



ПОВЫШЕНИЕ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ И АДГЕЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СТЫКОВ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛАВСООРУЖЕНИЙ

Мишутин А.В., Шинкевич Е.С., Тертычный А.А.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Постановка проблемы в общем виде. Одним из уязвимых элементов сборно-монолитных железобетонных плавсооружений являются стыки. По Лисканову А. А. [1] надёжность и долговечность стыков обеспечивается их собственной водонепроницаемостью и в не меньшей – адгезионными свойствами.

Полученные Мишутиним А. В. [2] для гидротехнических и плавучих сооружений зависимости практически соответствуют общим вариантам изменения функционального состояния бетона по адаптивной теории Чернявского В. Л. [3] можно сделать вывод, что для конструкций плавсооружений, испытывающего напорное действие, долговечность определяется водонепроницаемостью, для надводных же частей сооружений – морозостойкостью бетона.

В работах Бабушкина В. И. [4, 5] и Горчакова Г. И. [6] долговечностью называется свойство объекта сохранять работоспособность до наступления граничного состояния при установленной системе технического обслуживания и контроля. По Штарку И. [7] под долговечностью понимается, что строительные элементы из бетона при достаточном уходе в течении предусмотренного срока службы устойчивы ко всем воздействиям.

По определению Ратинова В. Б. и Добролюбова Г. [8], долговечность в строительстве – это способность зданий и сооружений служить длительное время в реальных условиях воздействия внешней среды.

В ДСТУ-НБА.1.1.78.2007 [9] дается также определение: долговечность – это свойство на протяжении установленного или длительного времени не разрушаться или терять прочность. Согласно немецкому DIN 1045, долговечность наружных железобетонных строительных элементов означает, что в течении всего предусмотренного срока службы, арматурная сталь остается в защищенной от коррозии щелочной среде. Таким образом применительно к бетону, конструкциям и сооружениям, термин долговечность по Плугину А. А. можно рассматривать по разному [9]. По мнению Мишутина А. В. [2], обобщив все определения и исключив некоторые нечетко задаваемые понятия, долговечность материала можно охарактеризовать как способность сохранять свою основную конструктивную функцию на протяжении заданного срока в заданных условиях эксплуатации с учетом наиболее вероятных деструктивных воздействий среды.

Исходя из существующих методик следует, что принимаемая марка бетона по водонепроницаемости характеризуется своей относительной качественной стороной, а основным недостатком ГОСТов является отсутствие количественной связи между марками по водонепроницаемости и принятой в настоящее время многими НИИ абсолютной количественной характеристикой – коэффициентом фильтрации.

Для плавучих сооружений критическими являются любые, даже минимальные течи. Испытания бетонных образцов на водонепроницаемость недостаточно выявляют изменение структуры бетона во времени под воздействием фильтрующейся воды. Поэтому результаты этих испытаний не позволяют вскрыть действительный механизм фильтрации воды через бетон.

Анализ публикаций и последних достижений, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешённых ранее частей общей проблемы. Вопросы повышения прочности и адгезионной стойкости бетона рассматриваются во многих литературных источниках, например в книгах [2, 9, 19]. Анализ содержания указанных источников показывает, что данная проблема проработана ещё недостаточно полно.



Обобщая результаты многочисленных исследований в данной области были сделаны следующие выводы:

- наибольшее влияние на прочность адгезии оказывают условия ухода за бетоном;
- в условиях влажного хранения образцов прочность адгезии значительно выше, чем при нормальном хранении. Прочность на изгиб в условиях нормального хранения снижалась на 25% по сравнению с влажным хранением;
- прочность сцепления на срез давала снижение на 47%, составляя от монолита 40%. Такое снижение прочности является следствием резкого увеличения усадки бетона в условиях сухого хранения;
- влияние времени перерыва в бетонировании сказывается незначительно. Некоторое снижение прочности сцепления, порядка 12%, наблюдалось при семи сутках перерыва в бетонировании, по сравнению с 6-часовым перерывом.

Таким образом исследование вопросов повышения водонепроницаемости и адгезионной стойкости стыков сборно – монолитных железобетонных плавучих сооружений является весьма актуальной.

Формулирование целей статьи и постановка задачи. Цель статьи – исследование способов снижения пористости композита и проницаемости бетона для повышения адгезии при ремонте стыков.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов. Для исследования прочности сцепления «старого» бетона с «новым» было поставлено несколько опытов. Изготавливалась серия бетонных образцов-кубов размером 10х10х10 см, эталонные образцы из монолитного бетона 10х10х10 см.

Из одного замеса были забетонированы образцы-кубы в металлических формах 10х10х10 см и эталонные образцы. Для прибетонирования использовался тот же состав бетона. Подвижность бетонной смеси составляла 17см.

Для изготовления указанных образцов металлические формы заполнялись бетонной смесью до половины своей высоты и вибрировались в течении 30 сек. на лабораторной виброплощадке. Распалубка эталонных образцов производилась в возрасте двух суток. Дальнейшее твердение изготовленных половинок образцов и их хранение осуществлялось в помещении с относительной влажностью воздуха 90% и температурой +20°C.

Для удаления цементной плёнки в возрасте бетона 28 дней верхняя поверхность указанных образцов обрабатывалась различными способами.

В работе проанализированы следующие способы удаления цементной плёнки:

- удаление цементной плёнки рулонными адсорбирующими материалами (поролон, ткань, мешковина);
- удаление цементной плёнки адгезионно-адсорбционными материалами (доски, металл, бетонные плиты);
- нанесение промежуточного слоя, препятствующего образованию цементной плёнки;
- укладка на поверхности бетонного стыка защитного покрытия, оставляемого в теле бетонного стыка и препятствующего образованию цементной плёнки.

Далее производилось прибетонирование второй половины образца и уплотнение бетона на виброплощадке в течении 30 сек.

После достижения прибетонированным слоем бетона и бетоном кубов-эталонных 28-дневного возраста образцы испытывались на раскалывание и водонепроницаемость по стыку и монолиту.

Результаты испытаний на растяжение методом раскалывания при различных способах подготовки шва образца приведены в табл. 1.



Испытание на раскалывание осуществлялось на прессе мощностью 15 т с помощью двух круглых металлических стержней диаметром 10 мм, которые были установлены вдоль стыка образца.

Для оценки качества стыка, подготовленного различными способами, принята прочность на раскалывание, выраженная в процентах по отношению к прочности эталона, т.е. образца, не имеющего шва того же состава, что и прибетонированная часть. Как видно из диаграмм на рисунке 1, наилучшие результаты по адгезии получены при использовании металлической щётки и раствора С-3.

Таблица 1 – Результаты испытания на раскалывание

Способ подготовки шва образца	Условия хранения	Разрушающая нагрузка при раскалывании, кг	Прочность на раскалывание по отношению к монолиту, %
Монолит (без шва)	Вода	2650	100,0
Без обработки (с цементной плёнкой)	Вода	965	22,0
Раствор С-3 и металлическая щётка	Вода	1595	53,0
Деревянная доска	–	4600	18,0

Сопоставление различных способов подготовки бетонных поверхностей по прочности на раскалывание шва-контакта приведено на рисунке 1.

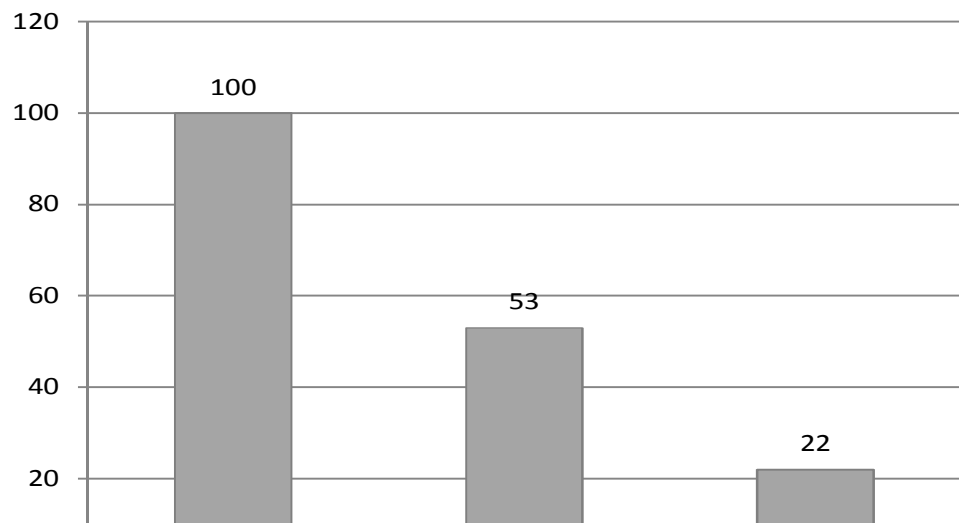


Рисунок 1 – Влияние способа подготовки бетонных поверхностей на прочность контакта

Повышение водонепроницаемости стыков. На втором этапе исследований осуществлялось испытание на водонепроницаемость по стыку путём повышения давления ступенями по 1 кг/см² через каждые 4 часа (ГОСТ 12730.5-84) Оценка качества стыка на водонепроницаемость производилась сравнением с эталоном.

Оценка водонепроницаемости по стыку проводилась по появлению тёмных пятен при давлениях воды 5,10,20 и 30 кг/см². Давление повышается ступенями по 5 кг/см² через каждые 4 часа.

Определение водонепроницаемости по монолиту проводилось по методу мокрого пятна (ГОСТ 12730.5-84), на образцах цилиндрах d=150 мм.

Результаты испытаний на водонепроницаемость показали, что бетон класса В35 непроницаем для воды при давлении 10 кг/см² по монолиту и по стыковому соединению, выполненному с насечкой и последующей промывкой водой, а также состав с нанесенным слоем эпоксидной смолы ЭД-5. Наибольшую прочность и водонепроницаемость по стыку имеют бетонные образцы, стык которых подвергался насечке с последующей промывкой



водой, а также стык, который подвергался насечке с последующим покрытием коллоидного клея.

Маркировка образцов, способы обработки приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Маркировка образцов, способы обработки

№ состава	Маркировка образца	Технология обработки поверхности образца перед бетонированием второго слоя	Прочность по стыку на растяжение, кг/см ²	Прочность по стыку на растяжение в % от монолита
1	МП	Монолит второго слоя бетона (эталонный образец)	30	100
2	МП1	Монолит первого слоя бетона (эталонный образец)	31,3	103
3	Н88	Насечка и один слой клея 88 за 15 минут перед бетонированием	3,7	12
4	88	Один слой клея 88 за 15 минут перед бетонированием	4,2	14
5	НС	Насечка, один слой эпоксидной смолы ЭД-5, через 3 часа бетонирование	5,7	29
6	С	Один слой эпоксидной смолы ЭД-5, через 3 часа бетонирование	2,9	20
7	НД	Насечка и два слоя клея ДОННИ через каждые 10 минут	11,9	53
8	Д	Два слоя клея ДОННИ через каждые 10 минут	9,6	32
9	Н+КК	Насечка и за 15 минут перед бетонированием один слой коллоидного клея	19,8	53

При определении водонепроницаемости по стыку бетонных образцов толщиной 30, 50 и 100 см были использованы следующие два способа обработки стыка: насечка с последующей промывкой водой и насечка с последующим покрытием эпоксидной смолой ЭД-5.

Вторые половинки образцов высотой 50 и 100 см бетонировались также бетоном класса В40. Образцы изготавливались в металлических формах диаметром 150 мм.

Внешний вид образцов после заполнения бетоном половины металлической формы обозначен на рисунке 2.

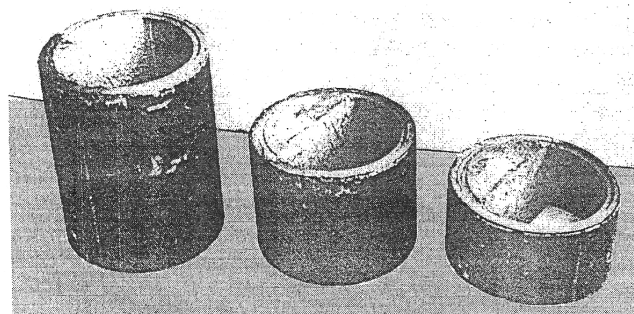


Рисунок 2 – Изготовление образцов-дисков для последующего испытания на водонепроницаемость швов



Влияние структуры на водонепроницаемость бетонов. Способы регулирования. Основным структурным показателем, обеспечивающим долговечность судостроительных бетонов, является их пористость. В структуре бетона сочетаются тонкодисперсная часть (гелевая составляющая цементного камня) и крупные поры с размером сечений в десятые доли миллиметра и более [14]. Крупные поры и каналы обладают во много раз более высокой проницаемостью. Таким образом, основным структурным показателем, определяющим проницаемость и морозостойкость бетона, можно считать размер пор [15]. Однако существует взаимосвязь между общей величиной пористости, показателями проницаемости и морозостойкости бетона [9,11].

Исследовалась величина открытой пористости материала по величине максимального водопоглощения (ДСТУ Б В.2.7-51-96, ГОСТ 10060-95). По ЭС-модели, описывающей влияние количества портландцемента, добавок С-3 и Пенетрона А на открытую пористость материала (% по объёму), построены диаграммы, которые показаны на рисунке. На рисунке 3 показано влияние количества цемента и Пенетрона А (при зафиксированном содержании С-3 в количестве 0.8%).

Как видно из диаграмм, наименьшую пористость имеют составы с количеством цемента около 750 кг/м^3 и с максимальным содержанием модификатора Пенетрон А. Однако следует отметить, что введение добавки Пенетрон А снижает открытую пористость материала не более чем на 7-8%. Таким образом, можно предположить, что действие добавки складывается не только в коагуляции (заполнении трещины и пор), но и в перераспределении формы и размеров пор и «лечении» трещин и капилляров. То есть в снижении преимущественно не общей, а «эффективной» пористости [19].

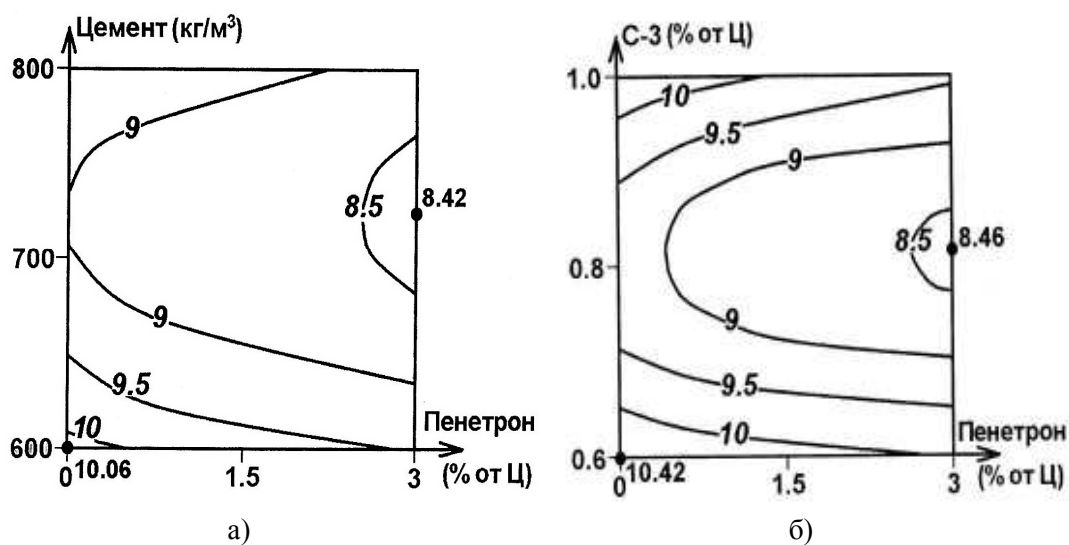


Рисунок 3 – а) влияние количества портландцемента и Пенетрона А на открытую пористость бетона (% по объёму); б) влияние количества С-3 и Пенетрона А на открытую пористость бетона (% по объёму)

На рисунке 3 показано влияние количества Пенетрона А и суперпластификатора С-3 на открытую пористость (для состава со средним количеством цемента, 600 кг/м^3). Анализ данной диаграммы позволяет заключить, что за счёт оптимального введения С-3 (0.8.-0.82%) возможно снизить пористость композита из смесей равной подвижности на 12-15%. Это объясняется тем, что составы с таким дозированием суперпластификатора имели самый низкий уровень В/Ц и, соответственно, самую плотную структуру.

Введение в состав композита 3% Пенетрона А снижает открытую пористость на 1-2% по объёму, что составляет 10-12% от общей пористости. Этот факт также подтверждает предположение, что действие добавки складывается не только в коагуляции пор, но и в перераспределении их формы, размеров и «лечении» трещин и капилляров, то есть в снижении «эффективной пористости». Этот вывод совпадает с данными о механизме снижения проницаемости бетона, который обоснован во многих



исследованиях [7, 11, 12]. Зерновой состав песка существенно влияет на пористость материала: композиты из мелкого песка имеют открытую пористость на 50-55% выше, чем композиты из крупного песка или смесей песков с преобладанием крупного.

Показано, что водонепроницаемость бетонов также зависит от зернового состава песка и содержания добавки Пенетрон А.

Водонепроницаемость бетонов из песка с модулем крупности около двух повышается при введении 3% Пенетрона более чем в два раза. Это можно признать весьма важным фактором, учитывая преобладание в Украине месторождений мелкого песка.

Анализируя влияние зернового состава песка, можно сказать, что бетоны, не модифицированные Пенетроном на мелком заполнителе, имеют уровень водонепроницаемости в 2-2.5. раза ниже, чем бетоны на крупном заполнителе. Но для составов с максимальным дозированием Пенетрона менее чувствуется влияние вида песка – уровень W изменяется в зависимости от заполнителя не более чем в 1.5. раза. Максимальную же водонепроницаемость имеют составы бетонов из смеси песков, в которых соотношение мелкого и крупного песка находится на уровне около 1/6. Это объясняется тем, что подобные составы имеют самую плотную структуру за счёт оптимальной упаковки зёрен заполнителя. Таким образом, подобные составы рекомендуются для производства и восстановления бетонных конструкций плавучих сооружений.

Далее проведены исследования по влиянию зернового состава песка и количества Пенетрона А на структуру.

Это объясняется высоким уровнем В/Ц высокоподвижных смесей при использовании мелкого песка. Также важно отметить, что минимальную пористость имеют составы, аналогичные тем, которые показывали максимальные значения водонепроницаемости и морозостойкости: с соотношением мелкого и крупного песка около 1/6. Как отмечалось выше, это объясняется соотношением песков при котором достигается самая плотная упаковка зёрен заполнителя.

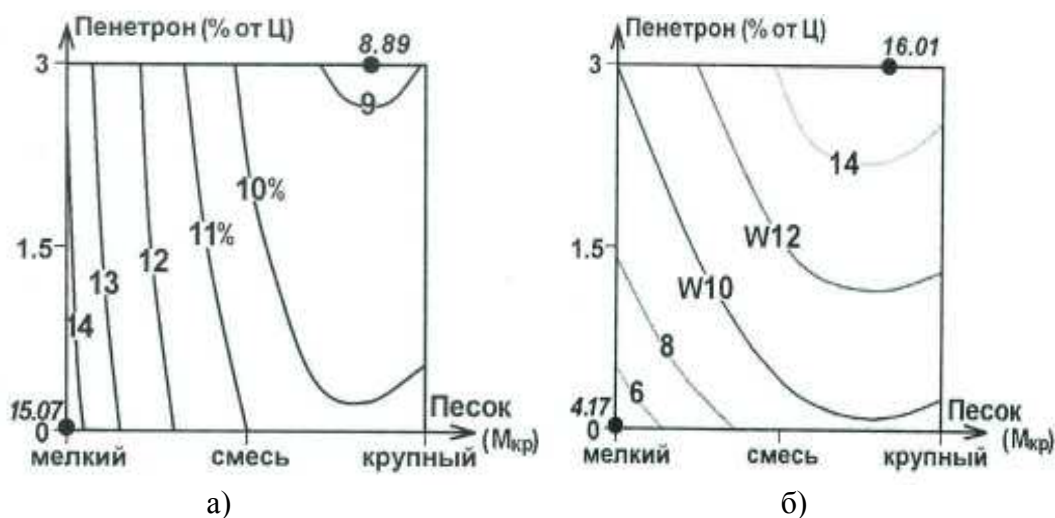


Рисунок 4 – а) влияние зернового состава песка и количества Пенетрона А на открытую пористость бетона (% по объёму); б) влияние зернового состава песка и количества Пенетрона А на водонепроницаемость бетона (10^5 Па)

Выводы и предложения. Наиболее эффективным методом повышения адгезии является увеличение площади сцепления между «старым» и «новым» бетоном за счёт снятия цементной плёнки металлическими щётками и промывки поверхности «старого» бетона. Так применение раствора С-3 и металлической щётки позволяет достичь 53% прочности шва от прочности монолитного бетона.

Показано, что водонепроницаемость стыка также улучшается после нанесения на поверхность насечек, промывки водой с последующим нанесением коллоидного клея.

Так, прочность по стыку на растяжение такого шва составляет 56% от монолита.



Проанализировано влияние структуры и состава бетонной смеси на водонепроницаемость. Способы регулирования.

Основной структурной характеристикой является открытая пористость. Величину открытой пористости можно регулировать с помощью кольматирующей добавки Пенетрон А и С-3. Так кольматирующая добавка Пенетрон А снижает открытую пористость на 7-8%. Эта добавка способствует кольматации, перераспределению размеров пор и «залечиванию» трещин и капилляров.

Проанализировано влияние зернового состава песка и количества Пенетрона А на водонепроницаемость и открытую пористость. Показано, что за счёт применения комплексного модификатора, включающего кольматирующую добавку Пенетрон А и суперпластификатор, общая величина открытой пористости бетонов снижается на 15-20%, а водонепроницаемость увеличивается в 1.5. – 10 раз.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисканов А. А. Как повысить водонепроницаемость сборных элементов оросительных каналов / А. А. Лисканов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2000. – № 6. – С. 23-25.
2. Мишутин А. В. Повышение долговечности и водонепроницаемости стыков сборно-монолитных железобетонных конструкций / А. В. Мишутин // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Випуск № 2. – Одеса : Місто майстрів, 2000. – С. 115-123.
3. Чернявский В. Л. Адаптация бетона / В. Л. Чернявский – Днепропетровск : Нова ідеологія, 2002. – 216 с.
4. Бабушкин В. И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона / В. И. Бабушкин. – М. : стройиздат, 1968. – 187с.
5. Бабушкин В. И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа / В. И. Бабушкин. – Харьков : Вища школа, 1989. – 168 с.
6. Горчаков Г. И. Основы стандартизации и управления качеством продукции промышленности строительных материалов / Г. И. Горчаков, Э. Г. Муратов. – М. : Высшая школа, 1987. – 333 с.
7. Штарк И. Долговечность бетона / И. Штарк, Б. Вихт. Перев. с нем. ; А. Тулаганова, под ред. П. Кривенко. – К. : Оранта, 2004. – 311 с.
8. Добролюбов Г. Прогнозирование долговечности бетона с добавками / Г. Добролюбов, В. Б. Ратинов, Т. И. Розенберг. – М. : Мтрройиздат, 1983. – 212с.
9. ДСТУ-Н. 1.1.-78.2007 «Настанова. Долговічність за директивою стосовно будівельних виробів».
10. Плугин А. А. Долговечность бетона и железобетона в обводнённых сооружениях : коллоидно-химические основы. Дис. на соискание уч. степени д.т.н. по спец 05.23.05 / Плугин Андрей Аркадиевич. – Харьков, 2005. – 426 с.
11. Пшінько О. М. Підводне бетонування та ремонт штучних споруд / О. М. Пшінько. – Дніпропетровськ : Пороги, 2000. – 411 с.
12. Бетоны для постройки морских сооружений // Технология судостроения. – 1991. – № 1. – С. 42-43.
13. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузеев – М. : Стройиздат, 1980. – 535 с.
14. Мазур В. М. О влиянии структуры бетона на его морозостойкость при низких отрицательных температурах. Структура прочность и деформации бетонов / В. М. Мазур. – М. : Стройиздат, 1966. – С. 204-210.
15. Мишутин А. В. Исследование структурных характеристик модифицированных бетонов / А. В. Мишутин, Н. В. Мишутин // Вісник Одеського національного морського університету. – 2003. – № 10. – С. 221-225.



16. Мишутин А. В. Структура – основа долговечности бетона / А. В. Мишутин, Н. В. Мишутин // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Випуск 17. – Одеса : ОДАБА, 2005. – С. 279-286.
17. Шейкин А. Е. Структура, прочность и трещиностойкость цементного камня / А. Е. Шейкин. – М. : Стройиздат, 1974. – 191 с.
18. Шейкин А. Е. Структура и свойства цементных бетонов / А. Е. Шейкин, Ю. В. Чеховский, М. И. Бруссер. – М. : Стройиздат, 1979. – 344с.
19. Мишутин А.В. Повышение долговечности бетонов морских железобетонных плавучих и стационарных сооружений / А. В. Мишутин, Н. В. Мишутин // Одесская гос. академия строительства и архитектуры. – Одесса : Эвен, 2011. – 292 с.

Мишутін А.В., Шинкевич Є.С., Тертичний А.А. ПІДВИЩЕННЯ ВОДОНЕПРОНИКНОСТІ І АДГЕЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ СТИКІВ ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛАВСПОРУД

У роботі авторів показано, що найбільш ефективним методом підвищення адгезії є збільшення площі зчеплення між «старим» та «новим» бетоном за рахунок нанесення насічок на поверхні «старого» бетону. У роботі констатується, що результати досліджень показали найбільшу міцність на водонепроникність вздовж стику тих бетонних зразків, стик яких піддавався насічці з промиванням водою, потім покривався епоксидною смолою ЕД-5 і активувався сумішами. З роботи видно, як за рахунок запропонованих авторами технологічних методів отримані необхідні результати застосування спеціальних поліфункціональних комплексних модифікаторів, що включають суперпластифікатор, кольматуючу домішку і наповнювачі. Такий модифікатор при застосуванні раціональної кількості домішок і наповнювачів покращує комплекс фізико-механічних характеристик, які забезпечують високу водонепроникність і довговічність бетону.

Ключові слова: адгезія, водонепроникність стику, цементна плівка, зворотня пористість, насічки, суперпластифікатор.

Mishutin A.V. Shinkevich E.S., Tertychnyi A.A. THE WATER RESISTANCE AND ADHESION RESISTANCE IMPROVEMENT OF THE JUNCTIONS OF PRECAST AND CAST-IN-SITU FERROCONCRETE FLOATING CONSTRUCTIONS

In this paper the authors show that the most effective method of improving the adhesion is to increase the area of engagement between "old" and "new" concrete by applying notches on the surface of the "old" concrete.

The paper states that tests have shown the greatest strength for water resistance on the junction of those concrete samples where junction was notched up with running water, and then covered with epoxy resin ED-5 and activated by mixtures.

The paper evidences that due to technological methods proposed by the authors the necessary results were obtained on the usage of special multifunctional complex modifiers, including super plasticizer, bridging supplements and fillers. This modifier when applying rational amounts of additives and fillers improves the range of physical and mechanical characteristics that provide high water resistance and durability of concrete.

Keywords: adhesion, water resistance of the junction, the cement film, reverse porosity, notch, super plasticizer.