

Преимущества применения предварительно разогретых заполнителей при тепловлажностной обработке железобетонных изделий

Сизов В. Д.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Приведены аналитические расчеты и графические зависимости времени подъема температуры изделий и коэффициента полезного использования тепловой энергии в зависимости от начальной температуры бетонной смеси, которые показывают преимущества применения предварительно разогретых заполнителей.

Анализ действующих нормативных документов по изготовлению наружных ограждающих конструкций показал, что основным нормативным документом по тепловлажностной обработке бетона (ТВО) является ТКП 45-5.03-13-2005 (02250) [1], в котором отражены все возможные варианты тепловой обработки изделий и принципы определения эффективности тех или иных мероприятий, которые оказывают влияние на сокращение расходов тепловой энергии.

К одним из таких мероприятий относится и процесс ТВО с использованием предварительного электро- и пароразогрева бетонной смеси, однако, варианты с использованием предварительно разогретых заполнителей в приведенном документе не рассматриваются.

Тем не менее, используя методики, разработанные в [1] можно показать преимущества применения предварительно разогретых заполнителей, которое оказывает определяющее влияние на снижение времени ТВО и повышает эффективность процесса в целом.

Например, при расчете рациональных режимов беспрогревного выдерживания изделий по методике [1] ориентировочная средняя температура определяется как:

$$t'_{cp} = t_{б.см.} + \Delta t_{м1} + 2 \cdot 10^{-2} (\Pi_{cp} - 300) - 0,85 (M_{cp} - 1),$$

где $t_{б.см.}$ – начальная температура бетонной смеси, °С; $\Delta t_{м1}$ – приращение температуры изделий; Π_{cp} – среднее содержание цемента в бетоне, кг/м³; M_{cp} – средний модуль поверхности, м⁻¹.

При $t_{б.см.} = +18$ °С; $\Pi_{cp} = 280$ кг/м³; $M_{cp} = 15$ м⁻¹; $\Delta t_{м1} = 10$ °С:

$$t'_{cp} = 18 + 10 + 2 \cdot 10^{-2} (280 - 300) - 0,85 (15 - 1) = 15,7 \text{ °С},$$

при $t_{б.см.} = 70$ °С

$$t'_{\text{cp}} = 70 + 10 + 2 \cdot 10^{-2} (280 - 300) - 0,85(15 - 1) = 67,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Если принять величину приращения температуры бетона в изделиях за одни сутки $\Delta t = 11 \text{ } ^\circ\text{C}$, то средняя температура бетона при выдерживании в течение 1 суток составит:

$$t'_{\text{cp}} = 15,7 + 0,5 \cdot 11 = 21,2 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$t''_{\text{cp}} = 67,7 + 0,5 \cdot 11 = 73,2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

При конечной температуре бетона к концу периода тепловой обработки $\approx 90 \text{ } ^\circ\text{C}$, скорости подъема температуры в камере $V_{\text{п}} = 30 \text{ } ^\circ\text{C/ч}$ и температуре тепловой обработки $t_{\text{cp}} = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$ продолжительность подъема температуры среды $\tau_{\text{п}}$ в камере составит:

при $t_{\text{б.см.}} = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\tau_{\text{п}} = \frac{t_{\text{cp}} + 15 - t'_{\text{cp}}}{V_{\text{п}}} = \frac{100 + 15 - 21,2}{30} = 3,12 \text{ ч},$$

при $t_{\text{б.см.}} = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\tau_{\text{п}}'' = \frac{100 + 15 - 73,2}{30} = 1,39 \text{ ч}.$$

При других начальных температурах рассчитанные результаты сведены в табл.

Таблица

$t_{\text{б.см.}}$	40	50	60	80	90
$\tau_{\text{п}}$	2,39	2,06	1,72	1,06	0,72

По полученным рассчитанным данным можно построить графическую зависимость $\tau_{\text{п}} = f(t_{\text{б.см.}})$, которая представлена на рис. 1.

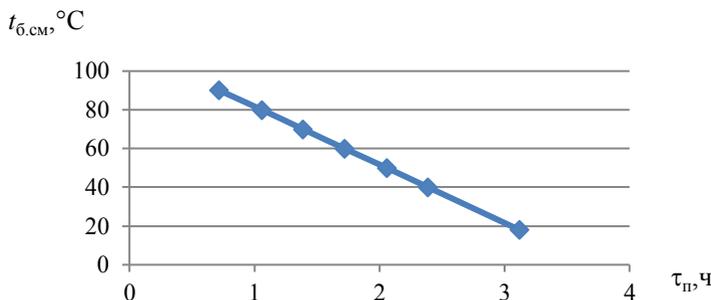


Рис. 1. Зависимость времени подъема температуры изделия от начальной температуры бетонной смеси

Дальнейшее подтверждение вышеуказанных преимуществ можно получить по величине коэффициента полезного использования тепловой энергии, принимая начальные температуры бетонной смеси равные 40 °С и 70 °С.

Используя соответствующие таблицы [1], расход тепловой энергии при разогреве бетона от 40 °С до 80 °С составит $Q'_6 = 113 - 52 = 61,0$ МДж/м³, а при разогреве от 70 °С до 80 °С: $Q''_6 = 113 - 100 = 13,0$ МДж/м³, при разогреве металла от 40 °С до 80 °С расход тепловой энергии составит $Q'_m = 146 - 54 = 92,0$ МДж/м³, а при разогреве от 70 °С до 80 °С: $Q''_m = 146 - 121 = 25,0$ МДж/м³, т.е. полезный расход тепловой энергии от 40 °С до 80 °С: $Q' = 61 + 92 = 153,0$ МДж/м³, а от 70 °С до 80 °С: $Q'' = 13 + 25 = 38,0$ МДж/м³.

Коэффициент $K_{t,n}$ вводить не надо, т.к. по таблицам влияние начальных температур учтено в 2-х случаях.

Непроизводительные расходы также определяем по таблицам [1].

1. при разогреве от 40 °С до 80 °С:

$$q'_1 = (19,2 - 16,7) \cdot 0,146 = 0,365 \text{ МДж/м}^2,$$

$$q'_2 = (15,5 - 10,5) \cdot 0,146 = 0,73 \text{ МДж/м}^2,$$

$$q'_3 = 15,5 - 10,5 = 5,0 \text{ МДж/м}^2,$$

$$q'_4 = 7,7 - 5,9 = 1,8 \text{ МДж/м}^2,$$

$$q'_5 = (18,0 - 7,1) \cdot 0,146 = 1,5 \text{ МДж/м}^2.$$

2. при разогреве от 70 °С до 80 °С:

$$q''_1 = (19,2 - 18,8) \cdot 0,146 = 0,06 \text{ МДж/м}^2,$$

$$q''_2 = (15,5 - 14) \cdot 0,146 = 0,22 \text{ МДж/м}^2,$$

$$q''_3 = 15,5 - 14 = 1,5 \text{ МДж/м}^2,$$

$$q''_4 = 7,7 - 7,1 = 0,6 \text{ МДж/м}^2,$$

$$q''_5 = (18,0 - 15,1) \cdot 0,146 = 0,423 \text{ МДж/м}^2.$$

Рассчитываем суммарные непроизводительные потери для этих двух случаев с коэффициентом $K_{t,n}$:

$$K'_{t,n} = \frac{80 - 40}{80 - 15} = 0,61, \quad K''_{t,n} = \frac{80 - 70}{80 - 15} = 0,15$$

и коэффициентом K_k , учитывающим потери тепла с конденсатом:

$$K'_{k40} = 1,030, \quad K''_{k70} = 1,055.$$

Расчетные значения площадей выбираем из примера при нагреве бетонной смеси от 18 до 80 ° с коэффициентом полезного действия $\eta = 0,7$.

$$Q'_{\text{н.п.}_{40-80}} = 0,61(0,365 \cdot 98 + 0,73 \cdot 26 + 5 \cdot 66 + 1,8 \cdot 66 + 1,5 \cdot 49) = 19,38 \text{ кДж};$$

$$Q''_{\text{н.п.}_{70-80}} = 0,15 \cdot (0,06 \cdot 98 + 0,22 \cdot 26 + 1,5 \cdot 66 + 0,6 \cdot 66 + 0,423 \cdot 49) = 1,4 \text{ кДж}.$$

Соответственно коэффициенты полезного использования тепловой энергии составят:

$$\eta' = \frac{153,0}{153,0 + 19,38} = 0,88,$$

$$\eta'' = \frac{38,0}{38,0 + 1,4} = 0,96.$$

По полученным расчетным величинам график зависимости $\eta = f(t_{\text{нач}})$ будет выглядеть, как показано на рис. 2.

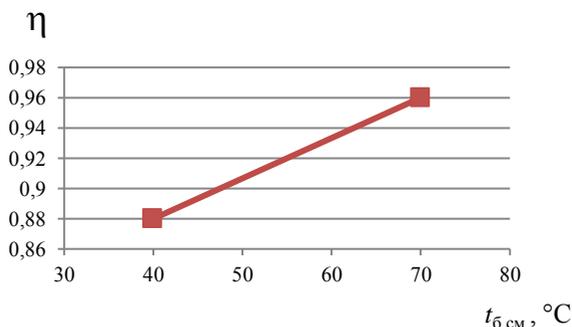


Рис. 2. Зависимость коэффициента полезного использования тепловой энергии от начальной температуры бетонной смеси

Приведенные расчеты и графические зависимости подтверждают преимущества применения предварительно разогретых заполнителей при ТВО железобетонных изделий, как при снижении времени подъема температур, так и по коэффициенту полезного действия.

Литература

1. ТКП 45-5.03-13-2005 (02250). Изделия бетонные и железобетонные сборные. Правила тепловлажностной обработки [Текст]. – Введ. с 01.01.2006. – Минск: Минстройархитектуры, 2006. – 62 с.