

РАЗВИТИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЕЙ ОВАЛЬНОЙ ФОРМЫ МОДУЛЬНЫМ УНИВЕРСАЛЬНЫМ ЩИТОВЫМ КОМПЛЕКСОМ «МУСКАТ» И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫЕМОЧНОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ ПРОХОДКЕ

Ябуров Г. С.

**научный руководители канд. техн. наук Курчин Г. С., канд. техн. наук Урбаев Д. А.
Сибирский федеральный университет**

В настоящее время на территории крупных мегаполисов ярко выражена катастрофическая дорожно-транспортная ситуация, связанная с нехваткой полос дорожного движения, узкие улицы в местах памятников культуры и архитектуры, отсутствие парковочных площадок, в результате чего, автовладельцы оставляют свои автомобили у обочины, что снижает пропускную способность и без того загруженного участка дороги. Как следствие повышается статистика наездов на пешеходов, растут автомобильные пробки. Метрополитены в городах лишь частично снимают эту загруженность. Рациональным решением является перевод автодорожного транспорта под землю. Для чего необходимо создать сеть автодорожных развязок с многоуровневыми съездами и выходами на дневную поверхность. Сегодня это решение представляется как единственное.

В условиях плотной городской застройки на сегодняшний день активно используется проходка тоннелей с помощью тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) таких фирм как *Lovat*, *Robbins Herrenknecht*, *Hitachi Ltd.*, *Mitsubishi Heavy Industries*, *Wirth*, *Palmieri* и др. ТПМК выпускают для строительства тоннелей в различных горно-геологических условиях и с технологиями проходки с гидропригрузом, грунтопригрузам или кессонированием забоя. Данные щитовые комплексы в основном имеют кругло поперечного сечения с роторным рабочим органом.

Автодорожные тоннели сооружают для 2-, 3-, 4-, 6- и 8-полосного движения автотранспорта в одном, иногда в двух ярусах. В зависимости от глубины заложения тоннельной конструкции от поверхности земли или воды различают автодорожные тоннели глубокого (более 10-12 м) и мелкого (менее 10-12 м) заложений.

В плане автодорожные тоннели могут располагаться на прямых и криволинейных участках; при этом случае минимально допустимый радиус кривизны составляет 250-400 м. Продольный профиль автодорожного тоннеля имеет односкатное и двускатное выпуклое (горные автодорожные тоннели) или вогнутое (подводные и городские автодорожные тоннели) очертания. Максимальный продольный уклон проезжей части автодорожные тоннели 40‰ (в особых случаях 60‰), минимальный – 3‰.

Размеры поперечного сечения автодорожных тоннелей выбираются с учётом габаритов приближения строений и оборудования и размещения эксплуатационных устройств. Форма поперечного сечения тоннеля может быть круглой, овальной или подковообразной. Прямоугольная и квадратная формы встречаются редко, поскольку при таких формах снижается прочность тоннеля.

Тоннели с круглым поперечным сечением применяют при наличии всестороннего давления. Распространённость ТПМК круглого сечения связана с его принципом работы, «высверливания» круглого отверстия и простоты технологического устройства. Такая форма тоннелей хорошо подходит железнодорожного транспорта. Для автодорожных тоннелей целесообразнее применять овальное поперечное сечение, для достижения высокой пропускной способности - 4 полосы минимум, возможностей круглых щитов уже не хватает (ширина дорожной полосы в автодорожных тоннелях составляет 4 м, а высотный габарит должен быть 5 м).

Сравнивая же ТПМК круглого сечения, то тут увеличение диаметра тоннеля повлечет за собой увеличение потребляемой мощности в кубической зависимости, кроме этого вынимается большое количество "лишнего" грунта, а образуемые пустоты практически не используются.

Значительные затраты на строительство тоннелей окупаются за счёт улучшения транспортных связей, решения энергетических проблем, упорядочения систем городского хозяйства, преобразования и охраны окружающей среды. Так как, строительство тоннелей не оказывают нарушения бытового режима водотока, которое может происходить во время эксплуатации моста, отверстием которого стесняется водоток. А также не возникает масштабных воздействия и отчуждения земель для размещения сооружения и значительного изменения рельефа.

Назначение, место расположения тоннелей, его длина и глубина заложения, очертание в плане и профиле, форма и размеры поперечного сечения обусловлены топографическими, климатическими и инженерно-геологическими условиями, способом строительства, а также экономическими и экологическими соображениями.

Сегодня в городе Красноярске существует огромная проблема затруднённости дорожного движения. Главной причиной является недостаточное транспортное сообщение между берегами через реку Енисей. В 2012 году утвержден проект на строительство четвертого автодорожного моста через реку Енисей. Данное транспортное сообщение лишь на небольшой период сможет сдерживать растущий транспортный поток. Инфраструктура города развивается стремительно, и в дальнейшем снова возникнет необходимость еще одного транспортного сообщения. Строительство моста сопряжено с большим объемом изменений облика города. Поэтому, чтобы сохранить первозданность и красоту города, необходима проходка автодорожного тоннеля, который бы соединил два берега реки и не требовал больших площадей сноса зданий. Предположительно можно соединить район Южного берега на правом берегу и улицу Партизана Железняка на левом, общая длина данного тоннеля составит около 2,5 км (рис. 1).

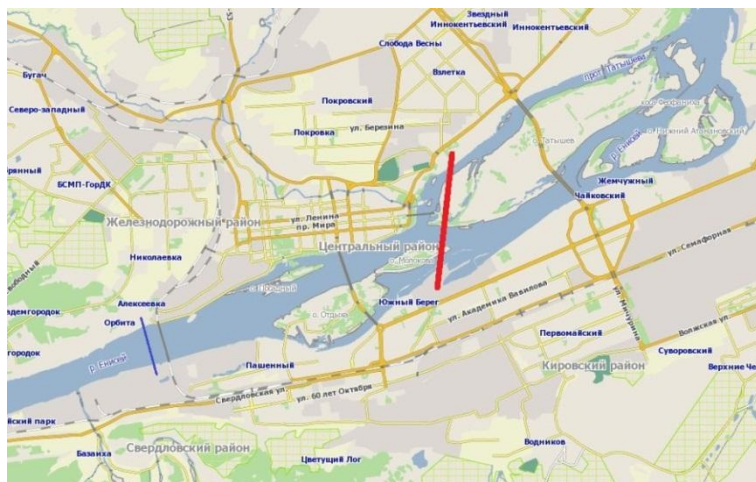


Рис. 1 - Схема расположения тоннеля (красным – расположение будущего тоннеля; синим - расположение будущего четвертого моста)

Тоннель предполагает наличие ряда съездов и подземных развязок. Все больше автомобильных дорог прокладывают под землей, что экономит городское пространство и сокращает затрачиваемое на дорогу время, помогая предотвращать пробки и заторы. Строительство тоннеля позволит создать разветвленные дорожные сети повышенной функциональности. На сегодня редко применяются типовые решения: как правило, необходим специальный расчет проекта с учетом особенностей конкретного ландшафта.

В геологическом плане в Красноярске по обеим сторонам реки Енисей, вытянутые вдоль его берегов почти на 40 км очень тяжёлые для строительства грунты – сильно-трещиноватые, значительно обводнённые и проседающие. Предполагается строительство тоннеля глубокого заложения, что обоснованно представленными со стороны левого бе-

рега трещиноватыми песчаниками, известняками и сильно-трещиноватыми алевролитами и мергелями. Со стороны же правого берега – суглинками и глинами, а также сильно-трещиноватыми алевролитами, мергелями, конгломератами, редко известняками.

Подробное изучение геологии участка будущего тоннеля, позволило подобрать технически обоснованные специальные методы проходки, а также поддержания и выбора крепления забоя и самого тоннеля в целом. Подземные работы под Енисеем будут проводиться, преимущественно, в слабых неустойчивых грунтах под большим гидростатическим давлением, что требует исключительной осторожности при ведении горнопроходческих операций, предварительного исследования надежности защитных свойств породной кровли и забойного пространства, подготовки эффективных мер по технике безопасности, разработки защиты против стихийного прорыва воды. Наибольшая вероятность прорыва воды в забой при проходке подводных тоннелей закрытыми способами возникает в случае гидравлической связи грунтовых и поверхностных вод. Технология строительства тоннеля должно учитывать ряд моментов, применение кессонных работ, закрепления грунтов специальными растворами методом глубоких скважин.

Для данных условий предлагается рациональная овальная форма поперечного сечения для 3-х полосного движения транспортных средств в одном и обратном направлении: ширина выработки - 20 м, высота тоннеля - 11 м, площадь поперечного сечения – 220 .

По этой причине выбрано овальное сечение тоннеля для многополосного движения транспортных средств вытянутое вдоль горизонтальной оси (рис. 2).

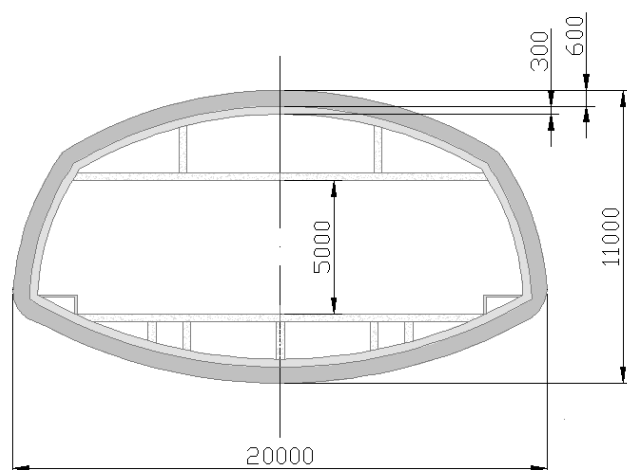


Рис. 2. Овальная форма поперечного сечения на 6 полос движения.

Аналогом являются щитовые комплексы японского производства с двумя или тремя планшайбами. Сооружённые тоннели этими щитовыми комплексами имеют сечение вытянутое вдоль горизонтальной оси в виде пересекающихся двух или трех окружностей. По этой причине в этих тоннелях в местах пересечения окружностей приходится устанавливать колонны для поддержания обделки «соседних» тоннелей, что усложняет технологию проходки, снижает скорость и удорожает строительство. Кроме того, колонны перекрывают свободное сечение тоннеля. Поэтому использование колонн не рационально для рассматриваемого автодорожного тоннеля.

Анализ большого количества вариантов показал, что для данных условий превосходно подходит технология, разработанная Московским государственным горным университетом «Модульный универсальный скоростной комплекса с пригрузом забоя для сооружения автодорожных тоннелей» («МУСКАТ»).

ТПМК «МУСКАТ» обладает возможностью вести проходку в любых горно-геологических условиях при больших притоках воды, и сооружать многополосные автодорожные тоннели со скоростью свыше 500 м/месяц без осадки дневной поверхности. Комплекс обладает модульной конструкцией и, следовательно, может быть трансформирован для сооружения так же трех-, двух- и одно полосных автодорожных тонне-

лей. Суммарная мощность привода исполнительного органа-2000 кВт. Гидромоторы, приводящие рабочий орган во вращательное движение, находятся внутри исполнительного органа и доступ к ним возможен в любое время. Схема установки и расположения гидромоторов привода рабочего органа позволяет увеличивать или уменьшать их количество, находящиеся в работе, и тем самым регулировать пусковой крутящий момент и скорость вращения рабочего органа. Суммарная мощность привода может быть так же легко увеличена путем установки дополнительных гидромоторов. Данные показатели играют огромную технологическую роль для строительства тоннеля в Красноярске. Это весьма на пользу, при сравнении с щитами круглого поперечного сечения, которые не позволяют получить тоннели вытянутые вдоль горизонтальной оси и рациональным использованием выемочного пространства в целом.

Технологические звенья комплекса «МУСКАТ» показаны на рис. 3.

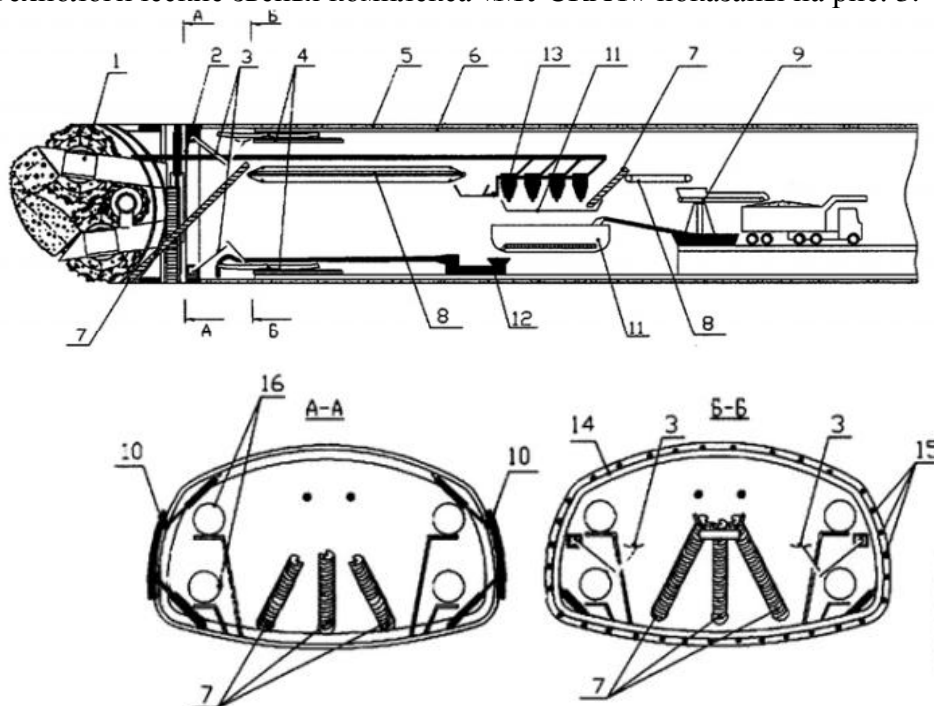


Рис. 3. 1-головная секция комплекса «МУСКАТ», 2 - распорная секция, 3-манипуляторы для монтажа сборной опалубки, 4-рольштанги для подачи блоков обделки, 5-первый слой обделки, 6-второй слой обделки, 7-шнековые перегружатели, 8-ленточные перегружатели, 9-поворотный перегружатель, 10-грепера, 11-емкости для инертных и связующих, 12-бетононасосы, 13-гидроциклоны, 14-прессовал, 15-щитовые домкраты распорной секции, 16-проходы в рабочий орган.

Для улучшения работы ТПМК в агрессивных условиях проходки данного автодорожного тоннеля предлагается устанавливать исполнительный орган, предложенный в работе Самойлова В.А. Данный элемент проходческого щита (рис.4) включает центральный роторный рабочий орган в виде планшайбы, рабочие органы для получения овальной формы сечения тоннеля, выполненные в виде двух боковых и двух вертикальных рабочих органов барабанного типа, при этом каждый боковой рабочий орган выполнен в виде тела вращения, размещенного относительно горизонтальной главной центральной оси сечения тоннеля, с дугообразной образующей, соответствующей своду, половине боковых сводов и окружностям их сопряжения, а торцевые поверхности вертикальных рабочих органов барабанного типа соответствуют своду и обратному своду тоннеля с порообразующими инструментами на внешних поверхностях.

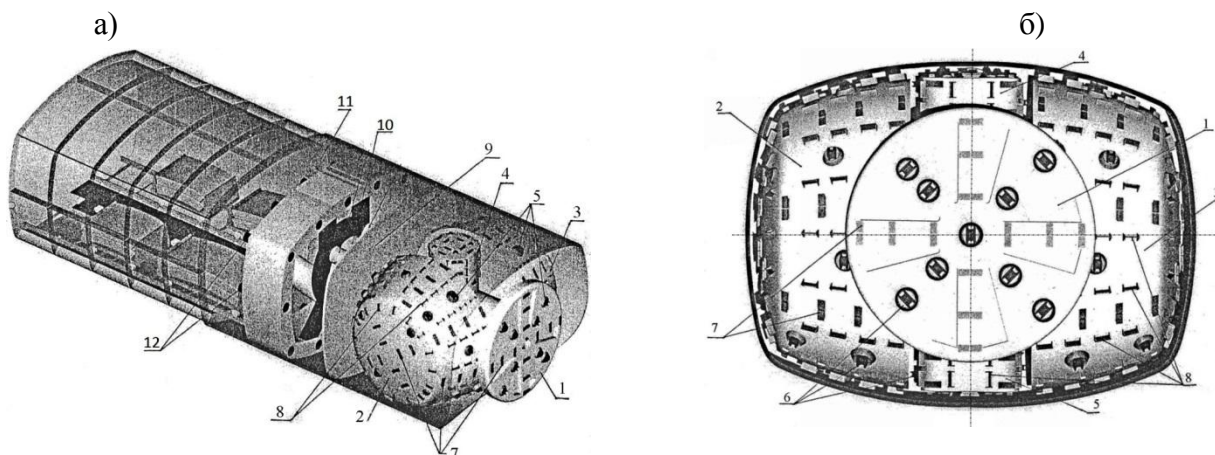


Рис.4. а – общий вид ТПКМ «МУСКАТ»; б - вид исполнительного органа со стороны забоя

Рассматриваемый исполнительный орган щита позволяет влиять на положение овального сечения тоннеля при передвижке щитового комплекса путем изменения направления вращения рабочих органов.

Исполнительный орган проходческого щита состоит из центрального роторного рабочего органа в виде планшайбы 1 и двух боковых рабочих органов 2 и 3, каждый из которых выполнен в виде тела вращения относительно горизонтальной главной центральной оси сечения тоннеля дугообразной образующей, соответствующей своду, половине боковых сводов и окружностям их сопряжения, двух вертикальных 4 и 5 рабочих органов барабанного типа, торцевые поверхности которых соответствуют своду и обратному своду тоннеля, приводы каждого рабочего органа находятся внутри, что позволяет осуществлять их обслуживание и ремонт. На внешней поверхности рабочих органов закреплены породоразрушающие инструменты: шарошки 6, резцы 7 и скребки 8. При проходке в прочных породах рабочие органы оснащают шарошками и скребками, в породах средней прочности - резцами и скребками, а в слабых породах - скребками. Исполнительный орган проходческого щита отделен герметической диафрагмой 9, что позволяет вести проходку в сложных гидрогеологических условиях с породным или суспензионным пригрузом забоя.

Щитовой корпус может быть шарнирным, что увеличивает скорость проходки на 25-30% за счет непрерывной разработки породы без остановки на монтаж обделки и (при необходимости) позволяет проходить тоннель на криволинейных участках с радиусами закругления менее 100 метров.

Привод каждого рабочего органа может быть гидравлический или электрический с терристерным управлением.

Перемещение исполнительного органа на забой может осуществляться двумя способами:

- путем воздействия гидравлических домкратов исполнительного органа (не показаны) на направляющую 10;
- путем передвижки всего щитового комплекса (ТПКМ) с отталкиванием от обделки тоннеля 11 щитовыми домкратами 12 или от второй секции щита, распертой в окружающий горный массив греперами при шарнирном корпусе щита.

Работа исполнительного органа проходческого щита осуществляется, одновременным включением всех приводов рабочих органов и подачей исполнительного органа на забой гидродомкратами.

При породном пригрузе разрушенная порода в рабочей зоне между забоем и герметической диафрагмой пластифицируется специальными гидродобавками, которые подаются в необходимом объеме в рабочую зону рассредоточено по всему ее объему. Давле-

ние пригруза постоянно контролируется и поддерживается равным гидродавлению забоя путем, с одной стороны, выдачи породы шнековым перегружателем, с другой стороны, соответствующей передвижкой щита на забой.

При гидропригрузе за герметическую диафрагму подается по трубам раствор бентонитовой глины и сжатый воздух, которые обеспечивают необходимый пригруз забоя в неустойчивых породах. Жидкая смесь разрушенной породы и бентонитовой глины выдается на поверхность насосами по трубам, где производится отделение бентонитовой глины и воды от породы. После этого раствор бентонитовой глины подается в рабочую зону по трубам для повторного использования, а порода самосвалами вывозится на свалку.

При возведении тоннеля данным комплексом в качестве обделки предлагается использовать различные типы обделок, таких как пресс-бетон, сборную обделку как временную крепь, монолитный бетон и железобетон в сочетании с дисперсным армированием – как постоянную.

В рассматриваемых условиях автодорожного тоннеля Красноярска следует использовать бетоны с высокими технологическими свойствами, высокопрочные до 200 МПа и повышенной водонепроницаемости.

Двухслойная обделка позволяет применять между слоями напыление гидроизоляционного слоя, что значительно повысит гидроизоляционные свойства тоннеля. Сборная обделка, устанавливается в неустойчивых породах с разжимом в окружающей горный массив.

Возводимая обделка, при комплексе «МУСКАТ» состоит из первого слоя и второго слоя. Второй слой крепи включает в работу элементы, как верхний так и нижний составляющей фермы сводов тоннеля.

Несущая способность обделки рассчитывается оперативно для различных горно-геологических условий с использованием программы «*Cosmos/M*».

В заключении, проходка тоннеля щитовым комплексом «МУСКАТ» позволит решить загруженность дорог не только в городе Красноярске, его применение облегчит работу в условиях плотной городской застройки, прокладывая трассу подземных тоннелей в очень сложных градостроительных, инженерно-геологических, технических и экологических условиях: сформировавшейся улично-дорожной сети, сложившейся плотной производственно-коммунальной и селитебной застройки, сильно разветвленной многоуровневой системы коммуникационных сетей, обеспечивая тем самым высокие темпы проходки, не говоря уже о рациональном использовании выемочного пространства.

Общеизвестно, что строительство и функционирование дорог и собственно автомобильный транспорт оказывают значительное воздействие на окружающую природную среду (вода, воздух, уровень шума, местообитания флоры и фауны, миграционные пути животных и т.д.) и на качество жизни населения, пользующегося этими благами цивилизации.

Строительство данного тоннеля позволит компенсировать наносимый ущерб, но и способствовать созданию мероприятий направленных на сохранение, реабилитацию, конструирование и улучшение состояния окружающей среды, попадающей в зону влияния объектов транспортного комплекса, а также условий труда, быта и отдыха населения.