

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ  
ЕВРОПЕЙСКИХ СТАНДАРТОВ  
В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

(г. Минск, БНТУ — 27-28.05.2014)

УДК 666.93

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ  
ОБРАБОТКИ ПЕНОБЕТОНОВ НЕАВТОКЛАВНОГО  
ТВЕРДЕНИЯ**

*РОМАНОВ Д.В., МОРДИЧ М.М., ГАЛУЗО. О.Г*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Качество пенобетонных изделий зависит от множества факторов, одним из основных является правильно подобранный режим твердения пенобетонных изделий.

На нормальный ход процесса формирования физической структуры твердения пенобетона, содержащего от 50 до 80 % пор по объему, могут оказать воздействие следующие факторы: давление воздуха в порах; миграция воды под влиянием температурного градиента, приводящая к деструктивным явлениям и влажностной усадке массива; различие коэффициентов термического расширения компонентов пенобетонной смеси; набухание материала при конденсации пара на его поверхности [2, 3].

Для выработки возможных подходов к подбору рационального режима ТВО рассмотрим кратко общие представления о тепловой обработке пенобетонных изделий и процессах гидратации цемента. Структурообразование в твердеющем пенобетоне при нагреве является комплексным процессом, включающим конструктивные и деструктивные явления. Определяющими деструктивными процессами яв-

ляются: тепло и массообмен во влажных пористо-капиллярных телах и напряжения, вызываемые температурным расширением материала. В раннем возрасте при нагреве твердеющего пенобетона возникают миграционные потоки воды по направлению теплового потока. Эти потоки под избыточным давлением, возникающим в порах материала, вызывают нарушение структуры твердеющего пенобетона [2, 3]. Аналогично тепловой обработке тяжелых бетонов для пенобетонов можно выделить четыре основных периода.

*Первый период* – состояние пенобетонной смеси до прогрева. Температура воздуха в пузырьках одинаковая, равная температуре смеси. Избыточное давление воздуха в пузырьках зависит от размера пузырьков, их количества и поверхностного натяжения пенообразователя.

*Второй период* – нагрев изделий до температуры изотермического прогрева. В прогреваемой конструкции возникает температурный градиент. Температура воздуха в пузырьках в поверхностном слое выше, чем в пузырьках, находящихся в центральной части массива. При прочих равных условиях избыточное давление на стенки межпоровых перегородок направлено от поверхности к центру. Величина давления определяется величиной температурного градиента, размером конструкции по направлению прогрева, размером воздушных пузырьков и их количеством. Чем ниже проектная средняя плотность пенобетона, тем ниже его теплопроводность, тем выше температурный градиент.

*Третий период* – выравнивание температуры по сечению конструкции и изотермический прогрев. Температура и давление воздуха в пузырьках по сечению массива медленно выравниваются, но давление в порах больше первоначального. В этот момент в верхних слоях может происходить прорыв воздуха из пор и образование открытых пор. Стойкость каркаса смеси, противостоящая прорыву воздушных пузырьков, зависит от прочности структуры цементного камня в межпоровых перегородках, достигнутой до нагрева.

*Четвертый период* – охлаждение изделий до температуры окружающей среды. В этот период температурный градиент меняет свое направление – от центра к поверхности. Идет быстрое снижение давления в наружных слоях изделий.

Изменение температурного градиента сопровождается массопереносом. Влажностный режим в прогреваемой конструкции значи-

тельно влияет на величину и направление потенциала переноса жидкой фазы. Совпадение направлений температурного и влажностного градиентов вызывает рост интенсивности потока мигрирующей влаги.

В первый период прогрева при наличии температурного градиента по сечению образца влага мигрирует по направлению теплового потока: от поверхности к центру. При этом пар конденсируется на открытой поверхности изделий и переувлажняет ее. Конденсация пара происходит и внутри пор материала. Обводнение пенобетона сопровождается увеличением его массы на 2 – 4 % и объема. Увеличение объема, вызываемое осмотическими силами набухания цементного геля, происходит очень быстро: уже через 1 – 5 мин оно достигает максимума.

При набухании происходит нарушение структуры (деструкция). Это набухание может быть тем меньше, чем больше предварительная выдержка пенобетона перед тепловлажностной обработкой. Конденсация пара на поверхности будет происходить до тех пор, пока температура поверхности изделий не станет больше температуры точки росы окружающей паровоздушной смеси.

Влияние защиты от увлажнения конденсатом на интенсивность деструкции изучалось в работе [1]. Как указывают авторы, укрытие образцов полиэтиленовой пленкой незначительно изменяло температурный режим в них, но резко снижало внутренние избыточные давления в первый период прогрева, что повысило прочность на 10 – 23%.

К концу прогрева при выравнивании температуры по сечению воздействие давления на жидкость меняется и жидкость мигрирует от центра к поверхности. В этот период более высокая температура пенобетона по сравнению с температурой среды вызывает испарение воды до 30% от общего количества, ухудшение структуры за счет влажностной усадки, особенно по ребрам и углам блоков, снижение физико-механических свойств бетона.

В начальный период процесса нагревания свежесформованного пенобетона заключенный в его порах воздух расширяется по закону Гей-Люссака в 1,2 – 1,3 раза и оказывает давление на стенки пор. Величина давления расширяющегося в порах воздуха при 40 -70°C и влажности пенобетонной смеси 30 – 40% составляет около

0,02 МПа, т.е. соизмерима с микронапряжениями в структуре пенобетона.

Интенсивный процесс нагрева опасен для пенобетона средней плотностью ниже  $900 \text{ кг/м}^3$ , когда цемент еще не успел сформировать достаточно прочный камень. Наибольшие изменения в структуре возникают, если нагрев начинается сразу же после окончания формования изделия, когда температурные деформации ничем не ограничены. При этом, чем быстрее растёт температура в массиве бетона, тем больше разрыхляется его структура и увеличивается остаточная деформация. Медленный разогрев пенобетона позволит избежать резкого нарастания деструктивных напряжений, возникающих в результате давления воздуха в порах.

Большое влияние на процессы структурообразования в пенобетоне оказывает температура и время изотермической выдержки. Длительность изотермической выдержки изделий определяется скоростью упрочнения этих изделий и ограничивается временем, за которое изделия приобретают минимальную распалубочную прочность. Это время зависит от температуры, состава пенобетонной смеси, а также от плотности свежеложенного массива.

Пористые бетоны нагреваются медленно, за счет своей низкой теплопроводности, но в свою очередь и медленно отдают тепло. Из-за этого при проведении ТВО для поризованных бетонов в момент достижения температуры изотермической выдержки можно отключить подачу тепла, а твердение будет идти за счет накопленного тепла в теле бетона и изотермического процесса гидратации.

Авторами [1-4] исследовалось влияние режимов твердения на прочностные показатели пенобетона со средней плотностью  $300 \text{ кг/м}^3$ . Из переменных факторов исследовались длительность выдержки до пропаривания и время изотермической выдержки. Температура в тепловой камере была выше  $80^\circ\text{C}$ , образцы в камере находились в металлической форме. Режимы ТВО представлены в таблице 1.

Таблица 1.

## Режимы ТВО при разных условиях твердения пенобетона

Номера режимов	Режим тепловлажностной обработки		
	Предварительная выдержка, ч	Подъем температуры, ч	Изотермическая выдержка, ч
1, 2, 3	1	3	0, 1, 3
4, 5, 6	3	3	0, 1, 3
7, 8, 9	24	3	0, 1, 3
10	Твердение при температуре $20\pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности $>90\%$		

Результаты по влиянию режима тепловой обработки на прочность пенобетонов представлены на рисунке 1.

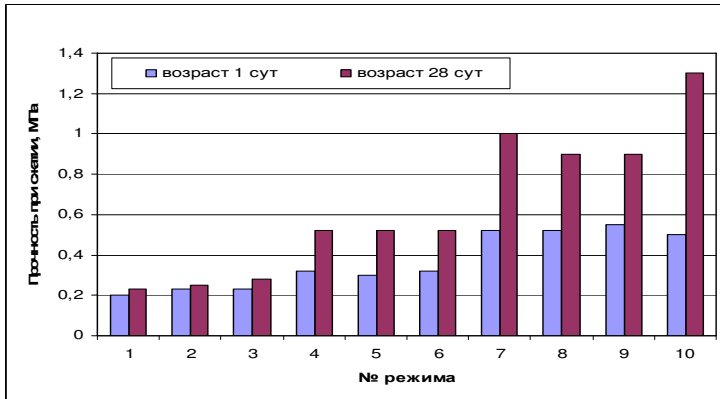


Рис. 1. Прочность пенобетона при различных режимах ТВО

Как показывают результаты, самую низкую прочность имели образцы, которые после часовой выдержки в нормальных условиях были подвергнуты тепловой обработке. Эта прочность составляла 17% от максимальной прочности, достигнутой образцами при твердении по режиму 7.

Следует отметить, что образцы, пропаренные по режимам 1 – 3, имели сильные деформативные изменения из-за низкой первоначальной прочности цементного камня в межпоровых перегородках. Поверхность образцов была вспученной, на поверхности были видны трещины. Вероятно, имело место быстрое высыхание образцов за счет ускоренного тепломассопереноса через возникшие трещины в межпоровых перегородках и дальнейшее разрушение структуры, что и привело к понижению прочности.

Таким образом, анализ полученных результатов разных авторов, показывает, что наилучшим режимом ТВО для пенобетонов является

ся доведение температуры в камере до 80 -90°С без изотермической выдержки с предварительной выдержкой после заливки в естественных условиях в течение 24 часов (режим 7). Режимы 8 и 9 не дали значительного повышения прочности с увеличением времени экзотермической выдержки, а в возрасте 28 суток прочность образцов не достигла прочности образцов, подвергнутых обработке по режиму 7. Вероятно, длительная выдержка при высокой температуре ослабляла прочность межпоровых перегородок из-за интенсивного тепломассообмена. В возрасте одни сутки прочность образцов, твердеющих в нормальных условиях без тепловой обработки, была незначительно ниже, чем после ТВО, но в 28-суточном возрасте она превосходила прочность образцов после ТВО. [4]

Особое внимание необходимо уделять режиму охлаждения изделий после тепловой камеры. Именно при охлаждении возникают наибольшие температурные градиенты, приводящие к заметным деструктивным изменениям. В период остывания изделий температурные градиенты в теле изделий вызывают усадочные напряжения, связанные как с процессом высыхания (влажностная усадка), так и с температурной усадкой. Все это обуславливает образование поверхностных или сквозных трещин, т.е. необратимых макродефектов. В свою очередь, микроструктура пенобетона в этом случае должна пострадать значительно меньше, чем в начальный период тепловой обработки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горяйнов К.Э. Деструкция в твердеющем бетоне раннего возраста при нагреве и способы уменьшения ее интенсивности / Труды международной конференции по проблемам ускорения твердения бетона при изготовлении сборных железобетонных конструкций (РИЛЕМ). / М: Стройиздат. 1968г. – с 55-63.
2. Миронов А.С, Ускорение твердения бетона. Пропаривание бетона в заводских условиях / М: Гостройиздат. 1961 – 224с.
3. Труды международной конференции по проблемам ускорения твердения бетона при изготовлении сборных железобетонных конструкций (РИЛЕМ). / М: Стройиздат. 1968г. – 400с
4. Шахова Л.Д. Ускорение твердения пенобетонов / Л.Д. Шахова, Е.С. Черноситова // Строительные материалы 2005, №5, с.3-7.