

## Строительство подземного моста на площади Ю.Гагарина в Москве

*И.В. Колыбин, Д.Е. Разводовский, А.В. Скориков (НИИОСП)*

Уникальные объекты подземного строительства во всем мире, к сожалению, далеко не так известны и популярны, как надземные здания и сооружения, представляющие людям во всей своей красе и величии, поражающие часто не только архитектурным замыслом, но очевидным талантом инженерных решений. Гениальные с конструктивной точки зрения сооружения становятся визитными карточками и символами городов, в которых они находятся. Примеров тому множество – это Эйфелева башня в Париже, Бруклинский мост в Нью-Йорке, Останкинская телебашня в Москве, Сиднейский оперный театр и многие, многие другие здания и сооружения. Подземные сооружения вне зависимости от их уникальности всегда более безвестны. Это не удивительно, ведь после завершения подземного строительства сооружение обычно становится скрытым для глаз, его масштабы и конструктивные решения уже невозможно оценить визуально и люди не задумываются над тем, сколько труда и инженерной мысли было потрачено на создание подземного объекта. Исключениями, иногда попадающими в справочники рукотворных чудес света, являются только, пожалуй, Московский метрополитен и туннель под Ламаншем. А ведь таких уникальных объектов, расположенных под землей, очень много и о них нужно знать. Есть уникальные подземных сооружения, аналогов которым в мире не существует, и Москве.

Об одном таком Московском подземном сооружении, незаслуженно обделенном вниманием, хочется рассказать. Это – подземный транспортный мост, что уже само по себе удивительно. Но и это еще не все. Сооружение могло бы попасть в книгу рекордов по целой серии номинаций. Во-первых, при его строительстве были устроены самые большие, как по глубине, так и по диаметру, сваи в Москве. Во-вторых, пролет моста является одним из самых больших в мире для конструкций коробчатого сечения из преднапряженного железобетона. В третьих, его конструкция способна воспринять вес здания, которое должно быть построено над ним в перспективе. Над созданием проекта этого уникального сооружения трудились высокопрофессиональные коллективы нескольких институтов. Институт «Мосинжпроект» осуществлял генеральное проектирование, НИИОСП им. Н.М.Герсеванова выполнял научно-техническое сопровождение строительства и расчеты фундаментов, фирма «Промос» проектировала пролетное строение моста.

Это удивительное инженерное сооружение расположено на пересечении трассы московского Третьего транспортного кольца и станции метро «Ленинский проспект» в районе площади Ю.Гагарина (Рис. 1). Данный участок транспортной магистрали от Андреевской набережной до улицы Вавилова, прилегающий к площади Ю.Гагарина и пересекающий Ленинский проспект, был, несомненно, одним из наиболее сложных для строительства в пределах Третьего транспортного кольца. Автомобильное движение на этом участке осуществляется в двухсекционном тоннеле, построенном открытым способом на месте ранее существовавшего здесь Андреевского оврага. Автотранспортные тоннели пересекаются железнодорожным тоннелем Малого кольца Московской железной дороги, а между тоннелями и под ними устроен двухуровневый подземный паркинг. Устройство тоннелей для размещения в них автомобильной магистрали и железнодорожных путей позволит в дальнейшем использовать их покрытие как своеобразную платформу в градостроительных целях для устройства пешеходных и рекреационных зон и размещения перспективной застройки на территории более 6 га. Параллельно трассе тоннелей планируется также строительство перспективной линии метрополитена со станцией между ул. Вавилова и Ленинским проспектом, а также пересадочного узла, связывающего между собой перспективную станцию метро, железнодорожную станцию, расположенную в тоннеле, и станцию метрополитена «Ленинский проспект».



*Рис. 1 Расположение подземного транспортного моста в Москве*

Строительство уникального многоуровневого комплекса осуществлялось в сложных инженерно-геологических условиях при переменном рельефе, в зоне сложившейся жилой и общественной застройки, в непосредственной близости от национального парка «Нескучный сад». Строительные работы были начаты в 1999 году, завершение строительства на этом участке состоялось в 2004 году (Рис. 2).



*Рис. 2 Третье транспортное кольцо – площадь Гагарина  
 а. Устройство котлована на месте существовавшего оврага (2000),  
 б. Современный вид площади над подземным мостом (2004)*

При строительстве тоннеля на площади Гагарина наиболее проблемным участком, вызывавшим опасения инженеров-геотехников, был участок пересечения путепровода с существующей станцией метро «Ленинский проспект», построенной открытым способом на малой глубине около 30 лет назад. Четыре секции транспортного тоннеля проходят над действующей станцией метро почти перпендикулярно ее оси. При этом расстояние в свету между лотком обделки тоннеля и кровлей станции метро крайне мало и составляет от 85 до 380 см. Кольцевую железную дорогу в дальнейшем предполагается использовать для пассажирских перевозок с остановочным пунктом в зоне станции метро «Ленинский проспект», что требует размещения на этом отрезке пересадочного узла, объединяющего эти две станции, а также перспективную станцию метро. План данного участка тоннеля и пересадочного узла показан на рис. 3.

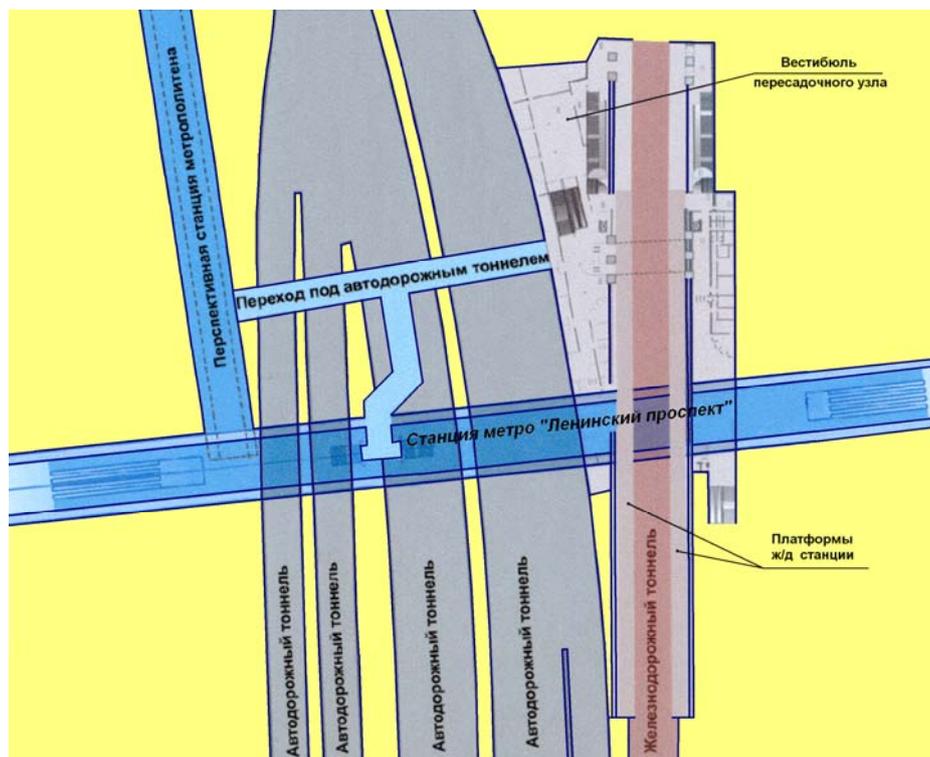


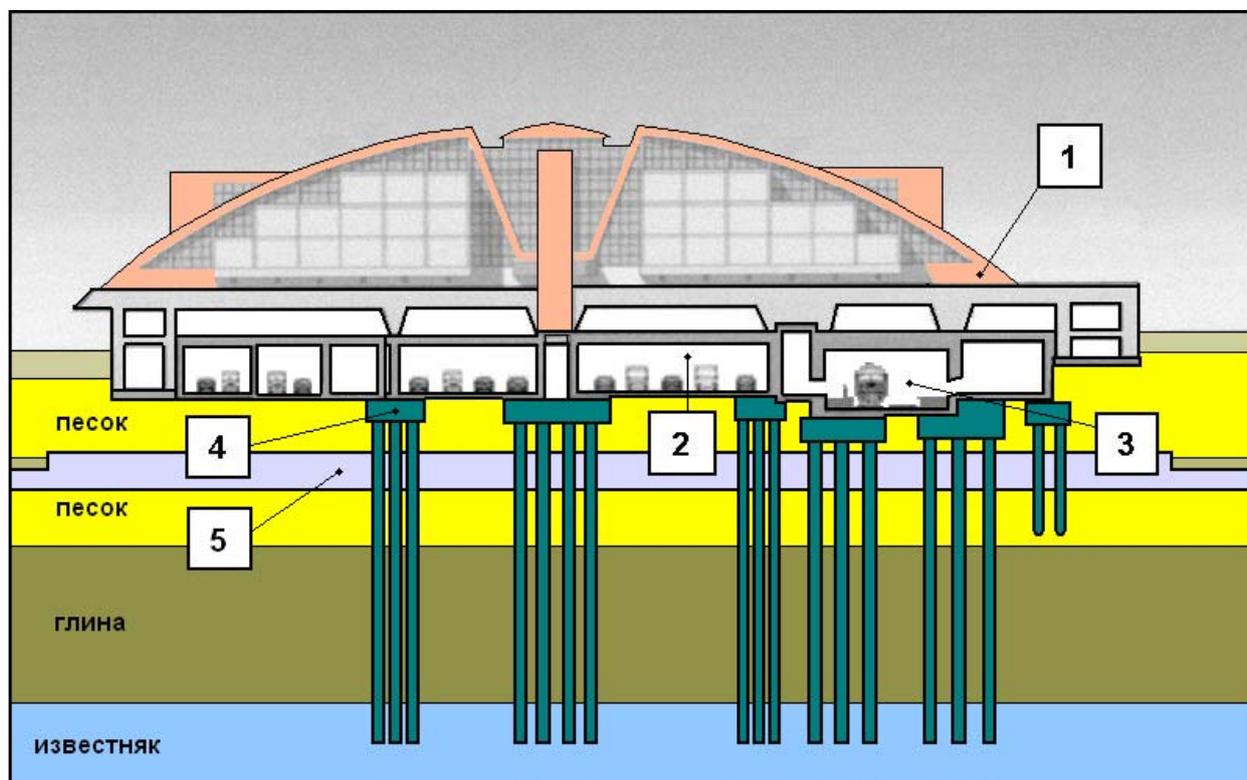
Рис. 3 План тоннелей и пересадочного узла в месте пересечения со станцией метро

Кроме того, в перспективе в процессе реализации второй очереди реконструкции площади Ю.Гагарина непосредственно над транспортным тоннелем и станцией метро «Ленинский проспект» предусматривается возвести здание общественно-торгового назначения высотой 4-6 этажей.

Для разработки проектного решения научно-исследовательским центром «Мосты и тоннели» были выполнены инженерное обследование конструкций станции метро «Ленинский проспект». Результаты обследования показали, что конструктивные решения проектируемых транспортных сооружений и общественно-торгового здания должны полностью исключить дополнительные воздействия на конструкции действующей станции метрополитена. Железобетонные конструкции станции «Ленинский проспект» были запроектированы в 70-х годах прошлого века, их решение не предполагало не только передачу на них дополнительных нагрузок от вновь строящихся сооружений, но и не допускало дополнительных осадков, вызванных новым строительством, более 10 мм.

Таким образом, перед проектными организациями была поставлена чрезвычайно сложная задача – разработать конструктивное решение транспортных тоннелей, которое позволит практически полностью исключить возможность передачи нагрузок и проявления деформаций расположенной ниже действующей станции метро и на стадии эксплуатации обеспечить независимое взаимодействие вновь построенных сооружений с грунтовым массивом. Поставленная задача могла быть решена только единственным способом – путем устройства на этом участке транспортных тоннелей в виде своеобразного подземного моста, располагающегося над конструкциями метро и не передающего на них дополнительных нагрузок и воздействий. Поскольку проектировавшийся мост является подземным, конструкции его пролетного строения должны были быть замкнутыми, способными воспринять давление грунта и подземных вод. Полная длина участка тоннеля, решаемого в виде мостового строения составляла около 60 м. Три секции тоннеля – две для автомобильного движения, одна для железнодорожного, с максимальной шириной до 28 м располагались на подземных мостовых опорах. Минимальное приближение мостовых опор к конструкциям действующей станции метро, которая продолжала эксплуатироваться в процессе строительства моста, было согласовано Московским метрополитеном и составляло

6 м. Четвертая секция тоннеля, представляющая собой съезд в тоннель, на который проектные нагрузки были значительно ниже, располагается частично на мостовых опорах, а частично на естественном основании. Поперечный разрез конструкции подземного моста приведен на рис. 4.



- 1 - проектируемый торговый комплекс**      **4 - свайные фундаменты**  
**2 - автомобильный тоннель**                      **5 - станция метро "Ленинский проспект"**  
**3 - железнодорожный тоннель**

*Рис. 4 Поперечный разрез конструкций подземного моста вдоль оси станции метро «Ленинский проспект»*

Пролетные строения секций подземного моста представляют собой преднапряженные в обоих направлениях железобетонные конструкции коробчатого сечения. Общая нагрузка на основание от собственного веса мостовых конструкций, проектируемого здания, грунта обратной засыпки, а также полезной нагрузки в тоннелях и здании составляет около 100 тысяч тонн. Максимальная нагрузка на фундаментную опору одной секции моста достигала 10-12 тысяч тон. Выбор конструктивного решения фундаментов мостовых опор, очевидно, определялся следующими факторами: необходимостью воспринять столь значительные нагрузки на основание, недопустимостью осадок опор более нескольких сантиметров, ограниченной площадью в плане, на которой необходимо было разместить опоры.

Для того, чтобы стало более понятно, насколько сложную задачу пришлось решать при выборе конструкций фундаментов инженерам-геотехникам, необходимо сказать несколько слов об инженерно-геологическом строении участка строительства. Когда речь идет о проектировании фундаментов мостов, практически всегда подразумеваются свайные фундаменты. А когда речь заходит о компактных в плане фундаментах под нагрузки такой величины как в данном случае, почти любой геотехник ответит – нужны сваи-стойки, то есть сваи, опирающиеся своим нижним концом на прочные скальные, практически несжимаемые грунты. В центральной части Москвы скальные грунты (известняки и доломиты) залегают, как правило, не очень глубоко на глубине 20-30 м. Иную картину встретили геологи в районе площади Ю.Гагарина. В верхней части геологического разреза здесь распространены

насыпные грунты толщиной от 1 до 14 м. Ниже залегают четвертичные песчаные отложения толщиной до 15 м, меловые пылеватые пески толщиной около 10 м и мощная толща до 40 м юрских отложений, представленных песками, суглинками и глинами. Каменноугольные известняки, трещиноватые и разрушенные в своей верхней зоне, залегают на этой площадке на глубинах более 60 м от поверхности.

Столь сложное инженерно-геологическое строение площадки заставило инженеров выполнить анализ и технико-экономическое сравнение возможных вариантов устройства фундаментов для опор моста. При анализе было подробно рассмотрено и рассчитано более 20 вариантов, включая: коробчатые фундаменты мелкого заложения, фундаменты из коротких свай, опирающихся на меловые пески, фундаменты из длинных висячих свай, опирающихся на юрские глины, глубокие фундаменты, опирающиеся на известняки. Для каждого варианта фундаментов не только определялись его габариты и конструкции, необходимые для восприятия нагрузок, но выполнялось математическое моделирование строительства методом конечных элементов. К целям математического моделирования, выполненного НИИОСП им. Н.М.Герсеванова относились:

- Прогноз влияния строительства при различных вариантах фундаментов на развитие дополнительных осадок и деформаций станции метро «Ленинский проспект»;
- Определение требуемых габаритов и глубины заложения фундаментов опор подземного моста, исходя из условий безопасной эксплуатации действующей станции метро и строящихся тоннелей;
- Анализ конструктивных решений сопряжения преднапряженных пролетных строений тоннелей с фундаментами;
- Определение требуемого количества свай в свайных кустах для каждой опоры, исходя из несущей способности свай по грунту и ее материалу;
- Определение рационального расположения свай в свайных кустах;
- Определение внутренних усилий в сваях и их армирования;
- Определение требуемой толщины свайных ростверков, внутренних усилий в них и требуемого армирования.

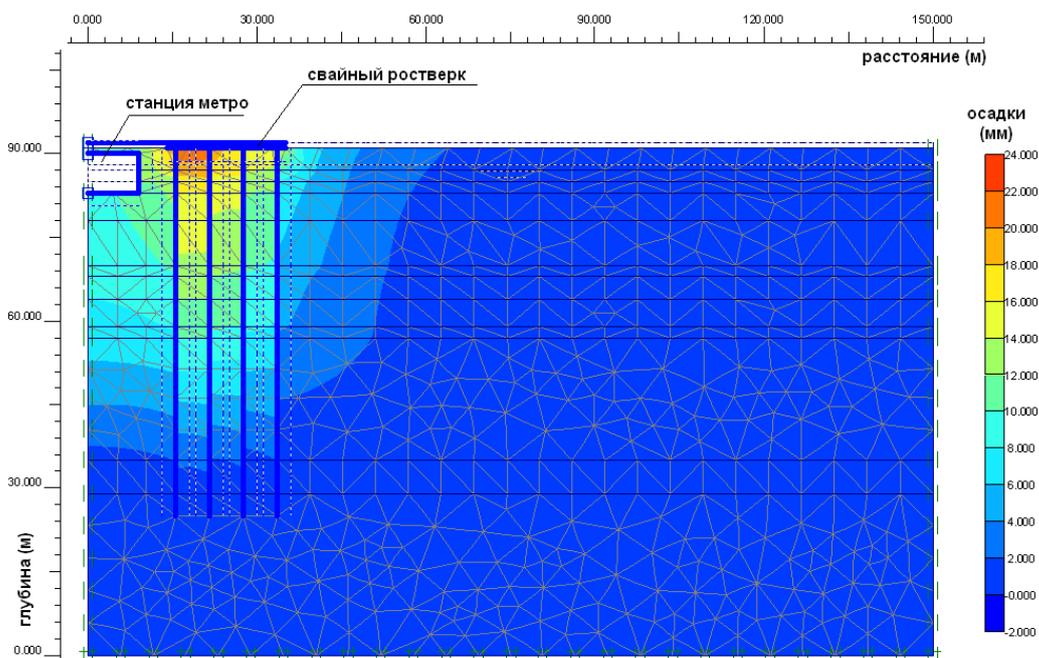


Рис. 5 Прогнозируемые осадки массива грунта, полученные математическим моделированием

Выполненное моделирование позволило доказать, что использование фундаментов мелкого заложения или промежуточных глубин заложения из висячих свай не дает возможности обеспечить безопасную эксплуатацию действующей станции метро и тоннелей Третьего транспортного кольца на этом участке. Поэтому дальнейший выбор был сосредоточен на сопоставлении вариантов глубоких фундаментов (глубиной 65-70 м), передающих нагрузки от конструкций на каменноугольные известняки. Среди таких вариантов были рассмотрены: фундаменты, выполняющиеся способом «стена в грунте»; фундаменты из буронабивных свай большого диаметра; опускные колодцы; шахтные стволы. На основании технико-экономического сопоставления выбор был сделан в пользу глубоких фундаментов, устраиваемых с использованием буронабивных свай-стоек, опирающихся на глубине 65 м на слаботрешиноватые известняки средней прочности с расчетным сопротивлением одноосному сжатию 20 МПа. Математическое моделирование подтвердило, что осадка таких фундаментов после завершения строительства над тоннелями общественно-торгового здания не превысит 25 мм, а осадка станции метро «Ленинский проспект» будет менее 10 мм. Изолинии прогнозируемых осадок в грунтовом массиве, полученные в результате математического моделирования методом конечных элементов для выбранного проектного варианта, показаны на рис. 5.

Выбранный проектный вариант предусматривал передачу нагрузок на основание через девять опор, представляющие собой кусты от 6 до 12 буронабивных свай, объединяемых монолитными железобетонными ростверками толщиной 2.5 м. Сваи имеют переменный по глубине диаметр – 1.5 м в верхней части и 1.35 м в нижней. Устройство буронабивных свай выполнялось с использованием буровой установки ВГ-42 немецкой фирмы Bauer, позволявшей достичь требуемых проектом глубин (рис. 6). При выполнении свайных работ были приняты меры по исключению технологических воздействий на действующую станцию метро. Для исключения проявления плавунных свойств водонасыщенных песков в верхней части геологического разреза в местах расположения каждой сваи были погружены теряемые инвентарные трубы диаметром 2 м на глубину до 10 м. Таким образом бурение водонасыщенных песков при устройстве свай выполнялось под защитой своеобразных металлических рубашек.



*Рис. 6 Устройство свайных фундаментов*

Последовательность строительства подземного моста укрупненно может быть представлена следующим образом:

- Выполнение земляных работ, разработка котлована до проектных отметок.
- Выполнение заобделочной цементации на контакте конструкций станции метро «Ленинский проспект» с грунтовым массивом.
- Устройство буронабивных свай, опираемых на известняки.
- Объединение кустов свай монолитными железобетонными ростверками.
- Установка на ростверки временных гибких прокладок из свинца.
- Установка временных металлических ферм и подвесной опалубки для бетонирования пролетных строений.
- Бетонирование днища и стен центральных секций пролетных строений.
- Натяжение преднапрягаемой арматуры выполненных частей пролетных строений.
- Бетонирование надпорных секций пролетных строений.
- Устройство перекрытий пролетных строений и натяжение пучков арматуры в стенах.
- Объединение свайных ростверков и опорных частей пролетных строений путем омоноличивания. Удаление временных свинцовых прокладок.
- Устройство проезжей части в тоннелях.
- Обратная засыпка грунтом и планировка территории.
- В перспективе строительство здания на конструкциях тоннеля.

Следует обратить внимание на то, что необходимость установки мягких свинцовых прокладок в совокупности с антифрикционным покрытием между фундаментными опорами и пролетным строением на начальных этапах строительства была вызвана требованием натяжения арматурных пучков в преднапрягаемых железобетонных конструкциях тоннелей. Прокладки позволили избежать передачи горизонтальных усилий на свайные ростверки в процессе натяжения арматуры. Последующая схема статической работы конструкции требовала устройства жесткого объединения фундаментов и пролетного строения. Столь непростая технологическая схема устройства конструкций подземного моста потребовала от проектировщиков выполнения комплекса сложнейших расчетов. В этих расчетах необходимо было учесть упруго-пластическую работу основания, изменение конструктивной схемы сооружения в процессе его нагружения, нелинейную работу преднапряженных железобетонных элементов, влияние температурных и усадочных деформаций конструкций. Все расчеты были выполнены рядом организаций, осуществлявших проектирование и научное сопровождение строительства, с привлечением современных вычислительных программ, использующих подходы математического моделирования на основе метода конечных элементов.

В настоящее время строительство Третьего транспортного кольца в Москве завершено. Тоннели на площади Ю.Гагарина давно сданы в эксплуатацию. Станция метро «Ленинский проспект» безостановочно и безаварийно эксплуатировалась как в процессе всего строительства тоннелей, так и в последующий период. Результаты мониторинга, ведущегося за деформациями станции метро и грунтового массива, показывают, что осадки станции в процессе строительства не превысили нескольких миллиметров. Проектируемый торговый комплекс над конструкциями тоннелей пока не построен – ждет своего часа в процессе второй очереди реконструкции площади Ю.Гагарина. Ожидается и строительство перспективной станции метро в этом месте.

Сегодня, проезжая в подземном транспортном тоннеле под площадью Ю.Гагарина, мы даже не задумываемся на тем, какие сложные задачи пришлось решать ученым, проектировщикам и строителям в процессе строительства, какие интересные конструктивные идеи удалось претворить в жизнь. «Все гениальное – просто», говорит пословица. Давайте же видеть за этой внешней простотой красоту инженерных решений подземных сооружений и титанический труд инженеров, потраченный на ее воплощение.

### *Литература*

1. Ильичев В.А., Бахолдин Б.В., Панкина С.Ф., Самохвалов Ю.М., Козеева Н.К. Проектирование опор мостового перехода автодорожного и железнодорожного тоннелей 3-го транспортного кольца над подземной станцией метрополитена на площади Гагарина в г. Москве. – М.: Подземное строительство России на рубеже XXI века. Труды конференции, 2000, стр. 191-199.
2. Колыбин И.В. Подземные сооружения и котлованы в городских условиях – опыт последнего десятилетия. – М.: Российская геотехника – шаг в XXI век. Труды юбилейной конференции, посвященной 50-тилетию РОМГГиФ, 2007, на CD диске, 34 стр.
3. Самохвалов Ю.М. Автодорожный и железнодорожный тоннели на площади Гагарина в Москве. – М.: Подземное строительство России на рубеже XXI века. Труды конференции, 2000, стр. 246-252.