

УДК 69.035.4:621.35

Т.Н. Дымбренев

**ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХЛОРИДОВ С ПОМОЩЬЮ
ПРОТЕКТОРОВ**

Городские службы постоянно сталкиваются с последствиями воздействия хлоридов на железобетонные конструкции. Например, ГУП «Москоллектор», в ведении которого находятся сотни километров тоннелей для инженерных коммуникаций, ежегодно выделяет значительные средства на ремонт конструкций коллекторов.

Опыт эксплуатации и исследования, посвященные проблеме воздействия хлоридов на железобетонные конструкции коллекторных тоннелей, требуют разработки дополнительных мер защиты конструкций, которые должны учитывать специфику эксплуатации подземных сооружений (возможность проводить ремонт только внутри сооружения; ремонтируемый объект не должен прекращать эксплуатироваться) [1].

Проблеме воздействия хлоридов на железобетонные конструкции посвящено множество работ [2, 3, 4, 5]. М. Пурбэ исследовал коррозионное и электрохимическое поведение металла в водных средах, и представил его в компактных диаграммах [6]. Из других исследований известно, что при наличии хлоридов в высокощелочном растворе, все равно возможна пассивация арматуры, которая наблюдается в очень узкой зоне с относительно низкими потенциалами арматуры. Преимущества пассивной зоны можно использовать только, когда есть возможность довести потенциал арматуры до необходимого уровня (менее -850 мВ).

Наиболее простой технологически и приемлемой с точки зрения стоимости дополнительной мерой является применение электрохимической защиты с использованием протекторов. Эта технология при производстве ремонта обеспечивает перераспределение потенциалов в системе «арматурные стержни – бетон – активатор – протектор», в результате чего арматура попадает в область «иммунитета» (рис. 1). В этом случае создается электрическая цепь, в которой арматура действует как катод, и соединена с анодом (протектором), представляющим собой специальное устройство из активного металла.

Особенность данной системы в том, что протектор контактирует с раствором электролита (активатором), рН которого поддерживается на достаточно высоком уровне для того, чтобы избежать появления на нем пассивирующей пленки.

Такая защита не усложняет технологию локального ремонта железобетонных конструкций подземных сооружений и не требует постоянного контроля и установки дополнительного источника тока.

Для производства работ необходимо подобрать оптимальное количество и расположение протекторов в конструкциях перекрытий тоннелей, нужный состав активатора и определить влияние эксплуатационных характеристик среды на работу электрохимической защиты.

В ходе исследования для производства экспериментальных работ были выбраны участки с различными условиями эксплуа-

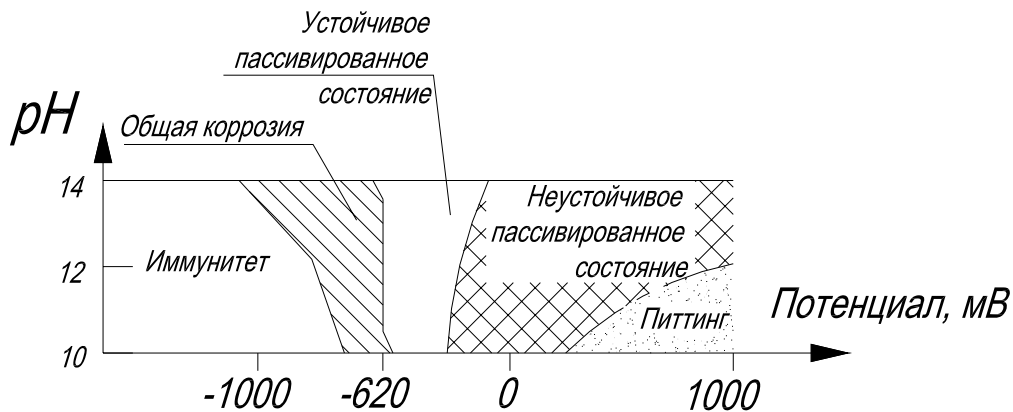


Рис. 1. Диаграмма зависимости величины потенциала от показателя рН для железа в водном растворе, содержащем хлориды

тации в четырех коллекторах: «Таганский», «Проектируемый», «Садово-Кудринский», «Кутузовский». Монтаж протекторов осуществлялась в ребрах плит перекрытия по схеме (рис. 2) с использованием трех различных типов активаторов.

Перед установкой протекторов был произведен химический анализ бетона на содержание в нем хлоридов и определена глубина нейтрализации, которая измерялась колориметрическим методом на свежем сколе с его поверхности индикатором рН [7]. Кроме того, произведена оценка технического состояния плит перекрытия [8].

В результате измерения потенциала по насыщенному медносульфатному электроду в плитах перекрытия коллекторных тоннелей до ремонта выяснилось, что по-

тенциал арматуры колеблется в промежутке: от -280 мВ до -650 мВ, что говорит о протекании активной коррозии арматуры.

В коллекторе «Таганский» (ПК27-ПК28) наблюдалось ярко выраженное проникновение хлоридов через бетон (имелись протечки воды и образование кристаллов хлоридов на поверхности конструкций). Содержание хлоридов достигало 1 % от массы цементного камня, карбонизация бетона защитного слоя арматуры составляла не более 5 мм.

В коллекторе «Садово-Кудринский» ПК 0 (поворотная камера): в 2000 г был произведен локальный ремонт с нанесением защитного покрытия. Участок коллектора, где устанавливалась электрохимическая защита, расположен возле проезжей



Рис. 2. Схема установки протекторов в плиты перекрытия коллекторного тоннеля

части Садового кольца. Пробы бетона, взятые на анализ показали, что содержание хлоридов в старом бетоне плит перекрытия превышает допустимые значения (0,4 % от массы цементного камня).

В коллекторе «Кутузовский» (ПК144-ПК145) причиной коррозии арматуры являлась высокая карбонизация защитного слоя бетона плит перекрытия.

Коллектор «Проектируемый» (ПК128, ПК267), ПК128 характеризуется постоянной 100 % влажностью бетона. Участок тоннеля, расположенный на ПК267 находится возле дороги и содержание хлоридов в бетоне значительно выше нормы (0,4 % от массы цементного камня).

Ремонт тоннелей осуществлялся по специально разработанной технологии, в ходе которой выполнялись следующие операции:

1. На ребре плиты перекрытия, перпендикулярно арматуре, удаляли бетон, таким образом, чтобы каждый арматурный стержень можно было соединить с протектором.

2. Вскрытую арматуру зачищали до металлического блеска;

3. В подготовленные места устанавливали протекторы.

Перед установкой протектора, с его поверхности удаляли защитную пленку и антиадгезионные вещества. Каждый арматурный стержень плотно обвязывался контактной проволокой, соединенной с протектором, который устанавливался непосредственно под арматурой (рис. 3).

4. Для наблюдения за работой протектора наиболее длинную контактную проволоку, связанную с арматурой, выводили наружу перпендикулярно ребру.

5. Проверка правильности установки осуществлялась измерением потенциала арматуры.

На поверхности бетона, в 20-30 см от места подключения протектора, размещался электрод сравнения, положительная клемма вольтметра подсоединялась к арматурному стержню. Затем, оставляя электрод сравнения в том же положении, измеряли потенциал арматуры, подключив положительную клемму вольтметра последовательно к каждой проволоке, соединяющей протектор с арматурой.

Контакт протектора с арматурой считался достаточным, если потенциал арматуры, измеренный подсоединением положительной клеммы к проволоке, не отличался, от потенциала, измеренного подсоединением положительной клеммы к арматурному стержню.

6. На поверхность протектора плотным слоем наносился специальный состав – активатор, восстанавливающий защитный слой бетона и необходимый для сохранения контакта между протектором и арматурой.

7. В завершении осуществлялась проверка работы электрохимической защиты бетона, критерием которой являлось наличие и величина защитного потенциала арматуры [9].

Предварительные данные, полученные в ходе мониторинга за установленной защитой, показывают, что потенциал арматуры сместился в более отрицательную сторону.

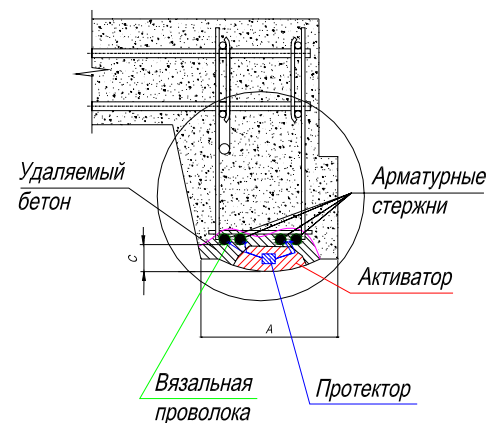
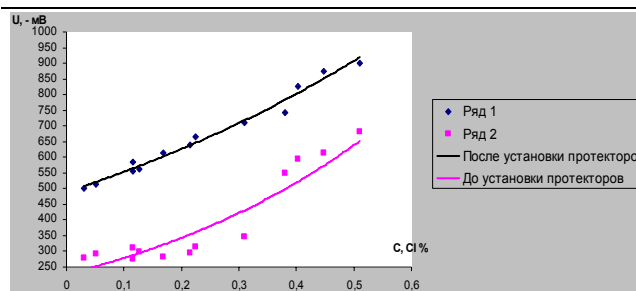


Рис. 3. Схема установки протектора в ребро жесткости плиты перекрытия

Рис. 4. Зависимость потенциала арматуры от содержания хлоридов в бетоне отделки тоннеля



Отсутствие на ПК144 – ПК145 в перекрытии Кутузовского коллектора протечек воды при удельном сопротивлении бетона более $80 \text{ кОм}\cdot\text{см}^2$, и его весовой влажности менее 1,5 % явилось причиной по которой потенциал арматуры не достиг защитного значения – 850 мВ [9]. Коррозия арматурного каркаса в таких условиях не происходила.

Защитный потенциал арматуры -850 мВ достигается в местах протечек и при наличии в бетоне хлоридов. В этом случае бетон имел удельное электрическое сопротивление $0,5-6,7 \text{ кОм}\cdot\text{см}^2$ и весовую влажность 4-9,5 %.

Выполненные исследования позволили сделать следующий вывод: работа электрохимической защиты с использованием

протекторов, характеризуемая потенциалом арматуры, в значительной степени зависит от влажности и содержания хлоридов (рис. 4) в бетоне отделки тоннеля.

Пока существовала разница потенциалов между протектором и арматурой, коррозия арматуры прекращалась, либо значительно уменьшалась. Наблюдение за изменениями потенциалов позволило выяснить срок действия протекторов, оптимальную схему монтажа и способствовало подбору требуемого активатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шилин А.А. Обоснование стратегии и разработка конформативной технологии технической эксплуатации подземных сооружений: Дис. докт. техн. наук. – Москва, 2001 г.
2. Алексеев С.И. Коррозия и защита арматуры в бетоне. – 2-е изд., перераб. – М.: Стройиздат, 1968. – 231 с.
3. Алексеев С.И., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. – М.: Стройиздат, 1976. – 205 с.
4. Broomfield John P. Corrosion of steel in concrete, Understanding, investigation and repair. – London.: E and FN SPON, 1997. – 240 p.
5. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шиссель П. Долговечность железобетона в агрессивных средах – М.: Стройиздат, 1990. – 320 с.
6. Pourbaix M., Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Pergamon Press, New York, 1966.
7. Рекомендации по оценке состояния железобетонных конструкций при эксплуатации в агрессивных средах. // НИИ бетона и железобетона Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1984. – 34 с.
8. Регламент выполнения ГУП «Москоллектор» работ по технической эксплуатации коммуникационных коллекторов в г. Москве. Правительство г. Москвы, 2001.
9. Улиг Г.Г., Ревя П.У. Коррозия и борьба с ней – Л., пер. с англ.: Химия, 1989. – 455 с.

Коротко об авторах

Дымбренев Т.Н. – аспирант кафедры «Строительство подземных сооружений и шахт», Московский государственный горный университет.

© Т.Н. Дымбренев, 2005

Т.Н. Дымбренев

**ДИАГНОСТИКА КОТЕЛЬНИЧЕСКОГО
КОЛЛЕКТОРНОГО ТОННЕЛЯ И РЕМОНТ ПЛИТ
ПЕРЕКРЫТИЯ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ
ЗАЩИТЫ БЕТОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОТЕКТОРОВ**

О *бследование строительных кон-
струкций тоннеля*

В августе 2003 года фирмой ЗАО «Триада-Холдинг» было выполнено обследование строительных конструкций Котельнического коллекторного тоннеля на ПК39-55.

Обследование проводилось с целью изучения состояния отделки тоннеля, имеющей, по данным эксплуатирующей организации, значительные дефекты, особенно под дорогой, а также для определения необходимости и объемов ремонтных работ.

Работы по обследованию выполнялись в соответствии с [1, 2, 3] и состояли из двух этапов: предварительного и детального инструментального обследования.

На предварительном этапе проводилось изучение предоставленной проектной документации и визуальное исследование, которое включало:

- оценку состояния поверхности бетона конструкций (наличие сколов, раковин, трещин, отслоений и других дефектов), и определение конструктивных особенностей тоннеля;

- фиксацию поврежденных участков конструкций и определение мест фильтрации грунтовых вод;

Второй этап составляли инструментальные измерения с определением следующих данных:

- фактических размеров сооружения, выполняемых с целью проверки данных проекта;

- параметров дефектов, ширины раскрытия трещин и их протяженности,

относительного перемещения, прогибов несущих конструкций (стены, ригели, колонны);

- прочностных свойств железобетонных конструкций при помощи методов неразрушающего контроля, а также состояния арматурного каркаса прибором «PROFOMETER-4» по SIA 162, DIN1045, DGZfP B2, BS1881 part 204 и прибором «CANIN» по ASTM C876-80, BS1881 Part 201, SIA 2006, DGZfP B3, UNI 10174.

- степени коррозионных разрушений бетона, которые определялись экспресс-методами; (глубина нейтрализации бетона вычислялась колориметрическим методом на свежем сколе поверхности бетона) [1];

- определение хлор-ионов из отобранных образцов бетона производилось методом обратного титрования раствора водных вытяжек [4].

Изучение проектной документации позволило установить, что тоннель сооружен открытым способом и введен в эксплуатацию в 60 годах прошлого века. Участки в интервале ПК 39-49 и ПК 54-56 проложены параллельно Котельнической набережной, их соединяет отрезок тоннеля ПК 49 - ПК 53, сопрягающийся с ними практически под прямым углом и проходящий вдоль 2-го Котельнического переулка. Схема обследованного участка трассы тоннеля представлена на рис. 1.

В ходе визуального исследования выяснилось, что основной участок трассы коллекторного тоннеля выполнен из сборных железобетонных элементов. Обделка

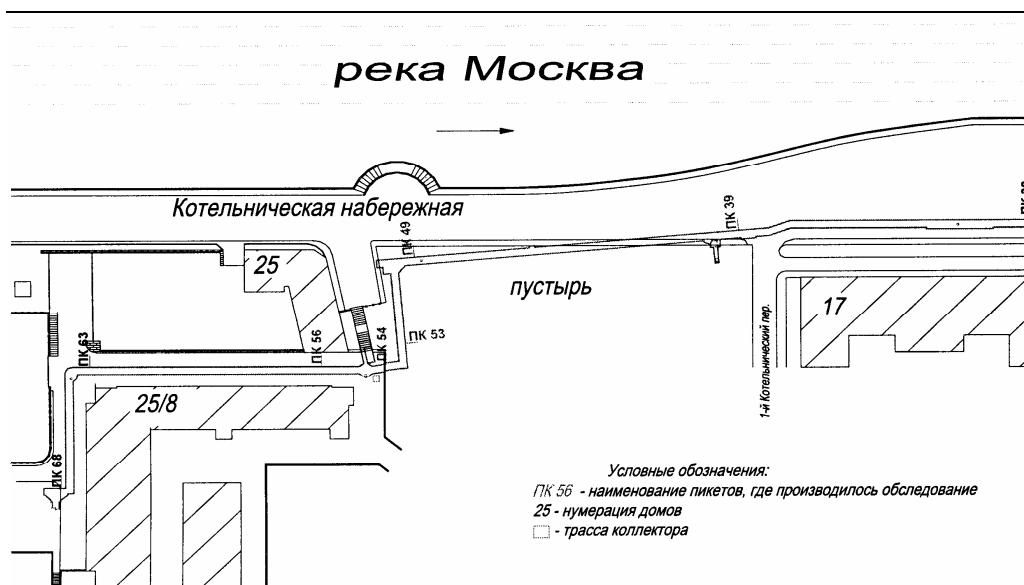


Рис. 1. Схема расположения обследованного участка коллекторного тоннеля «Котельнический»

на ПК40+2,3 м - ПК49 представлена сборно-монолитным железобетоном.

Замкнутое сечение тоннеля образуется соединением двух стеновых блоков (ДС) Г-образной формы, ребристой плиты перекрытия (ДП) и плоской плиты днища из монолитного железобетона. Сечение тоннеля по протяженности участка обследования - прямоугольное (2300x2400 мм).

Коллектор на поворотах ПК 50 и ПК 53 был вскрыт двумя траншеями. Это позволило установить величину засыпки, которая составила 2,3 м на ПК 53 и 1,3 м на ПК 50. При вскрытии тоннеля было определено, что гидроизоляционная мембрана в перекрытии тоннеля состоит из двух слоев гидроизола. Поверхнее уложен защитный слой из цементно-раствора.

Толщина монолитного днища тоннеля на участке обследования определялась зондированием и с учетом бетонной подготовки составила в среднем 300 мм. Сечение коллектора представлено на рис. 2.

В ходе визуального исследования было установлено, что на обследуемом интервале тоннеля из имеющихся дефектов

наиболее распространенными являются протечки грунтовых вод и коррозионные трещины в несущих ребрах плит перекрытия раскрытием 0,2-1,0 мм.

Возникновение продольных трещин в ребрах плит перекрытия связано с процессом коррозии рабочей арматуры. Для подтверждения факта коррозии, в местах образования подобных трещин (раскрытием 0,2-0,3 мм) было произведено выборочное вскрытие рабочей арматуры, которое установило, что стержни прокорродировали на 1-5 % по сечению.

В результате визуального исследования выяснилось, что на всем участке обследования около 70 % от общего числа плит ДП имеют коррозионные повреждения подобного рода.

В ходе инструментального обследования выяснились фактические размеры конструкций коллекторного тоннеля. На основании замеров составлены дефектовочные схемы, на которых были нанесены выявленные повреждения с количественной и качественной оценкой. Кроме этого в соответствии с ГОСТ 22690-88 склерометрическим методом были

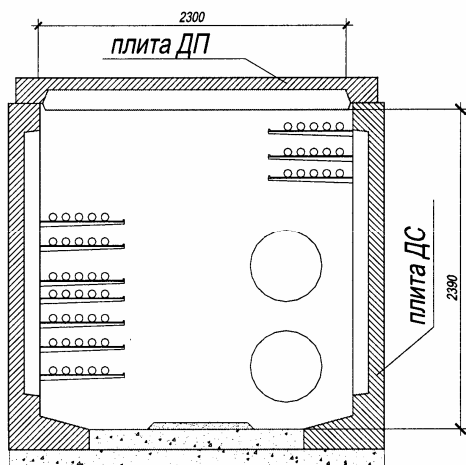


Рис. 2. Сечение коллекторного тоннеля

определены прочностные характеристики бетона.

Исследование железобетонных плит перекрытия и стеновых блоков включало в себя определение толщины защитного слоя бетона, которая при массовых работах измерялась методом неразрушающего контроля при помощи приборов ИЗС-10 и «PROFOMETER-4» (ГОСТ 22904-93). Состояние арматурного каркаса определялось с помощью прибора «CANIN» (по ASTM C876-80, BS1881 Part 201, SIA 2006, DGZfP B3, UNI 10174), который позволял выявить участки с различной степенью коррозии арматуры. При этом производился выборочный контроль степени коррозии путем вскрытия арматуры, кроме того, при вскрытии определяли вид и глубину коррозионных разрушений.

Для оценки надежности, полученных склерометрическим методом значений прочности бетона, производились испытания образцов-кернов, выбуренных из конструкций (ГОСТ 28570-90). Отбор кернов производился при помощи установок алмазного бурения DD-100 фирмы «Hilti».

Степень однородности показателей прочности бетона оценивалась методом статистических расчетов (МДС 61-1.2000 «Методические рекомендации по статистической оценке прочности бетона при испытании неразрушающими методами»

2002 г) исходя из величины среднего значения, среднеквадратичного отклонения, коэффициента вариации, минимальной вероятной расчетной прочностной характеристики, соответствующей заданному уровню надежности с учетом коэффициента однородности K_B .

Однородность бетона и его качество (степень сохранности) оценивались на основании сравнения получаемой величины K_B .

По результатам обследования установлено, что прочность бетона плит перекрытия составляет 32,2 МПа, стеновых блоков 34,0 МПа, балок 39,2 МПа, монолитного железобетона 31,2 МПа. Прочностные показатели для каждого вида строительных конструкций неоднородны, коэффициент вариации превышает 15 %. Это объясняется большим количеством и разной степенью дефектов на обследуемом участке.

Для качественной оценки коррозионных разрушений, помимо вскрытия и определения глубины коррозии арматурного каркаса строительных конструкций, был произведен отбор проб бетона. Отобранные образцы были исследованы в лабораторных условиях на наличие хлоридов [4].

В ходе лабораторных работ было выяснено, что содержание хлоридов, превышает предельно допустимую концентрацию [5]. Известно, что после насыщения железобетона хлоридами при их концентрации более 0,4 % от массы цементного камня начинается интенсивная коррозия арматуры, скорость которой превышает 0,1 мм/год [6]. Это приводит к ускоренным коррозионным разрушениям защитного слоя бетона.

Содержание хлоридов, превысившее критическое значение, отмечалось на участках, проходящих под дорогой и вблизи нее (в местах протечек на ПК 39-50 и ПК 55). Это связано с присутствием солей антиобледенителей, используемых

в зимнее время года, которые вместе с грунтовой водой через дефекты в гидроизоляции поступают внутрь сооружения. Остальная часть коллектора проходит под зеленой зоной и содержание хлоридов в железобетоне на этом участке незначительно.

Другим наиболее важным фактором, влияющим на скорость коррозии стальной арматуры, является карбонизация защитного слоя бетона конструкций. Повышенное содержание углекислоты (свыше 0,3 % по объему) в атмосфере городских подземных сооружений создает условия для карбонизации бетона и депассивации арматуры. В прокарибонизированном слое бетона происходит изменение рН-показателя среды поровой жидкости в сторону уменьшения щелочности, что способствует возникновению и развитию коррозии арматуры. Измерения глубины карбонизации бетона (в среднем 25,8 мм) показали, что она намного превышает защитный слой конструкций (в среднем 18,3 мм) и вызывает интенсивную коррозию арматуры. Защитный слой бетона плит перекрытия коллекторных тоннелей в соответствии с [7] п 4.3.4 должен составлять 20 мм.

Общее состояние обделки обследованного участка коллектора можно считать, как ограничено работоспособное. При этом оценочный расчет по несущей способности показал, что некоторые плиты находятся в предаварийном и аварийном состоянии.

На основании проведенного обследования были сделаны следующие выводы:

- наиболее разрушенный участок обделки (ПК39-ПК55) находится под дорогой;
- гидроизоляция обследуемого участка тоннеля полностью нарушена;
- интенсивной коррозии арматуры способствует наличие хлоридов в бетоне свыше предельно допустимой концентрации (более 0,4 % от массы цементного камня) и карбонизация защитного слоя бетона.

Для обеспечения нормальной эксплуатации обделки тоннеля необходимо устранить причину интенсивной коррозии арматуры или приостановить коррозионные процессы.

Рассматривалось несколько вариантов ремонтно-восстановительных работ. Во всех случаях выполнение внутренней гидроизоляционной мембраны в тоннеле считалось обязательным. С учетом того, что внутренняя гидроизоляционная мембрана в тоннеле не гарантирует полной герметизации внешнего периметра сооружения от поступления влаги с наличием в ней хлоридов, а также на основании данных проведенных экспериментальных работ и выполненных расчетов, было принято решение установить в конструкциях, подверженных коррозии арматуры, электрохимическую защиту с использованием протекторов. Это и было выполнено в 2005 году.

Восстановление эксплуатационной способности тоннеля

Основными требованиями при ремонте тоннеля были:

- устранение дефектов конструкций;
- создание внутренней гидроизоляции;
- обеспечение защиты стальной арматуры от воздействия хлоридов, с учетом их наличия в старом бетоне и возможного проникновения в него после проведения ремонтных работ;
- самоактивация электрохимической защиты при проникновении хлоридов к стальной арматуре;
- восстановление защитного слоя бетона и его защита от карбонизации.

С учетом этих требований было принято решение – применить технологию локального ремонта конструкции коллекторного тоннеля с использованием электрохимической защиты с установкой протекторов, которые создают электрическую цепь, когда арматура, действующая как катод, соединена с анодом (протектором),

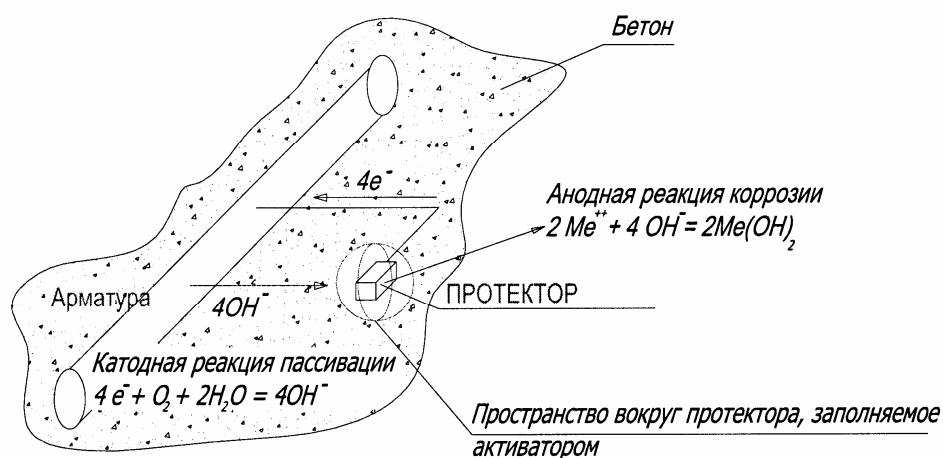


Рис. 3. Принципиальная схема электрохимической защиты с использованием протекторов

представляющим собой специальное устройство из активного металла [8]. Особенностью данной защиты является то, что протектор контактирует с раствором электролита (активатором), рН которого поддерживается на достаточно высоком уровне для того, чтобы происходила коррозия протектора, а не арматурного каркаса (рис. 3).

Защита арматуры от коррозии при воздействии хлоридов с применением протекторов была произведена в коллекторных тоннелях: «Кутузовский», «Садово-Кудринский», «Таганский» и «Проектируемый». Данные, полученные в ходе наблюдения за установленной защитой в этих коллекторах, показывают, что для удешевления стоимости работ, протектор следует устанавливать по различным схемам. В местах наибольшего содержания хлоридов (от 0,4 % от массы цемента) требуется устанавливать протекторы с шагом 400 мм на каждое ребро жесткости. Там где хлориды не превышают предельно допустимую концентрацию (0,4 % от массы цемента) или отсутствуют, рекомендуемый шаг установки составляет 700 мм.

Проектом производства ремонта Котельнического тоннеля предусматривалось

применение технологии, в ходе которой обеспечивалась электрохимическая защита бетона и которая учитывала ранее накопленный опыт работ на других объектах.

Технология ремонтных работ с установкой протекторов производилась в следующей последовательности:

- удаление старого разрушенного, загрязненного хлоридами и потерявшего прочность слоя бетона на глубину до 2 см вглубь за стержни арматурного каркаса;
- очистка арматуры, которая проводится согласно SA2,5 (Шведский стандарт по очистке стали от коррозии) и необходима для восстановления пассивированного состояния поверхности стали, при выполнении работ и нанесении ремонтных составов;
- установка протекторов в ребра жесткости плит перекрытия путем соединения тела протектора с арматурным стержнем с помощью проволочных выводов;
- нанесение активатора на поверхность протектора;
- восстановление защитного слоя бетона над арматурным каркасом с помощью нанесения праймеров и специальных ремонтных составов;

- водоподавление, которое осуществлялось в местах фильтрации воды, инъектированием специальных материалов.

Удаление старого бетона осуществлялась с помощью отбойных молотков фирмы «Hilti» типа TE-75. Зачистка арматуры до металлического блеска осуществлялась с помощью щетки типа «Крацовка».

Протектор представляет собой специальное устройство из активного металла. Для обеспечения контакта между арматурным каркасом и протектором на нем имеются проволочные выводы. Разработано несколько видов протекторов, два из них применялись в Котельничском коллекторе. Первый вид предусматривает соединение протектора с арматурным стержнем с помощью обычного вязального крючка, для этого имеются четыре проволочных вывода, диаметром 1,5-2 мм и каждый длиной 30 см. Второй вид предусматривает соединение протектора с арматурным стержнем с помощью электродуговой сварки, для этого имеются два проволочных вывода, диаметром 4 мм и каждый длиной 20 см.

Опыт ремонта плит перекрытия показывает, что не всегда возможно очистить арматурный стержень от старого бетона. Вследствие этого часто невозможно завести проволочный вывод за стержень в требуемом проектом месте. Для этого и предусмотрен второй вид протекторов. В этом случае удаляется только защитный слой бетона и с помощью электродуговой сварки проволочные выводы протектора привариваются в требуемых местах.

Активатор представляет собой полимерцементный материал с добавками, обеспечивающими его высокую щелочность. При взаимодействии с водой материал затвердевает в течении 24 часов. Для лучшего контакта меду протектором и активатором требовалось обеспечение “сухого” режима работ. В местах протечек первоначально производилась временная заделка трещин с помощью быстротвердевающих материалов, а затем осуществлялось нанесение активатора на

поверхность протектора. При этом наличие пустот вокруг протектора не допускалось.

Для наблюдения за установленной электрохимической защитой бетона (измерение поля потенциалов на ребрах жесткости) к арматурному каркасу плиты перекрытия прикреплялась стальная проволока, конец которой оставался снаружи и не заделывался ремонтными материалами.

Восстановление защитного слоя бетона, герметизация швов между плитами перекрытия осуществлялось с помощью ремонтных материалов. Швы и трещины в перекрытии подсекались через 60 см наклонными (под углом 45°) отверстиями диаметром 17 мм, в которые устанавливались разжимные инъекторы, и производилось нагнетание тампонажных материалов.

Для защиты восстановленного бетона плит перекрытия от карбонизации на их поверхность наносились специальные покрытия.

В ходе хронометража работ выяснилось, что время, затрачиваемое на установку электрохимической защиты, составляет 10 % от времени работ с применением технологии локального ремонта.

В марте 2005 года работы по ремонту обследованного участка коллекторного тоннеля закончились. В настоящее время ведутся наблюдения за состоянием электрохимической защиты.

Предварительные данные, полученные в результате наблюдения за установленной электрохимической защитой показывают, что потенциал арматуры сместился в более отрицательную сторону (см. рис. 4). Было отмечено только одно место намокания поверхности плит перекрытия после проведенного ремонта. Пробы воды, взятые на анализ в лабораторию, показали, что вода содержит хлориды.

Измерение потенциалов в данном месте показало, что потенциал арматурных стержней равен -850 мВ или менее, потен-

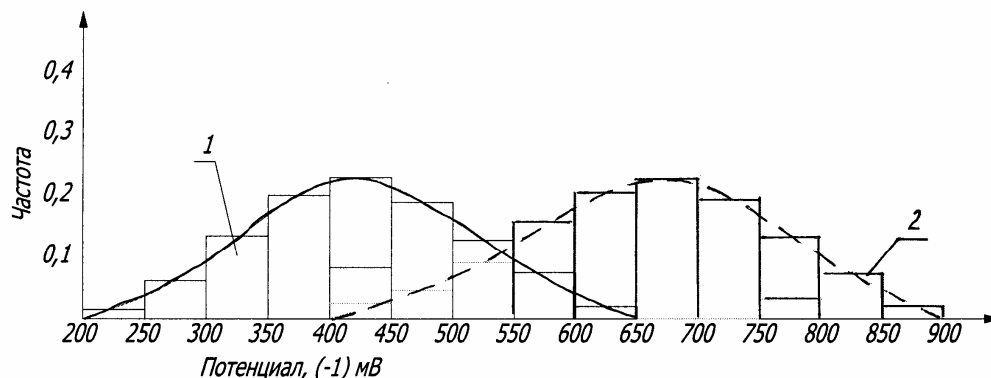


Рис. 4. Диаграмма изменение потенциалов до и после проведения ремонтных работ:
 1 – потенциал арматуры до проведения ремонта; 2 – потенциал арматуры после выполнения ремонтных работ

циал протекторов был меньше -999 мВ. Для остального коллектора потенциал арматуры и протекторов в основном находится в промежутке от -350 мВ до -700 мВ. Это говорит о том, что на опытном участке произошла активация электрохимической защиты.

После проведения ремонтных работ с установленной защитой образование трещин и отслоения бетона не наблюдается.

На основании выполненного обследования и производства ремонтных работ можно сделать следующие выводы:

- для защиты стальной арматуры в бетоне от воздействия хлоридов целесообразно устанавливать электрохимическую защиту с применением протекторов.
- различные виды протекторов позволяют производить защиту арматурного каркаса в любых условиях;

- удорожание ремонтных работ с применением технологии установки протекторов составляет в среднем 14%; применение электрохимической защиты с установкой протекторов позволяет увеличить межремонтные сроки в 1,5-2 раза;

- увеличение срока ремонтных работ с использованием технологии установки протекторов составляет 10% от времени ремонта без протекторов;

- шаг установки протекторов в ребра жесткости плит перекрытия, обеспечивающий распределение защитного потенциала по всей длине арматуры, составляет 400 мм для бетона загрязненного хлоридами, и 700 мм для бетона, где концентрация хлоридов менее 0,4 % от массы цемента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рекомендации по оценке состояния железобетонных конструкций при эксплуатации в агрессивных средах.* // НИИ бетона и железобетона Госстроя СССР. - М.: Стройиздат, 1984. - 34 с.
2. *Руководство по контролю прочности бетона в конструкциях приборами механического действия.* // НИИ бетона и железобетона Госстроя СССР. - М.: Стройиздат, 1972. - 57 с.
3. *Руководство по определению и оценке прочности бетона в конструкциях зданий и сооружений.* // НИИ строительных конструкций

- Госстроя СССР, НИИ бетона и железобетона Госстроя СССР. - М.: Стройиздат, 1979. – 31 с.
4. *Курбатова И.И.* Современные методы химического анализа строительных материалов.// НИИ бетона и железобетона Госстроя СССР. – М. Стройиздат, 1971 г. – 122 с.
5. СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии.
6. *Кириленко А.М.* Обоснование и разработка методики расчета эксплуатационной надежности подземных строительных конструкций

коллекторных тоннелей для инженерных коммуникаций: Дисс. канд. техн. наук. – М.:, 1994г.

7. *Регламент* выполнения ГУП «Москоллектор» работ по технической эксплуатации коммуникационных коллекторов в г. Москве. Правительство г. Москвы, 2001.

8. *Шилин А.А.* Обоснование стратегии и разработка конформативной технологии технической эксплуатации подземных сооружений: Дисс. докт. техн. наук. – Москва, 2001 г.

Коротко об авторах

Дымбренов Т.Н. – аспирант кафедры «Строительство подземных сооружений и шахт», Московский государственный горный университет.

ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

| <i>Автор</i> | <i>Название работы</i> | <i>Специальность</i> | <i>Ученая степень</i> |
|--|--|----------------------|-----------------------|
| МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ | | | |
| ЗУБКОВ Виктор Васильевич | Разработка методов математического моделирования напряженного состояния массива горных пород для выделения опасных зон при отработке пластовых месторождений | 25.00.20 | д.т.н. |
| ХАРЧЕНКО Алексей Викторович | Эколого-экономическое обоснование использования подземного пространства для развития городской транспортной инфраструктуры | 08.00.05 | д.э.н. |
| ШЕВЫРЕВ Юрий Вадимович | Обоснование и повышение энергетических показателей регулируемых электроприводов буровых установок | 05.09.03 | д.т.н. |

