

арматуры возможна при $pH \leq 11,8$. При оценке степени карбонизации в реально эксплуатируемых конструкциях значения толщины слоя, в котором он потерял защитные свойства по отношению к арматуре, определенные индикаторным тестом (при $pH = 10$) и физико-химическим методом (при $pH = 11,8$), отличаются до пяти(!) раз, а коррозионные процессы различной интенсивности в арматуре присутствуют в зоне, в которой по индикаторному тесту бетон сохраняет свои защитные свойства по отношению к арматуре. Кроме того, большой разброс данных при определении толщины нейтрализованного слоя, связанный с неоднородным строением, различными пористостью и плотностью бетона, не позволяет выполнять с достаточной точностью оценку глубины карбонизации бетона даже по существующим методикам.

Индикаторный метод не позволяет количественно оценивать показатель pH в зоне расположения арматуры, детально судить о его изменении в нейтрализованной зоне и за ее пределами и, как следствие, — о состоянии защитных свойств бетона по отношению к арматуре. Таким образом, его применение для оценки карбонизации бетона не дает возможности достоверно оценивать состояние защитных свойств бетона по отношению к арматуре, а поскольку существующие методики оценки и прогнозирования карбонизации бетона основаны на фенолфталеиновом тесте, то несмотря на их постоянное усовершенствование, применение данных методик не позволяет объективно оценивать и прогнозировать процессы карбонизации.

Существующий механизм карбонизации не подтверждается экспериментальными и натурными исследованиями. Методы оценки и прогнозирования карбонизации бетона, основанные на использовании фенолфталеинового теста не позволяют с необходимой степенью достоверности определять толщину карбонизированного слоя бетона, прогнозировать развитие карбонизации во времени и как, следствие, оценивать и прогнозировать техническое состояние ЖБК и их долговечность.

На основе исследования кинетики взаимодействия растворов $Ca(OH)_2$ различных концентраций с CO_2 воздуха методами pH -метрии, карбометрии и микроскопического анализа, исследования кинетики испарения влаги, адсорбции и десорбции паров воды образцами бетона различных классов по прочности методом измерения электросопротивления, а также изучения карбонизации реально эксплуатируемых бетонных и железобетонных конструкций автором предложен иной механизм карбонизации. В соответствии с ним процесс карбонизации относится к гетерогенной химической реакции и характеризуется сложностью и многостадийностью. Многостадийность состоит: из диффузионного подвода к поверхности раздела фаз реагирующих веществ CO_2 и $Ca(OH)_2$; химической реакции; возникновения и роста кристаллов карбоната кальция без отвода продуктов реакции из тонкого слоя жидкой фазы. В начальной стадии развития карбонизации кинетика процесса контролируется диффузией $Ca(OH)_2$ поровой влаги и изменением площади твердой фазы, которые взаимосвязаны между собой. В последующем скорость карбонизации будет зависеть от пористости материала и частоты смены увлажнения и высыхания поровой влаги, т. е. будет носить периодический характер; процесс карбонизации в поровом пространстве рассматривается по аналогии с действием гидравлического насоса, в котором изменение температуры и влажности способствует смене уровня поровой жидкости, служащей поршнем гидравлического насоса в газовой среде поры. Чем чаще происходят перепады температуры и меняется влажность, тем выше скорость карбонизации (особенно в поверхностных слоях) из-за более эффективной работы гидравлических насосов, обеспечивающих подсос воздуха в поры.

Предлагаемый механизм карбонизации, основанный на экспериментальных результатах, позволяет объяснить течение процесса карбонизации по сечению конструкций во времени в зависимости от условий эксплуатации. Он подтверждается лабораторными и натурными исследованиями реально эксплуатирующихся бетонных и железобетонных конструкций.

УДК 624.01/04

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМЫ «HELIBEAM» ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УСИЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А. А. ВАСИЛЬЕВ, С. В. ДЗИРКО

Белорусский государственный университет транспорта

Необходимость выполнения работ по усилению строительных конструкций с высоким качеством и минимальными затратами, высокотехнологично, а также обеспечения нужной долговечности материалов и конструкций в целом требует применения новых высокоэффективных решений. Одним из современных вариантов восстановления конструкций является применение технологии дополнительного армирования конструк-

ций с использованием системы HeliBeam. Система HeliBeam предназначена для перераспределения дополнительно возникающих нагрузок в строительных конструкциях, предотвращает появление новых трещин и, таким образом, повышает общую прочность и устойчивость строительного объекта в целом. Она используется для усиления бетонных и железобетонных конструкций, конструкций из штучных стеновых материалов.

Главные компоненты системы – арматура HeliBar и мастика HeliBond MM3 – высоконадежные и высококачественные материалы, разработанные для применения в условиях воздействия агрессивных сред. Арматуру HeliBar применяют как дополнительный элемент для восприятия растягивающих и сдвигающих напряжений. Ее используют для фиксации возникших трещин, соединения и анкеровки отделившихся фрагментов конструкции, выполнения дополнительных армированных поясов. Арматуру вклеивают непосредственно под лицевую часть конструкций с минимальным покрытием, и тем самым она обеспечивает перераспределение растягивающих сил, максимальных на поверхности конструкций. Ее изготавливают из нержавеющей аустенитной стали XCrNi 1810 и выпускают диаметрами 6, 8, 10 мм. Мастика HeliBond MM3 – композиционный состав, в котором жидкая компонента представляет собой водную дисперсию стирол-бутадиеновых сополимеров, а твердая – портландцемент с минеральными наполнителями.

Для оценки возможности применения системы HeliBeam было выполнено исследование физико-механических характеристик арматуры HeliBar, мастики HeliBond MM3, а также их соединений в лабораторных условиях. Результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Нержавеющую арматуру HeliBar вклеивают в выфрезерованные канавки, высверленные отверстия, либо комбинации канавок и отверстий на поверхности усиливаемых конструкций. Для этого вначале при помощи строительного пистолета на заднюю стенку канавок наносят слой мастики толщиной 8–10 мм. Отверстия заполняют полностью. Затем подготовленные арматурные прутки вдавливают в мастику по всей длине и на все сечение. После чего канавки и отверстия заполняют до верха. Шпателем мастику вдавливают в канавку, и поверхность заглаживают. При этом дополнительная обработка не требуется.

Можно производить отделку поверхности штукатурным слоем, соответствующим по цвету и фактуре соседним участкам стены. Полученные арматурные соединения обладают значительной прочностью на отрыв из тела конструкции. Прочностные характеристики анкерной системы HeliBeam для кирпичных (каменных) конструкций представлены в таблице 3, для бетонных – в таблице 4.

Таблица 1 – Прочностные характеристики арматуры HeliBar

Диаметр стержня, мм	Площадь поперечного сечения F , мм ²	Предел текучести (условный) $\sigma_{0,2}$, МПа	Временное сопротивление разрыву σ_b , МПа
6	7,14	935	1212
8	9,55	924	1128
10	14,82	892	1108

Таблица 2 – Физико-механические характеристики мастики HeliBond MM3

Параметр	Показатель
Объемный вес ρ , кг/м ³	2020
Объемное расширение при затвердевании, %	0,15
Прочность на осевое растяжение R_t , МПа	10
Прочность на растяжение при изгибе R_{if} , МПа	25
Прочность на сжатие R , МПа, через:	
24 ч	30
3 сут	50
7 »	65
14 »	80
Адгезия к основанию, МПа:	
бетон	1,07
обожженный кирпич	1,43

Таблица 3 – Прочностные характеристики анкерной системы HeliBeam для кирпичных (каменных) конструкций

Длина анкера, мм	Допускаемая нагрузка на отрыв, кН
100	1,70
150	2,80
200	3,50
250	4,30
300	5,10
350	5,90
400	6,80
450	7,90

Таблица 4 – Прочностные характеристики анкерной системы HeliBeam для бетонных конструкций

Длина анкера, мм	Допускаемая нагрузка на отрыв, кН
<i>В канавке</i>	
150	4,50
200	5,00
250	5,50
300	6,00
350	6,50
400	7,00
<i>В отверстии</i>	
50	4,50
100	4,50
150	4,50
200	4,50
250	7,00

Также возможно применение арматуры HeliBar для дополнительного объемного упрочнения строительных объектов в целом: создания армированного несущего пояса; восстановления нарушенных угловых соединений внутренних и наружных стен; раскрепления новых перегородок с существующими стенами; анкеровки перекрытий к несущим стенам; восстановления соединений панелей лоджий с панелями ограждения; создания новых оконных и дверных проемов в стеновых панелях и т. д.

Использование анкерной системы HeliBeam позволяет, в большинстве случаев, не нарушать архитектурный облик здания и выполнять работы, не прекращая его эксплуатацию. Система HeliBeam является одной из самых современных высокоэффективных технологий восстановления строительных конструкций зданий и сооружений. Ее применение для усиления строительных конструкций на территории Республики Беларусь даст возможность значительно повысить качество выполняемых работ, при этом сократив их трудоемкость и стоимость.

УДК 614.846

ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ ОТ КОРРОЗИИ

Д. А. ВЛАСЕНКО, А. С. НЕВЕРОВ

Белорусский государственный университет транспорта

Проблема антикоррозионной защиты металлических труб является в настоящее время весьма актуальной. Существует огромное количество трубопроводов, которые находятся в аварийном состоянии и требуют дорогостоящего ремонта, связанного с заменой этих трубопроводов.

Наиболее перспективными являются закрытые методы ремонта, при которых не создаются препятствия движению на улицах городов. Наиболее простым и дешевым принято считать метод нанесения цементно-песчаной изоляции. Его можно применять как для реконструкции, так и в целях профилактики для предотвращения коррозии внутренней поверхности трубопроводов и накопления минеральных отложений, увеличения пропускной способности действующих трубопроводов за счет улучшения гидравлических характеристик, сохранения качества питьевой воды, эксплуатационных свойств трубопровода при появлении внешней коррозии, увеличения срока службы труб. По своим микробиологическим свойствам, высокой прочности и связанной с этим сопротивляемости механическим нагрузкам цементно-песчаное покрытие является идеальным материалом для систем водоснабжения.

На очищенный участок трубопровода наносят цементно-песчаное покрытие. Раствор на внутреннюю поверхность трубы наносят при помощи разбрызгивающей головки с электрическим или пневматическим приводом. Облицовку трубопровода производят с помощью облицовочной машинки, которую, после установки и центрирования разбрызгивающего механизма на конце saniруемого участка, протягивают с постоянной скоростью в обратном направлении по данному участку трубопровода.

Одним из недостатков данного метода является относительно низкая прочность покрытия и высокая хрупкость материала. Кроме того, требуется высокая подвижность раствора для обеспечения возможности разбрызгивания раствора. Повышение количества воды для затворения решает проблему подвижности раствора, но прочность при этом значительно снижается, т. к. оптимальное соотношение вода/цемент – 0,2, а на