

УДК 624.19

**В.С. Пашковец**

**V.S. Pashkovets**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

## **СПОСОБЫ ПРОХОДКИ ТОННЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ КРУПНЫХ ГОРОДОВ**

### **METHODS OF TUNNELING IN LARGE CITIES**

Затронуты проблемы осуществления транспортного движения в условиях крупных городов на примере г. Перми. Рассмотрено освоение подземного пространства с целью решения этих проблем. Проанализированы методы проходки тоннелей, определены наиболее оптимальные способы.

**Ключевые слова:** тоннели, новоавстрийский метод, щитовой способ, закрытый способ, открытый способ, аргиллитоподобные глины.

This article deals with the problems of transport traffic in large cities on the example of the city of Perm. The development of underground space in order to solve these problems is considered. The methods of tunneling are analyzed, the most optimal methods are determined.

**Keywords:** tunnel, NATM, shield method, closed penetration method, open penetration method, claystones.

В наше время большая часть растущих городов находится на пути интенсивного развития, т.е. растет численность населения без увеличения занимаемого пространства. Зачастую решения, принятые по организации дорожного движения в рассматриваемых городах, были воплощены в начале пути развития автомобилестроения. В условиях увеличения плотности населения в крупных населенных пунктах существующие автомобильные дороги все хуже справляются с огромным наплывом средств перемещения. Помочь в решении возникшей проблемы способно использование подземного пространства.

Целью работы является обзор существующих методов проходки тоннелей. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1) выполнить обзор способов разработки тоннелей, рассмотреть нормативную литературу по проектированию тоннелей, диссертации, научные публикации;

2) предложить рекомендации по устройству тоннелей в условиях плотной застройки г. Перми.

При формировании подземных транспортных элементов (ветки метрополитена, автомобильные дороги и развязки) встает вопрос о способах строительства тоннелей. Существует множество типов проходок тоннелей, однако глобально они делятся на два метода: открытый и закрытый. Описание методов наглядно приведено в работе [1].

Открытый способ, в свою очередь, подразделяется на котлованный, траншейный и щитовой. Все способы подразумевают проведение работ на поверхности земли. Минусами данных способов являются: вскрытие существующих поверхностей, невозможность использования части территории, где ведется строительство, возможная перекладка имеющихся инженерных сетей. Достоинства данных методов: меньшие финансовые затраты производства работ, не требуют наличия сложного оборудования. Эти способы используют при неглубоком залегании тоннелей.

При проведении работ котлованным методом производят выработку всего объема грунта от земной поверхности до отметки проведения работ на необходимую ширину строительства. Боковые поверхности котлована могут формироваться естественными откосами или подкрепляющими стенками в зависимости от расположения объекта и гидрогеологических условий площадки. Работы по возведению тоннеля ведутся на дне котлована. После возведения конструкции производят обратную засыпку. Рассматриваемый вариант работ лучше применять на свободной от застройки территории.

Траншейный способ имеет существенное отличие от котлованного. Разрабатывается грунт поэтапно. Вначале отрывают траншеи под вертикальные элементы, далее устанавливаются стены тоннеля следующими способами: «стена в грунте», замоноличивание вертикальных участков, погружение сборных железобетонных конструкций, буровой метод. После этого устраивают перекрытие, которое после обработки гидроизоляцией засыпают грунтом. Перекрытие может быть монолитным или состоять из сборных элементов. Лишь после этого начинают разработку грунтового ядра, находящегося внутри возведенной конструкции. В данном случае стены выступают в качестве крепи, при этом являясь конструктивными элементом. Траншейный способ позволяет быстрее восстановить поверхность над тоннелем.

Щитовой открытый способ подразумевает высокий уровень механизации, при котором к минимуму сводятся вибрации и шумы, а также осадки грунтов, что позволяет применять данный способ вблизи уже существующей застройки. Также применение щита позволяет снизить объем земляных работ. При щитовой проходке используют передвижную механическую крепь незамкнутого контура с прямоугольным сечением. За счет этого отпадает необходимость в дорогостоящей и трудоемкой временной крепи. Рассмотренный вид проходки следует применять в любых не скальных грунтах, кроме плы-

вунных грунтов или илистых, и при длине проходки более 100 м. Значительным недостатком данного метода является то, что используют только цельно-секционную обделку, длина которой равна ходу гидродомкратов.

К закрытым способам относятся: горный способ, щитовой закрытый, метод продавливания. Горный способ подразделяется на подвиды, каждый из которых применяется в определенных условиях строительства. При ведении работ по устройству тоннелей в скальных грунтах применяют способы сплошного забоя и уступный. В остальных случаях используют способы опертого свода, опорного ядра, раскрытие сечения тоннеля на полный профиль по частям, метод опережающей крепи, новоавстрийский способ.

Метод сплошного забоя используется в устойчивых скальных грунтах при высоте выработки, не превышающей 10 м. Способ может реализовываться ступенчатым забоем и забоем на полное сечение. В первом случае тоннель разрабатывают на все сечение, при этом достигается простота проведения работ. Обделку возводят с помощью временной крепи широким фронтом последовательно по всей протяженности тоннеля. Разработку тоннеля ведут проходческими машинами или буровзрывным способом. Породу вывозят за пределы тоннеля специальными вагонами или автотранспортом. Если погрузчики обладают ковшами большого объема, то разработанный грунт вывозится непосредственно в них. Когда тоннели небольшой длины, бетонирование производят после проходки, в случае строительства длинных тоннелей – одновременно с проходкой и шагом не менее 100 м. Метод отличается высокой производительностью работ, ритмичностью процессов, уменьшенным объемом подготовки к работам. Несмотря на достоинства, перед началом работ требуется тщательно произвести геологоразведку трассы.

Ступенчатый забой отличается тем, что сечение тоннеля делят по высоте на два участка: калотту и штроссу (верхнюю и нижнюю соответственно). Разработку проводят одновременно обеих частей, но с отставанием нижней части на одну или две заходки. За счет деления сечения на две части достигается большая устойчивость забоя в менее прочных грунтах. Существенными минусами являются следующие факторы: неполнота использования проходческого оборудования и увеличение доли ручного труда.

Уступный метод может быть применен при любой высоте забоя в скальных грунтах средней крепости от 2 до 4 или высоте более 10 м в крепких породах с крепостью более 4. Наиболее распространенной схемой данного метода является метод нижнего уступа. Для начала в калотте разрабатывают грунт и устанавливают крепь, состоящую из анкеров, набрызг-бетона, металлических арок. После этого аналогичные процессы выполняют в штроссе. В трещиноватых и слабых грунтах помимо указанных операций в калотте еще бетонировать свод на расстоянии около 40 м от забоя. В пятах свода мон-

тируют рандбалки, которые представляют собой металлический двутавр или рельс длиной от 8 до 10 м, также может быть в виде уширения свода. Разработку и вывоз породы ведут аналогично методу сплошного забоя. Недостатками являются: увеличение сроков строительства, более сложная организация работ. В то же время при этом достигается большая безопасность проведения работ.

В слабых породах (твердые глины, суглинки, мергели, трещиноватые скальные породы), способных выдержать давление пят свода обделки, применяют метод опертого свода. Сущность метода заключается в том, что быстро ведется обделка свода и стены тоннеля подводятся под пяты свода. Плюсы этого способа: безопасность проведения работ, обусловленная быстрым устройством бетонного свода, простота работ. Отрицательной стороной является сложность точной стыковки стен и пят свода.

В городских условиях при плотной застройке в случае обнаружения малоустойчивых слабых грунтов на площадке применяют метод опорного ядра. В рассматриваемом способе порода разрабатывается по контуру забоя и бетонируются стены со сводом. Затем вырабатывают породу под возведенной конструкцией. Вначале устраиваются стены, а потом на них опирают свод. При использовании этого метода достигается осушение массива и безопасность работ. Но при этом увеличиваются сроки строительства и трудоемкость, снижается экономичность.

Способ раскрытия сечения тоннеля на полный профиль по частям в условиях городской застройки не применяют, так как при устройстве крепи необходимо большое количество креплений, что вызывает осадку кровли выработки. Поэтому данный метод подробно не рассмотрен.

В последнее время все большую популярность набирает новоавстрийский метод проходки тоннелей. Его применяют в связных и полускальных породах. Калотта разрабатывается на всю ширину выработки сразу. Возводят несущий податливый слой, состоящий из слоя торкретбетона толщиной 0,15–0,20 м, нанесенный на армирующую сетку и податливые арки. Металлическая сетка заанкерована предварительно напряженными трубчатыми перфорированными анкерами с нагнетенным цементно-песчаным раствором (рис. 1, 2). Благодаря анкеровке созданная оболочка воспринимает незначительные нагрузки. Основная доля нагрузок приходится на слой пород, прилегающий к выработке. Постоянную монолитную обделку устраивают только после остановки деформаций и стабилизации давления. Сложность приведенного способа состоит в том, что необходимо постоянно контролировать деформации породного массива и оболочки, а также строго соблюдать технологию выполнения работ. Неоспоримым преимуществом новоавстрийского способа является его универсальность как в отношении инженерно-

геологических условий, так и форм тоннеля и глубины его заложения. Также этот способ более экономичный, чем метод опертого свода или опорного ядра. Применение рассмотренного метода представлено в работе [2].

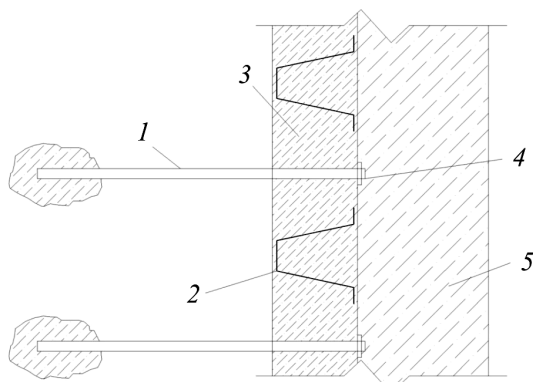


Рис. 1. Схема крепления тоннеля при новоавстрийском способе: 1 – анкеры; 2 – металлические арки; 3 – первичный слой набрызг-бетона; 4 – металлическая сетка; 5 – постоянная бетонная обделка

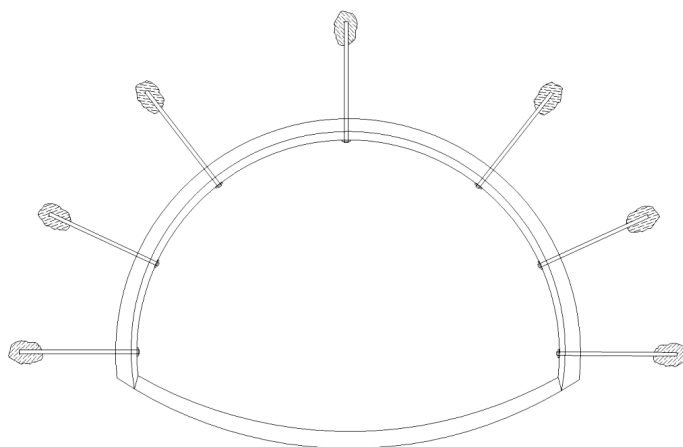


Рис. 2. Поперечное сечение при устройстве тоннеля новоавстрийским способом

Щитовой закрытый способ рассматривают в случаях неблагоприятных условий разработки тоннеля в выветрелых скальных и рыхлых породах, а также при необходимости полного исключения осадок (тоннели мелкого заложения вблизи городской застройки). Основное оборудование метода – проходческий щит, под которым ведутся все работы. Диаметр такого щита при прохождении транспортного автомобильного тоннеля должен быть в диапа-

зоне 10–12 м, что значительно усложняет доставку оборудования. Поэтому при возможности лучше отказаться от применения щитового способа, несмотря на высокую степень безопасности и скорости разработки тоннеля.

Еще одним способом прокладки тоннелей различного назначения является метод продавливания. Его применяют в черте города, вблизи существующей застройки. Глубина заложения зависит от положения инженерных коммуникаций, расположенных под землей, возможности минимизации сдвига и деформаций земной поверхности и, исходя из этих условий, принимается минимально допустимой. Применяется в широком диапазоне инженерно-геологических условий (глины, суглинки, пески). В этом способе продавливаются с помощью домкратных установок целые отдельные секции тоннеля в массив грунта. Данный метод хорош тем, что не требует вскрытия поверхности, также увеличивается скорость работ за счет использования готовых элементов. Схема проведения работ приведена на рис. 3.

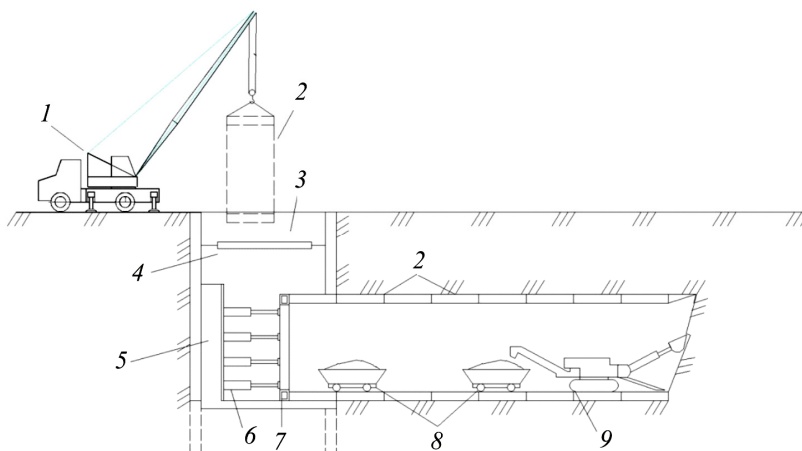


Рис. 3. Схема продавливания тоннеля: 1 – автокран; 2 – тоннельная секция; 3 – забойный котлован; 4 – крепь котлована; 5 – упор; 6 – гидродомкраты; 7 – распределительная рама; 8 – контейнер с породой; 9 – тоннелепроходческая машина

Геологические условия г. Перми – это коренные породы – аргиллитоподобные глины и песчаники пермского возраста, перекрытые толщиной до 10–15 м современных песчано-глинистых отложений. Геологическое строение территории иллюстрируют геолого-литологические разрезы (рис. 4), построенные А.Б. Пономаревым, С.В. Калошиной [3].

Предполагается, что при устройстве тоннелей в г. Перми для размещения тоннеля будут использоваться сильновыветрелые, обводненные, трещиноватые, размягчаемые аргиллитоподобные глины и песчаники.

Каждый из описанных способов имеет как преимущества, так и недостатки. Для строительства тоннелей в условиях крупных городов необходимо соблюсти совокупность условий. Одновременно должны обеспечиваться приемлемая скорость работ, минимизация осадок и деформаций земной поверхности, сохранение существующего ландшафта.

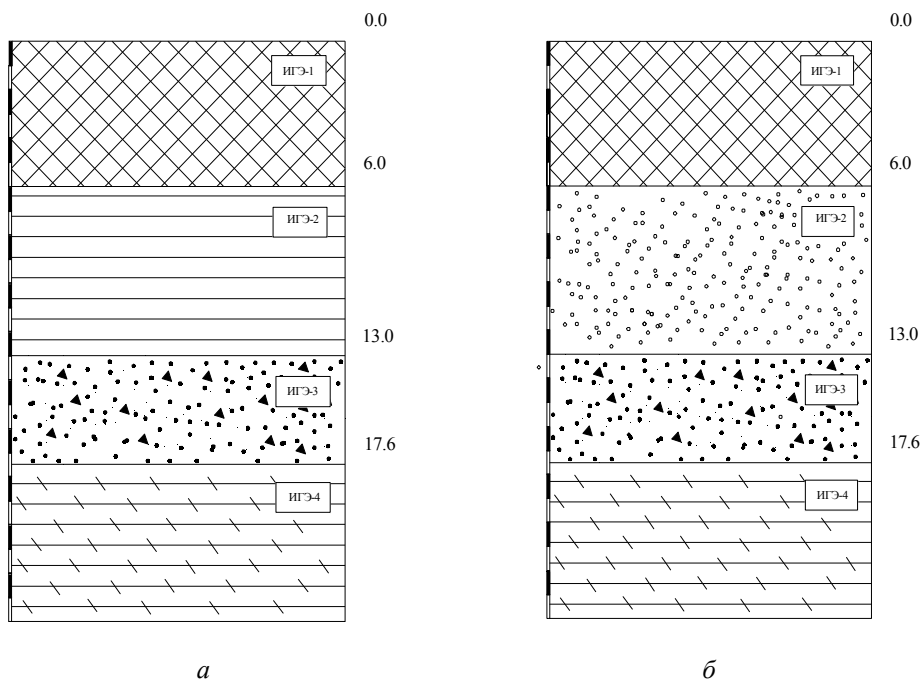


Рис. 4. Наиболее характерные для г. Перми типы оснований [3]:  
*а* – глинистый тип основания; *б* – песчаный тип основания

По мнению автора, наиболее подходящими способами устройства тоннелей в условиях плотной застройки г. Перми являются новоавстрийский метод и метод продавливания. Эти методы обеспечивают оговоренные условия и не затрагивают уже существующие коммуникационные сети, позволяют уменьшить объем подготовительных работ, не требуют крупногабаритного оборудования, как в случае щитового закрытого способа.

### Список литературы

1. Строительство транспортных тоннелей: учеб. пособие / под общ. ред. А.А. Фугенфирова. – 3-е изд. – М.: Изд-во СибАДИ, 2007. – 298 с.
2. Ламонина Е.В. Обоснование возможности применения новоавстрийского тоннельного метода для проходки тоннелей в глинистых грунтах Московского региона // Вестник МГСУ. – 2010 – № 4. – С. 62–66.

3. Пономарев А.Б., Калошина С.В. Об инженерно-геологических условиях строительства г. Перми // Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях: тр. междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 50-летию БашНИИСтроя: в 3 т. – Уфа, 2006. – Т. 2. – С. 119–124.

Получено 30.10.2018

**Пашковец Владимир Сергеевич** – магистрант кафедры строительного производства и геотехники, строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: vpashkovecz@inbox.ru.

**Научный руководитель – Сычкина Евгения Николаевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства и геотехники, строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: aspirant123@mail.ru.