

СПОСОБЫ РАЗРАБОТКИ ГРУНТА НА ПОЛНОЕ СЕЧЕНИЕ

*Евсей Сергей Николаевич, студент 4-го курса
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск
(Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель)*

Существует множество методов разработки грунта при строительстве тоннелей, которые используются сейчас и которые остались в прошлом.

Возвращаясь к истории, вспомним метод поддерживающего ядра, схожий со способом опертого свода, описанный ниже. Метод поддерживающего ядра впервые был использован в Германии в 1803 году, поэтому его также называют «немецким» способом. Суть метода заключается в формировании согласно контуру тоннеля прорези, в которой выполняется возведение стенок и арки. После набора бетоном необходимых показателей прочности, грунт в центральной части тоннеля удаляется. Во время формирования контура забоя, центральная часть породы служит опорой для рапорок деревянного крепежа. Перед разработкой забоя делают 3 штольни: 2 боковые у подошвы тоннеля и одну в шельге свода (верхней точке арки). Штольни проделываются на всю длину кольца с некоторым запасом. Формирование забоя начинается с крыши боковых штолен симметрично снизу вверх с примыканием к калотте, раскрываемой одновременно (Рис. 1). Проходка сопровождается установкой деревянной проставки, самой простой и эффективной по конструкции. На заключительном этапе, после создания забоя, прокладка проводится в направлении от подножия тоннеля к замку арки. Используют простейшую по конструкции деревянную опалубку. После получения бетоном необходимой прочности начинается разработка центральной опорной части. Временные крепежные отверстия демонтируются.

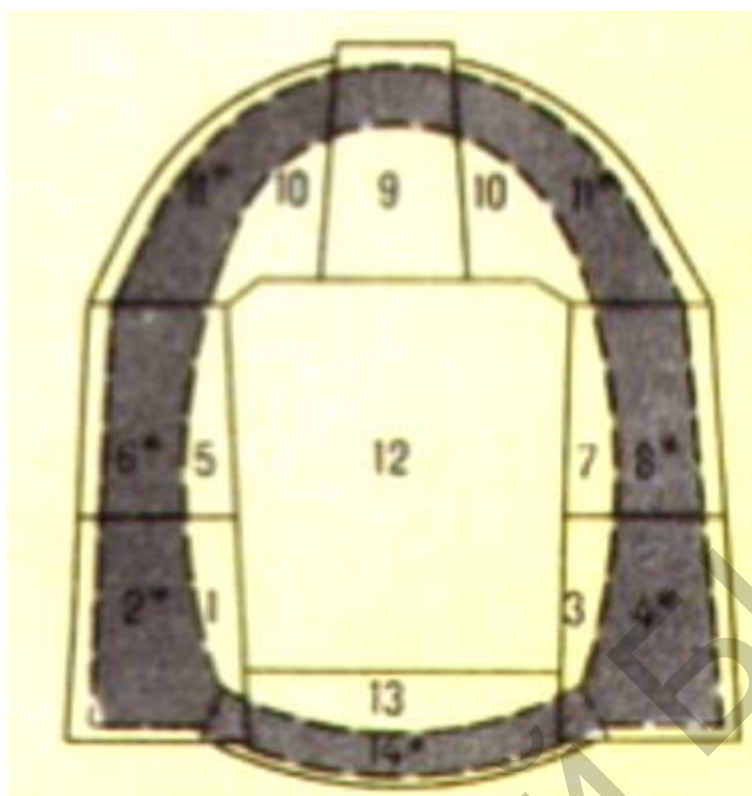


Рисунок 1 – Раскрытие сечения тоннеля способом опорного ядра

К следующему методу относят способ опертого свода, впервые примененный в Бельгии 1828 года при строительстве тоннеля на мелководных почвах, его также называют «бельгийским». Суть этого способа в том, что всю трассу делят на некоторые участки длиной в 6-7 м. После чего, в пределах этого кольца, ведётся раскрытие грунта в последовательности, показанной на рисунке ниже (Рис. 2), далее возводится постоянная обделка, и все работы переносятся на следующее кольцо. Начинаются работы с разработки направляющей штольни, далее подготавливают калотту, где возводят бетонный свод, который пятами опирается на породы в средней части. От производимых операций и пошло название способа (Рис. 3).

Этот способ считается очень трудозатратным, есть вероятность неравномерной осадки свода. Темпы и материалоемкость также отрицательная его сторона, однако способ считается очень безопасным и надёжным, возводить свод можно практически с самого начала забоя, поэтому он может быть выбран при строительстве коротких тоннелей с малым коэффициентом крепости.

Совсем ещё недавно новоавстрийский метод считался высокоинновационным. Скорость строительства тоннелей как в стабильных, так и в низкопрочных породах высока (от 3,0 – 7,0 м/сут), стоимость строительства сравнительно других методов меньше на 30-40%. Способ очень экономичен, имеет низкое потребление материала. Метод используется не только в благоприятных, но и в сложных геологических условиях, в неустойчивых, подверженных взбиванию, осадкам. Этот метод широко используется для разработки городских тоннелей неглубокого заложения без осадки.

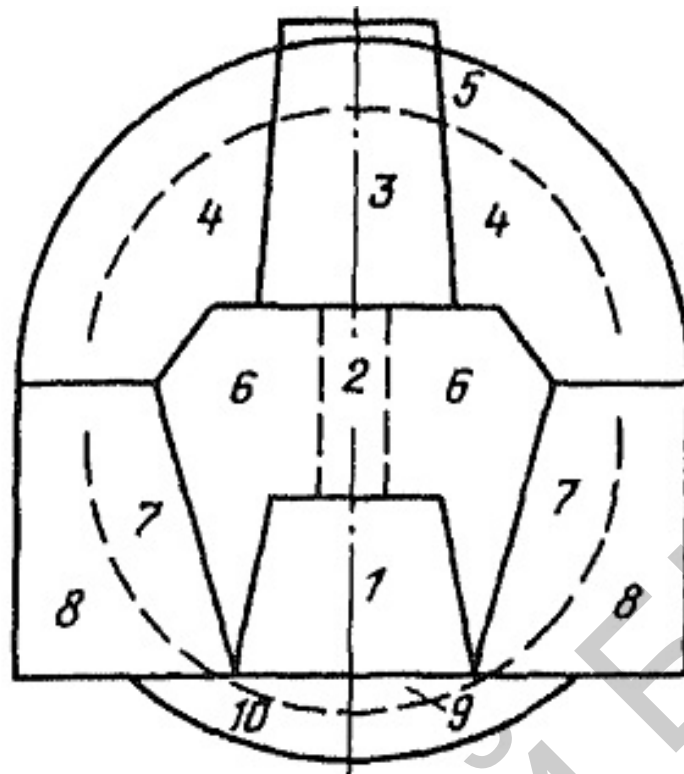


Рисунок 2 – Раскрытие сечения тоннеля способом опертого свода

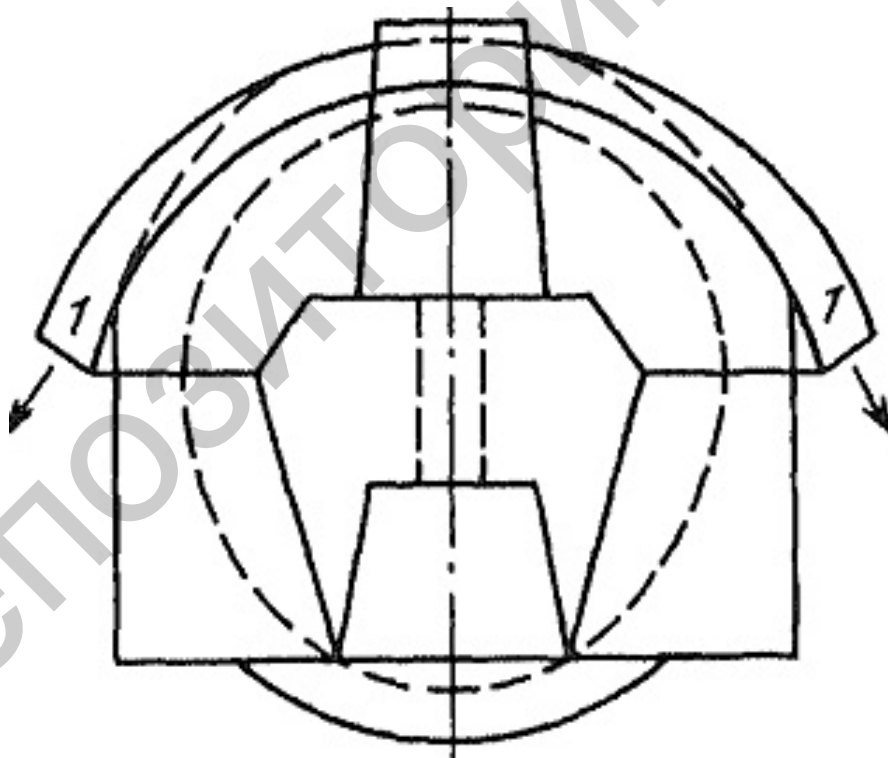


Рисунок 3 – Схема опирания свода на породный массив

Основным отличием новоавстрийского метода является максимальное использование несущей способности окружающей массы горных пород и ее вовлечение в работу в качестве защитной структуры, защищающей тоннель от разрушения. Для этой цели пограничный слой горной породы фиксируется временной опорой из анкеров, арочной крепи или набрызгбетона. Эта поддержка

преобразует контурный слой в несущую конструкцию, передавая значительную часть нагрузки на окружающий горный массив. Остальная часть нагрузки переносится на постоянную обделку, расход материала которой, стоит отметить, намного ниже, чем при других методах.

Новоавстрийский метод разрешает перемещения контура тоннеля, избавляя от напряжений горный массив. Когда же временная крепь исчерпывает свои ресурсы, возводится постоянная обделка. В результате подкладка работает при нагрузке значительно меньше, чем если бы она была установлена до того, как массив был выгружен.

Необходимым условием применения метода является измерение на протяжении строительства тоннеля деформаций, перемещений и напряжений в обделке и в горной породе. Это позволяет постоянно контролировать состояние горного массива и строить временное сооружение, при необходимости.

Итак, кратко основные положения нового австрийского метода сводятся к следующему:

1. Главным несущим элементом является горная порода, смещения которой вокруг выработки ограничены некоторыми значениями, определяемыми пропускной способностью временной крепи;

2. Внешняя оболочка (из породы и анкеров), усиленная набрызгбетоном, подразумевает собой трубу большого диаметра, закрытие которой должно обеспечиваться в течение короткого периода времени, определяемого экспериментально. Наиболее благоприятные формы поперечного сечения тоннеля круглые, овальные или другие, но с изогнутыми стенками и поддоном, поскольку с прямоугольным поперечным сечением в углах скапливаются большие напряжения;

3. Важной особенностью новоавстрийского метода является требование по максимально быстрому закрытию обделки по всему контуру тоннеля путем установки дополнительно к хранилищу и стенам перевернутой арки тоннеля. Момент закрытия обратного свода определяется по результатам измерений смещения контуров и напряжений в облицовке. Как правило, закрытие выполняется не позднее, чем через 30 дней, но возможны случаи, когда необходимость возникает уже через 1-2 смены. Реверсивная арка возводится из набрызгбетона или омоноличиванием;

4. Процесс стабилизации движений горных пород вокруг тоннеля осуществляется путем инкрементного укрепления нагружаемых оболочек (горных пород и временных опор) из-за увеличения количества анкеров, их длины, поперечного сечения арки, дополнительного слоя набрызгбетона, доармирования за счёт добавления фибры и др. Упрочнение осуществляется под контролем движения контура тоннеля и напряжений в обделке.

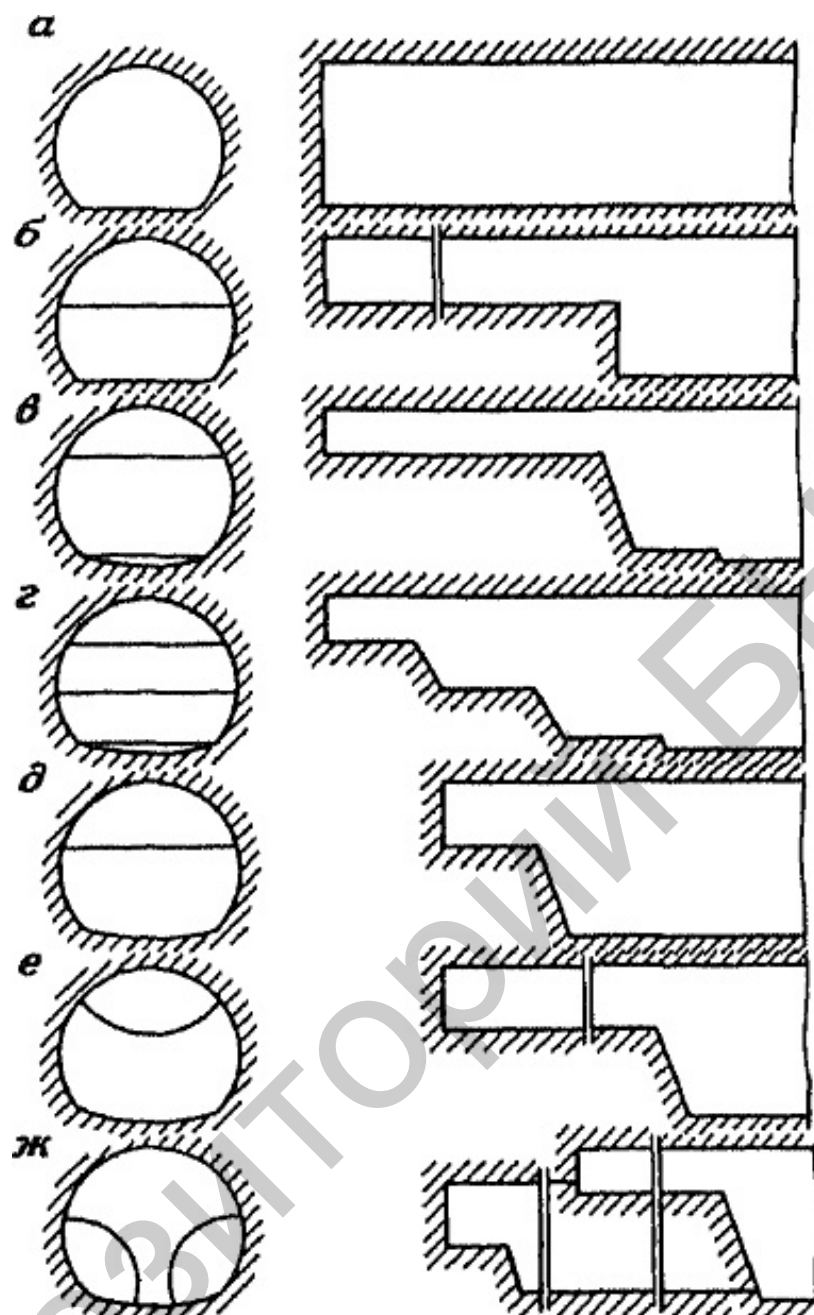


Рисунок 4 – Наиболее распространенные схемы раскрытия сечения тоннеля

Для проведения проходческих операций забой делится на несколько секций, количество которых зависит в основном от устойчивости породы (Рис. 4). Работы по выработке забоя производятся в основном буровзрывным способом, либо проходческими комбайнами. Также можно разрабатывать вручную с помощью механических инструментов и рабочих. Далее возводится временная крепь из набрызгбетона, анкеров или же стальных (чугунных) арок. Постепенно, по длине тоннеля, все участки расширяются, а забой вверху калотты опережает ее нижнюю часть (величина рознится от 1-2 пролётов тоннеля до нескольких десятков метров). При транспортировке, для удобства, в некоторых случаях могут использоваться наклонные рампы.

В широких туннелях, построенных на слабых грунтах, открытие секции начинается с боковых валов, затем развивается калотта и, наконец, ядро. Площадь поперечного сечения боковых штолен считается равной 20-25 м², крепь – это набрызгбетон по всей длине арматурной сетки, после устанавливают анкера. Штольни опережают развитие калотты туннеля (Рис. 5). Постоянная бетонная обделка устанавливается со значительным отставанием от «лица» после стабилизации движения контура горной породы. Обычно это происходит через 1-3 месяца после закрытия обратной дуги. Толщина этой подкладки меньше толщины прокладки, рассчитанной на полную нагрузку, и составляет не более 30 см. Таким образом строились станции Венского метрополитена (Рис. 6,8).

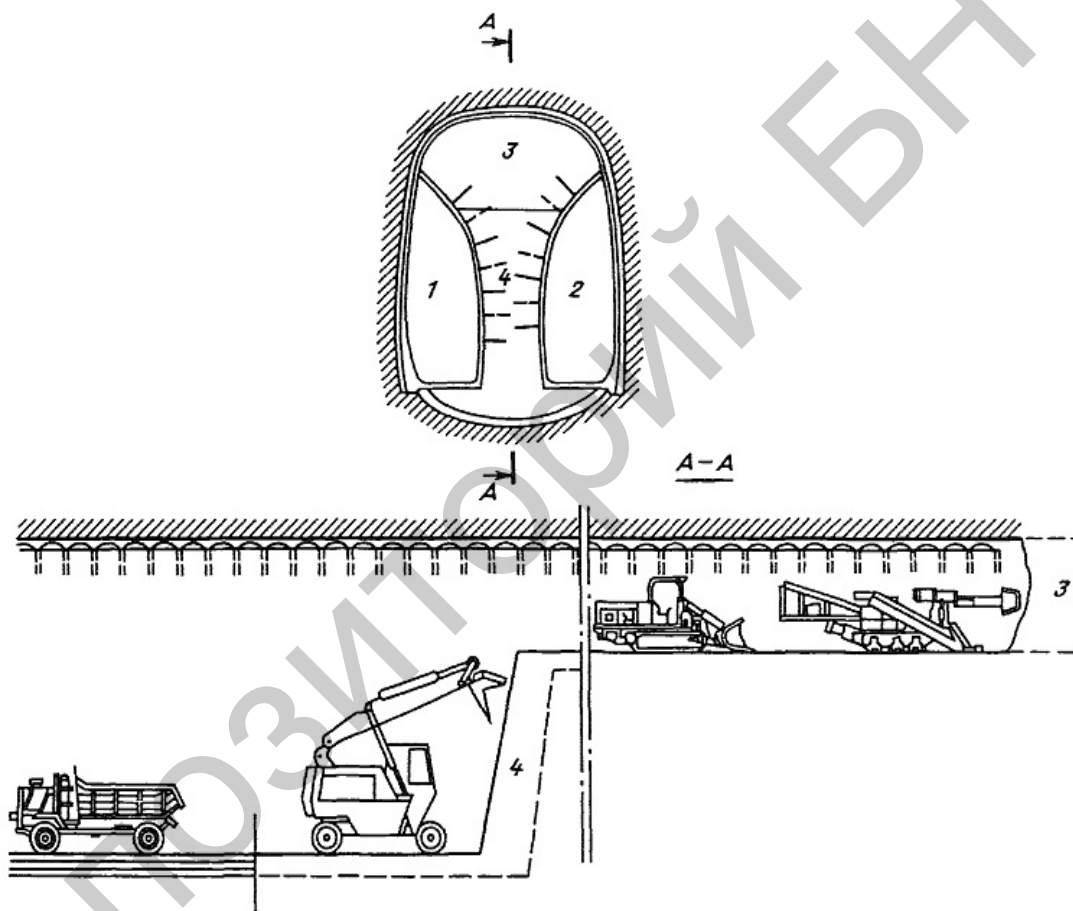


Рисунок 5 - Вариант раскрытия забоя с боковыми штольнями

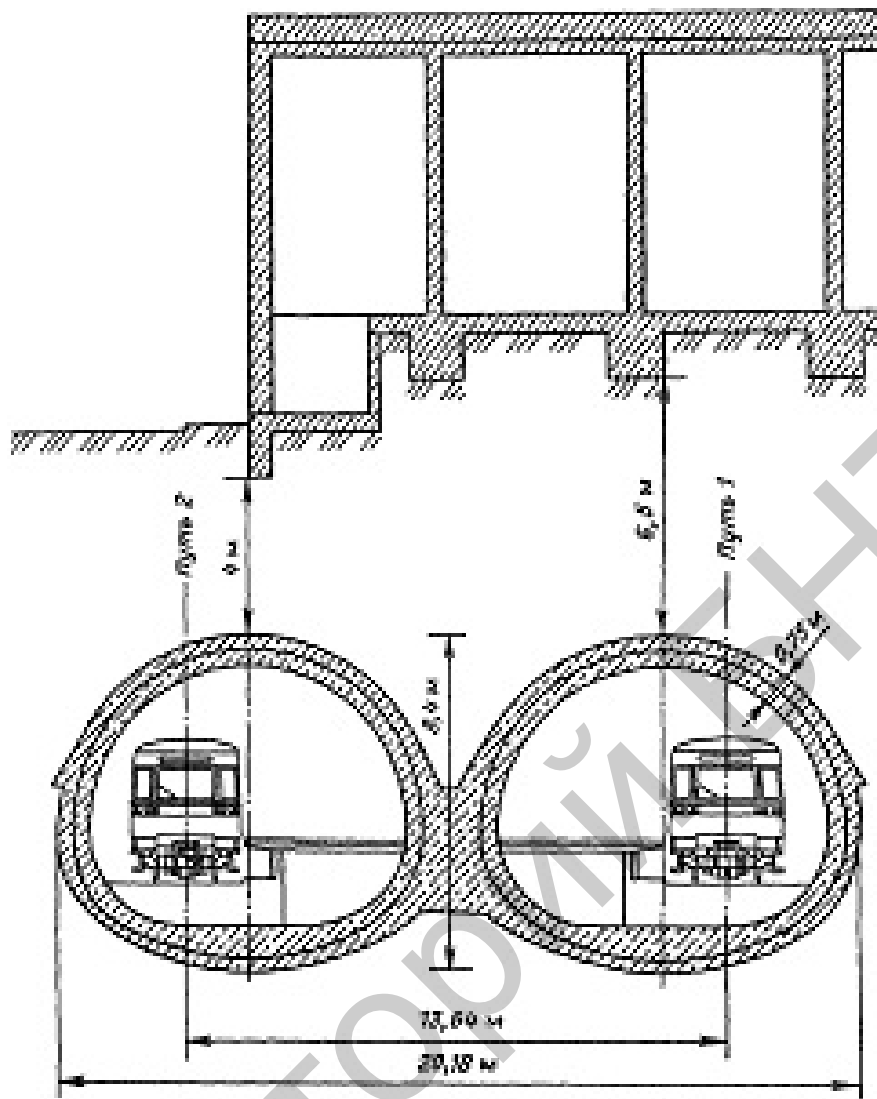


Рисунок 6 – Сечение станций тоннеля Венского метрополитена

Для установления систематического контроля по длине тоннеля через каждые 100-150 м монтируются специальные измерительные станции. В вертикальном направлении по оси тоннеля просверливаются отверстия для скважин, в них устанавливается измерительное оборудование и приборы для считывания (Рис.7).

Измерения проводятся в заданном режиме, и полученные данные сравниваются с расчетными данными, вычисленными путём геологической разведки, включая проведение экспериментальных поисковых галерей.

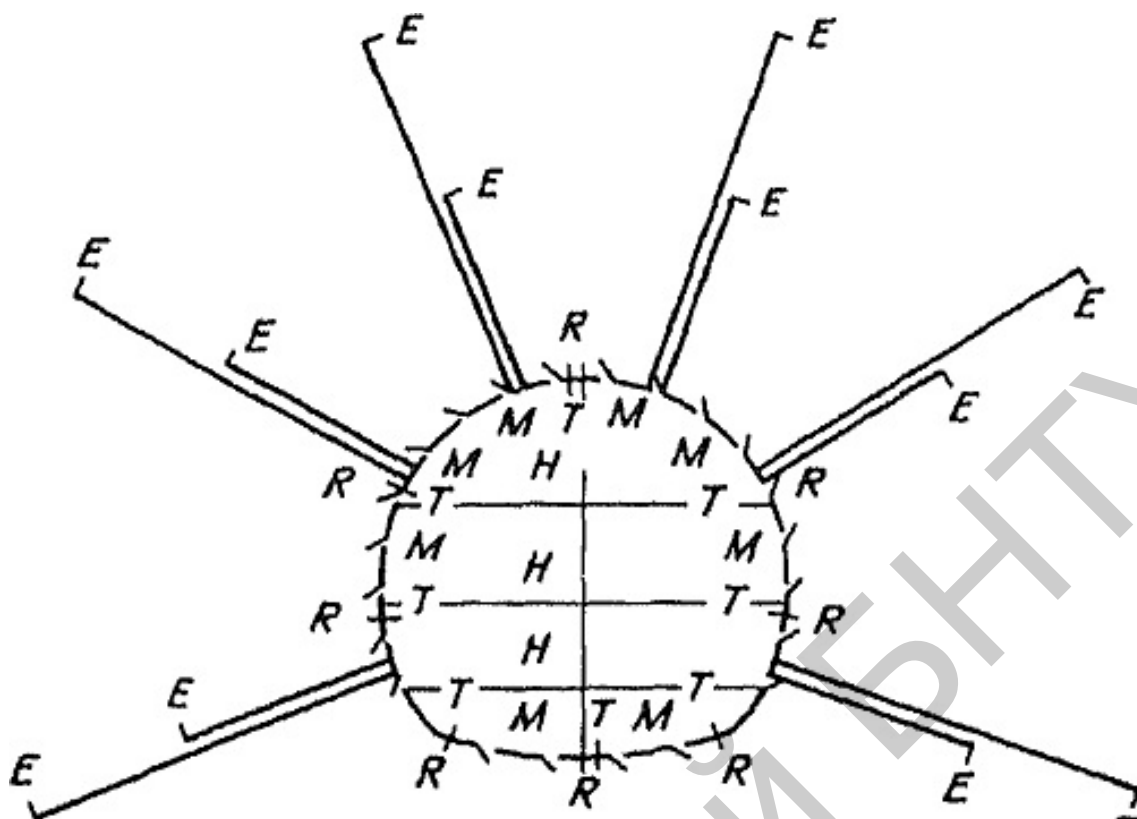


Рисунок 7 – Измерительный створ тоннеля

Новоавстрийский метод больше всего нуждается в конкретно подходящих горно-геологических условиях: глины, песчаные и глинистые сланцы, пластиковые мергели и т. д. Породы должны обладать свойствами затухающей ползучести. Односторонние нагрузки на обделку могут вызвать перелом тонкого покрытия, следовательно их необходимо исключить. Поток воды из горных пород должен быть минимальным. Однако этот метод успешно используется в скальных, нарушенных и трещинных породах с использованием буро-взрывных работ.

В качестве типового примера разработки новоавстрийским методом с использованием BVR является железнодорожный тоннель Einmalberg (Германия).

Тоннель «Einmalberg» 2-х путный с длиной в 1127 м, площадь поперечного сечения 105 - 117 м² (в зависимости от характеристик породы). Тоннель расположен в пестром песчанике с горизонтальной стратификацией. Слои толщиной от нескольких сантиметров до 2-х м пересекают многочисленные крутопадающими трещинами. Слои густой глины, включенные между слоями пестрого песчаника, имеют толщину от нескольких сантиметров до 1 м. В некоторых случаях горизонтальное появление песчаника приводило к неожиданному отслаиванию породы в кровле. Приток воды в тоннеле не превышал 1 л/с.

Первоначальная площадь верхней части выработки тоннеля - 50 м², а затем с отставанием в 80-120 м, развиты выступы с альтернативным расположением одностороннего входа в верхние секции, а на расстоянии в 80 м выполнено

раскрытие обратного свода и его бетонирование. Замыкание произведено на расстоянии около 200 м от забоя.

Бурение скважин производилось 2-мя самоходными гусеничными буровыми установками «Тамрок». Установки, оснащенные гидравлическими бурильщиками на 2-х фидерах с удлинением, также использовались для крепления анкеров. Вывозили породу 3-мя колесными погрузчиками SAT-966 и хранили на расстоянии около 220 м от поверхности, после загружали на самосвалы и доставляли к порталу. Для применения набрызгбетона использовалось полуавтоматическое «Me-nadier GM-90».

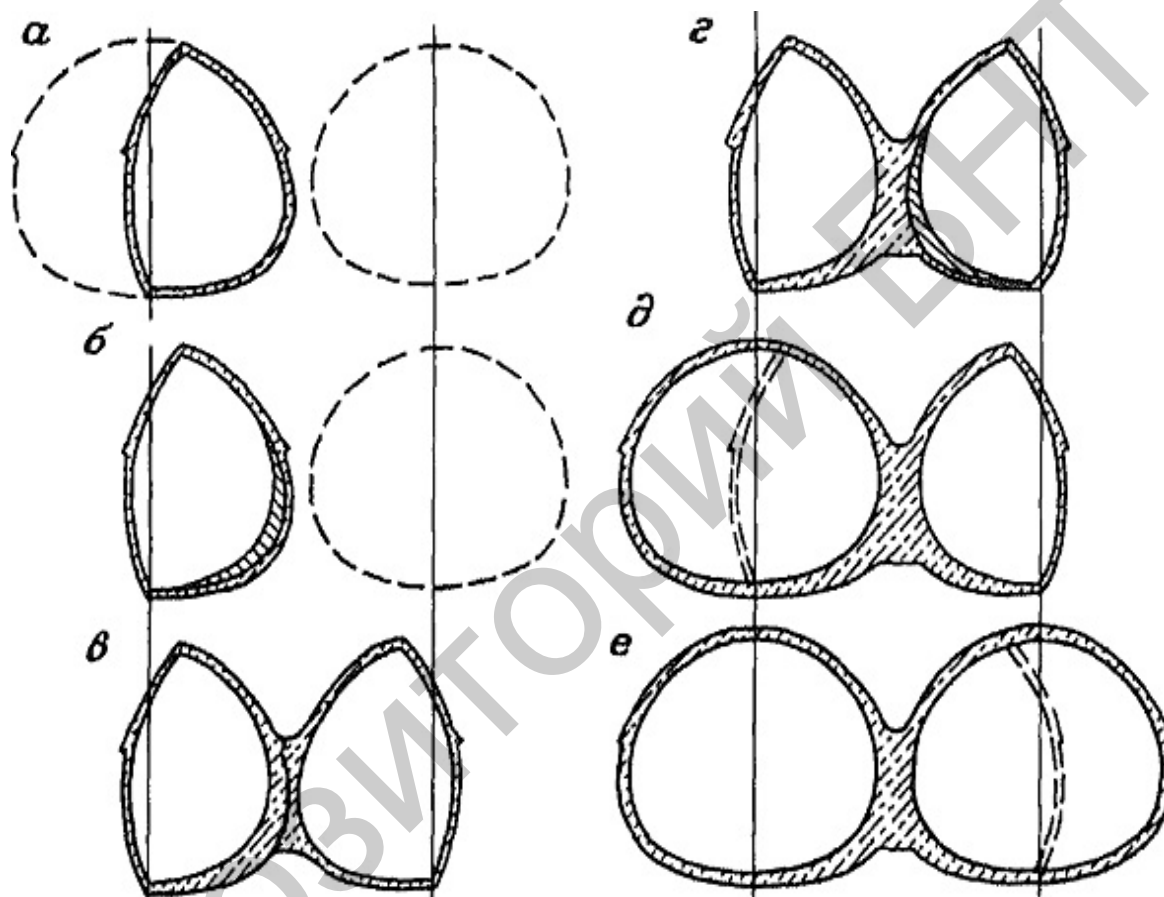


Рисунок 8 – Этапы раскрытия сечения станций тоннеля Венского метрополитена

Параметры и устройство опоры определялись зависимостью от категории горных пород. Покрытие с толщиной 10-30 см использовалось в сочетании с металлической сеткой в несколько слоёв, железобетоном или полимерными анкерами длиной 2-6 м, а в некоторых секциях - арочной опорой из проката. Подкладка бетона имела толщину 30 см. Средняя скорость разработки тоннеля составляет 140 м/месяц.

За последние 200 лет скорость строительства, качество и надежность тоннелей постепенно увеличивалось, и на данный момент мы пришли к этому оптимальному варианту, которым в Сочи, первом городе на постсоветском пространстве, построили несколько тоннелей в предверии Олимпиады 2014 года в Сочи.

Первым фактором, побуждающим использовать этот метод, является возможность разработки забоя на полное сечение в слабых почвах без осадки поверхности, в то же время риски обрушения породы минимальны.

Одной из особенностей этого метода является его подготовка путем горизонтального бурения буровыми установками. С помощью самоходной буровой установки изготавливаются колодцы, в них вставляются трубы из стекловолокна и закачивается цементный раствор. Уже после достижения прочности этого защитного экрана, проводится разработка породы гидромолотом. Производится выбор грунта погрузчиком и вывоз его грузовыми самосвалами. Затем начинается работа над установкой черновой крепи. Стальная арка установлена, затем она укрепляется набрызгбетонной смесью со специальной установки. Следующим этапом работы является гидроизоляция тоннеля (сначала в области «пят» чистовой обделки).

После этого производят монтаж арматурного каркаса, так называемых «пят» (то есть боковые части основания свода чистовой обделки), устанавливается инвентарная опалубка и начинается бетонирование. Бетонирование осуществляется бетононасосами, а раствор доставляется на грузовых "миксерах" с заводов. При бетонировании элементов чистовой обделки используется бетон марки В30. После того как бетон приобретет достаточную прочность, опалубка будет демонтирована. Далее устанавливают рельсы под монтажные тележки и передвижную инвентарную опалубку. Затем начинается вторая и третья стадии гидроизоляции - гидроизоляция стен, арка нижней и верхней частей.

После того как гидроизоляционное устройство в нижней части хранилища будет завершено, начинается монтаж арматурного каркаса. Захватка не превышает 12 метров.

Работа не прерывается и производится параллельно с разработкой лба. После устройства арматурного каркаса начинается бетонирование. Одновременно вяжут армокаркас в верхней части свода, куда уже перемещена опалубка. Подача бетона осуществляется через бетононасос, шланги которого стыкуются со специальными отверстиями в опалубке. После того, как бетон набирает необходимую прочность, инвентарная опалубка демонтируется и передвигается дальше. Затем весь цикл работ повторяется. Затем повторяется весь цикл работы.

За демонтажом инвентарной опалубки следуют работы по устранению поверхностных неровностей с другой монтажной тележки.

Способ разработки на полное сечение является усовершенствованием предыдущего метода, превосходит его во многих параметрах. И, с целью повышения эффективности в тоннелестроении, совершенствовании прогрессивных технологий и конструкций, вполне логичным будет его использование на проходческих работах повсеместно, в качестве главенствующего способа.

Литература:

1. Власов С.Н., Маковский Л.В., Меркин В.Е. Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов. — М.: ТИМР, 1997.
2. Ссылка на on-line-журнал Секретарь-референт. 2012: [Электронный ресурс]. URL: <http://как-ето-sdelano.livejournal.com/48881.html> (Дата обращения: 12.12.2017).
3. Вяхирев Р.И., Макаров А.А. Стратегия развития газовой промышленности России. — М.: Энергоиздат, 1997.
4. Георадары на объектах ОАО «Мосинжстрой» // Подземное пространство мира. — 1999. — № 2-3. — С. 46-49.

Репозиторий БНТУ