитена, при этом скорость движения поездов на данном участке ограничивалась. Во все время эксплуатации (в течение 12 лет) осуществлялся выпуск воды из-под металлоизоляции через патрубки. С декабря 1994 года появился и начал увеличиваться приток воды внутрь тоннеля, потом приток резко увеличился с выносом песка. По нижнему тоннелю происходил вынос песка из-под шпал, затем произошел разрыв сварного шва металлоизоляции, выпучивание ее с нарушением габарита приближения оборудования с поступлением воды около 360 м³/сут.

Были проведены работы по восстановлению эксплуатационной пригодности тоннеля, в том числе, по усилению лотка обделки дополнительным стальным листом толщиной 20 мм с установкой анкеров для дополнительного закрепления металлоизоляции, нагнетание цементного раствора за металлоизоляцию с целью подавления притока грунтовых вод в тоннель. Начиная с 16 ноября 1995 г. в связи с резким ростом просадок верхнего тоннеля в его конструкции появились нарушения металлоизоляции с увеличивающимся поступлением воды и песка, приток воды достиг 700 м³ в сутки, поступление песка – 30 м³ в сутки, возникла реальная опасность затопления метрополитена. Работы по лечению верхнего тоннеля были прекращены и началось постепенное принудительное затопление тоннеля водой из тоннельного водопровода. После затопления верхнего тоннеля рост просадок нижнего свода резко возрос, и, когда был отмечен «обвальный» характер просадок в связи с опасностью резкого разрыва конструкции и мгновенного затопления тоннеля, было принято решение о затоплении нижнего тоннеля водой из городского водопровода.

После принятия решения о затоплении перегонных тоннелей в зоне «Размыва», 5 февраля 1996 года, правительство Санкт-Петербурга образовало комиссию по рассмотрению технических предложений по восстановлению движения на участке метрополитена между станциями «Лесная»-«Площадь Мужества». Было принято решение о проходке тоннелей выше зоны «Размыва» в моренных отложениях (Рис. 3) с применением специального механизированного щита с пригрузом забоя специальным глинистым раствором с возможным закреплением грунта в опасных зонах.

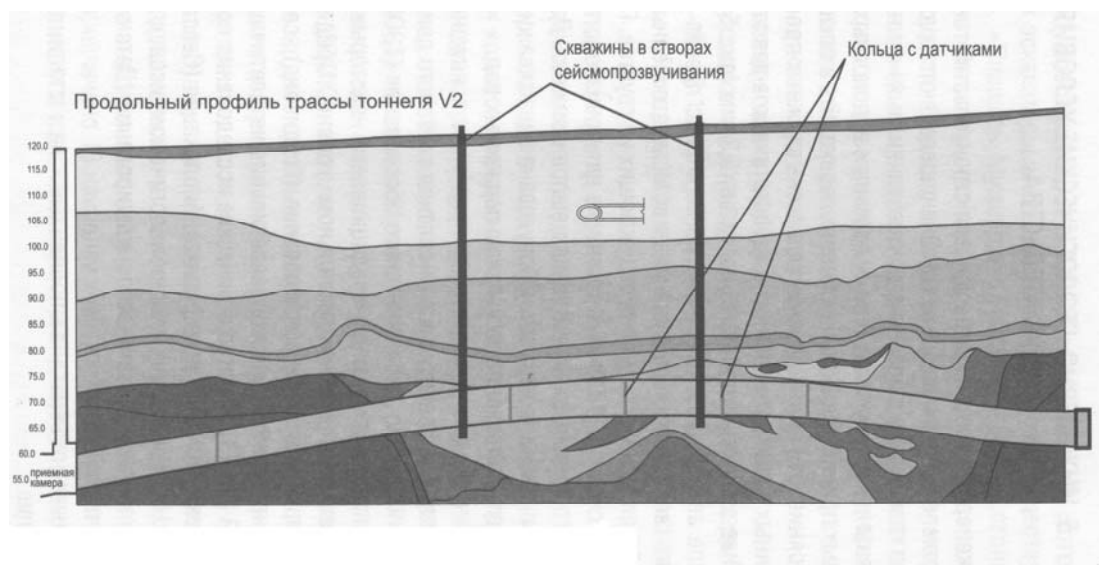


Рис. 3. Инженерно-геологические условия по новой трассе тоннелей.

Обделка тоннеля диаметром 7,1/6,4 м проектировалась из колец клиновидной формы для обеспечения поворота тоннеля в плане и профиле. Средняя ширина кольца 1,4 м. Кольцо состоит из 6 железобетонных блоков толщиной 35 см, из которых два-трапециевидной формы и четыре в форме параллелограмма. Блоки высокой точности изготовлены из водонепроницаемого бетона.

Для уплотнения радиальных и кольцевых стыков блоков используются прокладки марки Феникс М38564 с гидрофильными вкладышами (один контур гидроизоляции), расположен-

ная на расстоянии 51 мм от внешней грани блока. Фиксация блоков осуществляется с использованием 16 монтажных связей типа «Конекс» в виде пластиковых штырей конической формы переменного сечения по три в блоках. Блоки в смежных кольцах укладываются с перевязкой на шаг одного «Конекса2». Для изготовления блоков обделки использовался бетон класса В50, морозостойкостью 200, водонепроницаемостью W8.

Масса блока – около 4,8 т, арматурная сталь класса АIII. Расход арматурной стали на кольцо – 1,9 т. Расход арматурной стали на кольцо – 1,9 т.

Для крепления одного из проектируемых тоннелей Санкт-Петербургского метрополитена над зоной «Размыва» ЗАО «Шахтспецстройпроект» (с участием автора статьи) в 2007 г. были предложены специальные тубинги диаметром $D_{\text{д.}} = 5.0i$ ($D_{\text{вд}} = 5.34i$), высотой 1.0 м с толщиной спинки 30 мм, 3-х типов – ключевой («5.0-30-К»), смежный («5.0-30-С») и нормальный («5.0-30-Н»). пройденных в сложных горнотехнических условиях с гидростатическим давлением до 6 кг/см² с внешним желобком и резиновой шиной. (Рис.5)

Тубинги прошли испытания на заводе «Техмашкомполит». В процессе испытаний проверяются показатели качества тубингов и комплектов колец тубинговых на соответствие требованиям технических условий и конструкторской документации, приведенных в табл. 1.

Таблица 1.

№	Наименование параметра	Значения	
		по НТД	Фактич.
1.	Высота тубинга, мм	1000.0 ± 0.2	
2.	Расстояние от оси крайнего болтового отверстия на радиальном борту до параллельного борта, мм	282.6 ± 0.5	
3.	Расстояние от оси крайнего болтового отверстия на параллельном борту до радиального борта, мм	125.0 ± 0.5	
4.	Диаметр кольца в свету, мм	5000.0 ± 10	
5.	Зазор в стыке, мм	снаружи	0.2
		внутри	0.3
6.	Разница высот в стыке двух сегментов	0.2	

Тубинговое кольцо (Рис.5) состоит из 4^х типов тубингов. В кольце 10 сегментов (тубингов): нормальный - 7 шт. (с двумя тампонажными отверстиями); правый смежный – 1 шт. (с двумя тампонажными отверстиями) и левый смежный – 1 шт. (с двумя тампонажными отверстиями). Ключевой – 1 шт. (без тампонажных отверстий).

Герметичность крепи обеспечивают путем расчеканки свинцовой проволоки и цемента РЦ в горизонтальных и вертикальных швах между тубингами в соответствии с ВСН 130-92, а также путем разжатия резиновых шин между обработанными поверхностями бортов, разжатия гидроизоляционных шайб в болтовых и тампонажных отверстиях.

Отливки тубингов изготавливаются из серого чугуна с включениями пластинчатого графита по ГОСТ 1412-85 марки СЧ30.

Химический состав в отливках тубингов устанавливается предприятием изготовителем согласно приложения 3 ГОСТ 1412-85 с содержанием кремния – 1,3 ÷ 1,9 %, серы – 0,12% и фосфора – 0,2%. Временное сопротивление на растяжение для чугуна, отлитого в тубинг данной марки, при толщине отливки 30 мм должно составлять 300 МПа, но не менее 260 МПа. Для подсчета массы тубингов принимается нормативная плотность чугунолития, равная 7,2 кг/дм³, при этом массы обработанных тубингов с просверленными болтовыми и тампонажными отверстиями составляют: 730 кг для нормальных, 765 кг для смежных, 370 кг для ключевых тубингов.

Особенное внимание было уделено способу изготовления тюбинговых отливок. Отливки тюбингов отливаются в формах. Отливки обрабатываются в механических цехах с законченным циклом механической обработки у заказчика. Борты тюбингов и специальные желобки для герметизации колец обрабатываются путем фрезерования; болтовые, тампонажные и заливочные отверстия сверлятся с соответствующей обработкой контактирующих поверхностей, обеспечивающих герметизацию соединений путем разжатия уплотненных прокладок и шайб.

Для производства тюбингов отливки должны быть очищены от остатков формовочной и стержневой смеси, а также от механически удаляемого пригара по обрабатываемым поверхностям. Литники, прибыли, заливы и наросты должны быть удалены без скола отдельных частей отливки.

Особое внимание необходимо обратить на чистоту внутренней поверхности по толщине радиальных бортов, на которые ставится тюбинг при механической обработке наружных баз.

Допускается неотслаивающийся металлизированный пригар на необрабатываемых поверхностях спинки.

Отливки должны быть без свищей, наплывов, мешающих механической обработке болтовых отверстий, трещин и других литейных пороков, влияющих на гидронепроницаемость или снижение механических свойств отливки.

Дефекты отливок, выходящие за пределы припусков на механическую обработку параллельных и радиальных бортов, а также дефекты на необрабатываемых поверхностях, приведенные в приложении 1, глубиной не более 30% от толщины соответствующего элемента тюбинга, должны быть разделаны до чистого металла с последующей заваркой.

Разрешается заварка дефектов глубиной до 50% от толщины отливки с обязательной проверкой на гидроплотность.

На этих образцах производятся измерения твердости по методу Бринелля по ГОСТ 9012-59 и ГОСТ 23677-79. После определения твердости по Бринеллю, образцы испытываются на сжатие по ГОСТ 27208-87.

Для образца из чугуна марки Ч30 твердость по Бринеллю должна быть не более 250 НВ, предел прочности при сжатии не менее 1050 МПа

Для обеспечения безопасного транспортирования в отливках предусмотрены литые отверстия в кольцевых ребрах для использования их при зачалке безопасными методами и креплениями в штабелях.

В связи с тем, что для тоннелей «Размыва» фирмой «Геодата» и субподрядчиками применена специальная конструкция тюбингов, возникла необходимость постоянного мониторинга всех элементов технологии ведения тоннелепроходческих работ и сборки тюбинговых колец. Были замерены нормальные тангенциальные напряжения в обделке и сделан вывод, что они имеют распределение, близкое к равномерному. Все напряжения в кольцах – сжимающие, с максимальной величиной 14,8 МПа.

В ходе строительства велся контроль за изменениями инженерно-геологических условий методами сейсмоакустики, замерено, что в грунтах около и под тоннелями скорость распространения продольных упругих волн колеблется в пределах 1600- 2100 м/с, скорость поперечных волн в пределах 300-450 м/с, причем эти величины практически мало изменились после проходки тоннелей. Это доказывает. Что технология проходки тоннелей с пригрузом бентонитовой суспензией на забой до 6 бар и давлением нагнетания раствора на забой до 8 бар практически не повлияла на деформативно-прочностные характеристики грунтов вмещающего массива. Величина скорости поперечных волн 300-450 м/с оказалась существенно выше порогового значения 200 м/с, ниже которого возможно виброразжижение данных грунтов. Ультразвуковым методом также проводился контроль сплошности заполнения зазор за обделкой тоннеля раствором нагнетания. Было подтверждено полное заполнение пространства раствором прочностью 2 МПа и выше.

M15

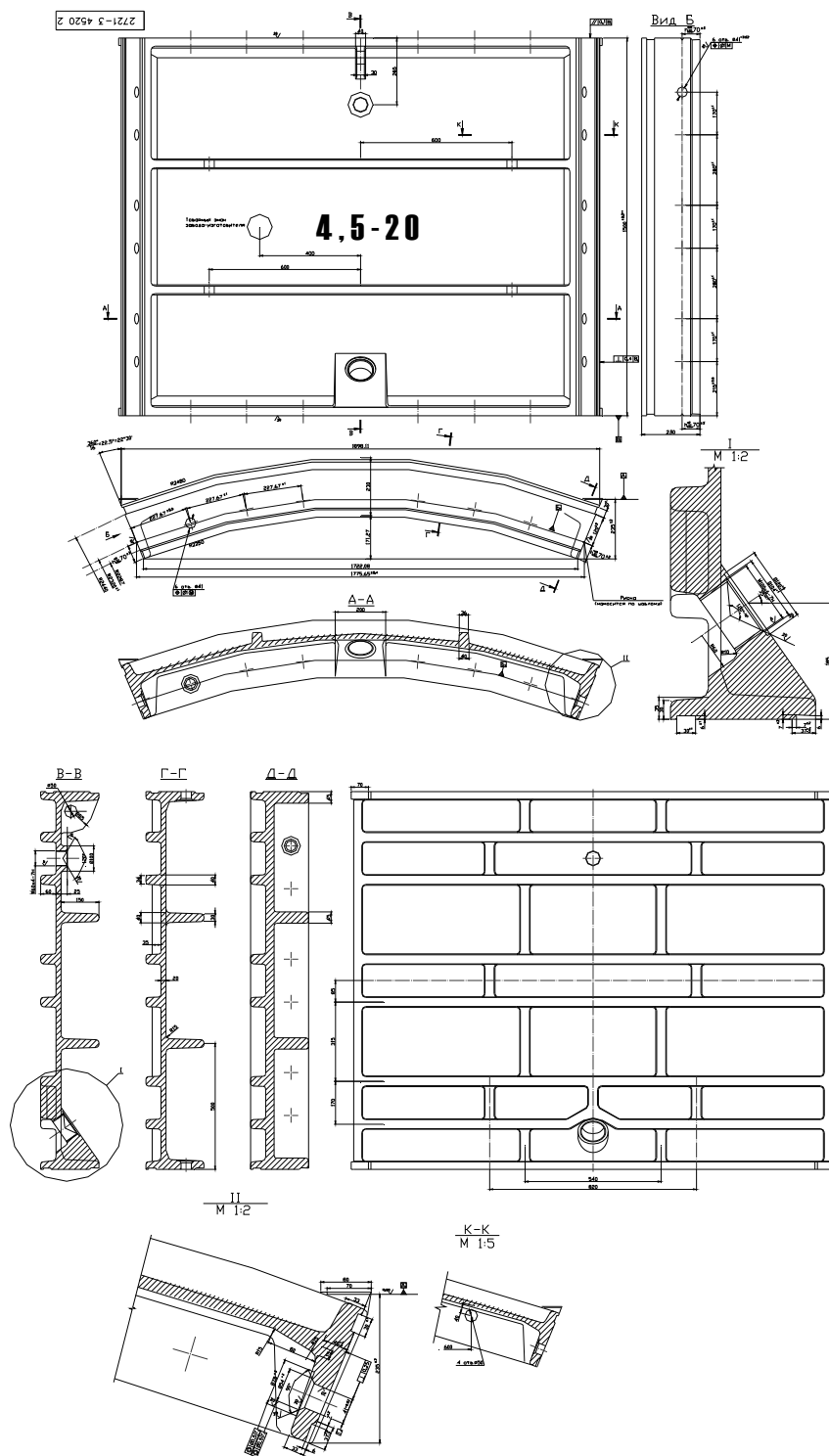


Рис. 5 Конструкция специальных тубингов для Санкт-Петербургского метрополитена (с внешним желобком и резиновой шиной)

Использованная литература:

1. Кулагин Н.И., Безродный К.П. «Разрыв» История преодоления. Из-во «ГА Инжиниринг» 2005 .
2. ГОСТ 12.3.002-75*, ГОСТ 12.3.009-76*, ГОСТ 12.3.027-92
3. Технические условия на отливки. ТУ 14-128-00-05 ЗАО «Шахтспецстройпрект».