

## БЕТОНЫ С ВЫСОКИМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Наведені результати експериментально-теоретичних досліджень технології ремонтно-відбудовних робіт на спорудах спеціального призначення. Наведені дослідні дані визначення міцності бетону на активованій в'язучій речовині при витримуванні в сульфатному середовищі, що підтверджує істотне підвищення експлуатаційних характеристик бетону на активованій в'язучій речовині, використаного під час ремонту і відновлення транспортних споруд.

Представлены результаты экспериментально-теоретических исследований технологии ремонтно-восстановительных работ на сооружениях специального назначения. Приведены опытные данные определения прочности бетона на активированном вяжущем при выдерживании в сульфатной среде, что подтверждает существенное повышение эксплуатационных характеристик бетона на активированном вяжущем, использованного при ремонте и восстановлении транспортных сооружений.

The article presents the results of experimental and theoretical research of the repair & restoration technologies at the special purpose structures. Experimental data have been provided for determining the strength of concrete, based on activated binder and matured in a sulfate medium. This confirms an essential improvement of operational performance of the concrete based on activated binder, used at repairs and reconstruction of the transport structures.

Процесс проведения подводных и надводных работ по восстановлению несущих бетонных и железобетонных конструкций различных сооружений является наименее изученным, требующим совершенствования. Как правило, выполняемые ремонтно-строительные работы в надводной части сооружений предназначены для восстановления защитных слоев или формы конструкций. Более сложные задачи ремонта возникают в подводной части сооружений. В результате совместного действия воды как среды механического воздействия течений и растворяющего действия жидкости повреждения конструкций носят более сложный характер. Подводный ремонт зачастую требует наращивания поврежденных конструкций, тампонирувания подмывов, ликвидации трещиноватости и выщелачивания бетона.

Опыт подводного строительства невозможно механически переносить на ремонт и восстановление подводных конструкций транспортных сооружений. Организация ремонтных и восстановительных работ на транспортных искусственных сооружениях, в особенности в их подводной части, является наиболее сложной и малоизученной проблемой. Это связано со специфическим характером разрушения подводных частей сооружений, их различной конструктивной формой и условиями выполнения работ при частичном ограничении движения транспортных потоков.

Опыт и специальные исследования подводного бетонирования показывают, что требования только по прочности и подвижности недостаточны для определения пригодности бетона разных составов для специальных восстановительных работ [1]. Бетонная смесь после укладки под воду испытывает воздействие специфических условий, резко отличающихся от условий бетонирования на суше. Исследованиями установлена необходимость предъявления к подводному бетону повышенных требований в сравнении с укладываемым на воздухе, в частности, к кавитационной стойкости. К числу проблем технологии подводного бетона относится обеспечение долговечности искусственных сооружений, а также их стойкости в агрессивных средах.

Основным принципом производства подводных бетонных работ при восстановлении и ремонте транспортных сооружений является такое введение бетонной смеси, цементного теста или раствора под воду, при котором исключается изменение их состава, а твердение происходит в опалубке или без нее с обеспечением комплекса заданных свойств материала.

Реализация этого принципа в подводных условиях достигается производством работ разработанным комбинированным способом ремонта и восстановления искусственных транспортных сооружений, в основе которого лежит применение бетонных смесей на активированном вяжущем [2]. Такие бетонные смеси обес-

печивают высокие технологические и эксплуатационные свойства ремонтного покрытия: связность смеси при повышенной подвижности, нерасслаиваемость, медленное схватывание, но быстрое твердение в воде, повышенную прочность бетона, высокую водонепроницаемость, стойкость в агрессивных средах, надежное сцепление нового бетона со старым. При этом соблюдается основное требование технологии подводного бетонирования, состоящее в непрерывном ведении ремонтно-восстановительных работ с сокращением их продолжительности.

Качество ремонта искусственных транспортных сооружений и восстановление их несущей способности, в основном, определяется прочностью сцепления нового бетона с поверхностью старой кладки. Анализ состояния отремонтированных элементов транспортных сооружений показал, что в большинстве случаев происходит расслоение нового бетона со старым. Исследованиями установлено, что прочность сцепления нового бетона со старым определяется тремя факторами: дисперсностью и морфологией новообразований цементной системы нового бетона; состоянием (рельефом и характером пористости) ремонтируемой бетонной поверхности, а также физико-химической активностью покрывающих слоев (растительного, животного, пылевидного) старого бетона. Повышение прочности сцепления нового бетона со старым при ремонте и восстановлении транспортных сооружений возможно путем применения специально разработанной активации вяжущего [3].

Проведенный анализ существующих способов активации вяжущего показал, что для условий подводного бетонирования они практически неприменимы, тогда как предложенный способ физико-химической активации цементной системы показал высокую эффективность при проведении ремонтно-восстановительных работ. При этом полученное бетонное покрытие отличается высокой эксплуатационной стойкостью [4].

Впервые в технологии подводных бетонов при активации вяжущего использовано физическое явление кавитации, действующей на все компоненты цементной системы. В отличие от интенсификации перемешивания или пьезоэлектрического воздействия, кавитационный процесс приводит к триаде активационных воздействий на цементную систему, состоящей из диспергирования частиц цемента и вскрытия силикатных структур, поверхностной активации частиц микронаполнителя с образованием некомпенсированных структурных связей, а

также перехода жидкой фазы на высший уровень энергетического состояния. Впервые доказано, что физико-химическая активация цементной системы происходит при столкновении встречных потоков материальных частиц, находящихся в жидкой среде. При этом, как показали эксперименты, струи образуют два фронта ударных волн. Это происходит вследствие скачка уплотнения материальной среды, в которой возникает переходная область, распространяющаяся далее со скоростью, близкой к звуковой. Наложение ударных волн в жидкой среде приводит к образованию зон пульсирующего знакопеременного поля ультразвуковой частоты. Эти положения подтверждены электромагнитным методом путем анализа частотного спектра ультразвуковой природы.

Пульсирующее поле ультразвукового давления в жидкой среде затопленных струй интенсифицирует спонтанное образование кавитационного пространства вокруг частиц встречных потоков, сопровождающегося возникновением кумулятивных струй. Совокупность указанных процессов вызывает мощное кавитационное воздействие на частицы вяжущего и микронаполнителя, которое, как установлено экспериментально, приводит к диспергированию зерен цемента. Этому способствует также развитие резонансных явлений в результате совпадения частот вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний диспергируемых частиц. Созданный активационный импульс значительно превышает порог активации. Существование порога активации доказано экспериментально по изменению физико-механических характеристик, а также морфологии и состава новообразований цементного камня.

Введение в цементное тесто в процессе физико-химической активации органо-минерального комплекса (ОМК) создает предпосылки для оптимизации процесса формирования структуры цементного камня. В таком комплексе молекулы дозированного органического пластификатора прививаются к частицам неорганического компонента. В процессе физико-химической активации они равномерно распределяются и сосредотачиваются в местах подвижных агрегатных контактов пространственной структуры цементного теста и не оказывают пассивирующего влияния на процессы гидратации. Органо-минеральный комплекс обеспечивает улучшение физико-механических характеристик цементного камня и бетона [5].

Условия, создающиеся в течение физико-химической активации цементной системы, способствуют повышению физико-механических

характеристик подводного бетона и являются одной из главных причин повышения прочности сцепления нового бетона со старым. Для достижения прочного сцепления необходимы два условия: способность малого объема или слоя бетона малой толщины набирать надлежащую прочность, а также высокое качество поверхности в месте контакта нового бетона со старым. Причиной нарушения монолитной структуры бетонного слоя является недостаточная прочность сцепления наносимого слоя с материалом поверхности нанесения.

Как следует из результатов исследований, прочность сцепления нового бетона на активированном вяжущем независимо от условий твердения превышает прочность сцепления обычного бетона в возрасте 3 сут в 3,1...3,4 раза при нанесении на естественную поверхность. Этот показатель при ремонте очищенной поверхности возрастает до 4 раз. В возрасте 28 сут. прочность сцепления увеличивается практически

в 3 раза независимо от состояния поверхности нанесения. Таким образом, можно сделать вывод, что условия твердения и состояние поверхности не оказывают отрицательного влияния на величину сцепления при применении активированного вяжущего.

При производстве подводных бетонных работ особое внимание уделяется повышению коррозионной стойкости бетона. Как следует из результатов исследований, в новообразованиях цементного камня бетона на активированном вяжущем содержание свободного гидроксида кальция не превышает 3...4 %, что является необходимым условием для получения коррозионностойкого материала. При исследовании стойкости бетона подводного твердения в сульфатной среде с концентрацией  $SO_4^{2-}$  10 г/л определялось изменение прочности при сжатии образцов различной продолжительности выдерживания в агрессивной среде, а также содержание в них сульфатов (таблица).

Таблица

**Прочность бетона на активированном вяжущем при выдерживании в сульфатной среде**

Марка цемента, вид бетона и условия хранения		Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут.			$K_c$ в возрасте 180 сут.
		28	90	180	
400	Обычный, погруженные	31,3	30,2	27,1	0,77
	Обычный, переменный уровень	28,1	28,7	29,1	0,78
	На активированном вяжущем, погруженные	53,4	57,1	59,1	0,91
	На активированном вяжущем, переменный уровень	52,1	56,6	57,7	0,91
500	Обычный, погруженные	38,1	39,3	37,2	0,79
	Обычный, переменный уровень	35,1	36,9	34,8	0,78
	На активированном вяжущем, погруженные	58,6	62,5	67,3	0,92
	На активированном вяжущем, переменный уровень	58,7	61,4	64,2	0,93

При выдерживании образцов обычного бетона в сульфатной среде наблюдается снижение прочности при сжатии на 12...23 % в зависимости от продолжительности выдерживания и марки использованного портландцемента. Начиная с 38 сут. для образцов на портландцементе М400, а с 52 сут. – на портландцементе М500, на поверхности наблюдалось трещинообразование, изменялся цвет образцов в зоне сильной сульфатизации. Снижение прочности

бетона на активированном вяжущем практически незначительно и составляет 3...6 %, причем его коэффициент сульфатостойкости  $K_c$  находится в пределах 0,91...0,93. Стабилизация прочности во времени свидетельствует о преимуществе конструктивных процессов над деструктивными.

При введении активированной цементной системы в состав бетонной смеси удалось снизить открытую пористость до 8...9 % в зависи-

мости от состава. Проведенными испытаниями на водонепроницаемость ремонтного слоя бетона установлено, что бетон на активированном вяжущем отвечает марке по водонепроницаемости  $W 10 \dots 12$  в зависимости от состава.

Обобщая результаты экспериментальных исследований как прочности сцепления нового бетона со старым, так и свойств ремонтного покрытия, следует отметить существенное повышение эксплуатационных характеристик бетона на активированном вяжущем, использованного при ремонте и восстановлении транспортных сооружений.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пунагін В. М. Проектування складів гідротехнічного бетону / В. М. Пунагін, О. М. Пшінько, Н. М. Руденко. – Д.: Арт-Пресс, 1998. – 192 с.

2. Пшінько А. Н. Подводное бетонирование и ремонт искусственных сооружений. – Д.: Пороги, 2000. – 412 с.
3. Пат. 37979 А UA, МПК 7 C04B40/00. Спосіб активації в'язучої системи / О. М. Пшінько, В. М. Пунагін, Н. М. Руденко, В. О. Герасименко; Дніпропетр. держ. технічн. ун-т залізн. трансп. – № 2000052723; Заявл. 15.05.2000; Опубл. 15.05. 2001; Бюл. № 4. – 3 с.
4. Пшінько А. Н. Особенности ремонта искусственных транспортных сооружений / А. Н. Пшінько, Н. Н. Руденко // Залізн. трансп. України. – 2001. – № 2. – С. 14–16.
5. Руденко Н. Н. Тяжелые бетоны с высокими эксплуатационными свойствами. – Д.: Арт-Пресс, 1999. – 260 с.

Поступила в редколлегию 17.11.2005.