Сайфидинов Б.^{1,2}, Блиднецова М.М.¹

Исследование эффективности использования композитной системы добавок при ремонте подводных конструкций гидротехнических сооружений

¹Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина

²Российский государственный профессионально-педагогический университет
(Россия, Екатеринбург)

doi: 10.18411/trnio-01-2022-38

Аннотация

В статье рассматриваются эффективность использования модифицирующих добавок при подборе состава раствора для ремонта подводных конструкций гидротехнических сооружений. В работе особое внимание уделяется на лабораторные испытания состава смесей модифицирующих добавок и реагентов.

Ключевые слова: подводный ремонт, гидротехнические сооружения, модифицирующие добавки, композитная система, комплексный подход, вариант эффективности реконструкции.

Abstract

The article discusses the effectiveness of the use of modifying additives in the selection of the composition of the solution for the repair of underwater structures of hydraulic structures. In the work, special attention is paid to laboratory tests of the composition of mixtures of modifying additives and reagents.

Keywords: underwater repair, hydraulic structures, modifying additives, composite system, integrated approach, reconstruction efficiency option.

Все гидротехнические сооружения, отличающиеся целым рядом специфических особенностей, объединяет один существенный фактор: постоянный контакт с водой. Причем независимо от того, с чем контактирует сооружение (морская вода, пресная вода, грунтовые или сточные воды), водная среда является агрессивной по отношению к материалам, из которых построено большинство гидротехнических объектов. Основным материалом, из которого построено большинство гидротехнических объектов, является железобетон.

Ремонт железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, в зависимости от их расположения, вида и размера разрушения, производится различными способами. К ним относятся:

- локальный ремонт ручным способом в надводной зоне;
- локальный ремонт ручным способом в подводной зоне (с помощью водолазов);
- подводное механизированное бетонирование;
- ремонт с применением кессонов и плавсредств;
- капитальный ремонт с применением различной техники.

В трудах. Кавешникова Н.Т., рассматривается, традиционные методы ремонта гидротехнических сооружений в зоне переменного уровня и в подводной зоне выполняется этапами, включающими: изоляцию от доступа воды участка, подлежащего ремонту, возведением перемишки, включающей каркас и гидроизоляционный экран, осушение котлована, образованного перемишкой и поверхностью гидротехнического сооружения, и проведение ремонтных работ [6.С.228].

К сожалению, предлагаемый метод Кавешникова Н.Т. возможно применять только при небольших глубинах у гидротехнических сооружений, кроме того, высоки трудоемкость и материалоемкость работ при реализации способа.

Известен также способ ремонта подводной части гидротехнических сооружений, включающий изоляцию от доступа воды участка, подлежащего ремонту, установкой затвора,

осушение изолированной затвором поверхности гидротехнического сооружения и проведение ремонтных работ [6.С.229].

Этот способ характеризуется сложностью и продолжительностью процесса изолирования участка сооружения, подлежащего ремонту, из-за сложности стыкования затвора с поверхностью сооружения, особенно в случае больших размеров затвора и значительных эксплуатационных деформаций поверхности сооружения.

Повышение эффективности реконструкции и ремонта гидротехнических сооружений требует комплексного подхода, учитывающего производственную загруженность действующих терминалов, появление новых строительных материалов, новые требования к надежности и безопасности.

Здесь, большую роль играют материалы для ремонта. Возможность их применения под водой, без изолирования поврежденных участков и установки кессонов, значительно сокращает время подготовительных и ремонтных работ.

Выбор материала для ремонта в каждом случае достаточно индивидуален и основывается на конкретных требованиях: необходимости обеспечения морозостойкости, сульфатостойкости, водонепроницаемости, высокой прочности при конструкционном ремонте или стойкости к истиранию при высокой кавитации.

Материалы для ремонта должны обладать максимальной совместимостью с бетоном. Применяемые материалы должны быть безусадочными и иметь высокий показатель адгезии. Сами по себе высокие физико-механические характеристики ремонтного материала не являются гарантией качественного ремонта. Только сохранение композитной системы может служить основой долговечности отремонтированной конструкции. Критерием обеспечения сохранности композитной системы и является показатель адгезии [7.С.24].

Для создания ремонтных составов, отвечающих всем вышеперечисленным требованиям, необходимо применение модифицирующих добавок.

В качестве основных добавок для тиксотропного состава нами было выбрано.

1. Диабазовая мука – это продукт тонкого измельчения в шаровой инерционной мельнице кислотостойкой горной породы – диабаза. С целью повышения стойкости против агрессивной водной среды.
2. РПП – редиспергируемый полимерный порошок. При введении в сухую строительную смесь РПП, способного при диспергировании в воде образовывать водные дисперсии, аналогичные латексам, диспергация происходит в короткое время (2–10 мин). В дальнейшем, в результате связывания воды гидратирующимся цементом и при естественном высыхании, диспергированные частицы РПП агломерируются и образуют в структуре цементного камня самостоятельную полимерную фазу. Растворы, модифицированные редиспергируемыми полимерными порошками, обладают высокотехнологическими свойствами, хорошей адгезией, щелочестойкостью, гидрофобностью.
3. ПБМА (полибутилметакрилат) – бентонит, получаемый из высококачественных глин российских месторождений. Отличный структурообразователь, обладающий высокоразвитой тиксотропией. Позволяет получать растворы с низким содержанием твердой фазы.

В качестве основных добавок для литьевого состава были выбраны.

1. Доломитовая мука. Зерна молотого доломита, в отличие от острых зерен кварцевого песка, имеют кубовидную форму. Эта особенность обеспечивает улучшенную адгезию пластичной смеси к основе.
2. Диспергируемый порошок. Добавка в виде диспергируемого порошка не только увеличивает способность раствора удерживать воду и позволяет образующейся пленке препятствовать ее испарению и упрочнять материал, но и придает большую эластичность каркасу цементного раствора, снижая

при этом упругость. Органические связующие увеличивают пластичность, повышают адгезию, износоустойчивость, прочность строительных материалов.

3. Реологическая добавка. Позволяет снизить расслаиваемость смеси, предупреждает выпад осадка, управление стеканием (соскальзыванием).

В качестве минерального вяжущего использовался портландцемент ПЦ 500-Д0 по ГОСТ 10178-85 [1].

На первом этапе разработки составы оценивались по внешним показателям качества: подвижность (по ГОСТ Р 58277-2018 [2]), структура, вязкость, липкость, текучесть, расслаиваемость в воде.

На втором этапе, отобранные составы с наилучшими показателями, заливались в формы балки размером 160х40х40 мм для определения прочности на 1, 7 и 28 суток по ГОСТ 310.4-81 [3].

Результаты испытаний представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Характеристики литевых составов

Характеристики	Л1	Л2	Л3
ПЦ	400	400	400
Доломитовая мука, г/кг _{сес}	170	250	300
Диспергируемая добавка, г/кг _{сес}	0,1	0,2	0,2
Реологическая добавка, г/кг _{сес}	0,5	0,1	0,1
В/Т, г/л	0,18	0,21	0,20
Подвижность, Рк, мм	150	205	195
Описание свойств внешних показателей	Густой, низкая текучесть раствора.	Повышенная мутность воды, что говорит о расслаивании раствора.	Достаточно вязкий, стекает по стенке без помутнения воды.
Прочность $R_{сж}$, МПа			
Изгиб			
1 сут	4,16	4,72	5,65
7 сут	10,24	7,78	8,69
28 сут	8,21	6,04	8,85
Прочность $R_{сж}$, МПа			
Сжатие			
1 сут	16,0	20,7	21,5
7 сут	46,7	46,1	52,9
28 сут	60,0	53,4	61,7

Таблица 2

Характеристики тиксотропных составов

Характеристики	Т1	Т2	Т3
ПЦ	200	250	300
Диабазовая мука, г/кг _{сес}	90	90	90
РПП, г/кг _{сес}	6,0	6,0	6,0
ПБМА, г/кг _{сес}	-	10,0	12,0
В/Т, г/л	0,11	0,13	0,13
Подвижность, Рк, мм	125	120	120
Описание свойств внешних показателей	Пастообразный, в воде расслаивается, малая липкость.	Хорошо держит форму. Но жесткий.	Очень липкий, держит форму, жирный
Прочность $R_{сж}$, МПа			
Изгиб			
1 сут	3,58	4,41	5,33
7 сут	4,09	4,89	5,59
28 сут	7,97	8,03	8,24
Прочность $R_{сж}$, МПа			
Сжатие			

1 сут	10,4	18,5	29,2
7 сут	34,5	43,8	57,2
28 сут	42,4	50,7	60,1

Из представленных составов был выбран один, с наилучшими показателями, для третьего этапа испытаний на морозостойкость по ГОСТ 10060-2012 [4] и водонепроницаемость по ГОСТ 12730.5-2018 [5].

Результаты испытаний по водонепроницаемости представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3

Результаты испытаний литьевого состава

Наименование	№ образца	Максимальное давление воды, при котором не произошло фильтрации воды через образец	Водонепроницаемость серии образцов	Марка бетона по водонепроницаемости
		МПа	МПа	
1	2	3	4	5
ЛЗ	1	1,4	1,4	W14
	2	1,4		
	3	1,4		
	4	1,4		
	5	1,4		
	6	1,4		

Таблица 4

Результаты испытаний тиксотропного состава

Лаб. №	№ образца	Максимальное давление воды, при котором не произошло фильтрации воды через образец	Водонепроницаемость серии образцов	Марка бетона по водонепроницаемости
		МПа	МПа	
1	2	3	4	5
ТЗ	1	1,4	1,4	W14
	2	1,4		
	3	1,4		
	4	1,4		
	5	1,4		
	6	1,4		

Результаты испытаний по морозостойкости представлены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5

Результаты испытаний литьевого состава

Наименование показателя	Обозначение	Ед. изм.	Средние значения показателей
1	2	3	4
Плотность до насыщения ¹⁾	ρ	кг/м ³	2179
Прочность при сжатии контрольных образцов после насыщения	X^I	МПа	59,2
После 15 циклов замораживания-оттаивания по 3 (ускоренному) методу основных образцов			
Уменьшение массы	Δm	%	0,0
Прочность при сжатии	X^{II}	МПа	57,0
Нижняя граница доверительного интервала прочности при сжатии			
- для контрольных образцов	$X_{min}(I)$	МПа	41,8 (с учётом $k=0,9$)
- для основных образцов	$X_{min}(II)$	МПа	42,4

Таблица 6

Результаты испытаний тиксотропного состава

Наименование показателя	Обозначение	Ед. изм.	Средние значения показателей
1	2	3	4
Плотность до насыщения ¹⁾	ρ	кг/м ³	2112
Прочность при сжатии контрольных образцов после насыщения	X^I	МПа	41,3
После 15 циклов замораживания-оттаивания по 3 (ускоренному) методу основных образцов			
Уменьшение массы	Δm	%	-0,2
Прочность при сжатии	X^{II}	МПа	46,0
Нижняя граница доверительного интервала прочности при сжатии			
- для контрольных образцов	$X_{min}(I)$	МПа	22,5 (с учётом $k=0,9$)
- для основных образцов	$X_{min}(II)$	МПа	31,4

По окончании всех испытаний можно сделать вывод, что при разработке состава смеси необходимыми качествами важно не только само наличие модифицирующей добавки, сколько правильно подобранное ее содержание.

Так, при одинаковом количестве портландцемента в трех вариантах литьевого состава, наилучшие показатели были достигнуты при введении 0,025 % (от массы цемента) реологической добавки, что позволило снизить расслаиваемость смеси в воде. Ввод 0,05 % диспергируемого порошка позволило увеличить прочность цементного камня на 34 % при сжатии, в условиях твердения в воде, уже на первые сутки.

При добавлении в тиксотропный состав 4 % ПБМА визуально было заметно улучшение вязкости и липкости материала.

Благодаря не однократным лабораторным испытаниям нам удалось подобрать добавки и их количества, где была достигнута требуемая марка по водонепроницаемости W14 в обоих составах. Это дало возможность достигнуть высокой способности материала противостоять воздействию воды.

Образцы выдержали 15 циклов замораживания-оттаивания, что соответствует марке по морозостойкости F₁₅₀₀.

По своим физико-химическим характеристикам разработанные составы соответствуют требованиям, предъявляемым к этим видам строительных материалов, а по некоторым показателям значительно их превышают.

Затвердевшие строительные растворы на основе разработанных составов характеризуются высокой водонепроницаемостью, морозостойкостью. Низкой расслаиваемостью, что облегчает их применение под водой, т.к. нет замутнения воды.

1. ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
2. ГОСТ Р 58277-2018 Национальный стандарт Российской Федерации. Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний"
3. ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии.
4. ГОСТ 10060-2012 Межгосударственный стандарт бетоны Методы определения морозостойкости.
5. ГОСТ 12730.5-2018 Межгосударственный стандарт бетоны Методы определения водонепроницаемости.
6. Кавешникова Н.Т. Эксплуатация и ремонт гидротехнических сооружений. - М.: ВО "Агропромиздат", 1989, с.244
7. ООО «БАСФ Строительные системы» Особенности ремонта гидротехнических сооружений // Ценообразование и сметное нормирование в строительстве, 2009. №9 С.22-24