

УДК 626.8:666.97.033.3

УХОД ЗА БЕТОНОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛЕНКИ ПРИ РЕМОНТЕ И ВОССТАНОВЛЕНИИ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д.С. ДУБЯГО

(Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки)

Исследуется вопрос по уходу за бетоном с использованием пленки при ремонте и восстановлении бетонных и железобетонных конструктивных элементов.

На основе проведенных производственных проверок были составлены рекомендации по применению разработанных методов ухода за бетоном, объединенных общим принципом: «приклеивание полиэтиленовой пленки». Осуществлять уход за бетоном по разработанным методам рекомендуется при производстве небольшого объема бетонных работ и при небольших площадях ремонтируемых или восстанавливаемых бетонных или железобетонных участков. Показано, что уход за бетоном путем приклеивания полиэтиленовой пленки к поверхности бетона с использованием полимерного раствора на основе полимерной композиции «Клей универсальный “Бустилат-М”» имеет ряд преимуществ и достоинств в сравнении с общепринятым способом путем укрытия бетона пленкой прижимая ее края.

Введение. Республика Беларусь обладает огромным потенциалом плодородных мелиорированных земель. Общая площадь мелиорированных земель составляет около 15,5 % территории. Неотъемлемую часть мелиоративных и водохозяйственных систем составляют гидротехнические сооружения. По результатам инвентаризации мелиоративных систем Республики Беларусь в силу различных причин в полностью исправном состоянии находится только 54666, или 62,2 %, гидротехнических сооружений.

Производство ремонтно-восстановительных работ бетонных и железобетонных конструктивных элементов гидротехнических сооружений имеет свою специфику – удаленность рассредоточенного по большой территории небольшого объема бетонных работ с использованием гидротехнического бетона различных марок и составов.

Основная часть. Для проведения ремонтно-восстановительных работ потенциально возможно использовать ряд строительных материалов. Их можно условно разделить на 3 основные группы:

- полимерцементные бетоны и растворы;
- полимербетоны;
- гидротехнический бетон различных марок и составов.

В настоящее время гидротехнический бетон – основной строительный материал для строительства, ремонта и восстановления бетонных и железобетонных конструктивных элементов гидротехнических сооружений. Основная причина этого – доступность компонентов бетона, разработанность и освоенность технологии ремонта с его применением, относительно невысокая удельная стоимость, приемлемые физико-механические свойства получаемого конечного продукта.

Значительная часть объемов бетонных работ производится в теплый период года (отсутствие необходимости обогрева свежесуложенного бетона или использования «теплых опалубок»). Без качественного и полного ухода за бетоном невозможно достижение им всех физико-механических показателей в проектные сроки, заложенных в бетонную смесь при ее приготовлении. Уход за свежесуложенным бетоном заключается в создании наиболее благоприятных температурно-влажностных условий для его твердения и нарастания прочности, а также предотвращения значительных температурно-усадочных деформаций и образования трещин.

Так как повреждения бетонных и железобетонных конструктивных элементов имеют место на различно ориентированных в пространстве поверхностях (горизонтальной, вертикальной и т.д.) и носят, как правило, локальный характер, то использование традиционных методов ухода за бетоном при его твердении практически невозможно или затруднено (рис. 1). В настоящее время сложилась острая необходимость в обеспечении проведения качественного ухода за бетоном без принципиального изменения состава технологических мероприятий по ремонту бетонных и железобетонных конструктивных элементов, без привлечения дополнительных машин и механизмов, с использованием доступных материалов. Всем вышеуказанным требованиям удовлетворяют разработанные и исследованные методы ухода за бетоном, объединенные общим принципом: «приклеивание полиэтиленовой пленки». Разработанные методы ухода имеют ряд преимуществ и достоинств в сравнении с общепринятыми методами ухода за бетоном путем укрытия его пленкой, прижимая ее края. Основное достоинство разработанных методов – обеспечение плотного прилегания приклеенных краев или всей поверхности полиэтиленовой пленки к поверхности бетона или раствора. Это принципиально обеспечит герметичность поверхности уложенного бетона или раствора и не допустит вентиляции их поверхности.

Разработанные методы ухода можно принципиально разделить на две группы:

- уход, при котором пленка приклеивается к прилегающей поверхности;
- уход, при котором пленка приклеивается к прилегающей поверхности и к поверхности уложенного бетона.



Рис. 1. Уход за бетоном колонны путем укрытия ее полиэтиленовой пленкой

Примечание. Через 2-е суток из-за воздействия ветра пленка на углу колонны с правой стороны порвалась; визуально открытый угол колонны имеет признаки обезвоживания бетона (после удаления пленки было зафиксировано (визуально), что и другие углы также имеют признаки обезвоживания бетона). В верхней и нижней части колонны пленка не плотно прилегает к поверхности бетона, поверхность бетона – сухая.

Цель ухода по методу «приклеивание полиэтиленовой пленки к прилегающей поверхности» (рис. 2, а) – обеспечение первичного и вторичного безвлажностного ухода за бетоном. При уходе за бетоном по этому методу полиэтиленовая пленка приклеивается к поверхности прилегающего к ремонтруемому участку нормального, не требующего ремонта, бетона. После достижения возраста, при котором деструктивное воздействие влагопотерь не оказывает влияния на свойства бетона, пленка удаляется.

Цель ухода по методу «приклеивание полиэтиленовой пленки всей поверхностью» (рис. 2, б) – обеспечение вторичного безвлажностного ухода за гидротехническим бетоном, за поверхностью которого уже производился первичный уход (кроме случая покрытия полимерными пленкообразующими веществами). Сущность этого метода заключается в приклеивании пленки всей поверхностью – к поверхности уложенного бетона (ремонтруемого участка) и к прилегающей бетонной поверхности. После достижения возраста, при котором деструктивное воздействие влагопотерь не оказывает влияния на свойства бетона, пленка удаляется.

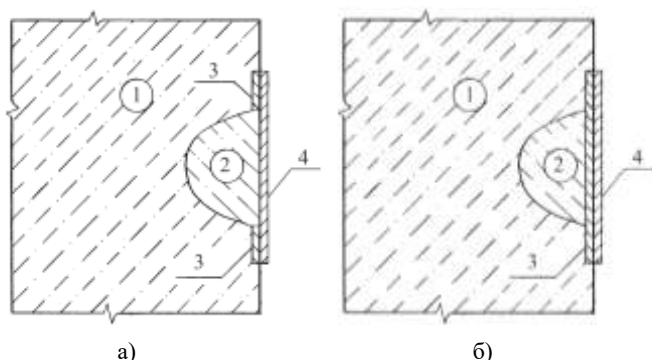


Рис. 2. Принципиальные схемы ухода за бетоном по методу:

- а – «приклеивание полиэтиленовой пленки к прилегающей поверхности»;
- б – «приклеивание полиэтиленовой пленки всей поверхностью»;
- 1 – существующий «нормальный» бетон;
- 2 – уложенный бетон;
- 3 – поверхность приклеивания;
- 4 – полиэтиленовая пленка

Возможна также последующая засыпка пленки грунтом, т.е. уход за бетоном по методам «приклеивание... на весь срок эксплуатации».

Для приклеивания пленки рекомендуется использовать полимерную композицию на основе латекса синтетического типа СКС 65ГП и натрий карбометилцеллюлозы технической марки КМЦ, которая имеет торговую марку «Клей универсальный “Бустилат-М”» или ее водные растворы. Вышеуказанный клей широко распространен, имеет относительно не высокую стоимость; относится к 4 классу опасности.

При его использовании не требуется применение специальных индивидуальных средств защиты, кроме общепринятых при производстве бетонных работ. Клей – не горюч. Все вышеуказанное позволяет его беспрепятственно использовать на строительной площадке.

При приклеивании пленки к поверхности уложенного бетона происходит взаимодействие бетона и полимерной композиции, поэтому были проведены опыты по определению влияния на бетон использованной для приклеивания пленки полимерной композиции производства ОАО «БЗБХ» (Республика Беларусь, г. Брест) и ее водных растворов. Согласно данным рецептуры, вес всех твердых компонентов полимерной композиции «Клей универсальный “Бустилат-М”» соответствует 0,374 кг/л, что соответствует концентрации 37,4 %. Водные растворы полимерной композиции (полимерные растворы) получались путем добавления в полимерную композицию требуемого количества воды и последующего перемешивания. В опытах использовался мелкозернистый гидротехнический бетон, приготовленный из бетонной смеси БСГМЗ П1 В25 F200 W4-СТБ 1035-96. Полиэтиленовая пленка приклеивалась ко всем поверхностям бетонных образцов размерами 10×10×10 см. Образцы помещались в отдельные плотно облегающие полиэтиленовые герметичные пакеты. В качестве контрольных образцов использовались образцы бетона, твердевшие до момента испытаний в условиях, полностью исключавших потери влаги – в плотнооблегающих герметично закрытых полиэтиленовых пакетах. Эти условия имитировали оптимальный безвлажностный уход. На приведенных зависимостях их средняя прочность ($R_{норм}$) принималась за 100 %. Относительная средняя прочность образцов определялась путем деления средней прочности испытываемых образцов (R) на прочность контрольных образцов ($R_{норм}$). Для сравнения серии образцов твердели в тех же воздушно-сухих условиях, что и испытываемые образцы.

Первоначально были проведены опыты по определению влияния полимерной композиции и ее водных растворов на прочность бетона при малых сроках их взаимодействия – 11...13 суток, т.е. при уходе за бетоном по методу «приклеивание полиэтиленовой пленки ко всей поверхности». При проведении экспериментов дискретно изменялись:

- прочность бетона, при которой пленка приклеивалась к поверхности образцов бетона через изменение возраста образцов при распалубливании в диапазоне 1, 2, 3-х суток;
- концентрация полимерных растворов: 37,4; 24,9; 18,7; 15; 12,5 %;
- количество повторных покрытий (0 или 1 покрытие) той же концентрации, что и концентрация первого покрытия.

Для исключения деструктивного воздействия испарения воды с поверхности бетона образцы бетона извлекались из полиэтиленовых пакетов в возрасте 14-ти суток с момента изготовления образцов, т.е. после гарантированного достижения бетоном критической прочности относительно деструктивного воздействия влагопотерь. Результаты испытаний образцов на осевое сжатие в возрасте 28-ми суток приведены на рисунке 3.

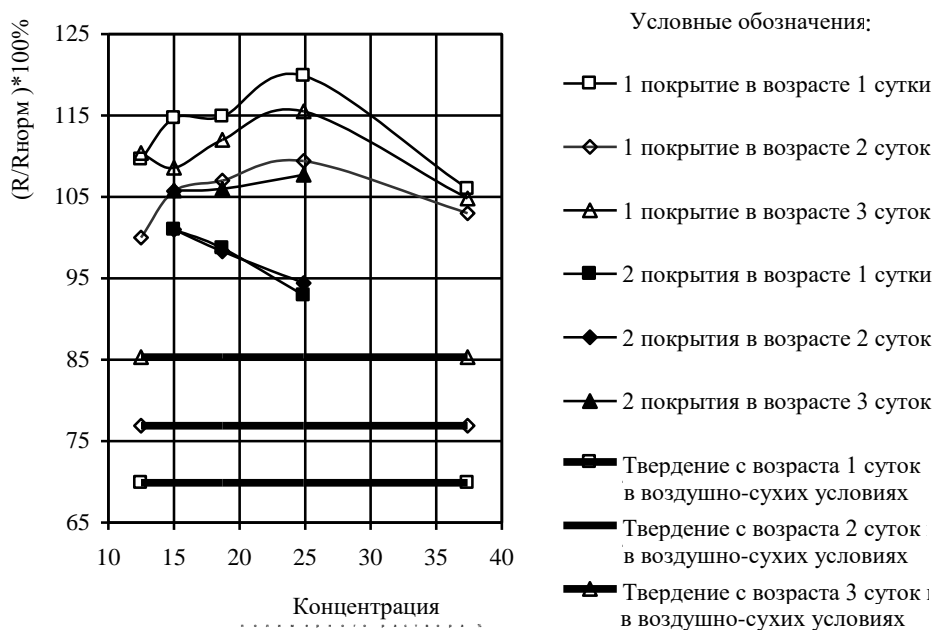


Рис. 3. Влияние в течение 11...13 суток полимерных растворов на среднюю относительную прочность образцов бетона при осевом сжатии

Анализ полученных результатов выявил обеспечение прочности образцов, за которыми производился уход с применением любых из использованных концентраций полимерного раствора и любого из примененных количеств покрытий (1 или 2) в возрасте 1, 2 и 3-х суток, выше прочности образцов, твердевших в воздушно-сухих условиях независимо от времени распалубивания. Прочность 100 % от прочности образцов, твердевших в условиях, имитирующих оптимальный безвлажностный уход, обеспечивается только при однократном применении покрытия полимерным раствором.

Были проведены опыты по определению длительного влияния (27...89 суток) вышеуказанной полимерной композиции и ее водных растворов на бетон, т.е. при уходе за бетоном по методу «приклеивание полиэтиленовой пленки всей поверхностью на весь срок эксплуатации». В отличие от предыдущей серии экспериментов образцы до момента испытаний твердели в плотнооблегающих полиэтиленовых пакетах. Все остальные условия проведения экспериментов были такими же, что и в предыдущих опытах. Испытания образцов бетона на осевое сжатие производилось в возрасте 28 и 90 суток. Полученные результаты испытаний – практически идентичные для одинаковых условий при испытании образцов в возрасте 28 или в возрасте 90 суток. Поэтому приведены только результаты испытаний образцов в возрасте 28 суток (рис. 4).

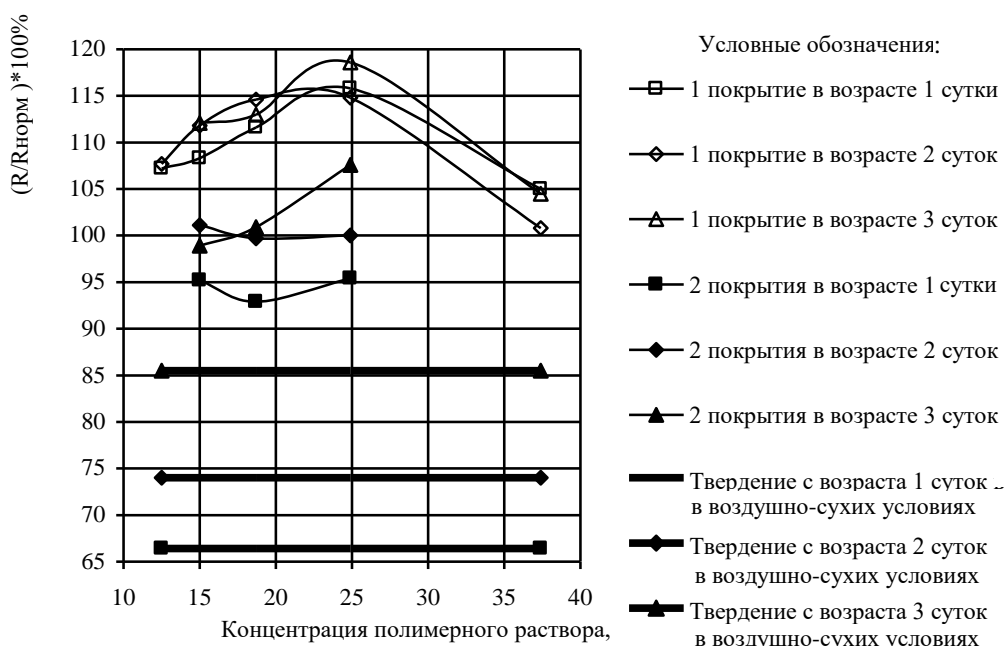


Рис. 4. Влияние в течение 23...25 суток полимерного раствора на среднюю относительную прочность образцов бетона при осевом сжатии

Анализ полученных результатов испытаний выявил повышение прочности образцов, за которыми производился уход с применением любых из использованных концентраций полимерного раствора при нанесении на поверхность бетона в возрасте 1, 2 и 3-х суток, в сравнении с прочностью образцов, твердевших в воздушно-сухих условиях при их испытаниях в возрасте 28 и 90 суток. Второе покрытие полимерным раствором не приносит ожидаемого прироста прочности, а для отдельных концентраций полимерного раствора – снижает в сравнении с прочностью образцов, твердевших в условиях, имитирующих оптимальный безвлажностный уход.

В оптово-розничной сети имеется не только «Клей универсальный “Бустилат-М”» производства ОАО «БЗБХ» (Республика Беларусь, г. Брест), но и клей производства ОАО «Энергия» (Россия, г. Москва). Поэтому было проведено исследование по сравнению влияния клея универсального «Бустилат-М» производства ОАО «БЗБХ» (Республика Беларусь, г. Брест) и клея производства ОАО «Энергия» (Россия, г. Москва) на бетон при их использовании для приклеивания пленки к поверхности бетона.

При сравнении влияния полимерных композиций и их водных растворов имитировался уход за бетоном по методу «приклеивание полиэтиленовой пленки всей поверхностью». При проведении экспериментов дискретно изменялись:

- прочность бетона, при которой пленка приклеивалась к поверхности образцов бетона через изменение возраста образцов в диапазоне 1, 2, 3 суток;
- концентрация полимерного раствора: 37,4; 24,9; 18,7 %.

Для исключения деструктивного воздействия испарения воды с поверхности бетона образцы бетона извлекались из полиэтиленовых пакетов в возрасте 14 суток с момента изготовления образцов, т.е. после гарантированного достижения бетоном критической прочности относительно деструктивного воздействия влагопотерь; образцы испытывались в возрасте 28 суток. Также были проведены опыты по сравнению влияния полимерного раствора при уходе за бетоном по методу «приклеивание полиэтиленовой пленки всей поверхностью на весь срок эксплуатации». Условия проведения экспериментов были практически полностью такими же. Исключение составляет только то, что образцы до испытаний твердели в плотнооблегающих полиэтиленовых пакетах, а испытания образцов бетона производилось в возрасте 90 суток.

Анализ полученных результатов испытаний на осевое сжатие не выявил значительного или принципиального различия при взаимодействии полимерных растворов одинаковых концентраций различных производителей с бетоном при одинаковых условиях. Максимальное значение относительной прочности (как и при проведении предыдущих экспериментов) было зафиксировано при однократном применении полимерного раствора концентрации 24,9 %. Было зафиксировано, что при однократном применении любой из примененных концентраций обеспечивается получение прочности при испытаниях не менее 100 % от прочности образцов, твердевших в условиях, имитирующих оптимальный безвлажностный уход.

Для предотвращения испарения влаги с поверхности свежееуложенного бетона при безвлажностном уходе рекомендуется нанесение на поверхность бетона полимерных пленкообразующих покрытий [3, 6]. В качестве полимерных пленкообразующих покрытий нормативной и технической литературой предлагается использовать широкий спектр полимеров, в том числе и латекс СКС-65ГП [3, с. 146]. Ранее отмечалось, что латекс СКС-65ГП входит в состав «Клея универсального “Бустилат-М”». При проведении экспериментов после полимеризации вышеуказанной полимерной композиции или ее водных растворов на поверхности бетонных образцов визуально фиксируется полимерная пленка. Для определения условий полимеризации полимерных растворов различных концентраций и проверки предположения о том, что на поверхности бетона не формируется влагонепроницаемой полимерной пленки, которая могла бы предотвратить испарение воды из структуры бетона (т.е. обеспечить уход за бетоном) были проведены следующие серии экспериментов.

Первоначально были проведены опыты, при которых образцы бетона различного состава и возраста, покрытые полимерным раствором, твердели в воздушно-сухих условиях. До момента покрытия образцы твердели в формочках. Верхние поверхности бетона были укрыты пленкой. При проведении опытов использовалась подвижная бетонная смесь марки БСГМЗ П1В20F200W4 (СТБ 1035-96) и жесткая бетонная смесь марки БСГМЗ Ж4В17,5F200W4 (СТБ 1035-96). Эти смеси отличались содержанием воды в них. Бетонные образцы из жесткой бетонной смеси потенциально значительно сильнее реагировали на влагопотери и влажностные деформации.

При проведении опытов образцы, приготовленные из бетонной смеси БСГМЗ П1 В25 F200 W4-СТБ 1035-96, покрывались полимерным раствором концентрации 34,7; 27,9; 24,9; 18,7; 15; 12,5 % с помощью фланцевой кисти типа КФ-3. Изменялось количество покрытий (1 или 2). При нанесении полимерного раствора использовались образцы бетона в возрасте 1, 2, 3, 4, 5 и 6 суток. После нанесения на поверхность полимерного раствора образцы бетона твердели в воздушно-сухих условиях. Контрольные образцы твердели в условиях, имитирующих оптимальный безвлажностный уход – в плотнооблегающих полиэтиленовых пакетах и в воздушно-сухих условиях. Имитации однократного влажностного ухода за бетоном осуществлялась путем однократного и однослойного нанесения воды на поверхность образцов фланцевой кистью типа КФ-3. В этом случае концентрация полимерного раствора принималась 0 %. Все образцы твердели в лаборатории при температуре 20 ± 3 °С. Образцы устанавливались на обе полки двутавра. Таким образом увеличивалась площадь поверхности бетона, с которого происходило испарение воды. Кроме этого, обеспечивались одинаковые условия полимеризации полимерного раствора на всей поверхности бетонных образцов. Потери воды образцами бетона фиксировались.

Результаты испытаний образцов на осевое сжатие в возрасте 28-ми суток, приготовленных из подвижной бетонной смеси, приведены на рисунке 5. Были также проведены опыты по определению влияния полимерных композиций и их водных растворов при их повторных нанесениях при различных сочетаниях использованных концентраций.

Для выявления условий полимеризации полимерного раствора при влажности, близкой к 100 %, были проведены эксперименты, при которых полимерный раствор наносился на поверхность образцов в возрасте 3 суток. Концентрации использованного полимерного раствора те же, что и при проведении предыдущих серий экспериментов. Затем образцы помещались в водяные бани до момента проведения испытаний на осевое сжатие в возрасте 28 суток. При твердении образцов в водяных банях практически полностью исключалась возможность испарения воды с поверхности и поверхностных слоев. Осмотр образцов бетона перед проведением испытаний на осевое сжатие визуально не выявил образовавшейся на поверхности бетона полимерной пленки.

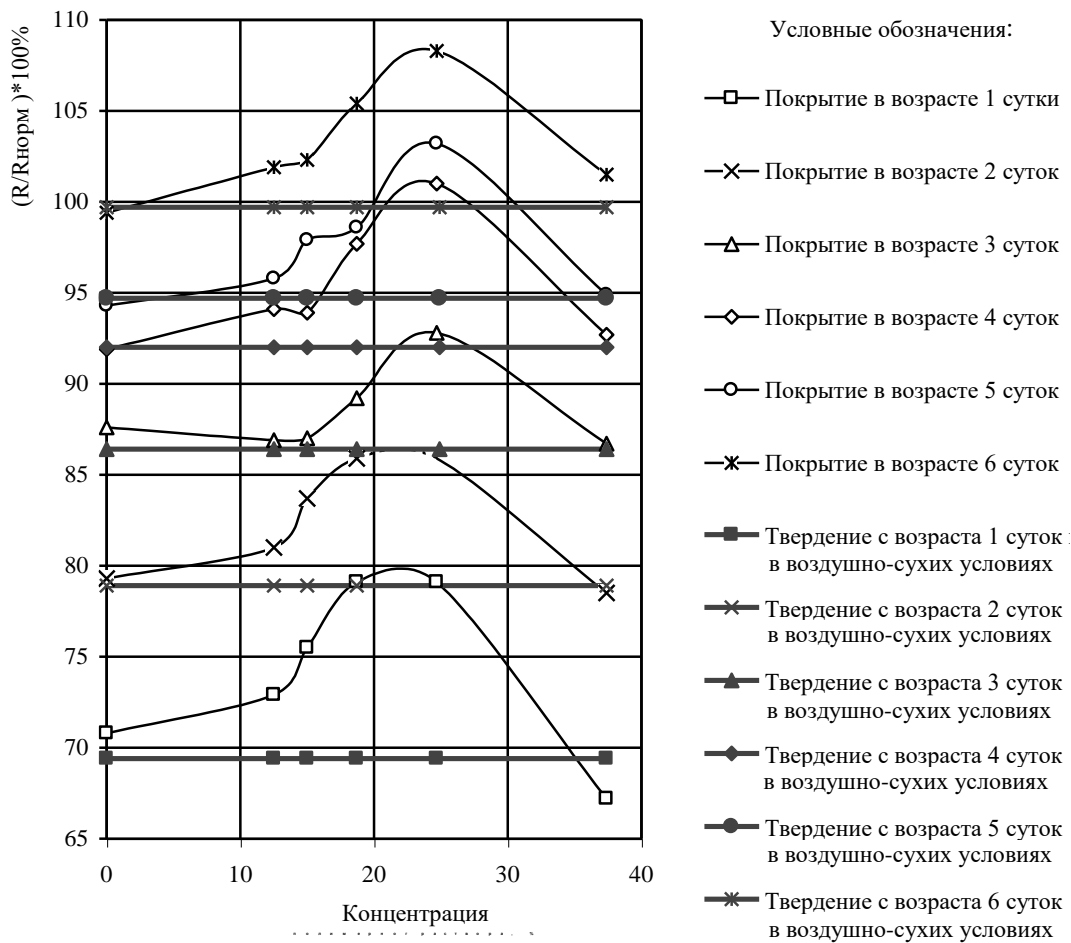


Рис. 5. Влияние нанесенного полимерного раствора на среднюю относительную прочность образцов бетона при осевом сжатии при их твердении с момента распалубливания в воздушно-сухих условиях

Были проведены опыты по изучению влияния полимерной композиции и ее водных дисперсий на жесткую бетонную смесь. Условия проведенных опытов были аналогичными условиям опытов, проведенных при использовании подвижной бетонной смеси.

Анализ полученных результатов экспериментов выявил, что максимальное значение прироста прочности (5...12 %) относительно прочности образцов, твердевших в воздушно-сухих условиях без какого-либо ухода, достигается при однократном нанесении полимерного раствора концентрации 24,9 % на поверхность образцов в возрасте 1...6 суток. При ограниченном объеме воды затворения в бетонной смеси (жесткая бетонная смесь марки БСГМЗ Ж4В17,5F200W4-СТБ-1035-96) нанесение полимерного раствора обеспечивает достижение уровня потенциально заложенной прочности при осевом сжатии в более ранние сроки в сравнении с образцами бетона, для приготовления которых использовалась подвижная бетонная смесь марки БСГМЗ П1В20F200W4-СТБ-1035-96. Влияние влаготерь на свойства бетона достаточно хорошо исследованы [6]. Поэтому при уменьшении возраста (прочности) образцов при их распалубливании и последующем твердении в воздушно-сухих условиях из-за влаготерь и влажностных деформаций закономерно уменьшалась их прочность в проектном возрасте. По результатам проведенных опытов с использованием различных составов бетонной смеси было установлено, что влияние влажностных деформаций и влаготерь не оказывает влияние при последующем твердении образцов в воздушно-сухих условиях с возраста 6...12 суток.

Было зафиксировано, что покрытия полимерным раствором различной примененной концентрации и при различных примененных вариантах покрытий образцы бетона теряли влагу в процессе твердения в воздушно-сухих условиях. Величина потери влаги в результате испарения уменьшалась с увеличением прочности образцов бетона при распалубливании. Влаготери образцов бетона сказывались на потере потенциальной прочности. Было сделано заключение о том, что при полимеризации полимерного раствора на поверхности бетона не образуется паро- и влагонепроницаемой пленки. Это указывает на

нецелесообразность применения ухода за бетоном путем нанесения на его поверхность полимерной композиции «Клей универсальный “Бустилат-М”» или ее водных растворов.

Проведенными опытами установлено, что для полимеризации полимерного раствора необходимо её частичное обезвоживание. При наличии открытой поверхности частичное обезвоживание полимерного раствора обеспечивается путем испарения воды с поверхности и из верхних слоев бетона. При отсутствии свободной поверхности обезвоживание достигается путем влагопереноса в бетоне. Опытами установлено, что до полной полимеризации полимерного раствора происходит интенсивное взаимодействие ее компонентов с твердеющим бетоном. При испытании образцов бетона на осевое сжатие в совместной работе принимают участие 3 компонента: 1) неизменный бетон; 2) бетонополимер в поверхностном слое бетона; 3) полимерная пленка на поверхности образцов бетона на основе полимеризовавшихся компонентов «Клея универсального “Бустилат-М”». Объяснить прирост прочности возможно, используя ряд классических теорий прочности. Однако наиболее полно объясняет прирост прочности теория линейных деформаций [7, с. 91; 8, с. 128]. Эта теория базируется на гипотезе о том, что причиной разрушения материала являются наибольшие линейные деформации в наиболее опасной точке и использование схем, моделирующих строение бетона как композиционного материала. Г.А. Бужевич [1, с. 135, форм. 13] приводит интерпретацию этой теории через предельную растяжимость бетона в направлении, перпендикулярном к действию внешней нагрузки. Теория увеличения прочности при совместной работе бетона и полимерного покрытия достаточно хорошо разработаны. Отдельные аспекты совместной работы полимерного покрытия и бетона разработаны Т.А. Красовской [4], Ю.В. Емельяновым и З.Н. Кузнецовым [5]. Однако в силу того, что полимерная композиция имела водную основу и проникала в поверхностные слои бетона с последующей полимеризацией и образованием бетонополимера в поверхностном слое бетона, разработанная теория увеличения прочности дополняется совместным действием в работе бетонного образца тонкого слоя бетонополимера. Дж. Гордон [2] указывает на то, что для цементных бетонов (неоднородных хрупких материалов) характерно ветвление растущих трещин и дискретный характер их роста, объясняя их своей теорией механизма разрушения пористых и неоднородных хрупких материалов. Поэтому, исходя из положений феноменологической теории прочности (теории максимальных линейных деформаций), увеличение прочности образцов, покрытых полимерным раствором, в сравнении с прочностью образцов, твердевших в аналогичных условиях, можно объяснить увеличением предельной растяжимости в направлении, нормальном к действию внешней силы, и увеличением возможности его структуры препятствовать слиянию отдельных микротрещин в одну быстрорастущую продольную трещину. Необходимо отметить, что при проведении испытаний образцов бетона, покрытых полимерным раствором высокой концентрации на осевое сжатие визуально не было зафиксировано разрушение образцов (кроме откола отдельных фрагментов) при достижении предела прочности. Однако вышеуказанное не было зафиксировано при испытании покрытых полимерным раствором образцов при их твердении в водяных банях.

На основании данных испытаний образцов на осевое сжатие были определены корреляционные зависимости предела прочности образцов от концентрации полимерного раствора. Анализ полученных зависимостей указывает на то, что во всех случаях увеличение прочности фиксируется только при достижении бетоном к моменту нанесения определенной относительной критической прочности относительно деструктивного влияния отдельных компонентов полимерного раствора. Относительная критическая прочность зависит от объема и концентрации полимерного раствора, с которым взаимодействует бетон. При недостижении вышеуказанной критической прочности прочность покрытых образцов уменьшается. В общем случае, без учета статистических отклонений, полученные корреляционные зависимости можно выразить через составляющие:

$$R = R_{ГТБ} \pm \Delta R, \quad (1)$$

где R – осредненный предел прочности бетона, покрытого полимерным раствором, МПа; $R_{ГТБ}$ – осредненный предел прочности при осевом сжатии неизменного бетона, МПа; ΔR – прирост или уменьшение осредненного предела прочности бетона в сравнении с бетоном, твердевшим в таких же условиях, МПа; увеличение или уменьшение осредненного предела прочности (ΔR), которое зависит от выполнения условий.

Обработка полученных результатов экспериментов указывает на то, что прирост или уменьшение осредненного предела прочности бетона в сравнении с неизменным бетоном можно разложить на составляющие (без учета статистических отклонений) и выразить её в виде корреляционной зависимости:

$$R = R_{ГТБ} + A_1 K^3 + A_2 K^2 + A_3 K, \quad (2)$$

где K – концентрация полимерного раствора, %; A_1, A_2, A_3 – коэффициенты для данной концентрации полимерного раствора.

Увеличение или уменьшение предела прочности (ΔR) зависит от выполнения условий:

$$\text{если } R_{ГТБ} < R_{КРИТ}, \text{ то } -\Delta R; \quad (3)$$

$$\text{если } R_{ГТБ} > R_{КРИТ}, \text{ то } +\Delta R, \quad (4)$$

где $R_{КРИТ}$ – относительная критическая прочность, при которой бетон не воспринимает деструктивные воздействия компонентов полимерного раствора данной концентрации.

При уходе за бетоном по разработанным методам одним из основных требований является высокая адгезия и сцепление полиэтиленовой пленки с поверхностью бетона. Условия проведения экспериментов по определению условий, при которых достигается максимальные значения сил адгезии и сцепления, были следующие. Принципиально пленка может приклеиваться к поверхности свежееуложенного бетона или к поверхности бетона, твердевшего значительное время. Так как опытами установлено, что для полимеризации полимерного раствора необходимо ее частичное обезвоживание, то в проведенных экспериментах по определению сил адгезии и сцепления при приклеивании пленки к поверхности уложенного бетона были приняты невыгодные условия – использование бетона, изготовленного из подвижной (т.е. насыщенной водой) бетонной смеси марки БСГМЗ П1В20F200W4-СТБ 1035-96. Эта же марка бетонной смеси использовалась для изготовления остальных, использованных в других опытах, бетонных образцов. Полиэтиленовая пленка приклеивалась с помощью полимерного раствора к боковой поверхности бетонных образцов (площадь приклеивания 100 см²). При определении значений сил адгезии и сцепления при приклеивании пленки к поверхности длительно твердевшего бетона использовались образцы в возрасте 28 суток, а при приклеивании пленки к поверхности уложенного бетона пленка приклеивалась к поверхности только что распалубленных образцов в возрасте 1 и 3 суток. Для предотвращения испарения воды с боковых поверхностей бетона образцы помещались в плотнооблегающие полиэтиленовые пакеты. Испытания проводились через 30 минут, 1, 2 и 3 суток. Все образцы твердели в лаборатории. Дискретно изменялись примененные концентрации полимерного раствора (18,7; 24,9; 37,4 %) и количество повторных покрытий (0 или 1). Также изменялось место нанесения покрытия – на поверхность бетона, пленки или на обе поверхности. При проведении опытов использовались полимерные растворы: на основе полимерной композиции производства ОАО «БЗБХ» (г. Брест) и производства ОАО «Энергия» (Россия, г. Москва). Для определения значения силы адгезии испытания на отрыв производились не более чем через 30 минут с момента приклеивания. При определении значений силы сцепления образцы с приклеенной пленкой помещались в герметичные полиэтиленовые пакеты. Испытание проводилось через 1, 2 и 3 суток. Испытания на отрыв производились с помощью специально разработанного устройства. Передача воздействия на пленку производилась посредством рычажного механизма. Отрывающее усилие направлялось в плоскости боковой поверхности бетонного образца, к которой была приклеена пленка. Отрывающее усилие было равномерно распределено путем использования накладок на пленку в месте передачи усилий.

Были проведены опыты по определению сил адгезии и сцепления при проведении работ по уходу за бетоном по методам «приклеивание полиэтиленовой пленки всей поверхностью» и «...на весь срок эксплуатации» с использованием полимерной композиции производства ОАО «БЗБХ» (г. Брест). Бетон может быть распалубленным или за которым производился первичный уход или частичный вторичный уход, но в любом случае не находящимся в динамическом равновесии с окружающей средой. Бетон характеризуется в этом случае высокой влажностью, при которой возможно интенсивное деструктивное испарение. Анализ полученных результатов указывает на то, что сцепление не зависит от прочности, при которой приклеивалась пленка (т.е. от возраста образцов при распалубливании), а зависит от концентрации полимерного раствора. Максимальное значение сцепления и адгезии достигается при применении полимерной композиции «Клей универсальный “Бустилат-М”». Опытами было установлено, что на силу сцепления не влияет количество покрытий и прочность при распалубливании (возраст образцов при распалубливании), а влияет только концентрация полимерного раствора.

Были проведены опыты по определению сил адгезии и сцепления при проведении работ по уходу за бетоном по методам «приклеивание полиэтиленовой пленки к прилегающей поверхности» и «...на весь срок эксплуатации». Анализ полученных данных испытаний пленки на отрыв указывает на то, что на силу адгезии или сцепления влияют концентрация полимерного раствора и время полимеризации. Максимальное значение силы адгезии было зафиксировано при использовании полимерной композиции «Клей универсальный “Бустилат-М”». Значения сил сцепления для полимерной композиции концентрации 37,4 % и полимерного раствора концентрации 24,9 % примерно одинаковы. Применение второго покрытия не оказывает влияния на силу сцепления и на силу адгезии. Силы сцепления на порядок превышают силы сцепления при использовании одних и тех же концентраций полимерного раствора. Анализ полученных результатов указывает на то, что для достижения максимальных значений сил адгезии и сцепления необходимо наносить один слой полимерного раствора на поверхность пленки. При нанесе-

нии полимерного раствора на поверхность бетона происходит ее частичное обезвоживание в течение первых 2...5 минут. Поэтому полученные при испытаниях значения сил адгезии были ниже при нанесении полимерного раствора на поверхность бетона, чем при нанесении на поверхность пленки. Полимеризация полимерного раствора на поверхности бетона под полиэтиленовой пленкой заканчивается через 1,5...2 суток.

Для сравнения получаемых сил адгезии и сцепления были проведены опыты с использованием полимерных композиций различных вышеуказанных производителей. При проведении экспериментов было зафиксировано, что при использовании полимерного раствора концентрации 24,9 %, приготовленного на полимерной композиции производства ОАО «Энергия», значение силы адгезии больше (до 22,5 %), чем при применении полимерного раствора приготовленной на полимерной композиции производства ОАО «БЗБХА». Это связано с более высокой вязкостью полимерной композиции, выпускаемой ОАО «Энергия». Зависимость влияния вязкости полимерных растворов на силы адгезии достаточно хорошо изучены. Поэтому специальные эксперименты в этом направлении не проводились. Значения сил сцепления примерно одинаковы при использовании одинаковых концентраций полимерного раствора. Анализ полученных результатов испытаний, кроме вышеуказанных, не выявил принципиальных различий при применении полимерных композиций и полимерных растворов на их основе различных производителей.

На основании полученных результатов экспериментов и их анализа были сделаны следующие выводы:

- силы сцепления на порядок ниже (на 200...400 %) сил адгезии при использовании одной и той же концентрации полимерного раствора;
- для приклеивания пленки к поверхности бетона наиболее целесообразно применение полимерного раствора с наиболее высокими показателями вязкости (диапазон концентраций полимерного раствора – 37,4...24,9 %), при использовании которых были получены максимальные значения силы адгезии. Однако при применении полимерного раствора с высокой вязкостью или полимерной композиции «Клей универсальный «Бустилат-М»» не зафиксировано увеличение значений силы сцепления;
- нанесение двух слоев полимерного раствора на поверхность бетона или на поверхность пленки не приводит к увеличению сил адгезии и сцепления;
- при приклеивании полиэтиленовой пленки к поверхности бетона в возрасте 1...3 суток сцепление не зависит от прочности образцов, а зависит от концентрации полимерного раствора;
- при применении полимерного раствора на основе полимерной композиции «Клей универсальный «Бустилат-М»» производства ОАО «Энергия» значение адгезии для полимерного раствора концентрации 24,9 % выше на 10...15 %, чем при использовании полимерной композиции, производимой ОАО «БЗБХА».

На основе проведенных производственных проверок были составлены рекомендации по применению разработанных методов ухода за бетоном, объединенных общим принципом: «приклеивание полиэтиленовой пленки». Осуществлять уход за бетоном по разработанным методам рекомендуется при производстве небольшого объема бетонных работ и при небольших площадях ремонтируемых или восстанавливаемых бетонных или железобетонных участков (до 1...5 м²). Уход за бетоном по разработанным методам также рекомендуется применять при невозможности использования полимерных пленкообразующих покрытий из-за запрета применения по санитарно-гигиеническим или иным требованиям. Общая последовательность производства работ по подготовке поверхности ремонтируемого бетонного или железобетонного конструктивного элемента, укладка бетонной смеси или раствора, изготовление и устройство опалубки производится по соответствующим общепринятым методам. При выборе концентрации полимерного раствора для приклеивания пленки к поверхности бетона необходимо придерживаться следующего правила: чем выше требуемые значения силы сцепления и адгезии, тем выше концентрация полимерного раствора – от 24,9 до 37,4 % (использование полимерной композиции «Клей универсальный «Бустилат-М»»). Наносить полимерный раствор необходимо в один слой на поверхность полиэтиленовой пленки с помощью фланцевой кисти. Затем пленку необходимо плотно прижать к поверхности бетона и разгладить возникшие морщины. В течение первых суток необходимо прижимать края пленки для предотвращения ее отрыва при возможных сильных ветровых воздействиях. Это требование при производстве работ необходимо выполнять потому, что при наличии даже кратковременного и незначительного по площади контакта бетона с окружающей средой влажность объема воздуха между пленкой и бетоном мгновенно падает вплоть до влажности окружающего воздуха. Ранее уже указывалось, что даже слабая вентиляция поверхности бетона, обеспечивающая воздухообмен, значительно увеличивает влагопотери бетона и ухудшает его физико-механические свойства. Возможно повторное использование пленки. Производственные проверки показали, что наибольший экономический эффект достигается за счет относительно низкой стоимости производства работ по уходу за бетоном. Это достигается за счет относительно низкой стоимости используемых материалов (пленки, полимерной композиции «Клей универсальный «Бустилат-М»», кисти фланцевой и т.д.), доступности материалов в оптовой розничной сети, относительно небольших затрат времени на производство работ, отсутствие необходи-

мости использования дополнительных материалов и оборудования, кроме общепринятых при производстве бетонных работ.

Заключение

1. Анализ данных обследования состояния гидротехнических сооружений на мелиоративных системах свидетельствует о необходимости проведения значительных объемов работ по ремонту и восстановлению их конструктивных бетонных и железобетонных элементов для недопущения их прогрессирующего разрушения, полного выхода из строя и, как следствие, выхода из строя всей мелиоративной системы в целом, составной частью которой они являются. Производство ремонтно-восстановительных работ будет иметь свою специфику – удаленность рассредоточенного по большой территории небольшого объема бетонных работ с использованием гидротехнического бетона различных марок и составов.

2. Полимерная композиция «Клей универсальный “Бустилат-М”» и ее водные растворы неоднородно воздействуют на гидротехнический бетон. Установлено, что полимерная композиция и водные растворы на ее основе не оказывают отрицательного влияния на бетон после достижения им критической прочности. Если гидротехнический бетон к моменту взаимодействия с полимерной композицией или полимерным раствором достиг критической прочности, то прочность бетона увеличивается за счет образования на поверхности полимерной пленки, а в поверхностном слое – бетонополимера; если не достиг – то уменьшается.

3. После нанесения полимерной композиции «Клей универсальный “Бустилат-М”» или ее водных растворов на поверхность гидротехнического бетона образовавшаяся на поверхности полимерная пленка и бетонополимер в поверхностном слое влаго- и паропроницаемы.

4. При использовании для приклеивания полиэтиленовой пленки полимерного раствора на основе полимерной композиции «Клей универсальный “Бустилат-М”» концентрации 37,4...24,9 % достигаются максимальные значения силы адгезии и сцепления. Однако нанесение двух слоев на одну или разные склеиваемые поверхности не приводит к увеличению сил адгезии и сцепления. При приклеивании полиэтиленовой пленки к поверхности бетона в возрасте 1...3 суток сцепление не зависит от прочности образцов, а зависит от концентрации полимерного раствора.

5. Уход за бетоном по методам, объединенным общим принципом «приклеивание полиэтиленовой пленки» с использованием для приклеивания пленки полимерного раствора на основе полимерной композиции «Клей универсальный “Бустилат-М”» концентрации 37,4...24,9 % обеспечивает достижение потенциально заложенной при приготовлении бетонной смеси прочности в проектные сроки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бужевич, Г.А. Влияние условий твердения на прочность бетона / Г.А. Бужевич. – М.: Стройиздат, 1984. – 147 с.
2. Гордон, Дж. Почему мы не проваливаемся сквозь пол? / Дж. Гордон. – М.: Наука, 1971. – 141 с.
3. Елшин, И.М. Полимерные материалы в ирригационном строительстве / И.М. Елшин. – М.: Колос, 1974. – 191 с.
4. Красовская, Т.А. Роль полимерных покрытий в работе бетонных и железобетонных конструкций / Т.А. Красовская // Тр. МИИТ. – 1975. – Вып. 494. – С. 76 – 83.
5. Красовская, Т.А. Водостойкие покрытия из модифицированных эпоксидных композиций и их влияние на свойства бетона / Т.А. Красовская, Ю.В. Емельянов, З.Н. Кузнецова // Применение полимерных материалов в гидротехническом строительстве: Тр. НИИЖБ. – М., 1977. – С. 66 – 70.
6. Пунагин, В.Н. Технология бетона в условиях сухого жаркого климата / В.Н. Пунагин. – Ташкент: Изд-во «Фан» УзССР, 1977. – 224 с.
7. Шейкин, А.Е. Структура, прочность и трещиностойкость цементного камня / А.Е. Шейкин. – М.: Стройиздат, 1974. – 192 с.
8. Шейкин, А.Е. Структура и свойства цементных бетонов / А.Е. Шейкин, Ю.В. Чеховский, М.И. Бруссер. – М.: Стройиздат, 1979. – 434 с.

Поступила 14.05.2007