

Опыт обследования конструкций и восстановления гидроизоляции в ходе реконструкции станции «Маяковская» Московского метрополитена

Шилин А.А., Кириленко А.М., Знайченко П.А

ЗАО «Триада-Холдинг», г. Москва, Россия

Аннотация. В настоящее время большое внимание уделяется ремонту и реконструкции станций Московского метрополитена, многие из которых являются памятниками архитектуры. Одной из самых красивых станций по праву считается станция «Маяковская» (построена в 1937 году), оригинальный проект которой был удостоен Гран-при на международной выставке в Нью-Йорке в 1939 году. В результате многолетней эксплуатации станции дренажная система и гидроизоляция этого подземного сооружения вышли из строя, и грунтовые воды в течение долгого периода способствовали прогрессирующему развитию дефектов, ухудшению состояния конструкций и архитектурных элементов.

В докладе рассматривается опыт обследования, реконструкции и восстановления строительных конструкций и гидроизоляции станции. При обследовании использовались оригинальные подходы и методы, которые могут быть полезны при проведении диагностики подземных сооружений. В частности, рассматривается применение тепловизионной съемки для определения участков обводнения вмещающих грунтов и расположения потоков воды за обделкой, эндоскопические исследования для определения состояния конструкций и уточнения расположения отдельных конструктивных элементов в условиях ограниченного доступа. Был проведен мониторинг степени агрессивности грунтовых и техногенных вод, проникающих через обделку эскалаторного тоннеля и отобранных в разные периоды года. Результаты диагностического обследования позволили учесть ряд особенностей объекта при составлении проекта реконструкции. Ремонтно-восстановительные работы, проведенные с учетом мирового опыта и опыта нашей организации, позволили привести станцию в нормальный режим эксплуатации при сохранении историко-архитектурного облика. Проект был реализован в три этапа: на первом решалась задача уменьшения фильтрации через обделку эскалаторного тоннеля; на втором проводилось инъектирование сложного сопряжения станционного и боковых тоннелей; и, наконец, на третьем была устроена гидроизоляция и отвод воды в боковых тоннелях. Следует подчеркнуть, что все работы выполнялись с использованием передовых технологий, материалов и оборудования, без остановки работы станции. Время эксплуатации станции после ремонта (5 лет) подтвердило эффективность выбранной стратегии ремонтно-восстановительных мероприятий.

1 ВВЕДЕНИЕ

Станция «Маяковская» – первая в мире станция глубокого заложения колонного типа со сборной обделкой из чугунных тубингов; состоит из трех тоннелей – двух боковых диаметром по 9,5 м и расположенного между ними среднего тоннеля. Свод среднего тоннеля расположен на 2,5 м выше сводов боковых тоннелей и опирается на их обделку, которая поддерживается по линии опирания системой металлических прогонов и колонн. Колонны опираются на нижний прогон. Для увеличения устойчивости верхних прогонов

в среднем тоннеле между колоннами установлены металлические ригели, которые бетонировались с целью увеличения жесткости конструкции станции (рис.1).

Чтобы не допустить смещений нижних прогонов в среднем тоннеле, против каждого кольца установлены металлические распорки решетчатой конструкции. Пространство между верхними распорками и сводом среднего тоннеля используется в качестве вентиляционного канала.

Станция построена в 1938 году по проекту известного московского архитектора А.Н. Душкина – автора многих выдающихся проектов того времени. Станция введена в эксплуатацию с одним эскалаторным тоннелем, в настоящее время со-

оружен второй выход на поверхность. Глубина заложения станции - 27,5 м до свода среднего тоннеля.

«Маяковская» - одна из красивейших станций Московского метрополитена, в ее оформлении полированная рифленая сталь удачно сочетается с отделкой из натурального камня (родонит). В своде станционного зала расположены куполы с мозаичными картинами. С помощью куполов решено основное освещение и вентиляция станции. Все это великолепие скрывает чугунные тубинги и металлический конструкции, из которых выполнен каркас станции. Для этого по тубингам и металлоконструкциям выполнена железобетонная облицовка, оштукатуренная и окрашенная.

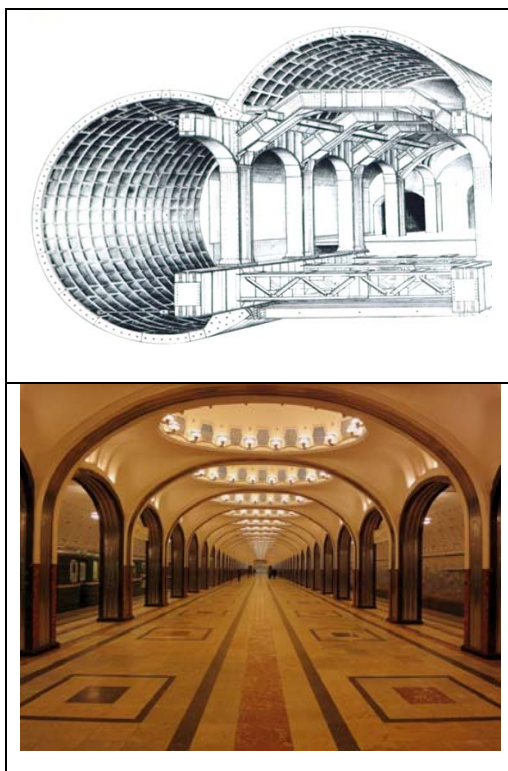


Рис.1 Схема расположения несущих конструкций станции и общий вид центрального тоннеля

При сооружении станций глубокого заложения гидроизоляция полностью зависит от качества заполнения швов между тубингами (чеканки) и тампонажа заобделочного пространства цементно-песчаным раствором через тампонажные отверстия в тубингах. При этом наиболее уязвимым с точки зрения гидроизоляции станции «Маяковская» является место сопряжения между боковыми и центральными тоннелями, которое сооружалось с использованием специальных тубингов. Именно в этом месте проектом была предусмотрена дренажная система в виде лотков и трубок, замоноличенная в железобетонную облицовку.

Другой фактор определяющий гидроизоляцию подземного сооружения – геологическая среда. В геологическом отношении территория Москвы

находится примерно в центре Русской платформы на большом кристаллическом фундаменте, который покрыт слоем осадочных отложений, представленных в верхней части мощным техногенным слоем, суглинками, супесями, глинами и песками, которые неустойчивы и обводнены. Ниже залегают глины с прослоями известняка. Именно в глинах находится основная часть станционного комплекса. В сводовой части станции залегают оксфордские глины, в кровле которых расположены водоносные супеси с фосфоритами, наличие которых не было учтено при проектировании станции.

2 ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

За долгие годы эксплуатации накопились многочисленные нарушения герметичности тубингов обделки, грунтовые воды поступают к металлоконструкциям каркаса и к железобетонной облицовке. Предусмотренная дренажная система вышла из строя: металлические лотки полностью разрушены коррозией, дренажные трубки подверглись интенсивной кольматации.

В результате развития коррозионных процессов в металлоконструкциях и арматуре, систематических замачиваний конструкций сильно пострадали отделочные материалы. Кроме того, появились струйные течи и капез в зоне прохода пассажиров (рис.3).

Проблему пытались решить в течении ряда лет путем локальных ремонтов, которые принципиально ее не решили. Положение продолжало ухудшаться, пока не было предложено комплексное решение по восстановлению гидроизоляции станции, которое включало обследование конструкций с оценкой их состояния, разработку на основе полученной информации проекта реконструкции и непосредственно ремонтно-восстановительные мероприятия.

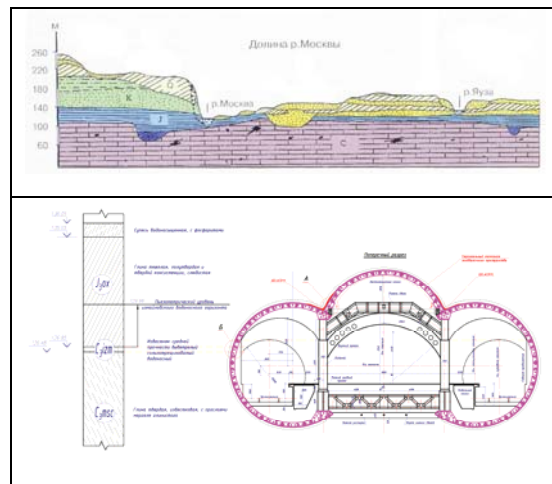


Рис.2 Геологическое строение верхней части земной коры на территории Москвы и в частности в месте расположения станции «Маяковская»

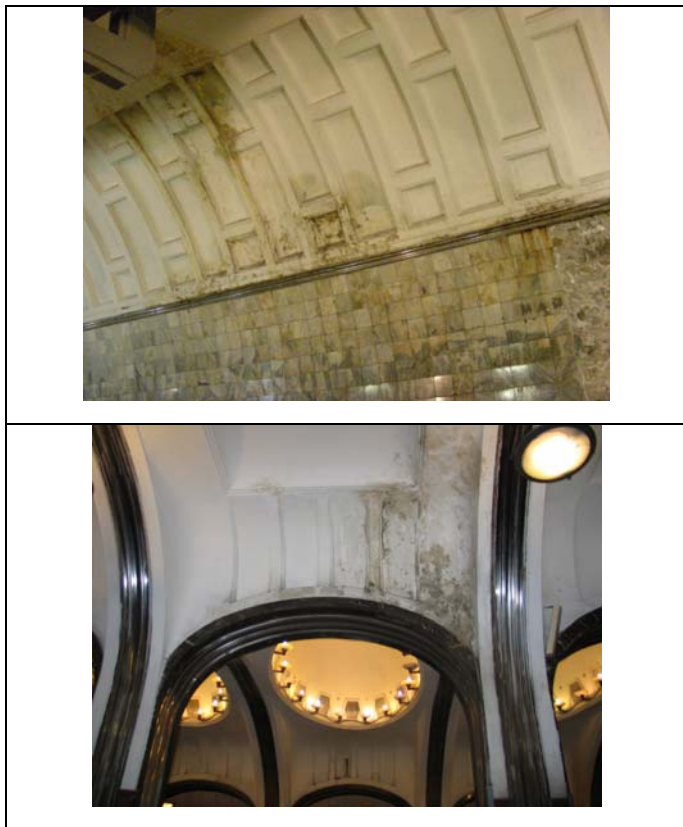


Рис.3 Систематические протечки привели к разрушению отделочных материалов

3 ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И ГИДРОИЗОЛЯЦИИ СТАНЦИИ

В 1986, 1997, 2008 г.г. были проведены анализы проб воды, отобранной из течей на станции, в натяжной камере и в эскалаторном тоннеле. Проведенные исследования показали, что состав воды, поступающей на станцию, сильно изменен в результате техногенной нагрузки. Высокое содержание хлоридов определяет агрессивность воды к бетону и металлоконструкциям, а значительное содержание кальция, связанное с фильтрацией воды через тампонажный раствор и отделку из бетона, приводит к закупорке дренажных труб. На графике (рис. 4) прослеживается зависимость увеличения содержания хлоридов в воде с понижением температуры на поверхности (в зимний период), т.е. с периодом когда происходит обработка дорог антиобледенителями, содержащими хлориды.

Исследования проницаемости бетона показали, что степень проницаемости высокая: бетон соответствует марке W2, при современных требованиях к бетонам нормальной проницаемости W4. При этом в местах протечек бетон сильно увлажнен (рис.5).

С помощью термографического метода были выделены места намокания материала не всегда видимые глазом, которые прослеживаются в виде «теплого пятна» на поверхности конструкции

(рис.6). Кроме того, можно определить общую картину распределения тепловых потоков сооружения.

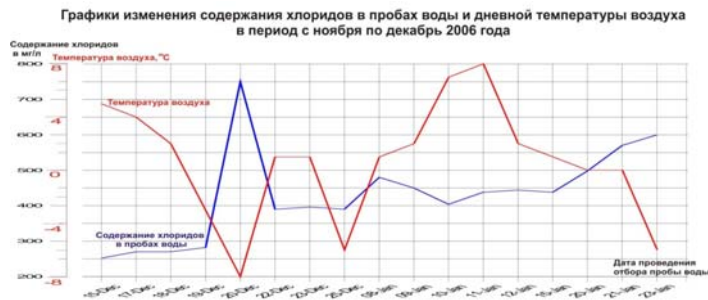


Рис.4 Результаты мониторинга за содержанием хлоридов в пробах воды сопоставленные с изменением температуры воздуха на дневной поверхности

Проведенные работы по обследованию конструкций позволили сделать следующие выводы:

- содержание в воде, поступающей к конструкциям, техногенных примесей, в частности высокое содержание хлоридов способствует более активному протеканию коррозионных процессов в металлоконструкциях и арматуре бетона. В этих условиях защитить их невозможно без полной ликвидации течей в отделке сооружений;
- бетон облицовки обладает высокой проницаемостью, из-за высокой пористости быстро пропитывается водой. Поэтому места намокания по отделке станции распространяются на большие площади и портят внешний вид архитектурной отделки (см.рис.3);
- обнаружено большое количество мест с намоканием, которые не видны на поверхности отделочных материалов (на начальной стадии, см.рис.6). Таким образом, установлено, что количество протечек значительно больше и восстановление гидроизоляции является неотложной задачей;
- установлено, что в значительной степени источником поступления воды на станцию является эскалаторный тоннель, пересекающий вышележащие водоносные горизонты;
- на основании обследования принято решение о проведении реконструкции и гидроизоляции станции. Работы должны были состоять из трех этапов: 1) выполнение сложного комплекса инъекционных работ в эскалаторном тоннеле и натяжной камере для уменьшения водопритока на станцию; 2) инъектирование сложного сопряжения между станционным и путевыми тоннелями, через которое происходили основные протечки; 3) гидроизоляция и отвод воды из путевых тоннелей на завершающем этапе. Инъектирование выполнялось по системе Combigrouting с использованием различных материалов, варьируя составы в зависимости от условий

выполнения работ. При принятии решений учитывался анализ мирового опыта производства работ по снижению притоков воды в сооружения, а также 20-летний опыт нашей организации, наличие материалов, технологических решений, квалифицированных кадров.

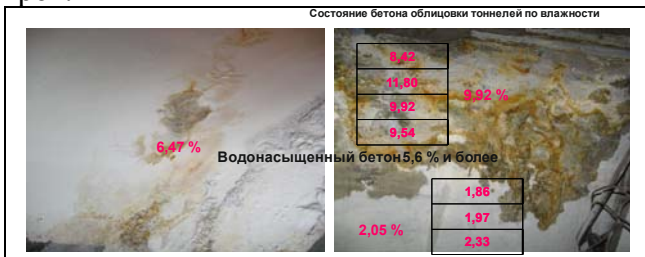


Рис.5 Бетон обладает высокой проницаемостью, в местах протечек происходит разрушение бетона конструкций

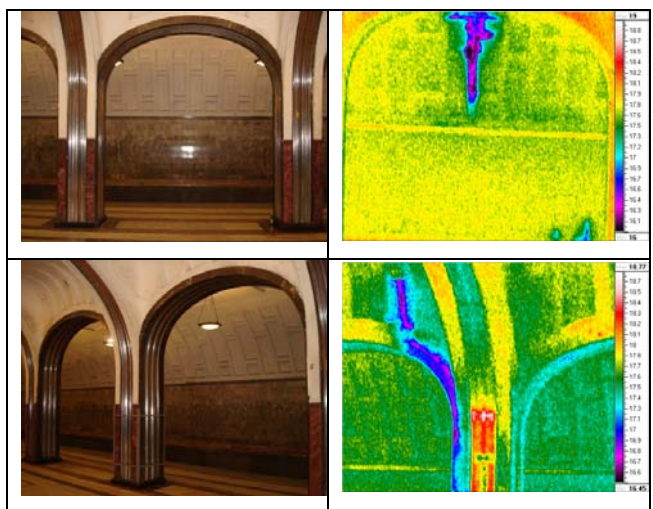


Рис.6 Конструкции станции в видимом и в инфракрасном диапазонах

4 РАБОТЫ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ И ГИДРОИЗОЛЯЦИИ

4.1 Особенности объекта, влияющие на производство работ

Основная сложность при производстве работ состояла в том, что для инъектирования заобделочного пространства тоннелей необходим доступ к тампонажным отверстиям тубингов, которые закрыты внутренней бетонной облицовкой. Открытые поверхности тубингов есть только в вентиляционном канале центрального тоннеля, откуда и проводилась часть работ по тампонажу. Для выполнения основного объема работ были проведены уникальные мероприятия по поиску тампонажных отверстий с помощью эндоскопа. Работы происходили по следующей схеме: в пробуренное отверстие небольшого диаметра (18 мм) помещался жесткий эндоскоп (рис.7), и по полученной картинке проводилась корректировка места бурения отверстия большого диаметра (80-100 мм).

Важно отметить, что все работы по боковым тоннелям можно было производить только с путей, поэтому период их выполнения не превышал 2 ч в сутки, во время технического ночного перерыва. Самые жесткие требования предъявлялись к технологическим решениям, в частности, по влаге, пыли, шуму и вибрациям, отсутствию запаха ремонтных материалов, поскольку станция была открыта для пассажиров и часть работ на отгороженных участках проводилась в дневное время.



Рис.7 Технология корректировки расположения тампонажных отверстий в тубингах

Работы выполнялись по специально разработанному проекту. Кроме инъекционных работ, направленных на герметизацию обделки станции, предусматривалось выполнить большой объем работ по восстановлению и устройству дренажей.

4.2 Этап 1. Уменьшение фильтрации воды через обделку эскалаторного тоннеля и натяжной камеры

Первый этап работ предполагал выполнение работ по уменьшению фильтрации воды через обделку эскалаторного тоннеля и натяжной камеры путем нагнетания за обделку гидроактивных пенополиуретанов. Проведение работ по нагнетанию предусматривалось в зоне верхнего полуэллипса натяжной камеры и эскалаторного тоннеля.

Обнаруженные тепловизионной съемкой и путем опытного бурения локальные полости и участки поступления воды за обделкой эскалаторного тоннеля прокачивались сначала жестким гидроактивным пенополиуретаном с коэффициентом расширения $K=10$, а затем гидроактивным жестко-эластичным пенополиуретаном с $K=3-4$. Такая технология ведения работ позволила на первом этапе создать за обделкой гидроизоляционную оболочку, и далее повысить ее надежность путем более тщательного заполнения всех мелких неоднородностей (каверн, трещин и пр.). При производстве работ использовали как однокомпонентные, так и двухкомпонентные гидроактивные полиуретаны в зависимости от условий обводненности грунтового массива за обделкой.

В натяжной камере работы проводились с существующих подвесных полков, а в эскалаторном тоннеле – с установленной монтажной тележки. На доступном с монтажной тележки участке были удалены пробки тампонажных отверстий, после чего через эти отверстия были пробурены на глубину примерно 500 мм шпуров, через бетон тампонажного заполнения, выполненного при строительстве станции (рис.8а).

Контроль качества работ по нагнетанию растворов за обделку и при ликвидации течей осуществлялся путем осмотра и виброакустических исследований (рис.8в), а также проверкой отсутствия пустот за обделкой через разбуриваемые отверстия с помощью металлического шупа или оптического эндоскопа. Кроме того, выборочно проводили гидравлические испытания, а на заключительной стадии тепловизионную съемку всего тоннеля (рис.9).

Процесс инъектирования сопровождался лабораторным контролем, как параметров работ, так и инъекционных составов. Особенно важно было

регулировать сроки схватывания при выполнении нагнетания жестко-эластичных составов.

Итог первого этапа работ: выполненные уплотнительные инъекции в окружающие грунты и заполнение полостей за обделкой эскалаторного тоннеля гидроактивными пенополиуретанами позволили ликвидировать активные протечки по всему открытому контуру и в значительной степени перекрыть один из основных источников поступления воды на станцию. Проведенные тепловизионные исследования до и после проведения работ (рис.9) показали эффективность выполненных мероприятий по герметизации.

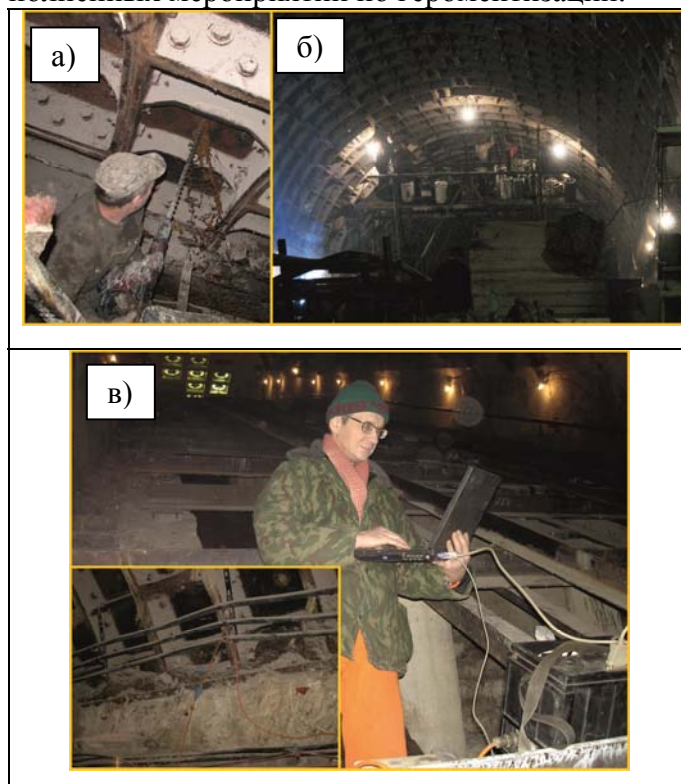


Рис.8 Бурение шпуров через тампонажное отверстие в тубинге (а), работы по инъектированию с монтажной тележки (б), виброакустический контроль качества гидроизоляционного заполнения (в)

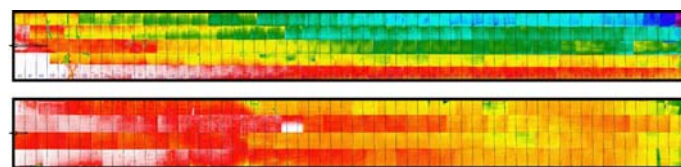


Рис.9 Результаты тепловизионной съемки поверхности тубингов наклонного хода до проведения тампонажа (вверху) и после проведения работ по герметизации тоннеля (внизу)

4.3 Этап 2. Инъектирование сложного сопряжения станционного и путевых тоннелей

На втором этапе инъектирование проводилось в сопряжения среднего и боковых станционных тоннелей, выполненные из специальных чугунных тубингов. Инъектирование осуществляли двухкомпонентным полиакрилатным гелем, способным проникать в зону контакта обделки с по-

родой, а также тонкие трещины и поры в грунтах и конструкциях (рис.10а). Работы проводились круглосуточно из вентиляционного канала станции.

Лабораторный контроль позволял регулировать вязкость и сроки полимеризации состава. Особые требования устанавливались к давлению его нагнетания и объемам подачи за обделку.

После инъектирования в зону сопряжения тоннелей началось восстановление системы лотков и труб дренажа. Дренажная система была смонтирована из современных коррозионно-стойких композиционных материалов с устройством дополнительных водосборных фартуков из ПВХ, взамен сгнивших старых фартуков из рубероида (рис.10б).

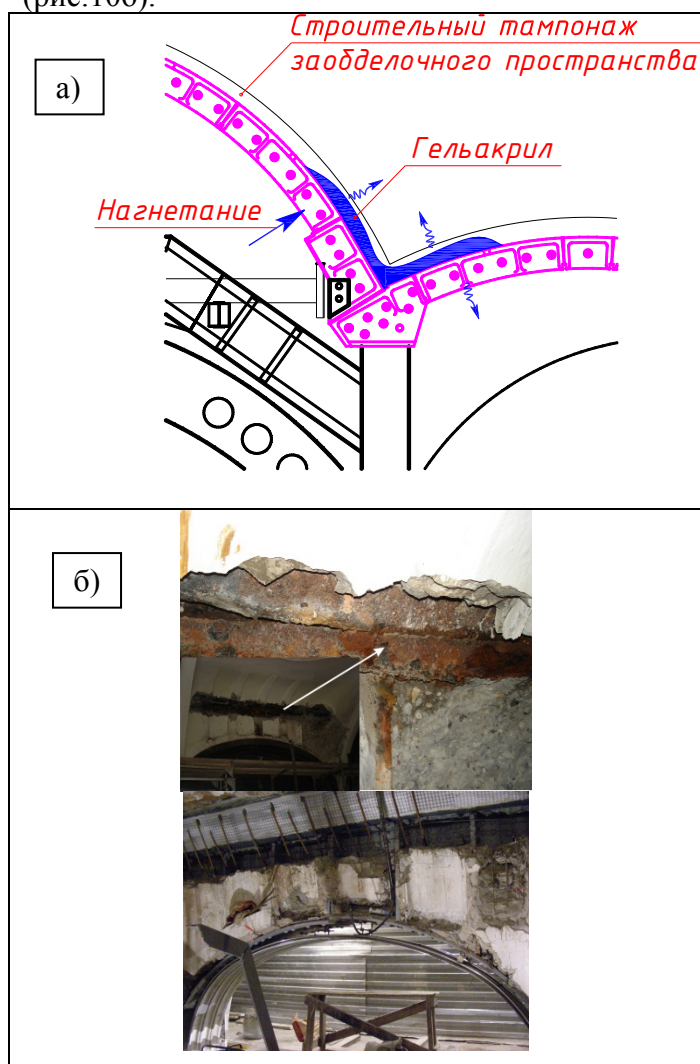


Рис. 10. Схема инъектирования полиакрилатного геля (а), восстановление вышедшей из строя дренажной системы

4.4 Этап 3. Гидроизоляция и отвод воды в боковых станционных тоннелях

На третьем этапе выполнялась гидроизоляция боковой части путевых станционных тоннелей в местах обнаружения протечек воды через обделку, которые в основном происходят по швам

между тубингами, реже - по пробкам тампонажных отверстий и болтовым соединениям.

Основным источником поступления воды к путевым тоннелям является водоносный горизонт, пьезометрический уровень которого совпадает с верхней отметкой этих тоннелей. Поэтому уменьшение протечек, а в идеале - их полная ликвидация возможны при тампонировании боковой части путевых тоннелей.

В связи с тем, что тубинги путевых тоннелей закрыты внутренней бетонной облицовкой, а сохранение первоначального архитектурного облика станции было приоритетным, работы выполнялись через пробуренные в железобетонной облицовке отверстия (см.рис.7), которые бурились с быстровозводимых строительных лесов. Обрабатывались два ряда тубингов, расположенных над мраморной облицовкой тоннеля. Нагнетание инъекционного раствора осуществлялось через тампонажные пробки тубингов.

За обделку было произведено инъектирование такого же полиакрилатного геля, который уже использовался при инъектировании сопряжений среднего и боковых станционных тоннелей. Технологией нагнетания предусматривался лабораторный контроль параметров нагнетания (вязкость, давление, объем и время полимеризации). Высотное положение устраиваемого экрана выбиралось таким образом, чтобы максимально затампонировать зону влияния существующего водоносного горизонта на обделку и попытаться сомкнуть создаваемый по боковой поверхности экран с экраном по сопряжению среднего и боковых тоннелей.

В первую очередь инъектировался нижний ряд: он должен перекрыть пути перетока в нижнюю часть тоннеля. Затем через верхний ряд пробок инъектировалась зона между созданными водупорными экранами (у сопряжения и у нижнего ряда).

Для защиты боковой части путевых тоннелей, облицованной мрамором, была выполнена внутренняя вентилируемая система дренажа стен. Для этого мраморная облицовка была удалена. На выровненную поверхность уложено дренажное полотно, которое понизу заканчивалось водосборным лотком с системой водоотведения. Дренажное полотно было оштукатурено и мраморная облицовка восстановлена. В завершение были выполнены мероприятия по сбору и удалению остаточного водопритока – устройство дренажной системы.



Рис. 11. Работы по герметизации путевого тоннеля (а), монтаж дренажного полотна к стене путевого тоннеля

5 ВЫВОДЫ

Выполненный комплекс гидроизоляционных работ с использованием высококачественных материалов и современных технологий позволил в значительной степени сократить протечки грунтовых вод и обеспечить нормальные условия эксплуатации станции, сохранив при этом ее историко-архитектурный облик. Проведенные работы в частности позволили:

- провести очистку от продуктов коррозии и антикоррозионную обработку основных металлоконструкций станции, что позволило гарантировать эксплуатационную надежность несущих элементов на многие годы вперед;
- восстановить дренажную систему, замоноличенную в бетон облицовки, из современных полимерных материалов не подверженных коррозии;
- устроить надежную гидроизоляцию путевых стен из дренажного полотна с отводом воды в дренажную систему. Площадь, на которой смонтировано полотно, составила 838 м²;
- провести полный косметический ремонт всех деталей архитектурной отделки: мозаик плафонов, отделки колонн и арок, путевых стен,

сводовой части всех трех тоннелей, полов станции. Площадь восстановленных архитектурных элементов на станции (без учета стен путевых тоннелей) составила 6490 м².

Следует отметить, что инъекционные работы по доведению остаточного водопритока до минимального уровня осуществлялись специальной бригадой еще в течение года после завершения основного объема работ. Это позволило снизить фильтрацию грунтовых вод, возникающую из-за изменений температурных параметров станции и годовых эксплуатационных нагрузок. Пятилетний период эксплуатации после завершения работ показал, что принятая стратегия оказалась удачной и обеспечила долговечность ремонта на требуемом уровне надежности.

6 ЛИТЕРАТУРА

1. Шилин А.А. Ремонт железобетонных конструкций // - М., Стройтехиздат, Из-во «Горная книга», 2010
2. Шилин А.А. Обоснование стратегии эксплуатации и технологии ремонта конструкций подземных сооружений // – М.: «Промышленное и гражданское строительство», № 9, 2005
3. Шилин А.А. Дефекты бетонных конструкций при монолитном строительстве, методы их ремонта и гидроизоляции - Строительство зданий из монолитного бетона // - М.: Мосстройлицензия, 10.1996
4. Кириленко А.М. Диагностика железобетонных конструкций и сооружений // Из-во «Архитектура-С», Москва, 2013
5. Шилин А.А., Кириленко А.М., Знайченко П.А. Современные методы исследования процессов влагопереноса в ограждающих конструкциях метрополитенов // Журнал «Транспортное строительство» №9, 2015