

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

В. С. АБРАМОВ, В. И. ГРИГОРЯН, Г. В. БАДЕЯН, И. А. АМРОЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ ОБОГРЕВЕ  
БИТОННЫХ КОНСТРУКЦИИ В ГРЕЮЩИХ ОПАЛУБКАХ

С учетом внутреннего источника тепла, за счет экзотермии цемента, для бетона уравнение переноса энергии можно записать в виде [1]:

$$C_1 \frac{\partial t}{\partial \tau} = \gamma \tau^2 t + \Pi Q b^2 e^{-\alpha x} \quad (1)$$

Красные условия при симметричном обогреве стенки (плиты) можно выразить:

$$X = 0, \quad \frac{\partial t}{\partial X} = \alpha (t - t_0) - P; \quad (2)$$

$$X = \frac{\delta}{2}, \quad \frac{\partial t}{\partial X} = 0; \quad (3)$$

$$\tau = 0, \quad t(X, 0) = t_0. \quad (4)$$

Решение задачи с линейно изменяющейся температурой на поверхности нагреваемого элемента получено в виде:

$$t(X, \tau) = \frac{\alpha}{\delta} \sum_{m=1}^{\infty} \bar{t}(m, \tau) \sin \frac{m\pi}{\delta} X. \quad (5)$$

$$\bar{t}(m, \tau) = [1 - (-1)^m] \sqrt{\frac{\alpha}{\delta}} \bar{t}_0 (1 - e^{-\alpha \tau}) + \frac{V}{\delta} (\alpha - 1 + e^{-\alpha \tau}) + \frac{\Pi Q}{C_1} \frac{b^2}{(\alpha - b)^2} \{ [(\alpha - b)\tau - 1] e^{-\alpha \tau} + e^{-b\tau} \} + t_0 e^{-\alpha \tau}; \quad (6)$$

$$\bar{t}_0 = \frac{\alpha m^2 \pi^2}{\delta^2}, \quad m = 1, 2, \dots, \infty; \quad \alpha = \frac{k}{C_1} \quad (7)$$

Здесь  $t_0$ ,  $t(X, \tau)$  — соответственно, начальная и текущая температуры в произвольный момент времени;  $\gamma$ ,  $C_1$ ,  $\alpha$  — коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость, объемная масса и коэффициент температуропроводности бетона;  $\delta$  — толщина конструкции;  $\Pi$  — количе-

ство цемента в бетон;  $Q, B$  — соответственно, максимальные тепловыделение и коэффициент темпа тепловыделения цемента;  $\alpha$  — коэффициент теплопередачи через греющую опалубку;  $P$  — мощность нагревателя.

В расчете принимались неизменными: а) схема нагрева — двухсторонняя симметричная; б) начальная температура бетона —  $t_0 = 20^\circ \text{C}$ ; в) количество цемента —  $W = 350 \text{ кг/м}^3$ .

Варьировались:

1. Составы бетона:

№ 1 = 1:1, 3:2,5. В/Ц = 0,5. Араратский портландцемент М400;

№ 2 = 1:1, 65:2,5. В/Ц = 0,5. Араратский шлакопортландцемент М400 с экспериментально определенными теплофизическими и термическими характеристиками (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики бетона	С о с т а в	
	1	2
$\lambda, \text{Вт/м}\cdot\text{К}$	2,44	2,17
$C, \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$	0,38	0,39
$\rho, 10^{-3} \text{ м}^3/\text{г}$	2,68	2,125
$Q, \text{кДж}$	85	75
при температуре изотермического прогрева:		
40°C	0,094	0,085
60°C	0,145	0,135
80°C	0,2	0,10

2. Характерный размер конструкций:  $b = 0,1; 0,2; 0,5; 1 \text{ м}$ .

3. Температура изотермического прогрева и продолжительность изотермического прогрева — из условия достижения бетоном прочности, равной 50% от  $R_{28}$  (табл. 2).

Таблица 2

Номер состава бетона	Температура изотермического прогрева, °C	Скорость разогрева поверхности, С/ч	Продолжительность разогрева, ч	Продолжительность изотермического прогрева, ч
1	40	5	4	21
		10	2	23
		15	1,3	24
	80	5	12	3
		10	6	4,8
		15	4	5,2
2	40	5	4	28
		10	2	30
		15	1,3	31
	80	5	12	5
		10	6	8,5
		15	4	9,8

Температуры рассчитывались для координат:  $X = 0$ ;  $X = \frac{\delta}{4}$  и  $X = \frac{\delta}{2}$  с шагом по времени  $\Delta\tau = 1$  ч. С повышением  $V$  с 5 до  $15^\circ\text{C}/\text{ч}$

(состав № 1), перепад температур по сечению при достижении поверхности температуры изотермического прогрева возрос в (1,5—2) раза.

Однако, определяющим фактором в формировании температурного поля при контактом нагреве является массивность конструкции, возрастание которой влечет за собой значительное повышение неравномерности температурного поля. Так, с увеличением характерного размера конструкции с 0,1 до 1 м, максимальный температурный перепад по сечению возрос при  $t = 40^\circ\text{C}$  и  $V = 15^\circ\text{C}/\text{ч}$  в 2 раза,  $V = 10^\circ\text{C}/\text{ч}$  — в 2,7 раза,  $V = 5^\circ\text{C}/\text{ч}$  — в 5 раз, и при  $t = 80^\circ\text{C}$  — соответственно, в 5, 7,5 и 11 раз. В ряде случаев, даже при более высоких скоростях разогрева поверхности, температурное поле в менее массивных конструкциях более спокойно, чем в массивных, разогреваемых с меньшей скоростью. Так, например, максимальный температурный перепад по сечению конструкции с  $\delta = 0,5$  м при  $t = 80^\circ\text{C}$  и  $V = 15^\circ\text{C}/\text{ч}$  составил  $48^\circ\text{C}$ , а в конструкции с  $\delta = 1$  м при  $V = 5^\circ\text{C}/\text{ч}$  —  $53^\circ\text{C}$ .

Если суммарный перепад температур по сечению конструкции возрастает с повышением ее массивности, то зависимость градиентов температур от толщины конструкции обратна. Следует отметить, что общие градиенты температур не могут в полной мере характеризовать режим нагрева с точки зрения его влияния на термонапряженное состояние конструкции и массоперенос в бетоне. Более показательными являются градиенты температур в периферийных слоях конструкции. Температурные градиенты возрастают с увеличением скорости разогрева и характерного размера конструкций тем значительнее, чем выше температура изотермического прогрева. Если принять в качестве допустимого градиента  $1^\circ\text{C}/\text{см}$ , то допустимыми скоростями разогрева следует считать: для  $\delta \leq 0,2$  м —  $10^\circ\text{C}/\text{ч}$ ; для  $\delta > 0,2$  м —  $5^\circ\text{C}/\text{ч}$ . Эти данные совпадают с практикой применения контактного нагрева конструкций в зимних условиях.

Результаты работы рекомендуется применять при решении задач температурных полей в теле бетонных и железобетонных конструкций, возводимых в греющих опалубках.

ЕрПИ д-р К. Маркец

30 X 1983

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абриков В. С. и др. Некоторые задачи расчета температурных полей при периферийном электропрогреве бетонных конструкций в зимних условиях — В сб.: Исследования по строительным конструкциям и изделиям — Томск: ТГУ, 1971, с. 51—54.