

## **Об эффективности комплексного теплого бетонирования и водного горячего твердения бетона**

**А.М. Осадченко, Ю.В. Терёхина, А.С. Новикова**

В целях экономии теплотрат при тепловой обработке (ТО) сборных железобетонных изделий на некоторых заводах применяют горячие бетонные смеси, которые разогревают электрическим током или паром до 50–80 °С. В формы их укладывают и уплотняют сразу же после нагрева для устранения нежелательных последствий при скоротечной потере удобоукладываемости [1].

Для создания влажностных условий при гидратации цемента широко применяют пропаривание железобетонных изделий насыщенным паром в ямных камерах. Вместе с тем, по данным ЦСУ, при термообработке изделий паром имеют место огромные потери тепла: на производство 1 м<sup>3</sup> сборного железобетона в среднем расходуется 470 тыс. ккал, а требуется же примерно только 60 тыс. ккал. Только потери с конденсатом и при выбивании пара через неплотности камеры составляют до 20 % всего затраченного тепла; 15 % тепла теряется при испарении части воды затворения в паровоздушной среде [2, 3].

Значительные потери тепла имеют горячие смеси в результате большой продолжительности загрузки ямной камеры свежесформованными изделиями. Так, при поточно-агрегатном способе производства продолжительность загрузки ямной камеры плитами в один штабель при цикле формования (20 мин) составляет 2 ч, а в камере в два штабеля соответственно – 4 ч. В течение этого времени теряется и большая часть тепла экзотермии цемента [4].

Представляет интерес ускоренное твердение бетона в бассейнах с горячей водой. При этом сохраняется стопроцентная влажность бетона, так необходимая ему для гидратации цемента, особенно в начале этого процесса.

При теплом бетонировании с температурой бетонной смеси до 40 °С и горячем изотермическом прогреве (60 °С) в воде небольшой градиент температур (20 °С) позволит значительно сократить (до 1 ч) период подъема температуры, согласно требованиям стандарта к скорости подъема температуры (не более 25 °С/ч). При рассмотрении сводных тепловых балансов различных вариантов ТО было установлено, что теплое бетонирование (до 40 °С) сокращает теплотраты на 34 %, а комплексная тепловая обработка в горячей воде (60 °С) теплого бетона (40 °С) экономит до 73 % теплотрат в сравнении с ТО в паровоздушной среде. Расчеты тепловых балансов проводились применительно к теплотратам на тепловую обработку дорожных плит, изготавливаемых из бетона класса В22,5 [5].

Необходимо было провести экспериментальную проверку осуществимости предлагаемого комплексного способа – теплое бетонирование (40 °С) в сочетании с горячей водной выдержкой (60 °С). Погружение в горячую воду только что изготовленных бетонных изделий вызывало опасение значительного нарушения структуры бетона и его размывания при этом достижение бетоном прочности класса В22,5 и требуемой высокой морозостойкости оставалось под вопросом [6].

Тепловая обработка бетона сопровождается процессами миграции влаги и воздуха. Это может приводить к нарушению структуры и сокращению службы конструкций. Прогрев бетона сопровождается расширением его составляющих. Это расширение также может вызвать нарушение структуры еще неокрепшего бетона. Чтобы уменьшить отрицательное влияние этого фактора применяют медленный подъем температуры со скоростью 20–35 °С/ч [6]. С целью избежать расширения бетона при нагревании и сократить продолжительность ТО и применяют горячие ( $t=50\text{--}80$  °С) либо теплые (до 40 °С) бетонные смеси. При формовании предварительно разогретыми бетонными смесями до температуры 40 °С продолжительность ТО может сокращаться на 4 ч [7].

Изотермическая выдержка для бетонов с повышенными требованиями морозостойкости (дорожные плиты) должна проводиться при температуре не более 60–70 °С. Следует учитывать, что в случае применения разогретых бетонных смесей предварительное выдерживание противопоказано, а скорость подъема температуры должна быть около 20 °С/ч. Учитывая, что период подъема температуры самый энергозатратный, его большая продолжительность значительно снижает энергоэффективность производства.

Ограничивается и скорость остывания бетона, ее назначают не более 20 °С/ч. В целом продолжительность цикла (периодов) при толщине бетона в изделиях 160–400 мм составляет 12ч (3.5+6.5+2). Длительность изотермического прогрева назначают в зависимости от требуемой прочности бетона сразу после ТО (распалубочной, передаточной, отпускной) [8]. При использовании химических добавок – ускорителей твердения цикл тепловой обработки сокращается на 1–2 ч (за счет периода изотермического прогрева) [9,10].

В случаях, когда на технологической линии оборачиваемость теплового агрегата (ямная камера, бассейн) составляет один оборот в сутки, назначают термосные или низкотемпературные режимы ТО, что позволяет получить изделия с требуемой прочностью при меньших расходах тепловой энергии.

Составы бетонной смеси в опытах назначали в соответствии с нормами расходов материалов, действующими на КСМ-1 г. Ростова-на-Дону для дорожных плит. Расходы материалов на 1м<sup>3</sup> бетона: портландцемент марки 500–300 кг, горячая вода – 165 кг, щебень – 1105 кг, песок – 725 кг. Удобоукладываемость бетонной смеси соответствует жесткости Ж-1. Горячую воду затворения вводили с температурой 60 и 90 °С. После тщательного перемешивания компонентов бетона формовали образцы с размерами 10x10x10 см на лабораторном вибростоле с нормативными параметрами. Отформованные образцы с температурой 35–40 °С погружали в формах в бак с горячей водой 60 °С. Длительность изотермической выдержки составляла 2, 3 и 3,5 ч. Для оценки влияния омывания горячей водой поверхности бетона на образцы серии 3 наносили Аквастоп, а образцы серии 5 изолировали от проникновения

к ним горячей воды полиэтиленовыми пакетами бытового назначения. Образцы серии 4 изготавливали из теплой бетонной смеси, как и образцы других серий, но они не подвергались обработке горячей водой, а хранились 28 суток в условиях нормального твердения. Результаты испытаний на прочность при сжатии в 20-часовом и 28 суточном возрасте приведены в таблице 1.

Таблица 1

Прочность после ТО в горячей воде теплых бетонных образцов

Показатели	№ серии образцов				
	1	2	3	4	5
Температура воды затворения	60	90	90	90	90
Температура бетонной смеси	30	35	36	36	37
Продолжительность, изотермического прогрева бетона	3,5	3,0	2,0	-	2,0
Предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток нормального твердения после ТО, кгс/см <sup>2</sup>	442	433	348	358	406
Предел прочности при сжатии в возрасте 20 ч после ТО и дозревания, кг/см <sup>2</sup> , по термосному режиму	184	182	143	64	97
Виды обработки образцов					
а) покрытие поверхности Аквастопом с гидрофобизирующим составом)	-	-	+	-	-
б) гидроизоляция поверхности образцов бытовыми полиэтиленовыми пакетами	-	-	-	-	+
в) нормальное твердение	-	-	-	+	-

Выводы по работе:

1. Предлагаемая технология ускоренного твердения бетона, предусматривающая теплое бетонирование и твердение в горячей воде, является низко-теплотратной и обеспечивает требуемую прочность в 28-суточном возрасте без снижения морозостойкости.

2. Продолжительность тепловой обработки значительно уменьшается за счет сокращения I периода до 0,5–1 ч.

3. Потери тепла существенно снижаются вследствие отсутствия конденсата, выбивания пара сквозь неплотности ограждений и крышки камеры, отсутствия испарения воды затворения, сохранения и использования теплоты экзотермии, термосного дозревания бетона.

## Литература:

1. Горчаков Г.И. Строительные материалы / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов// – Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1986. – 688 с.
2. Bogue R H, The Chemistry of Portland Cement, 2nd Ed., Reinhold Publishing Corp, New York, 1955. –703 p.
3. Albert K.H. Kwan, Leog Li Combined effects of water film, paste film and mortar film thicknesses on fresh properties of concrete // Construction and Building Materials. – 15 January, 2013. – 598–608.
4. Бердичевский Г.И. Производство сборных железобетонных изделий / Г.И. Бердичевский, А.П. Васильев, А.А. Малинина и др.// – Справочник под ред. К.В. Михайлова, К.М. Королева – М.: Стройиздат, 1989. – 447 с.
5. Пособие по тепловой обработке сборных железобетонных конструкций и изделий (к СНиП 3.09.01-85)/ВНИИ железобетон, – М.: Стройиздат, 1989. – 50 с.
6. Тепло- и массоперенос при новых способах теплового воздействия на твердеющий бетон. Труды НИИСМИ, Киев: «Будивельник», 1973. – 86 с.
7. Перегудов В.В. Роговой М.И. Тепловые процессы и установки в технологии строительных изделий и деталей / В.В. Перегудов, М.И. Роговой// – Учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1983. – 416 с.
8. Стефанов Б.В. Технология бетонных и железобетонных изделий / Б.В. Стефанов// – Киев: «Вища школа», 1972. – 408 с.
9. Явруян Х.С. , Филонов И.А., Д.А. Фесенко К вопросу о применении нанотехнологий в производстве строительных материалов. [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №3. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/1021> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
10. Костыленко К.И. Оценка влияния состояния воды на свойства цементно-песчаных шликеров. [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №3. – Режим доступа:

<http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/943> (доступ свободный) – Загл.  
с экрана. – Яз. рус.