

UNDERGROUND PARKING-GARAGE IN THE REVOLUTION SQUARE IN MOSCOW.

***FROM TECHNICAL PROPOSAL TO REALIZATION OF THE PROJECT
(RUSSIAN VERSION PDF)***

***P. Yurkevich,
Yurkevich & Co. Engineering Society Ltd., Minsk, Belarus***



ПОДЗЕМНАЯ АВТОСТОЯНКА НА ПЛОЩАДИ РЕВОЛЮЦИИ В МОСКВЕ

ОТ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРЕДЛОЖЕНИЯ ДО РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА



П. Юркевич,
«Инженерное общество Юркевич и Ко», Ltd.
Республика Беларусь

В соответствии с постановлением Правительства Москвы и за счет кредита Европейского Банка Реконструкции и Развития на площади Революции возведена подземная четырех-уровневая автостоянка.

Наше участие в проектировании этого объекта стало возможным благодаря случайному стечению обстоятельств. С весны 1996 г. другим авторским коллективом полным ходом велась разработка проектной документации, реализующей совершенно иное решение конструкции и технологии строительства.

В сентябре 1996 г. специалисты строительного подрядчика ЗАО «Объединение «Ингеоком» предложили нам ознакомиться с разрабатываемым проектом и высказать свои соображения по нему. В результате появилось альтернативное техническое предложение, заменившее предыдущее в процессе разработки проектной документации, что само по себе явление исключительное. Предложение было поддержано заказчиком и строительным генподрядчиком, а разработанная нами на его основе всего за 10 дней утверждаемая часть нового проекта прошла государственную и независимую экспертизу.

Разработка рабочей документации стартовала в конце ноября 1996 г. и велась параллельно со строительством до апреля 1997 г. Проектирование основных конструкций автостоянки, включая сводчатую обделку, и разработка проекта организации строительства были завершены нами в январе 1997 г.

Справедливости ради следует отметить, что начало основных строительных работ в условиях крепких затяжных морозов, вызывавших многочисленные простои из-за поломки строительного оборудования, трудно назвать удачным. Погодные условия добавляли скептицизма большинству специалистов по поводу нереальности поставленных городскими властями сроков (основные строительно-монтажные работы и благоустройство территории планировалось завершить к 1 сентября 1997 г. – накануне празднования 850-летия Москвы).

Однако именно новая обделка подземной автостоянки и технология ее возведения позволили справиться с этой задачей.

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ СИТУАЦИЯ И КОМПОНОВКА СООРУЖЕНИЯ

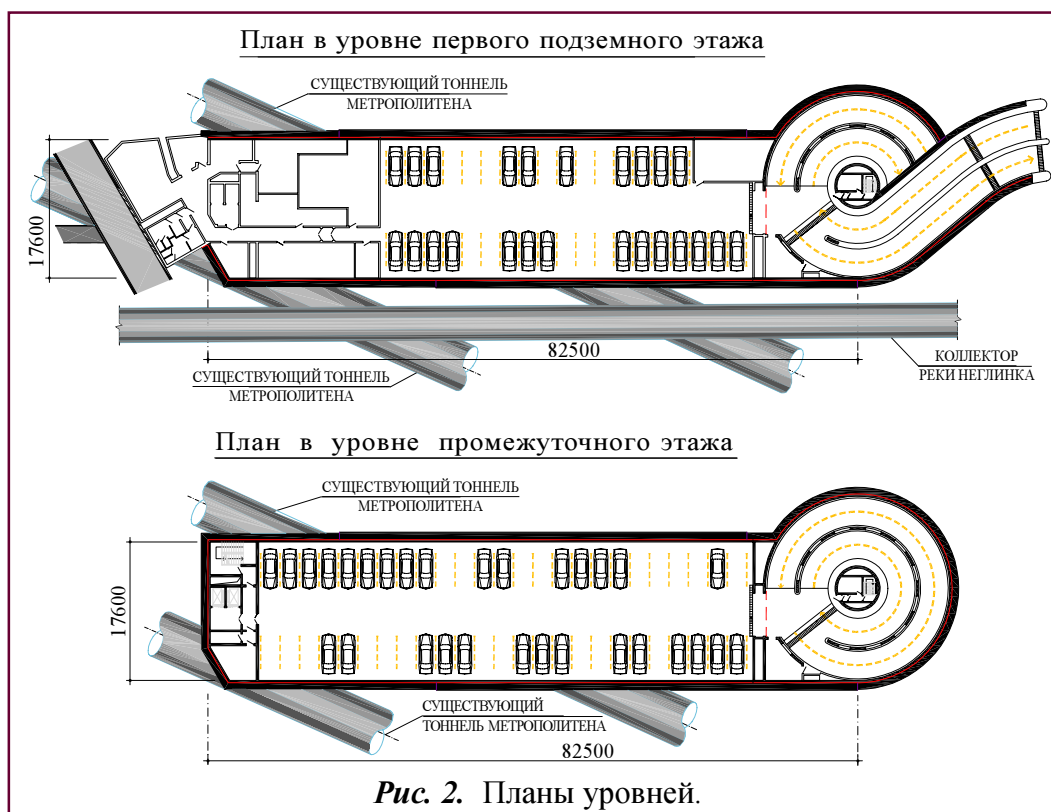
Подземная автостоянка на площади Революции размещена недалеко от Кремля между зданиями гостиницы «Москва» и бывшего музея В.И. Ленина вблизи коллектора реки Неглинка (Рис. 1). Под большей ее частью прохо-



Рис. 1.

дят тоннели действующего метрополитена (левый тоннель Покровской соединительной ветки на глубине 5 м, правый тоннель Арбатско-Покровской линии на глубине 10 м ниже лотка обделки автостоянки соответственно).

Компоновка и архитектурно-планировочное решение подземной автостоянки на 184 машино-места разработаны генеральным проектным институтом «Моспроект-2». Сооружение включает собственно четырехуровневую автостоянку, въездную рампу и блок служебных помещений, сообщающийся посредством пешеходного тоннеля с построенным ранее Торгово-рекреационным комплексом на Манежной площади в нижнем уровне и входной лестницей в Археологический подземный музей в верхнем уровне (Рис. 2).



ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Геологическое строение в зоне строительства отличалось сложностью, пестротой и было представлено сверху вниз следующими пластами:

- насыпного грунта (из песка, строительного мусора, глины, суглинка со щебнем) толщиной 6-8 м с обнаруженными на глубине 5-6 м остатками фундаментов старых строений;
- аллювиальных отложений мощностью 4-6 м из суглинка с линзами песка и супеси;
- Измайловской толщи мощностью 3-5 м из разрушенного до щебня, дресвы и муки известняка с глинистым заполнителем, покровными линзами глины и подстилающими местами крупнообломочными фрагментами сильно трещиноватого известняка и доломита;
- мергелистой глины Мещеринской толщи мощностью 4-5 м;
- трещиноватых известняков Перхуровской толщи мощностью 9-10 м;
- Неверовской глинисто-мергелистой толщи мощностью 6-8 м.

При проведении геоизысканий были вскрыты три водоносных горизонта:

- верхний горизонт над толщей аллювиального суглинка;
- промежуточный горизонт, приуроченный к Измайловской толще разрушенного известняка, над толщей мещеринской мергелистой глины;
- нижний горизонт, приуроченный к Перхуровской толще трещиноватого известняка, над Неверовской глинисто-мергелистой толщей.

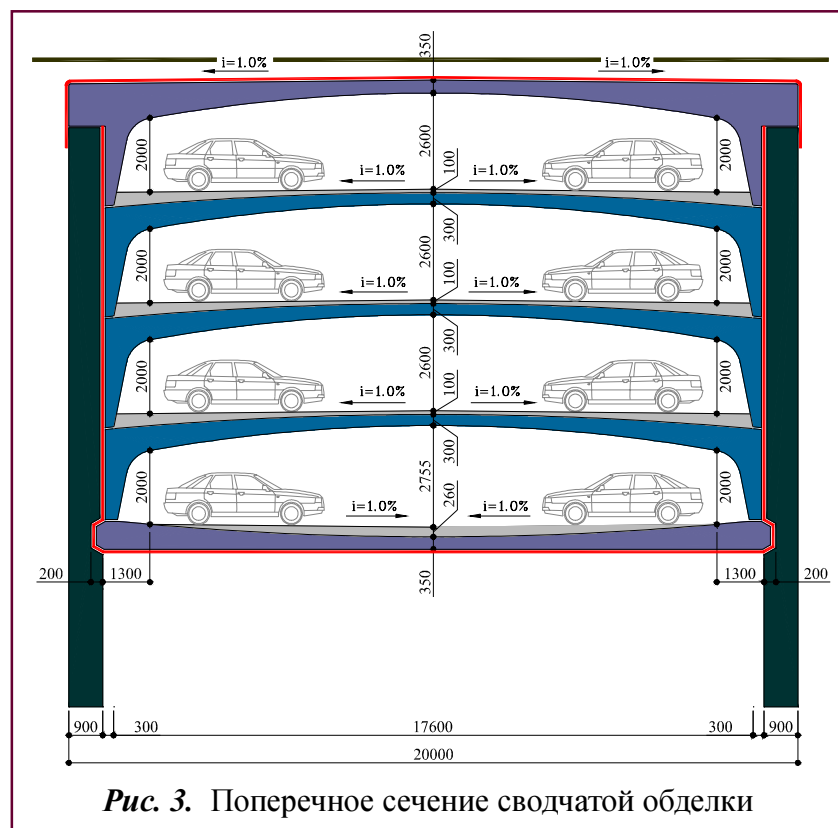
Строительство автостоянки производилось в зоне двух верхних безнапорных горизонтов грунтовых вод при прогнозируемом повышении их уровней после завершения строительства в пределах сезонных колебаний.

Основанием несущих и ограждающих стен обделки подземной автостоянки служат глины Мещеринской толщи, основанием лотка – разрушенные известняки Измайловской толщи.

МОНОЛИТНАЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННАЯ СВОДЧАТАЯ ОБДЕЛКА ПОДЗЕМНОЙ АВТОСТОЯНКИ

Рождению идеи использования четырехуровневой сводчатой железобетонной обделки для возведения автостоянки на пл. Революции способствовали следующие ключевые факторы:

- явные эксплуатационные преимущества конструкции без колонн и стеновых перегородок (как по вместимости автостоянки, так и по возможности любых перепланировок в будущем);
- строительные преимущества однопролетной обделки, позволяющей возводить завершённую конструкцию каждого уровня всего за один прием бетонирования захватки;
- благоприятные компоновка, поперечные габаритные размеры и допустимые уклоны пола подземной автостоянки;
- десятилетний предшествующий опыт проектирования и эксплуатации станций Минского метрополитена с пологим сводом;
- многолетнее изучение практики строительства и эксплуатации других односводчатых станций мелкого заложения в бывшем Советском Союзе;
- проведенные нами в 1995 г. исследования материалоемкости, напряженно-деформированного состояния и эффективности использования подземного пространства при возведении односводчатых станций метрополитена методом «стена в грунте» в увязке с глубиной заложения и различными схемами конструкции односводчатых обделок;
- наши исследования взаимосвязи процесса твердения бетона монолитного пологого свода, его деформативности и расхода арматурной стали с учетом заданной трещиностойкости;



свода, его деформативности и расхода арматурной стали с учетом заданной трещиностойкости;

- стиль работы нашего предприятия, выражающийся в многовариантности и глубине проработки основных технических решений. Сводчатая обделка сооружения включает (Рис. 3):

- ограждающие (на стадии строительства) и несущие (в стадии эксплуатации) траншейные стены;
- пологий свод-покрытие, жестко соединенный верхними частями пят с траншейными стенами и опертый на них нижними частями пят через слой заземленной гидроизоляции;

- пологие своды-перекрытия, опертые развитыми пятнами на стены через слой защемленной гидроизоляции и шарнирно соединенные как между собой, так и со сводом-покрытием и лотком;

- лоток в виде обратного пологого свода, шарнирно примыкающий к стенам и пятнам нижнего свода-перекрытия.

Принятая конструкция узлов сопряжения свода-покрытия, сводов-перекрытий и лотка со стенами и между собой обеспечила высокую пространственную жесткость системы и совместность деформации несущих элементов отделки, что предотвратило повреждение гидроизоляции в процессе строительства, создало условия безопасности будущих переключений и ремонта близлежащих инженерных коммуникаций при эксплуатации автостоянки. Как результат, проблемы фильтрации грунтовых вод через отделку подземной автостоянки не существует, хотя в аналогичных условиях даже при наличии пластового дренажа под лотком для построенного рядом ранее подземного комплекса на Манежной площади данная проблема актуальна и представляется сейчас трудноразрешимой.

Геометрия всех сводов унифицирована по внутренним радиусам, что позволило применить однотипную секционно-передвижную опалубку.

Траншейные стены отделки выполнены из бетона класса В25, своды и лоток – В30. Для армирования конструкций использовалась только обычная стержневая арматура классов А-I и А-III.

Проектированию конструкции односводчатой отделки предшествовала проверка ее расчетной огнестойкости (не менее 2,5 часов) и выработка рекомендаций по ее обеспечению. Эта работа была выполнена специализированной фирмой «Интерсигнал».

Качество стыков панелей траншейных стен достигалось срезкой гидрофрезой фирмы «Вауер» бетона торцевых кромок опережающих панелей при разработке соединительных захваток. Штрабы в траншейных стенах формировались путем заполнения на монтаже необходимых зон арматурных пространственных каркасов панелей пенополистирольными блоками, прикреплявшимися к рабочей арматуре.

Гидроизоляция стен и лотка выполнена из одного слоя «Изопласта П» толщиной 4 мм. Этот рулонный битумный материал на полиэфирной основе приклеивался традиционным методом оплавления поверхностного слоя пропановой горелкой и требовал качества выполнения бетонной подготовки под лотком, а также выравнивания поверхности траншейных стен цементно-песчаным раствором.

Узлы сопряжения лотка с траншейными стенами в штрабах дополнительно были усилены слоем «Изолена» (изготовлен из армированного светостабилизированного полиэтилена), приклеенного к «Изопласту П» мастикой «Неоплен».

Гидроизоляция свода-покрытия выполнена из бентоматов на основе геотекстильного материала VOLTEX и натриевого бентонита VOLCLAY.

СТАТИЧЕСКАЯ РАБОТА ОБДЕЛКИ И РАСЧЕТЫ

Принятая конструкция отделки по своей статике близка к работе отдельных криволинейных рам, связанных между собой и со стенами, и не имеет ничего общего с работой обделок с цилиндрическими распорными сводами.

Этот вывод легко проверить: достаточно заменить в конструкции отделки подземной автостоянки развитые пяты сводов на обычные, образуемые наружными и внутренними радиусами. Тогда каждая захватка сводов-перекрытий станет работать как криволинейная внецентренно сжатая балка на двух шарнирных опорах с вертикальной деформацией на оси при полной расчетной загрузке свыше 100 мм.

Постадийные эпюры изгибающих моментов и анализ значений горизонтального давления, оказываемого отделкой подземной автостоянки через траншейные стены на грунт

при экстремальной расчетной нагрузке всех сводов-перекрытий, а также свода-покрытия, включая тяжелые транспортные нагрузки, дополнительно доказывают сделанный вывод. Максимальное горизонтальное расчетное давление обделки на грунт изменяется от 0,01 МПа (верх пяты свода-покрытия) до 0,06 МПа (низ пяты нижнего свода-перекрытия).

Именно развитые пяты обеспечивают высокую пространственную жесткость и низкую деформативность кажущихся ажурными пологих сводов при практическом отсутствии распорных усилий.

Особенностью этой обделки является также то, что каждый из пологих сводов имеет возможность изменять (в контролируемых пределах) свою форму под собственным весом, снижая напряженное состояние за счет податливости при разопалубке. Собственный вес в этом случае создает своего рода преднапряжение свода до приложения эксплуатационных нагрузок, повышая его несущую способность.

Эти очевидные и понятные факты нам пришлось многократно доказывать на стадии принятия нашего предложения и его экспертизы.

Для защиты технического решения был выполнен большой объем самых разнообразных компьютерных расчетов по различным моделям, в сжатые сроки с помощью украинских ученых были разработаны, адаптированы и использованы новые типы конечных элементов, позволившие учесть такие нюансы работы обделки, которые смоделировать наши оппоненты из крупнейших научно-исследовательских и проектных институтов России уже не могли.

Во время разработки рабочей документации все расчеты были выполнены заново и учитывали изменение напряженно-деформированного состояния обделки с уточненной геометрией на каждой из характерных стадий возведения. Геометрия обделки уточнена в процессе корректировки компоновки подземной автостоянки.

КОНСТРУКЦИЯ РАМПЫ

Стена ramпы выполнена в виде разомкнутого «шахтного ствола», возведенного из буросекущихся свай $D_{\text{н}}=830$ мм с шагом 650 мм, конструкция съезда ramпы – в виде монолитного железобетонного серпантина, опирающегося на прижимную стену ствола, пилоны по внутреннему кольцу и стену цилиндрической лестничной шахты, которые в свою очередь опираются на фундаментную плиту.

Торцевая стена со стороны Манежной площади также возведена из аналогичных свай буровыми станками фирмы «Casagrande».

Для гидроизоляции ramпы использовались те же материалы и конструкционные принципы, что и для сводчатой обделки.

ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ЧЕТЫРЕХУРОВНЕВОЙ МОНОЛИТНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ СВОДЧАТОЙ ОБДЕЛКИ

Строительство подземной автостоянки на площади Революции производилось открытым способом под защитой временной крепи. На стадии подготовки технического предложения прорабатывался также вариант строительства полузакрытым способом под защитой возводимых поярусно (сверху–вниз) сводов, однако этот вариант оказался значительно более трудоемким и, учитывая сжатые плановые сроки строительства, был отвергнут.

Технологическая последовательность возведения подземной автостоянки на пл. Революции отражается шестью основными стадиями, изображенными на Рис. 4.

На первой стадии (Рис. 4. 1) с уровня форшахты под защитой глинистой суспензии были возведены траншейные стены, а под защитой обсадных труб – буросекущиеся сваи.

До разработки грунта над левым тоннелем метрополитена выполнялась площадная цементация разрушенного известняка Измайловской толщи. Отрывка котлована производилась под защитой расстрелов из труб $D_{\text{н}}=630$ мм с шагом 5 м, опиравшихся на распределительные пояса из сдвоенных металлических балок №55Б1.

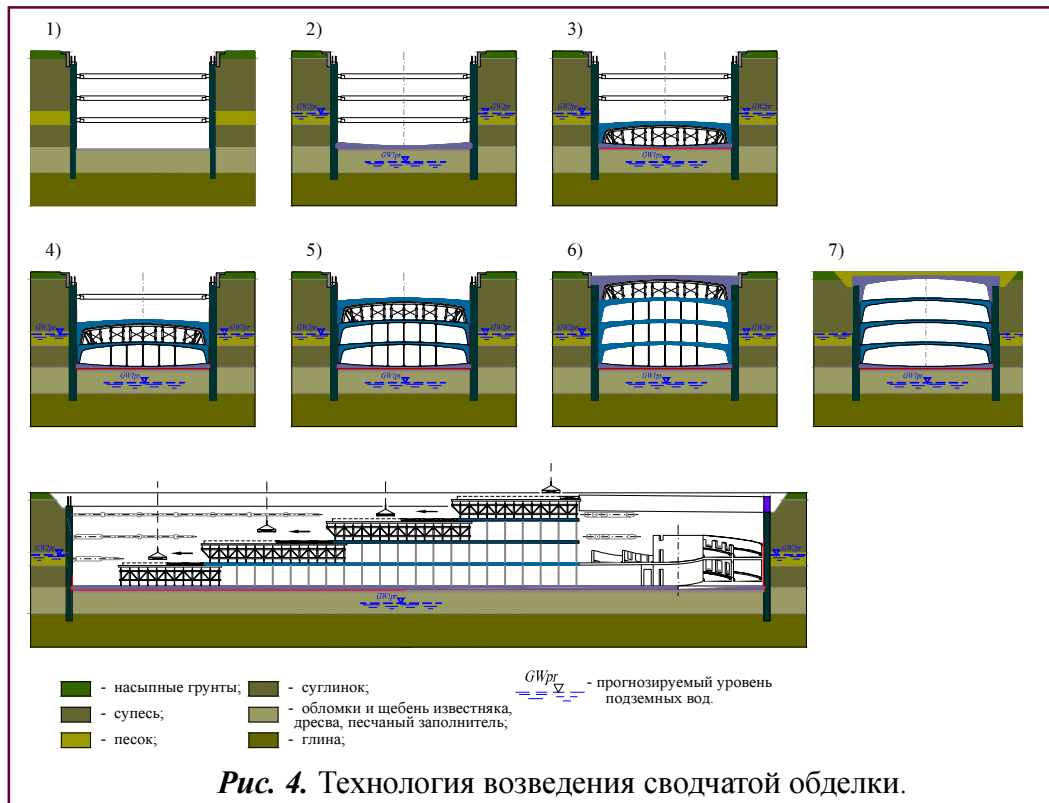


Рис. 4. Технология возведения сводчатой обделки.

Затем (Рис. 4. 2) устраивалась бетонная подготовка, выполнялась гидроизоляция лотка и стен до уровня, превышавшего верх пяты нижнего свода не менее 0,5 м, затем бетонировался лоток. Армирование лотка сводчатой обделки производилось пространственными арматурными каркасами шириной 2,4 м, заранее изготавливавшимися на стройплощадке в специальных кондукторах. Каркасы объединялись на монтаже посредством нахлеста петлевидных арматурных выпусков в поперечном сечении и дополнительных отдельных стержней – в продольном сечении.

Армирование лотков блока служебных помещений и рампы выполнялось из отдельных стержней с вязкой проволокой их крестообразных соединений. Подача бетонной смеси при бетонировании производилась автобетононасосом «Schwing», а также бадьями.

На второй стадии (Рис. 4. 3), после набора бетоном лотка 50% прочности с опиранием на него для бетонирования нижнего свода монтировалась инвентарная металлическая секционно-передвижная опалубка с фанерным настилом. Предварительно демонтировалась временная крепь нижнего яруса.

Армирование каждой 17,5 м захватки этого и последующих сводов осуществлялось также пространственными арматурными каркасами шириной 2,4 м.

На третьей стадии (Рис. 4. 4) после набора бетоном нижнего свода 60% прочности и с опиранием на него устанавливался второй комплект опалубки для бетонирования промежуточного свода. Под нижним сводом при этом по мере выдвигания секций опалубки (в противоположную от рампы сторону) устанавливались временные подпирющие стойки. Предварительно наращивалась гидроизоляция стен и демонтировалась временная крепь промежуточного яруса.

Бетонирование промежуточного свода выполнялось также 17,5 м захватками.

На четвертой стадии (Рис. 4. 5) после набора предшествующим промежуточным сводом 60% прочности секции его опалубки выдвигались и заменялись на аналогичные подпирющие стойки, а временная крепь верхнего яруса демонтировалась. Далее завершалась гидроизоляция стен, устанавливался третий комплект секционной опалубки и бетонировался последующий промежуточный свод.

На пятой стадии (Рис. 4. 6), после набора бетоном захватки очередного промежуточного свода 60% прочности, выдвигались секции ее опалубки, заменяемые на новые подпирающие стойки, на данный свод устанавливался четвертый комплект опалубки и бетонировался свод-покрытие.

Шестой стадией (Рис. 4. 7) завершалось возведение четырехуровневой монолитной железобетонной сводчатой обделки. Поярусно, сверху вниз, демонтировались временные подпирающие стойки. На каждом из ярусов выполнялись полы. В завершении работ производилась гидроизоляция и обратная засыпка свода-покрытия с последующим благоустройством территории.

Со дня бетонирования первой захватки нижнего свода-перекрытия (4 апреля 1997 г.) начался наиболее ответственный и интересный этап – возведение сводов. Здесь наиболее полно раскрылись преимущества конструкции и технологии возведения новой обделки, среди которых:

- возможность практически одновременного бетонирования сводов на нескольких уровнях с использованием инвентарной секционно-передвижной металлической опалубки с фанерным настилом;
- взаимозаменяемость всех комплектов унифицированной опалубки;
- поточное изготовление в кондукторах на стройплощадке пространственных арматурных каркасов всего двух базовых типов как для сводов-перекрытий, так и для свода-покрытия;
- полное исключение сварки рабочей арматуры на монтаже;



Подземная автостоянка после завершения строительства

- возможность механизированной укладки больших объемов бетонной смеси.

В результате была достигнута средняя скорость возведения сводов не менее 90-100 пог. м в месяц. Однако, данная скорость для обделки этого типа не является предельной, поскольку возведение сводов на строительстве подземной автостоянки на пл. Революции сдерживалось простоями, вызванными выводом в котлован строившейся автостоянки щита, использовавшегося для проходки связующего с подземным комплексом на Манежной площади пешеходного тоннеля.

Отдельной проблемой строительства явилось управление осадками не имеющего аналогов пологого свода. Наш проект предусматривал две геометрии каждого из сводов. Первичная геометрия (геометрия учитывала геометрию опалубки) учитывала величину

строительного подъема в шельге – 50 мм. Эта расчетная величина включала следующие осадки:

- под собственным весом свода после снятия опалубки;
- вследствие ползучести свода при обмятии защемленной пятаями гидроизоляции;
- от постоянных (пол, инженерные устройства) и временной длительнодействующей (автомобили) полезных нагрузок;
- от частичной передачи дополнительной временной длительнодействующей нагрузки (вес опалубки и уложенной бетонной смеси) при бетонировании вышележащего свода.

Вторичная геометрия сводов достигнута после стабилизации осадок под действием всех расчетных нагрузок. Таким образом, внутренний радиус сводов составляет ~45 м, внешний для сводов-перекрытий – ~100 м.

После разопалубки первых же захваток замеры фактических суммарных осадок под собственным весом свода и вследствие ползучести при обмятии гидроизоляции дали величину ~25-30 мм, что соответствовало прогнозировавшимся. Дополнительная осадка ~10 мм была получена вследствие деформации опалубки после укладки бетонной смеси. Учесть на стадии параллельного проектирования обделки и опалубки эту величину было практически не возможно. Поэтому при бетонировании всех последующих захваток опалубка устанавливалась со строительным подъемом 10 мм.

Проблемной на первоначальном этапе была также правильная установка подпирающих нижележащие своды временных стоек при бетонировании вышележащих. Наличие стоек расчетной несущей способности было необходимо для исключения передачи на своды нагрузок, превышавших расчетные эксплуатационные. Установка гибких стоек низкой несущей способности привела к превышению этих нагрузок и росту суммарных монтажных осадок нескольких захваток сводов до 40-50 мм. В последствии после срочной разработки специального проекта производства работ установка гибких стоек была прекращена, а проблема исчерпана.

Конечно, первое внедрение столь необычного решения имело немало других мелких проблем, которые к чести строителей и проектировщиков решались без взаимных упреков и лишней суеты.

Следует заметить также, что для учета фактически экспериментального характера строительства, при подборе армирования обделки по прочности и трещиностойкости, кроме нормируемых коэффициентов безопасности, нами использовался дополнительный полуторократный коэффициент, который реально можно снизить при повторном использовании этого решения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учетом сложности градостроительных и гидрогеологических условий достигнутые темпы возведения подземной автостоянки на площади Революции были беспрецедентными для подобных сооружений в России: основные строительные-монтажные работы начаты 5 декабря 1996 г., завершены – 15 июля 1997 г.

Использовавшаяся геометрия пологого свода с пролетом в свету 17,6 м не имеет аналогов.

Возведение четырехуровневой сводчатой обделки подземной автостоянки на пл. Революции характеризуют следующие показатели:

- расход бетона на обделку – 86,5 м³/пог. м;
- расход арматурной стали на обделку – 11,1 т/пог. м;
- расход бетона на один свод-перекрытие – 11 м³/пог. м;
- расход арматурной стали на свод-перекрытие – 156 кг/м³;
- расход бетона на свод-покрытие – 15,7 м³/пог. м;
- расход арматурной стали на свод-покрытие – 169 кг/м³.