

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ
СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ПРОМЫШЛЕННОЕ
И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»**

(г. Минск, БНТУ — 24.05.2011)

УДК. 666.97; 693.54

**МЕТОДЫ, ПРИЕМЫ И РЕЖИМЫ УХОДА
ЗА БЕТОННОМ В ПРОЦЕССЕ ТВЕРДЕНИЯ**

САНАЗ ЭГБАЛНИК, БАТЯНОВСКИЙ Э.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Уход за бетоном при твердении в условиях сухого жаркого климата состоит в обеспечении благоприятных температурно-влажностных условий структурообразования цементного камня. Обобщение данных руководств и рекомендаций, ряда научно-исследовательских работ и информации о практической реализации приёмов защиты твердеющего бетона [1-7] представлено в виде таблиц 1 и 2, отражающих сущность и область применения различных вариантов ухода за ним. Их анализ показывает, что у каждого из приведенных приёмов есть «сильные» и «слабые» стороны, ограничивающие область рационального применения.

При этом основными критериями назначения *режима ухода* за бетоном действующими нормативами рекомендуется принимать время и условия, при которых бетон набирает прочность не менее 50 % от проектной (проектного возраста – 28 суток), при рекомендуемой её величине ≥ 70 % от проектной. В последнем случае воздействие воздушно-сухих условий при дальнейшем твердении бетона на его прочность и качество структуры сводится к минимуму.

Таблица 1. Приёмы выдерживания свежееуложенного бетона

№ п/п	Мероприятие	Технологическая операция при защите поверхности свежееуложенного бетона	Материалы для ухода за бетоном
1	2	3	4
1	Покрывающие водные бассейные	Твердение под слоем воды	Вода
2	Периодическое увлажнение поверхности водой	Орошение и поливка водой	Вода
3	Укрытие гидрофильным материалом с постоянным увлажнением	Укладка гидрофильного материала, постоянное увлажнение его водой или создание защитного слоя из воды	Опилки; песок; камышовые, соломенные или иные маты; мешковина; поролон или иные влагоемкие материалы; вода
4	Укрытие пароводонепроницаемым рулонным материалом	Укрытие бетонной конструкции пленкой с созданием вокруг нее замкнутого объема	Полимерные пленки, брезент и другие рулонные материалы
5	Обработка поверхности пленкообразующими составами	Нанесение жидкости на поверхность бетона	Растворы, суспензии, эмульсии
6	Пропитка гидрофобными композициями	Нанесение на свежееуложенный бетон и его пропитка гидрофобными жидкостями	Гидрофобные композиции

1	2	3	4
7	Твердение бетона под инвентарными устройствами типа шатров, навесов и т.д.	Временное устройство над бетонной конструкцией	Тенеобразующие укрытия; брезент; синтетические ткани
8	Защита термоизоляционными покрытиями	Укладка термоизоляционного материала и его закрепление	Полимерные пленки, инвентарные и произвольные термо(влаго)изоляционные покрытия
9	Тепловое воздействие на твердеющий бетон	Форсированный пароразогрев бетонной смеси и термосное выдерживание под влиянием теплоты окружающего пространства. Импульсный нагрев поверхностного слоя бетона и др.	Солнечная энергия, пар, электроэнергия, рулонный материал (пленки, ткани) для временного укрытия бетона

Таблица 2. Ориентировочная область применения приёмов ухода за монолитными бетонными и железобетонными конструкциями

Конструкции	Вариант ухода за бетоном
1	2
Фундаменты ленточные и столбчатые, ростверки. Подготовка под полы и фундаменты. Колонны, ригели, прогоны, балки	Укрытие пароводонепроницаемым рулонным материалом: применение инвентарных устройств. Укладка на бетон гидрофильных материалов с постоянным их увлажнением, укрытие готовыми полимерными пленками или термоизоляционными покрытиями

1 Плиты покрытий и перекрытий. Тонкостенные пространственные покрытия (оболочки, купол, своды, висячие покрытия)	2 Защита термоизоляционным покрытием, укрытие гидрофильным материалом с постоянным увлажнением, или пароводонепроницаемыми рулонными пленками
Дорожные и аэродромные покрытия, облицовки оросительных каналов, полы и площадки промышленных зданий	Обработка поверхности пленкообразующими составами, полимерными саморазрушающимися пенами, укрытие полимерными пленками

На рисунке приведены данные, отражающие кинетику роста прочности образцов бетона в воздушно-сухих условиях ($t \sim 25^\circ \text{C}$; $\varphi \sim 60\%$) при гидроизоляции поверхности (герметичное укрытие плёнкой) и без неё (без защиты; №4), которые свидетельствуют о

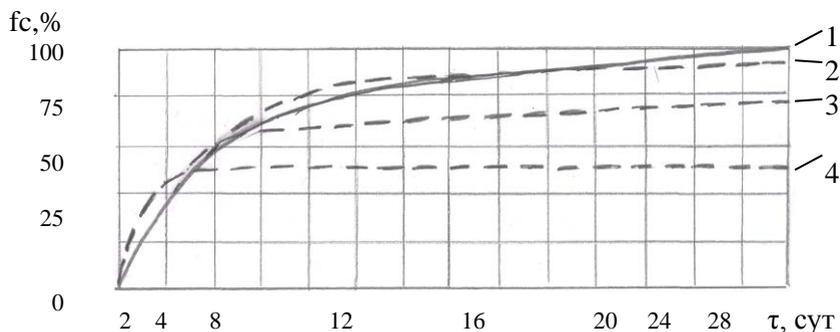


Рис. 1. Прочность бетона (1 - уход 28 сут; 2 - 6 сут; 3 - 4 сут; 4 - без ухода)

недостаточности положения рекомендаций по минимально необходимой прочности бетона даже для указанных (не самых «жестких») условий его твердения на уровне 50 % от проектной, прежде чем прекращать уход за ним при твердении на воздухе (продолжительность ухода – 4 сут (график №3); снижение прочности бетона в проектном возрасте составило $\sim 25\%$). Более приемлем режим, обеспечивающий 70 % уровень прочности бетона (уход – 6 сут; №2) до

прекращения ухода за ним, т.к. в этом случае в проектном возрасте снижение прочности составило менее 10 (~ 8) %.

Оценка информации о методах и приёмах ухода за бетоном, приведенных в табл. 1, показывает, что наиболее благоприятные условия для его твердения (формирования плотной структуры) обеспечивает вариант ухода – «покрывающие водные бассейны». По существу они близки (при герметичной и непроницаемой для воды опалубке) к водным условиям твердения бетона, что обеспечивает углублённое развитие процесса гидратации цемента, формирование структуры цементного камня и бетона, характеризующейся наименьшими объёмами макрокапиллярных пор.

Одновременно реализация этого приёма ухода за твердеющим бетоном сопряжена с существенными дополнительными затратами, трудоёмка и осуществима для ограниченного типажа строительных конструкций. Создание «бассейна» требует либо увеличенной по высоте (относительно типоразмера возводимых (устраиваемых) конструкций) опалубки, либо устройство дополнительных герметичных приспособлений на требуемую высоту. Необходима организация подачи и поддержания уровня воды в бассейне, а также контроль за её температурой (примерное равенство с температурой твердеющего бетона для исключения перепада). В целом этот вариант ухода за твердеющим бетоном наиболее целесообразен для конструкции плитной конфигурации и в случаях, когда к бетону предъявляют повышенные требования по плотности, непроницаемости, долговечности (по водопоглощению, водонепроницаемости, морозо- и солестойкости и др.) и прочности. В частности, для аэродромных, дорожных плит покрытий, конструкций и изделий специального и гидротехнического строительства. В общестроительном производстве данный вариант ухода применим ограниченно.

Непрерывное орошение (дождевание) реализуется постоянным распылением воды с помощью специальных механических устройств или эжектированием с помощью сжатого воздуха. Обязательными условиями являются начальная прочность бетона, предотвращающая размыв его поверхности в начале ухода и в дальнейшем, и непрерывное распыление воды, исключающее высыхание поверхности бетона конструкций. Существенными недостатками являются необходимость предварительной выдержки бетона перед началом ухода и неконтролируемых в этот период потери им

влаги, а также необходимость сбора и отвода собирающейся при таком уходе воды.

Периодическое увлажнение поверхности водой, т.е. полив бетона водой характеризуется теми же недостатками, что и непрерывное орошение. При этом недопустимо, особенно для конструкций со значительными неопалубленными поверхностями и повышенными требованиями к бетону по эксплуатационным характеристикам (водопоглощению, водонепроницаемости, морозостойкости и др.), периодическое чередование увлажнения-высыхания его поверхности. В таком случае периодический полив водой (особенно имеющей температуру ниже температуры бетона) может сопровождаться обратным эффектом – ухудшением качества (структуры) бетона.

С позиций обеспечения качественного ухода за твердеющим бетоном методом полива целесообразно сочетать его с укрытием поверхности гидроизолирующими материалами (плёнками). Применение его индивидуально в современных условиях строительства не рационально, а в большинстве случаев – недопустимо.

Укрытие гидрофильными материалами с последующим постоянным увлажнением его водой также требует предварительной выдержки бетона до набора достаточной прочности для выполнения работ по уходу. В целом этот приём создаёт в дальнейшем благоприятные условия для твердения бетона (при регулярном увлажнении защитного слоя), однако характеризуется значительным объёмом дополнительных работ, в том числе и по очистке защищаемой поверхности бетона по окончании ухода. В этой связи ограниченно применим для ухода за конструкциями со скрытыми в процессе эксплуатации поверхностями категории «А-7», или устройстве подготовок под основания и т.п.

Укрытие пароводонепроницаемыми материалами (рулонированными) – достаточно эффективный приём при выполнении герметичного укрытия конструкций (неопалубленных поверхностей). В противном случае создаётся видимость защиты, что может привести к ухудшению качества бетона.

Эффективность этого приёма существенно различается при использовании брезента (или подобных материалов) и пароводонепроницаемых полиэтиленовых и иных плёнок. Для синтетических материалов характерно создание «парникового эффекта» внутри объёма, что сопровождается интенсивным ростом в нём (и бетоне)

температуры. Разогрев бетона (включая эффект от экзотермии цемента) может быть очень значительным и достигать 50° С и более. В ряде случаев это явление, способствующее повышению темпа роста прочности бетона, является положительным фактором и целенаправленно используется. Однако при этом следует учитывать трудноконтролируемый процесс испарения воды затворения из разогретого бетона, т.к. и полностью герметизировать объём рулонными материалами практически не представляется возможным.

В случаях строительства с использованием высокопрочных бетонов, характеризующихся низким начальным водосодержанием, или при повышенных требованиях к нему в части водо-, морозо- и солестойкости, разогрев бетона до температуры более 40° С недопустим, т.к. приводит к недобору прочности бетона в проектном возрасте (и в дальнейшем) и росту его пористости.

Уход с помощью плёнообразующих составов – один из наиболее надёжных и малотрудоёмких вариантов создания защиты твердеющего бетона.

Нанесение защитных жидких составов с помощью сжатого воздуха (напылением) возможно для любых конфигураций разнообразных конструкций. Формирующаяся пароводонепроницаемая (или труднопроницаемая) плёнка на поверхности бетона практически полностью исключает или чрезвычайно затрудняет испарение влаги из защищаемого бетона. Коэффициент влагозащиты у большинства применяемых составов превышает $K_z \geq 0,9$ при нормируемом значении $K_z \geq 0,7$. В качестве плёнообразующих материалов предложено к использованию в разных странах за период с 80-х годов XX века множество составов, которые готовят в виде органических растворов или водных дисперсий и эмульсий высокомолекулярных веществ (поливинилацетата, эпоксидных смол и латексов (искусственных и натуральных), парафинов (твёрдых, мягких и жидких), нефтеполимерных смол, битумов и др.).

К недостаткам этого, в целом универсального и легкоосуществимого метода защиты бетона, следует отнести, во-первых, провоцируемый образующейся плёнкой саморазогрев бетона, во-вторых, ухудшение сцепления его «старых» и «новых» слоёв при бетонировании монолитных конструкций (или отделки по бетону), а также то, что самые дешёвые и доступные из них (на битумах и

нефтеполимерных смолах) окрашены в тёмные тона, что усугубляет эффект неконтролируемого разогрева бетона.

С целью снижения термического эффекта плёнкообразующие составы делают осветлёнными или светоотражающими (например, поморолы ПМ-86, ПМ-100А, ПМ-100АМ) либо дополнительно устраивают по нанесённым на бетон составам теплоизолирующие или тенеобразующие укрытия, что естественно усложняет и удорожает уход за бетоном.

С целью устранения отрицательного эффекта от ухудшения сцепления слоёв бетона (или бетона с отделкой) предложены самораспадающиеся со временем составы для защиты бетона, которые однако не гарантируют полного эффекта исчезновения плёнки, особенно при высоких темпах ведения бетонных работ.

Вариант защиты твердеющего бетона путём *пропитки гидрофобными композициями* также близок к планируемой в диссертации автора к разработке его защиты уплотняющими структуру веществами. Однако он характеризуется сопутствующим отрицательным эффектом воздействия на внешний (защищаемый) слой. В частности, гидрофобизирующие вещества, проникая в объём цементного камня, замедляют реакции гидролиза-гидратации цемента, что сопровождается замедлением темпа роста прочности бетона контактного слоя и существенно снижает её как в начальные сроки твердения, так и к проектному возрасту. Это приводит к ухудшению сцепления между слоями бетона за счёт меньшей прочности подосновы, т.е. «старого» слоя бетона.

Варианты защиты твердеющего бетона под *тенеобразующими* дополнительными устройствами и под *термоизолирующими* покрытиями фактически должны применяться в сочетании с приёмами гидроизоляции неопалубленных поверхностей бетона тем или иным способом, которые рассмотрены ранее. В противном случае потери воды затворения из бетона и ухудшение его физико-технических свойств неизбежны. Эти меры защиты твердеющего бетона могут быть эффективными только дополняя основные, рассмотренные ранее приёмы. Следует учитывать также, что негерметичные опалубки (особенно выполненные из негидрофобизированного дерева), не являются надёжной защитой твердеющего бетона от испарения воды затворения.

Тепловое воздействие на твердеющий бетон, как приём его защиты от потери влаги в сухой и жаркой среде последующего твердения и эксплуатации, основывается на ускорении процесса гидратации цемента и химического связывания им значительной части воды затворения в процессе прогрева. Как известно, повышение температуры реагирующей системы «цемент-вода» сопровождается ускорением процессов структурообразования цементного камня и бетона. С одной стороны, это действительно способствует ускоренному переходу части воды затворения в химически связанное состояние, упрочению структуры материала и, таким образом, понижает возможность и затрудняет развитие процесса испарения воды из бетона в дальнейшем. Но, с другой стороны, повышение температуры твердения цементного бетона сопровождается ростом объёма капиллярной пористости и его проницаемости. В связи с изложенным приём прогрева бетона за счёт дополнительного подвода тепла (табл. 1) в монолитном строительстве в летний период практического применения не получил. В большей степени (там, где это не приводит к ухудшению свойств бетона) используют ранее рассмотренные приёмы ухода, сопровождающиеся его «саморазогревом» за счёт солнечной энергии, парникового эффекта от плёнок (рулонных и плёнкообразующих составов) и экзотермии цемента.

Оценивая эффективность приёмов первичной защиты твердеющего бетона следует отметить, что каждый из них характеризуется определёнными достоинствами в сочетании с недостатками, связанными как с возможностью их реализации (т.е. характеризуются наличием рациональной области применения), так и с влиянием на формирующуюся структуру и свойства защищаемого бетона. Метода ухода, который был бы универсальным и применимым по всему (чрезвычайно широкому) спектру строительных конструкций даже общестроительного назначения (не затрагивая специальные виды строительства) не предложено. Вероятно, что его просто не может быть. Однако также очевидно, что существует объективная необходимость совершенствования методов и приёмов защиты твердеющего бетона с целью упрощения работ по её осуществлению и обеспечению качественных характеристик этого материала, включая качество сцепления его «старых» и «новых» слоёв в процессе строительства и при последующей отделке поверхностей различных строительных конструкций.

Среди практикуемых приёмов ухода за твердеющим бетоном критерию обеспечения его качества в наибольшей мере соответствуют варианты «влажностной» защиты (ухода), N1 и N3 по таблице 1, то есть твердение при постоянном контакте с водой неопалубленных поверхностей конструкций в течение расчётного времени. Как отмечалось при подробном рассмотрении этих методов защиты, они ограниченно применимы из-за возможности реализации для определённого «плитного» типа конструкций, бетонируемых на уровне «земля - 1-й этаж». Ухаживать таким образом за наклонными, вертикальными поверхностями конструкций после съёма опалубки не представляется возможным.

Это же относится к варианту ухода за твердеющим бетоном методом орошения и периодического полива (N 2, табл. 1). Постоянное орошение предполагает использование непрерывно работающего соответствующего оборудования, использования значительного количества воды, т.к. сбор «отработанной», во-первых, затруднён, а, во-вторых, она требует предварительной очистки перед повторным (многократным) использованием. Приём «периодического полива» практически должен осуществляться без высыхания поверхности бетона, т.к. в противном случае может быть получен обратный эффект – ухудшение его качества. Периодический полив может быть полезен в сочетании с укрытием конструкций пароводонепроницаемыми рулонными материалами (N 4 по табл. 1), особенно при уходе за бетоном после снятия опалубки.

Существенной особенностью ухода за бетоном с помощью рулонных (плёночных и иных) материалов (и его недостатком) является необходимость обеспечения герметического укрытия. Нарушение герметичности приводит к развитию процесса испарения влаги в местах «разгерметизации» при постепенно нарастающем вовлечении в этот процесс окружающих объёмов бетона, а как следствие – к ухудшению и неоднородности его качественных характеристик. Этот отрицательный эффект может усиливаться за счёт значительного повышения температуры бетона под рулонными материалами, аккумулирующими (накапливающими) теплоту солнечной радиации (парниковый эффект) и тепло от экзотермии цемента.

В жарком климате (а также в летний период в Беларуси) температура саморазогрева бетона под плёночными укрытиями может достигать 50° С и более, что практически соответствует варианту

ухода за ним тепловым воздействием в начальный период (N 9 табл. 1). Следует учитывать, что тепловое воздействие, с одной стороны, способствует повышению темпа роста прочности бетона (ускоряется оборот опалубки), а с другой - сопровождается ростом объема (и сечений) капиллярной пористости бетона, что снижает его качество. В этой связи уход за бетоном «тепловым воздействием» под влиянием естественного (солнечная энергия) или подводимого от дополнительных источников тепла допустим с ограничениями, связанными с требованиями к свойствам бетона по водопоглощению, водонепроницаемости, морозостойкости и защитной способности по отношению к стальной арматуре (для железобетонных конструкций).

Понижение эффекта саморазогрева бетона возможно за счёт использования инвентарных термоизоляционных покрытий (N 8, табл. 1). Однако данный вариант защиты применим в основном для простых по конфигурации защищаемых поверхностей конструктивных элементов зданий по свежешулоложенному бетону и ограниченно может быть реализован после съёма опалубки. Как и дополнительно устраиваемые тенеобразующие приспособления, (N 7) которые затрудняют дальнейшее производство работ. Кроме этого, использование теплоизолирующих материалов, способных сорбировать влагу и (или) паропроницаемых, требует предварительной гидроизоляции защищаемой поверхности бетона рулонными материалами или плёнкообразующими составами. Такой же предварительной защиты испаряющей поверхности требует вариант N 7, т.е. устройство временных (инвентарных) тенеобразующих навесов, шатров и т.п.

Как уже отмечалось ранее, наиболее близок к планируемому к разработке варианту защиты твердеющего в сухой воздушной среде бетону метод пропитки гидрофобными композициями (N 6, табл. 1). Нанесённые на обрабатываемую (защищаемую) поверхность бетона вещества, обладающие гидрофобным эффектом, диффундируют на некоторую глубину, благодаря чему создают защитный «барьер» по внешней кромке поверхности бетона. В результате затрудняется миграция воды в зону испарения и обеспечивается эффект защиты твердеющего бетона. Одновременно гидрофобные вещества, молекулы которых в водной среде концентрируются у поверхности частиц цемента, частично блокируют доступ молекул воды к его поверхности. В результате замедляются реакции взаимодействия вя-

жущего с водой в слое цементного камня в бетоне, доступном для проникновения гидрофобизирующего вещества. Как следствие, обработанный ими бетон характеризуется наличием внешнего медленно твердеющего и набирающего прочность слоя, что ухудшает (ослабляет) сцепление «старого» и «нового» бетона в процессе строительства и ухудшает условия работ при последующей отделке строительных конструкций.

Таким образом, оценка применяемых в строительной практике методов и приёмов защиты твердеющего в воздушно-сухих условиях конструкционного бетона показывает необходимость дальнейшего их совершенствования и развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Монолитные бетонные и железобетонные конструкции. Правила возведения: ТКП 45-5.3-131-2009 (02250) / Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 2009.
2. Руководство по производству бетонных работ в условиях сухого жаркого климата. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1977. – С. 29–38.
3. Виды бетонов и их свойства // Строитель. – 2007. – № 2. – С. 521, 549–551.
4. Хигерович, М.И. Улучшение свойств бетона органическими поверхностно-активными добавками / М.И. Хигерович. – М.: «ВНИИЭСМ», 1975. – 45 с.
5. Крылов, Б.А. Вододисперсионные пленкообразующие составы для бетонов в условиях сухого жаркого климата / Б.А. Крылов [и др.] // Бетон и железобетон. – М.: 1992. – С. 15–17.
6. Фам Ван Хоан. Бетоны без защитного слоя для безрулонных кровель, эксплуатируемых в условиях влажного жаркого климата Вьетнама: автореферат диссертации на соискание степени к.т.н. Специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» / Фам Ван Хоан. – М.: 1993. – 19 с.
7. Мбарки Фетхи. Бетон повышенной водонепроницаемости и трещиностойкости в сухом жарком климате Туниса: автореферат диссертации на соискание учебной степени к.т.н. Специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» / Мбарки Фетхи – СПб., 2003. – С. 18.