

И в а н о в В.И., П р о х о р о в Ю.И. К вопросу термической обработки пленок при лучистом нагреве. – В сб.: Электронная техника; 1973, сер. 7, вып. 3 (55), с. 73–74. 4.
В а с и л ь е в Г.К. Сушка фоторезистивных покрытий излучением в осциллирующем режиме. – В сб.: Электронная техника, 1973, сер. 3, вып. 8 (48), с. 37–39. 5. Т е м к и н А.Г. Обратные методы теплопроводности. – М., 1973, с. 464.

УДК 666.97.035.04.

В.В. Артихович, Л.В. Нестеров, А.М. Протасевич,
канд -ты техн.наук

(БПИ)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЖИМОВ ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БЕТОНА В "СУХОЙ" СРЕДЕ

Предлагаемый метод расчета режима тепловой обработки основывается на комплексном решении задач теплопроводности и теории упругости для изделий из твердеющего бетона. Такое сопряжение внешних тепло- и массообменных процессов и внутренних структурообразующих и деформативных процессов при изменении упругости тела является, на наш взгляд, наиболее оправданным.

Прогрев изделий интенсифицирует изменение перепадов температур, влагосодержаний и избыточных давлений по сечению изделий, что может вызвать нарушения структуры бетона вследствие: 1) температурных деформаций и соответственно напряжений как в местах контакта составляющих бетона, так и изделий в целом; 2) местных деформаций и напряжений, связанных с избыточным давлением паровоздушной смеси и воды в порах бетона и их перемещением под действием разности давлений и 3) деформаций и напряжений, связанных с возникновением градиента влагосодержания и с влажностной усадкой.

В твердеющем бетоне разрушение структуры материала (деструкцию) следует рассматривать как функцию всех трех факторов с анализом их влияния и времени возникновения в процессе обработки бетона. Поэтому решение задачи прогнозирования режима тепловой обработки требует создания модели процесса, способной с достаточной достоверностью его описать. Одна из гипотез такой модели может быть сформулирована следующим образом:

$$\sigma_T(\tau, x, y, z) + \sigma_W(\tau, x, y, z) + \sigma_p(\tau, x, y, z) \leq R_p(\tau, x, y, z), \quad (1)$$

где σ_T – величина температурных напряжений, Па; σ_p – величина напряжений, вызываемых избыточным давлением в порах бетона, Па; σ_W – величина влажностных напряжений, Па; R_p – прочность бетона на растяжение при изгибе, Па; τ – время; x, y, z – координаты.

При этом основную трудность составляет определение таких влажностных и тепловых условий в изделии, при которых суммарные и максимальные напряжения в любой момент времени в любой точке изделия не превышали бы прочность цементного камня, достигнутую в нем к этому времени.

В работе [1] обосновывается возможность при тепловой обработке изделий в "сухой" среде ограничиться рассмотрением только температурных напряжений. Поэтому предлагается расчет тепловой обработки изделий в установках "сухого" обогрева рассматривать в зависимости от температурных напряжений, вызываемых развитием температурных полей в изделиях:

$$\bar{\sigma}_T(\tau, x, y, z) \leq R_p(\tau, x, y, z). \quad (1')$$

Для прогнозирования режимов тепловой обработки бетонных изделий в рассматриваемых установках необходимо получить расчетные формулы для определения: температурных полей в изделиях; набора прочности бетона; возникающих в бетоне температурных напряжений.

В работе [2] нами приведено решение системы дифференциальных уравнений А.В. Лыкова с внутренним источником тепла и стоком влаги, которое достаточно точно описывает процессы переноса для случая прогрета бетонных плит в металлической опалубке с открытой верхней поверхностью в камерах с "сухой" средой. Результаты расчета достаточно хорошо согласуются с температурными полями, полученными экспериментально.

Для нахождения температурных полей в изделиях при тепловой обработке в данных установках в первом приближении может быть использовано, как показано в работе [1], решение одномерной задачи с постоянным внутренним источником тепла и симметричными граничными условиями первого рода.

Для расчета нарастания прочности бетона может быть использована формула Г.Д. Вишневецкого [3], представляющая прочность как функцию относительного приведенного возраста:

$$R(x, \tau) = R_0 + (R_{\max} - R_0) K(x, \tau), \quad (2)$$

где R_0 — значение прочного бетона в начальный момент времени; R_{\max} — то же в 28-дневном возрасте; $K(x, \tau)$ — функция относительного возраста бетона τ^* / τ_{\max}^* ,

$$K(x, \tau) = 1 - (1 - \sqrt{\tau^* / \tau_{\max}^*})^3, \quad (3)$$

τ^* — возраст бетона, исчисляемый с начала роста прочности, сут; τ_{\max}^* — продолжительность роста прочности при данной температуре, сут.

Значения τ_{\max}^* и $K(\tau / \tau_{\max}^*)$ табулированы и приведены в [3].

Следует отметить, что при использовании приведенными формулами сделано допущение об отсутствии трещинообразования и высыхания бетона в процессе тепловой обработки. Нами проверена возможность использования

этих формул прогрева бетона в камерах с теплоизлучающими поверхностями. Экспериментальная проверка в производственных условиях показала, что вычисленные по выражению (2) и измеренные значения прочности термообработанных изделий соответствуют друг другу.

Располагая данными по кинетике температурных полей в бетоне, полные температурные напряжения для неограниченной пластины при неравномерном и несимметричном распределении температуры можно определить по методике, изложенной в работе [1].

Необходимые для расчета физические и механические характеристики бетона, статический модуль упругости, коэффициент линейного температурного расширения и др. определены экспериментально [1].

Таким образом, используя аналитические решения задач для определения температурного поля и температурных напряжений в изделиях и результаты экспериментальных исследований теплофизических и механических характеристик твердеющего бетона, можно определить режим тепловой обработки изделий расчетным путем.

Методика расчета заключается в следующем. Выбирается шаг по времени из условия

$$\Delta t = \frac{\Delta h^2}{4a}, \quad (4)$$

где a – коэффициент теплопроводности, $\text{м}^2/\text{с}$.

Задается скорость подъема температуры на первом шаге b и по выражению (2) находится распределение температур в сечении изделия. По полученным данным рассчитываются прочность бетона и величины температурных напряжений. Если при сравнении σ и R не выполняется условие (1), то изменяется величина скорости подъема температуры b_1 и повторяется расчет. К следующему шагу по времени переходят только после подбора такого значения b_1 , при котором удовлетворяется условие (1). Расчет заканчивается после достижения заданной температуры нагрева.

Полученная ломаная может быть аппроксимирована кривой, которая и является программой режима тепловой обработки изделий.

Л и т е р а т у р а

1. П р о т а с е в и ч А.М. Исследование физических процессов и обоснование принципов и приемов прогнозирования режимов обогрева изделий из керамзитобетона в "сухой" среде: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Минск, 1973. – 21 с. 2. С о л д а т к и н М.Т., А р т и х о в и ч В.В., К а п е л ь я н С.Н. Аналитическое исследование тепло- и массопереноса в твердеющем бетоне при тепловой обработке в камере с теплоизлучающими поверхностями. – ИФЖ, 1975, т.28, №1, с.57–62. 3. В и ш н е в е ц к и й Г.Д. Расчет прочности бетона при его термообработке. – Л., 1963, ч. I и II. – 38 с.