

ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ НА КОНСТРУКТИВНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Н.И. Подгорнов

Московская государственная академия
коммунального хозяйства и строительства
ул. Средняя Калитниковская, 30, Москва, Россия, 109029

Приводятся данные исследований твердения бетона в экстремальных условиях, оказывающих деструктивное влияние на его прочность в поверхностном слое, в зоне размещения рабочей арматуры, и негативно влияющих на конструктивную безопасность железобетонных сооружений.

Ключевые слова: твердение бетона, конструктивная безопасность.

Проектирование железобетонных конструкций различных геометрических форм и размеров производят на усилия от внешних нагрузок и воздействий с определением изгибающих и крутящих моментов, продольной и поперечной сил исходя из условия, что бетонное тело является цельным и сплошным по сечению.

Прочность несущих элементов обеспечивается физико-техническими свойствами бетона и арматуры. Для восприятия растягивающих усилий в зоне их действия располагаются арматурные стержни. В конструкциях, воспринимающих сжимающие усилия, арматура работает вместе с бетоном. В обоих случаях из условия совместной работы бетона и арматуры стержни с учетом устройства защитного слоя из бетона размещают вблизи поверхности. Ярким выраженным примером влияния на кинетику структурообразования свежеотформованного бетона является твердение его в экстремальных условиях при температурах ниже 0 °С и выше 25 °С. Теоретически и экспериментально доказано, что внутренние процессы структурообразования и деструкции в твердеющем бетоне протекают одновременно. Структура бетона непостоянна и меняется в результате происходящих в нем физико-химических процессов, а также влияния температурно-влажностных условий окружающей среды. Установлено, что в это время бетон имеет определенную начальную прочность, способен воспринимать внутренние напряжения и противостоять внешним силовым воздействиям. Это определенное состояние структуры бетона С.А. Миронов и Л.А. Малинина назвали критической прочностью — минимальной начальной прочностью, при которой внешние и внутренние напряжения не влияют на дальнейшее структурообразование цементного камня. Величина этой критической прочности и время ее набора зависит от состава бетона, вида вяжущего, водоцементного отношения, химической добавки, начальной температуры бетонной смеси, а также температурно-влажностных условий окружающей среды.

Структурные нарушения в твердеющем бетоне могут быть снижены в случае предварительного его выдерживания до получения начальной критической прочности, уменьшения свободной воды вследствие внешнего массообмена, уменьшения скорости повышения температуры, в результате чего прирост прочности

бетона во времени будет опережать прирост возникающего в нем внутреннего давления, обеспечивая тем самым необходимое сопротивление этому давлению.

Термическое воздействие на бетон при производстве работ в зимнее время позволяет частично нейтрализовать развитие в нем структурных нарушений, но оно связано с назначением благоприятных температурных режимов прогрева монолитной конструкции.

С повышением скорости подъема температуры в бетоне возрастает температурный градиент и интенсифицируется внутреннее испарение влаги. В этом случае процесс упрочнения структуры бетона будет все больше отставать от интенсивности развивающихся физических явлений. Следовательно, деструктивное воздействие последних на формирующуюся структуру бетона будет усиливаться. Таким образом, прогрев бетона в монолитных конструкциях должен осуществляться по мягким режимам со скоростью подъема температуры 10—15 °С/ч. (но не более 20 °С/ч.) до температуры изотермического прогрева.

На рисунке 1 приведены данные кинетики роста прочности бетона в раннем возрасте при твердении его в различных температурно-влажностных условиях окружающей среды.

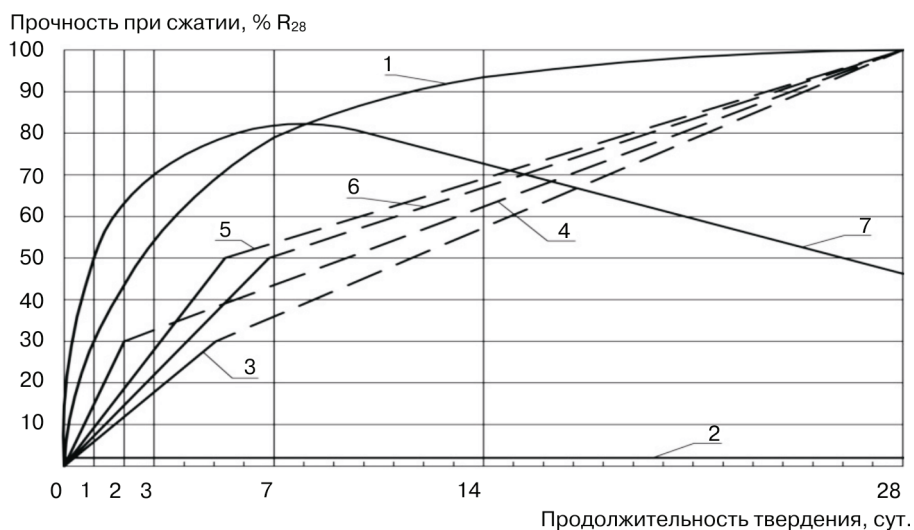


Рис. 1. Кинетика роста прочности бетона при твердении в различных температурно-влажностных условиях:

1 — твердение бетона в камере нормального хранения (эталон); 2 — твердение бетона при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 — рост прочности бетона до $30\% R_{28}$ с последующим замораживанием при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 — набор критической прочности $30\% R_{28}$ с последующим твердением без ухода в высокотемпературной сухой среде; 5 — рост прочности бетона до $50\% R_{28}$ с последующим замораживанием при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 6 — набор критической прочности $50\% R_{28}$ с последующим твердением без ухода в высокотемпературной сухой среде; 7 — твердение бетона без ухода в высокотемпературной сухой среде

При замораживании бетона до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 28 сут. (см. рис. 1, график 2) гидратация цемента отсутствует, а набор прочности приостанавливается. В замороженном твердеющем бетоне нарушенная структура не восстанавливается.

Установлено, что свободная вода, заполняющая все поры и капилляры в межзерновом пространстве, составляет 90%, остальные 10% физически и химически

связанной воды затворения замерзают при 0 °С, переходя в твердое агрегатное состояние с развитием огромного давления и увеличением на 9% объема бетона. Замерзшая вода раздвигает твердые составляющие бетонной смеси, разрыхляя и разуплотняя многокомпонентную структуру бетона. Образовывающиеся тончайшие ледяные прожилки нарушают контакт между цементным раствором, крупным заполнителем и арматурой. Многократное замораживание и оттаивание бетона еще больше нарушает внутреннее сцепление между составляющими материалами и приводит к увеличению потери прочности бетона.

В капиллярно-пористом материале при изменении теплового поля вследствие возникновения температурного градиента влага начинает перемещаться из зоны с более высокой температурой в зону с более низкой. При замерзании свежесобранной бетонной конструкции охлаждение ее начинается с поверхности, и постепенно нулевая изотерма перемещается во внутренние слои конструкции. Поэтому поверхностные слои монолитной конструкции в большей степени подвержены деструктивным процессам.

С целью нейтрализации негативных последствий раннего замораживания бетона СНиП 3.03.01-87 установил требования, согласно которым бетон можно замораживать только по достижении 50% прочности при классе В10, 40% прочности — при классе В25 и 30% — при классе выше В30. Согласно ГОСТ 130150-83, в перекрытиях пролетом до 6 м бетон допускается распалубивать при прочности не менее 70%, при пролетах более 6 м — не менее 80% прочности от класса бетона.

При общих физических процессах, протекающих в твердеющем бетоне, характер тепломассообмена между бетоном и окружающим пространством, а также в самом бетоне при температуре твердения бетона 0 °С и в высокотемпературной сухой среде существенно отличается. Одна из главных отличительных черт — твердение бетона при 0 °С связана с переходом воды по всему объему в твердое состояние.

Твердение бетона в высокотемпературной сухой среде под влиянием солнечной энергии протекает по закону гармонических колебаний. Поверхностные слои интенсивно прогреваются в дневное время и охлаждаются в ночное время. Такой характер тепломассопереноса связан с миграцией влаги от горячей поверхности к холодной: в дневное время влага перемещается в нижние, а в ночное — в верхние слои бетонной конструкции.

Под влиянием циклического нагрева и охлаждения в бетоне возникает нестационарный режим, вызывающий возмущение термовлажностных градиентов и постоянное перераспределение тепла и влаги между нижними и верхними слоями, являющийся особенностью теплофизических процессов при твердении бетона под влиянием тепла окружающей среды. Максимального значения температура в бетоне достигает со смещением в течение 3—4 ч. в сравнении с температурой наружного воздуха. Подобная цикличность наблюдается с интервалом в 12 ч., при этом начиная с 9 ч. вечера до 9 ч. утра поверхностные слои бетона испытывают сжимающие, а нижележащие — растягивающие усилия; в течение суток в верхних и нижних слоях напряженное состояние периодически изменяется на противоположное значение.

Суточные колебания температуры, вызывая монотонные циклически повторяющиеся температурные напряжения, расшатывают его структуру, развивают в нем необратимые деструктивные процессы, связанные со сбросом прочности, несмотря на достижение бетоном критической прочности; в 28-суточном возрасте прочность неухоженного бетона составляет 44—47% R_{28} (см. рис. 1, кривая 7).

Исследование физико-механических свойств твердеющего бетона выполняют на образцах с ребром куба 10, 15, 20 см, определяя таким образом кубиковую прочность с учетом поправочных коэффициентов в пределах геометрических размеров образцов, а полученные результаты не дают ответа о процессах, реально протекающих по сечению монолитной конструкции.

Нами выполнены исследования по изучению проникновения деструкции по глубине бетона. На диаграмме (рис. 2) показано изменение послойной прочности в бетонных образцах высотой 50 см в зависимости от В/Ц, вида цемента, расхода воды, температуры бетонной смеси, химической добавки. Наиболее существенное влияние оказывает количество воды затворения; чем больше вводится воды для получения подвижных или литых бетонных смесей, тем больше недобора прочности по сечению образца. По данным исследований, деструктивным процессам подвержены преимущественно поверхностные слои бетонной конструкции, глубина которых составляет 10—30 см.

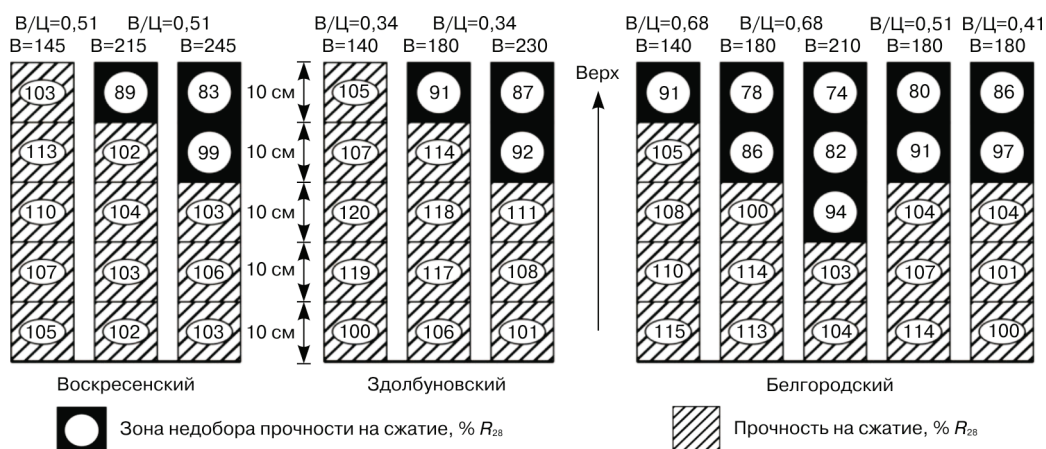


Рис. 2. Диаграмма изменения послойной прочности бетона, приготовленного на различных портландцементях

Основным мероприятием, позволяющим получить в 28-суточном возрасте проектную прочность, является создание для свежееуложенного бетона благоприятных температурно-влажностных условий для его структурообразования до приобретения критической прочности.

Твердение бетона во взаимодействии с окружающей средой — сложный процесс, в котором упрочнение и деструкция материала протекают одновременно, накладываясь друг на друга, а по времени связаны с подъемами и спадами прочности. Сброс прочности различных вяжущих при разнообразии технологических и температурно-влажностных условий в процессе их твердения наблюдали А.В. Кинд, В.Ф. Журавлёв, Е.Е. Сегалов, А.Е. Шейкин, Б.А. Крылов, С.А. Миронов, Л.А. Малинина.

На основе многочисленных экспериментальных исследований для выдерживания конструкций при температуре выше 25 °С СНиП 3.03.01-87 рекомендует уход за свежесутоложенным бетоном начинать сразу после окончания укладки бетонной смеси и осуществлять до достижения, как правило, 70% проектной прочности, а при соответствующем обосновании — 50%. Более поздние исследования выявили, что величина критической прочности может быть снижена с 50—70% до 30—50% R_{28} .

При высоте бетонной конструкции 50 см в случае отсутствия ухода за ним экспериментально установлена деструкция в поверхностном слое бетона толщиной 10—30 см с недобором прочности равной 10—26% R_{28} . Такова прочностная «цена» технологических издержек небрежного отношения к одному из разделов при возведении монолитных конструкций (см. рис. 2). Анализ критических прочностей, в частности, критической прочности по замораживанию, критической прочности прекращения ухода за бетоном выявил их одинаковую величину. Данные исследований послойной прочности свидетельствуют о чрезмерной уязвимости поверхностного слоя твердеющего бетона. Во всех бетонных конструкциях, работающих на сжатие и растяжение, рабочая арматура размещается с учетом толщины защитного слоя ближе к поверхности конструктивного элемента.

Данные исследований послойной прочности не согласуются с классическим представлением о целостности и сплошности деформации компонентов бетона. Технологические дефекты, связанные со строгим соблюдением режима выдерживания бетона, снижают его несущую способность, могут иметь во время бетонирования случайный характер, переходящий на стадии эксплуатации в аварийное состояние. Критические прочностные дефекты возведения монолитных конструкций в совокупности с другими дефектами неминуемо ведут к катастрофическому состоянию отдельных их элементов и всего здания в целом.

Во время проектирования не в полной мере учитываются характеристики материалов, нагрузки и перегрузки и другие факторы, возникающие в доэксплуатационной стадии работы конструкций, среди них практически не принимаемые в расчет процессы формирования структуры бетона в зависимости от природно-климатических и технологических условий.

CLIMATIC AND TECHNOLOGICAL INFLUENCE FOR CONSTRUCTIVE SAFETY OF CONCRETE CONSTRUCTION

N.I. Podgornov

*Moscow state academy of municipal economy and building
Average Kalitnikovskaya str., 30, Moscow, Russia, 109029*

Research information of hardening of concrete in extreme conditions is considered, which exert destructive influence for durability of concrete in surface layer, in area of placement of main reinforcement, and constructive safety of concrete construction.

Key words: hardening of concrete, constructive safety.