

# НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БЕТОНА ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

## Бржанов Р.Т.

*Бржанов Рашид Темержанович - кандидат технических наук, профессор,  
кафедра строительства,  
Кастийский государственный университет технологии и инжиниринга им. Ш. Есенова,  
г. Актау, Республика Казахстан*

**Аннотация:** в статье рассматриваются вопросы влияния раннего замораживания бетона на его структуру. Исследования по раннему замораживанию бетона показали, что раннее замораживание бетона вредно сказывается главным образом на макроструктуре.

**Ключевые слова:** деструктивные явления, зимнее бетонирование, активация воды, критическая прочность.

Возникновение и развитие физических явлений в бетоне при отрицательных температурных воздействиях создает в нем сложное напряженное состояние и наносит существенный ущерб, формирующейся структуре бетона. Общим признаком развития деструктивных процессов в твердеющем бетоне являются необратимые максимальные деформаций расширения составляющих бетона и льда, а также остаточные деформаций [1].

Многочисленные исследования показали, что деструктивные явления наиболее сильно проявляются при нагреве или при замерзаний воды, когда физический процесс расширения опережает химический и физико-химический процесс твердения. Поэтому при анализе причин деструктивных процессов, необходимо более подробно остановиться на периоде подъема температуры и на периоде раннего замораживания бетона.

Как известно, бетонная смесь представляет собой многокомпонентную, гетерогенную систему, состоящую из твердой, жидкой и газообразной фаз. Каждая из этих фаз имеет разные коэффициенты линейного температурного расширения.

Другой особенностью свежееотформованного бетона является непрерывное изменение реологического состояния системы, необратимые реакций твердения бетона. Физико-химическая природа и механизм возникновения внутренних напряжений в процессе кристаллизационного структурообразования являются следствием проникновения подвижных молекул адсорбционного слоя в пространство между срастающимися кристалликами и возникновения в результате этого кристаллизационного давления.

Для изучения влияния раннего замораживания бетона на структуру цементного камня, влияния распределения пор по сечению образца были проведены макроскопические и микроскопические исследования образцов бетона, замороженного в разный период от начала затворения бетонной смеси водой. Так, структура образцов, замороженных при  $-20^{\circ}\text{C}$  сразу и через 3 и 6 часов и испытанных через сутки после оттаивания показали, что в них много макро и микро трещин разного направления. Ширина трещин находится в пределах 0,001-0,1 мм. Преобладают цепочки из 3-5 пор размером 0,001-0,1 мм. Большая часть трещин находится на границе сцепления клинкерных минералов. В образцах выдержанных до замораживания 9 и 12 часов при нормальной температуре ( $+20^{\circ}\text{C}$ ) и испытанных через сутки после оттаивания, структура улучшилась, поры изолированы друг от друга.

Эти и другие исследования по раннему замораживанию бетона показали, что раннее замораживание бетона вредно сказывается главным образом на макроструктуре. Основные изменения происходят в порах размером 0,1 мк. Причем структурные изменения тем больше, чем ранее заморожен бетон. Испытания прочности бетона замороженного в разное время снижает прочность бетона. Большую роль в снижении прочности бетона при замораживании его в раннем возрасте играет, ослабление прочности сцепления между растворной частью бетона и зёрнами крупного заменителя. Для экспериментов брали бетонные образцы на разных заполнителях (плотные и пористые). Наибольшее ослабление прочности сцепления при раннем замораживании бетона было получено в образцах с плотным, прочным заполнителем. Замораживание керамзитобетона создает лучшие по сравнению с тяжелым бетоном, условие формирования структуры. После затворения легкобетонной смеси, керамзит берет 30% воды затворения, являясь как бы аккумулятором влаги. Из-за уменьшения истинного водоцементного отношения на контакте формируется мелкопористая структура.

Со структурой пор цементного камня напрямую связано долговечность бетона, морозостойкость. Чтобы обоснованно установить ту прочность, при которой бетон может быть заморожен без последствия для дальнейшего роста прочности, были проведены многочисленные исследования. Нормами установлены пределы прочности бетона (критическая прочность) монолитных конструкций к моменту возможного замораживания в пределах 30% -50% от проектной прочности в зависимости от проектных марок бетона. При этом надо учесть, что критическая прочность устанавливает только момент замораживания и никоим образом не отражает прочность распалубки конструкции и его частичное или

полное загрузение. Необходимая критическая прочность бетона зависит от пропорции газовой жидкой и твердой фаз, интенсивности тепловыделения при гидратации цемента. Межфазовое воздействие зависит, прежде всего, от минералогического состава цемента, в основном от содержания в клинкере трехкальциевого алюмината  $C_3A$ . У портландцементов с различным содержанием  $C_3A$  и разные сроки схватывания. Так при  $C_3A$  в клинкере 7-8% время схватывания уменьшается с 192 до 130 минут при температуре  $18^{\circ}C$  до 6-7 минут при быстром разогреве до  $40^{\circ}C$ , а дальнейшее повышение температуры не влияет. У портландцемента с содержанием  $C_3A$  в клинкере 3% время начала схватывания мало зависит от температуры. Разработаны методики расчета продолжительности остывания конструкции с обеспечением заданной прочности бетона, которые основываются на расчетных и графических закономерностях остывания конструкции от ее размеров, применяемых цементов, температуры и скорости ветра наружного воздуха. Расчет охлаждения железобетонных конструкций является решением одной из частных не линейных задач теплопроводности. Решение задачи о температурном поле твердеющего бетона осложняется трудностями, связанными с нестационарными условиями процесса остывания монолитного бетона.

Общей особенностью всех методов расчета охлаждения бетона является то, что экзотермия цемента, его реакционная способность учитывается по стандартным показателям, без учета температуры внешней среды, материала опалубки, что приводит к существенной погрешности.

Нами также опробованы технологические приемы, позволяющие при раннем замораживании избежать существенного снижения прочности. Так при повторном вибрировании бетонной смеси замораживание не влияет на прочность, при последующем выдерживании образцов в нормальных условиях. Также в этих опытах исследовалась сцепление арматуры с бетоном, которое тоже не нарушается при раннем замораживании бетона [2]. Это явление объясняется повышенной закристаллизованностью гидро-силикатной массы. Понижение температуры в раннем возрасте бетона способствует более полному гидролизу клинкера, за счет большой растворимости гидроксида кальция и увеличения продуктов гидротаций. Эти явления протекают одновременно с образованием мелкопористой структуры цементного камня из-за кристаллизации воды в лед и уменьшением жидкой фазы геля. При последующем повышении температуры происходит пресыщение жидкой фазы по отношению к  $Ca(OH)_2$  и интенсивное образование большого числа центров кристаллизации. Это понижает основность гидросиликатов и изменяет удельную поверхность микропор цемента.

Замораживание бетона и раствора в раннем возрасте сопровождается увеличением их прочности. Дополнительный источник цементации – лед, который обладает различной прочностью, пластичностью, текучестью в точках контакта его с твердыми составными бетона под действием внешней нагрузки. Льдоцементные связи упрочняются с понижением температуры вследствие уменьшения подвижности атомов водорода в кристаллической решетке льда. Повышение льдистости увеличивает несколько сопротивление бетона сжатием, повышает пластические свойства его. Модуль упругости и призмная прочность бетона с понижением температуры понижается [3].

Калориметрическими, дилатометрическим, ультразвуковыми, кандуметрическим и другими методами исследований показали, что с понижением температуры за  $0^{\circ}$  вода в бетоне не сразу переходит в лед. Вода, адсорбированная микрокристаллами гидросиликата кальция и содержащаяся в контракционных порах геля, замерзает при температурах минус  $30^{\circ}C$  и ниже. Процессы гидратации цемента замедляются, но полностью не прекращаются. В то же время в результате экзотермических реакций гидратации цемента выделяется тепло, которое вызывает таяние льда. При полном замерзании воды в порах и капиллярах твердение бетона прерывается. Но реакционная способность клинкера при низких температурах сохраняется, это доказываются расчетами энтальпии различных минералов клинкера цемента. Кроме этого зерна клинкера окружены оболочками геля гидросиликата кальция, который в зависимости от сроков замораживания имеет различную проницаемость. Вода, окружающая гелевые оболочки, при замерзании, увеличиваясь в объеме, оказывает давление на них, вызывая микродеформации и микротрещины в оболочке. Тем самым открывается доступ воды к негидротированной части зерен клинкера. Микродефекты оболочки геля возможны при небольшой толщине и прочности. Следовательно большой прирост прочности после оттаивания характерен для бетонов замороженных с небольшой прочностью (15-20% марочной). В свежемороженом бетоне гелевых оболочек практически нет, а с прочностью до замораживания 70-80% от марочной, с одной стороны достаточно прочное, а с другой стороны в бетоне содержится недостаточное количество воды, давление которого при замерзании недостаточно для образования микродефектов.

#### *Список литературы / References*

1. *Миронов С.А.* Теория и методы зимнего бетонирования. М.: Стройиздат, 1976. 168 с.
2. *Бржанов Р.Т., Бишимбаев В.К.* Инновационный патент № 25941. Способ изготовления бетонной смеси.

3. *Бржанов Р.Т.* «Повторное вибрирование как фактор повышения прочности бетона». Вестник ПГУ № 1, 2009. Стр. 25-35.