

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

Б. Л. Абрамян

О температурных напряжениях в прямоугольном
бетонном блоке

В настоящей статье рассматривается плоская задача о температурном состоянии прямоугольного бетонного блока при различных условиях закрепления его основания.

Задача о температурных напряжениях в бетонных блоках имеет существенное значение в связи с вопросом определения размеров блоков бетонирования. Впервые этот вопрос был рассмотрен Г. Н. Масловым [1] на основе теории упругости. В дальнейшем эта работа была продолжена А. З. Басевичем и Г. С. Шапиро [2], Ю. А. Нилендером [3], самим Г. Н. Масловым [4—6] и совсем недавно С. В. Александровским [7], который пользовался в своих исследованиях теорией ползучести, развитой Н. Х. Арутюняном [8].

Во всех этих исследованиях вопрос о влиянии размеров блока на температурные напряжения рассматривался из допущения, что сцепление блока с основанием равно нулю.

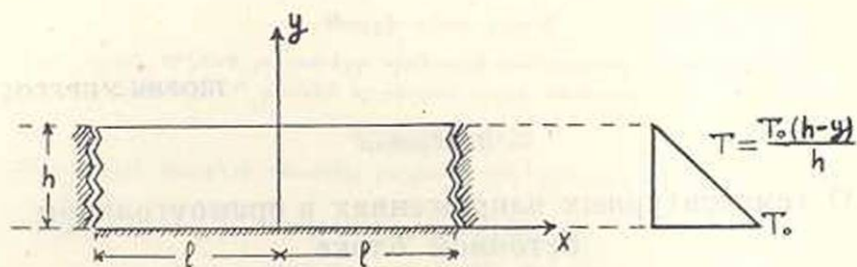
В настоящей статье рассматривается задача о распределении температурных напряжений по длине блока, исходя из вышеуказанного допущения, а также задача о распределении температурных напряжений, исходя из предположения, что между новым блоком и фундаментом на линии контакта действуют постоянные по величине касательные напряжения, равные сопротивлению бетона сцеплению. Эти результаты сравниваются. Показывается, что второе допущение приводит к более близким к действительности результатам и может быть полезным при определении размеров блоков бетонирования.

Решение задачи вначале дается методами теории упругости, опираясь на работы Г. Н. Маслова, а затем приводится решение с учетом ползучести бетона, основываясь на теории ползучести бетона, развитой Н. Х. Арутюняном.

Приведены числовые примеры.

1. Пусть прямоугольный блок высотой h , продольной стороной $y=0$ (фиг. 1) связан с жестким основанием так, что все принадлежащие ей точки лишены возможности вертикальных и горизонтальных перемещений, а торцы блока лишены возможности вертикальных пере-

мещений v , но они свободно перемещаются в горизонтальном направлении.



Фиг. 1.

Температуру будем предполагать падающей по линейному закону от нижней грани к верхней.

В условиях термонапряженного состояния дифференциальные уравнения равновесия, выраженные через перемещения, для плоской задачи имеют вид

$$\left. \begin{aligned} (\lambda' + 2\mu) \frac{\partial \theta}{\partial x} - 2\mu \frac{\partial \Omega}{\partial y} &= 2(\lambda' + \mu) \alpha \frac{\partial T}{\partial x}, \\ (\lambda' + 2\mu) \frac{\partial \theta}{\partial y} + 2\mu \frac{\partial \Omega}{\partial x} &= 2(\lambda' + \mu) \alpha \frac{\partial T}{\partial y}, \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

где μ и λ — коэффициенты Ляме,

$$\lambda' = \frac{2\mu\lambda}{\lambda + 2\mu}, \quad (1.2)$$

α — коэффициент линейного расширения,

u и v — перемещения по направлению осей x и y ,

$$\theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}, \quad (1.3)$$

$$\Omega = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right). \quad (1.4)$$

Напряжения в блоке в условиях плоской задачи определяются формулами

$$\sigma_z = \tau_{xz} = \tau_{zy} = 0, \quad (1.5)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= (\lambda' + 2\mu) \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda' \frac{\partial v}{\partial y} - 2(\lambda' + \mu) \alpha T, \\ \sigma_y &= \lambda' \frac{\partial u}{\partial x} + (\lambda' + 2\mu) \frac{\partial v}{\partial y} - 2(\lambda' + \mu) \alpha T, \\ \tau_{xy} &= \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right). \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

Следуя Маслову [1], полный интеграл уравнений (1.1) представим в виде сумм

$$\begin{aligned} u &= u_1 + u_2, \\ v &= v_1 + v_2, \end{aligned} \quad (1.7)$$

из которых u_1 и v_1 — решения уравнений (1.1) без последних членов, а u_2 и v_2 — одно из частных решений с последними членами.

Решение для u_1 и v_1 , а также выражения для напряжений σ_{x_1} , σ_{y_1} и τ_{xy} , было дано Файлоном [9].

Учитывая симметрию рассматриваемой задачи относительно оси y , решение Файлона можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} u_1 = \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \frac{l}{\mu(2k-1)\pi} \left[\left(\frac{\lambda' + 3\mu}{\lambda' + \mu} A_k + C_k \right) \operatorname{ch} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} + \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{\lambda' + 3\mu}{\lambda' + \mu} B_k + D_k \right) \operatorname{sh} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} \right] + \right. \\ \left. + \frac{y}{\mu} \left[A_k \operatorname{sh} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} + B_k \operatorname{ch} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} \right] \right\} \sin \frac{(2k-1)\pi x}{2l}, \end{aligned} \quad (1.8)$$

$$\begin{aligned} v_1 = \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \frac{l}{\mu(2k-1)\pi} \left[\left(\frac{\lambda' + 3\mu}{\lambda' + \mu} A_k - C_k \right) \operatorname{sh} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} + \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{\lambda' + 3\mu}{\lambda' + \mu} B_k - D_k \right) \operatorname{ch} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} \right] - \right. \\ \left. - \frac{y}{\mu} \left[A_k \operatorname{ch} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} + B_k \operatorname{sh} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} \right] \right\} \cos \frac{(2k-1)\pi x}{2l}. \end{aligned} \quad (1.9)$$

Одно решение для u_2 и v_2 может быть найдено, если положить, что

$$\Omega_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_2}{\partial x} - \frac{\partial u_2}{\partial y} \right) = 0.$$

Тогда $\theta_2 = \frac{2(\lambda' + \mu)}{\lambda' + 2\mu} \alpha T$ и u_2 , и v_2 должны быть частными решениями дифференциальных уравнений

$$\frac{\partial u_2}{\partial x} + \frac{\partial v_2}{\partial y} = \frac{2(\lambda' + \mu)}{\lambda' + 2\mu} \alpha T, \quad (1.10)$$

$$\frac{\partial v_2}{\partial x} - \frac{\partial u_2}{\partial y} = 0,$$

$$\text{где } T = \frac{T_0(h-y)}{h}. \quad (1.11)$$

Перемещения u_2 и v_2 выбираем так, чтобы они, удовлетворяя уравнениям (1.10), одновременно обеспечивали выполнение граничных условий

$$\left. \begin{aligned} u &= v = 0 && \text{при } y = 0, \\ u &= 0, \sigma_x = 0 && \text{при } x = l, \\ \sigma_y &= 0, \tau_{xy} = 0 && \text{при } y = h. \end{aligned} \right\} \quad (1.12)$$

Выражения для u_2 и v_2 берем в следующем виде:

$$\begin{aligned} u_2 &= \frac{2(\lambda' + \mu) \alpha T_0 (h - y) x}{(\lambda' + 2\mu) h}, \\ v_2 &= - \frac{(\lambda' + \mu) \alpha T_0 (x^2 - l^2)}{(\lambda' + 2\mu) h}. \end{aligned} \quad (1.13)$$

Пользуясь соотношениями (1.6), (1.7), (1.8), (1.9) и (1.13), для перемещений и напряжений получаем:

$$\begin{aligned} u(x, y) &= \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \frac{l}{\mu(2k-1)\pi} \left[\left(\frac{\lambda' + 3\mu}{\lambda' + \mu} A_k + C_k \right) \operatorname{ch} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} + \right. \right. \\ &+ \left. \left(\frac{\lambda' + 3\mu}{\lambda' + \mu} B_k + D_k \right) \operatorname{sh} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} \right] + \frac{y}{\mu} \left[A_k \operatorname{sh} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} + \right. \\ &+ \left. B_k \operatorname{ch} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} \right] \left. \right\} \sin \frac{(2k-1)\pi x}{2l} + \frac{2(\lambda' + \mu) \alpha T_0 (h - y) x}{(\lambda' + 2\mu) h}, \end{aligned} \quad (1.14)$$

$$\begin{aligned} v(x, y) &= \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \frac{l}{\mu(2k-1)\pi} \left[\left(\frac{\lambda' + 3\mu}{\lambda' + \mu} A_k - C_k \right) \operatorname{sh} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} + \right. \right. \\ &+ \left. \left(\frac{\lambda' + 3\mu}{\lambda' + \mu} B_k - D_k \right) \operatorname{ch} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} \right] - \frac{y}{\mu} \left[A_k \operatorname{ch} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} + \right. \\ &+ \left. B_k \operatorname{sh} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} \right] \left. \right\} \cos \frac{(2k-1)\pi x}{2l} - \frac{(\lambda' + \mu) \alpha T_0 (x^2 - l^2)}{(\lambda' + 2\mu) h}, \end{aligned} \quad (1.15)$$

$$\begin{aligned} \sigma_x(x, y) &= \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ (3A_k + C_k) \operatorname{ch} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} + (3B_k + D_k) \operatorname{sh} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} + \right. \\ &+ \left. \frac{(2k-1)\pi y}{l} \left[A_k \operatorname{sh} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} + B_k \operatorname{ch} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} \right] \right\} \cos \frac{(2k-1)\pi x}{2l}, \end{aligned} \quad (1.16)$$

$$\sigma_y(x, y) = \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ A_k - C_k \right\} \operatorname{ch} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} + (B_k - D_k) \operatorname{sh} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} -$$

$$-\frac{(2k-1)\pi y}{l} \left[A_k \operatorname{sh} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} + B_k \operatorname{ch} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} \right] \cos \frac{(2k-1)\pi x}{2l} - \frac{4\mu(\lambda' + \mu) \alpha T_0 (h-y)}{(\lambda' + 2\mu)h}, \quad (1.17)$$

$$\begin{aligned} \tau_{xy}(x, y) = \sum_{k=1}^{\infty} & \left\{ (A_k + C_k) \operatorname{sh} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} + (B_k + D_k) \operatorname{ch} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} + \right. \\ & \left. + \frac{(2k-1)\pi y}{l} \left[A_k \operatorname{ch} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} + B_k \operatorname{sh} \frac{(2k-1)\pi y}{2l} \right] \right\} \sin \frac{(2k-1)\pi x}{2l} - \\ & - \frac{4\mu(\lambda' + \mu) \alpha T_0 x}{(\lambda' + 2\mu)h}. \end{aligned} \quad (1.18)$$

Учитывая формулы (1.14)–(1.18), требуем выполнения тех из краевых условий (1.12), которые не удовлетворяются автоматически. Тогда для определения неизвестных коэффициентов A_k , B_k , C_k и D_k получим соотношения

$$\frac{\lambda' + 3\mu}{\lambda' + \mu} A_k + C_k = \frac{16\mu(\lambda' + \mu) \alpha T_0}{(2k-1)(\lambda' + 2\mu)\pi} (-1)^k \quad (1.19)$$

$$\frac{\lambda' + 3\mu}{\lambda' + \mu} B_k - D_k = \frac{32\mu(\lambda' + \mu) \alpha T_0 l}{(2k-1)^2 (\lambda' + 2\mu) h \pi^2} (-1)^k, \quad (1.20)$$

$$\begin{aligned} & (A_k - C_k) \operatorname{ch} \frac{(2k-1)\pi h}{2l} + (B_k - D_k) \operatorname{sh} \frac{(2k-1)\pi h}{2l} - \\ & - \frac{(2k-1)\pi h}{l} \left[A_k \operatorname{sh} \frac{(2k-1)\pi h}{2l} + B_k \operatorname{ch} \frac{(2k-1)\pi h}{2l} \right] = 0, \end{aligned} \quad (1.21)$$

$$\begin{aligned} & (A_k + C_k) \operatorname{sh} \frac{(2k-1)\pi h}{2l} + (B_k + D_k) \operatorname{ch} \frac{(2k-1)\pi h}{2l} + \\ & + \frac{(2k-1)\pi h}{l} \left[A_k \operatorname{ch} \frac{(2k-1)\pi h}{2l} + B_k \operatorname{sh} \frac{(2k-1)\pi h}{2l} \right] = \\ & = \frac{32\mu(\lambda' + \mu) \alpha T_0 l}{(2k-1)^2 (\lambda' + 2\mu) h \pi^2} (-1)^{k+1}. \end{aligned} \quad (1.22)$$

При этом использованы следующие разложения

$$x = \frac{8l}{\pi^2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^{k+1}}{(2k-1)^2} \sin \frac{(2k-1)\pi x}{2l}, \quad (0 \leq x \leq l) \quad (1.23)$$

$$l^2 - x^2 = \frac{32l^2}{\pi^3} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^{k+1}}{(2k-1)^3} \cos \frac{(2k-1)\pi x}{2l}, \quad (0 \leq x \leq l). \quad (1.24)$$

Уравнения (1.19)–(1.22) позволяют определить неизвестные коэффициенты A_k , B_k , C_k и D_k :

$$A_k = \frac{2\alpha_k}{\nabla_k} \left\{ 1 - \frac{\text{th } \alpha_k}{\alpha_k} - \frac{\mu}{\lambda' + \mu} \cdot \frac{\text{th } \alpha_k \text{ sch } \alpha_k}{\alpha_k} - \text{sch } \alpha_k + \frac{\lambda' + 2\mu}{\lambda' + \mu} (1 - \text{th}^2 \alpha_k) \right\}, \quad (1.25)$$

$$B_k = \frac{2\alpha_k}{\nabla_k} \left\{ \frac{1}{\alpha_k} - \text{th } \alpha_k + \text{th } \alpha_k \text{ sch } \alpha_k - \frac{2\mu + \lambda'}{\lambda' + \mu} \frac{\text{sch } \alpha_k}{\alpha_k} + \left(\frac{\mu}{\lambda' + \mu} \cdot \frac{1}{\alpha_k} - \alpha_k \right) (1 - \text{th}^2 \alpha_k) \right\}, \quad (1.26)$$

$$C_k = \frac{2\alpha_k}{\nabla_k} \left\{ \frac{\lambda' + 3\mu}{\lambda' + \mu} \left(1 + \frac{\text{th } \alpha_k}{\alpha_k} + \text{sch } \alpha_k \right) + \frac{\mu(\lambda' + 3\mu)}{(\lambda' + \mu)^2} \cdot \frac{\text{th } \alpha_k \text{ sch } \alpha_k}{\alpha_k} + \left(2\alpha_k^2 - \frac{\lambda' + 4\mu}{\lambda' + \mu} \right) (1 - \text{th}^2 \alpha_k) \right\}, \quad (1.27)$$

$$D_k = \frac{2\alpha_k}{\nabla_k} \left\{ \frac{\lambda' + 3\mu}{\lambda' + \mu} \left(\text{th } \alpha_k \text{ sch } \alpha_k - \text{th } \alpha_k - \frac{1}{\alpha_k} \right) - \frac{(\lambda' + 2\mu)(\lambda' + 3\mu)}{(\lambda' + \mu)^2} \cdot \frac{\text{sch } \alpha_k}{\alpha_k} + \left(\frac{\mu}{\lambda' + \mu} \cdot \frac{1}{\alpha_k} - \frac{3\lambda' + 5\mu}{\lambda' + \mu} \alpha_k \right) (1 - \text{th}^2 \alpha_k) \right\}, \quad (1.28)$$

где
$$\alpha_k = \frac{16\mu(\lambda' + \mu)\alpha T_0}{(2k-1)(\lambda' + 2\mu)\pi} (-1)^k, \quad (1.29)$$

$$\alpha_k = \frac{(2k-1)\pi\hbar}{2l}, \quad (1.30)$$

$$\nabla_k = 4 \left\{ \frac{\lambda' + 5\mu}{\lambda' + \mu} + \left[\alpha_k^2 + \left(\frac{\mu}{\lambda' + \mu} \right)^2 \right] (1 - \text{th}^2 \alpha_k) \right\}. \quad (1.31)$$

В таблице 1 приведены вычисления, произведенные для частных случаев блока, когда отношение высоты блока к его длине составляет 1/3, 1/4, 1/6 и 1/8, причем при вычислениях использованы значения

$$\left. \begin{aligned} \mu &= \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{2}{5} E, \\ \lambda' &= \frac{E\nu}{1-\nu^2} = \frac{4}{15} E, \end{aligned} \right\} \quad (1.32)$$

где значение числа Пуассона ν принято 1/4.

Таблица 1

$h/2l$	1/8	1/6	1/4	1/3
$\frac{\sigma_y(0, 0)}{E \alpha T_0}$	0,0115	0,0301	0,0822	0,1115
$\frac{\sigma_x\left(\frac{3l}{4}, h\right)}{E \alpha T_0}$	0,3629	0,4657	0,5436	0,5552
$\frac{\sigma_x\left(\frac{l}{4}, h\right)}{E \alpha T_0}$	0,0421	0,0978	0,2578	0,4194
$\frac{\sigma_x\left(\frac{3l}{4}, 0\right)}{E \alpha T_0}$	-0,9913	-0,0055	-1,0333	-1,0673
$\frac{\sigma_x\left(\frac{l}{4}, 0\right)}{E \alpha T_0}$	-0,9955	-0,9895	-0,9789	-0,9787
$\frac{\tau_{xy}\left(\frac{l}{2}, 0\right)}{E \alpha T_0}$	0,0648	0,0920	0,1022	0,0927
$\frac{\sigma_x(0, h)}{E \alpha T_0}$	0,0273	0,0735	0,2138	0,3833

Из таблицы видно, что наибольшие нормальные напряжения $\sigma_x(x, y)$ имеют место в плоскости сопряжения блока с основанием, где они практически постоянны по всей длине блока и равны $\sim -E \alpha T_0$.

При $y=h$, т. е. у верхней грани, напряжения $\sigma_x(x, y)$ меняются по длине блока. Наибольшие растягивающие напряжения имеют место у краев блока; они уменьшаются с приближением к средней части, но у коротких блоков они значительны и в средней части.

Нормальные напряжения $\sigma_y(x, y)$ при повышении температуры у середины блока вызывают стремление к его отрыву от основания. Это явление еще заметнее у коротких блоков.

Скалывающие напряжения $\tau_{xy}(x, y)$ при $y=0$ и $x=l$ теоретически равны бесконечности. Следовательно, вблизи этих точек можно ожидать либо возникновения пластических деформаций, либо отрыва блока от основания.

На остальном протяжении прямой $y=0$ распределение скалывающих напряжений близко к прямолинейному закону.

2. Пусть температурный режим в рассматриваемом бетонном блоке стационарен и в некотором возрасте $\tau=\tau_1$ бетонного блока определяется зависимостью (1.11).

Тогда составляющие упруго-мгновенного напряжения $\sigma_x(x, y, \tau_1)$, $\sigma_y(x, y, \tau_1)$ и $\tau_{xy}(x, y, \tau_1)$ будут определяться соотношениями (1.16)–(1.18).

На основании результатов, приведенных в указанной работе [8], можно утверждать, что термонапряженное состояние, вызванное в бетонном массиве от действия стационарного теплового потока, в возрасте $\tau = \tau_1$, под влиянием ползучести бетона с течением времени затухает, причем закон этого затухания определяется функцией $H(t, \tau_1)$ следующим образом:

$$\begin{aligned}\sigma_x^*(t) &= \sigma_x(x, y, \tau_1) H(t, \tau_1), \\ \sigma_y^*(t) &= \sigma_y(x, y, \tau_1) H(t, \tau_1), \\ \tau_{xy}^*(t) &= \tau_{xy}(x, y, \tau_1) H(t, \tau_1).\end{aligned}\quad (1.33)$$

Функция $H(t, \tau_1)$ называется коэффициентом затухания и определяется соотношением

$$H(t, \tau_1) = 1 - \frac{\gamma E}{r^{1-p}} \left(\frac{A_1}{\tau_1} + C_0 \right) \tau_1^p e^{r\tau_1} [\Phi(r t, p) - \Phi(r \tau_1, p)], \quad (1.34)$$

где A_1 , C_0 и γ — известные коэффициенты, определяющие меру ползучести бетона (при $A_1 = 4,82 \cdot 10^{-5}$, $C_0 = 0,9 \cdot 10^{-5}$ и $\gamma = 0,026$ эти коэффициенты определяют свойство ползучести бетонов на портландцементных),

$$\left. \begin{aligned}r &= \gamma(1 + EC_0), \\ p &= \gamma A_1 E.\end{aligned} \right\} \quad (1.35)$$

$$\Phi(\xi, p) = \int_0^\xi e^{-\tau} \tau^{-p} d\tau \text{ — функция влияния [8],}$$

E — модуль упругости бетона.

Для бетонов со следующими характеристиками

$$\left. \begin{aligned}A_1 &= 4,82 \cdot 10^{-5}, \quad \gamma = 0,026, \\ C_0 &= 0,9 \cdot 10^{-5}, \quad r = 0,073, \\ E &= 2 \cdot 10^5 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}, \quad p = 0,25,\end{aligned} \right\} \quad (1.36)$$

коэффициент затухания $H(t, \tau_1)$ взят из работы [8] и приводится в таблице 2.

Таблица 2

t в днях	Возраст бетона τ_1 в днях						
	7	14	28	45	60	90	360
7	1						
14	0,584	1					
28	0,250	0,470	1				
45	0,130	0,297	0,487	1			
60	0,105	0,252	0,359	0,535	1		
90	0,092	0,232	0,301	0,323	0,334	1	
360	0,092	0,232	0,301	0,323	0,334	0,340	1
∞	0,092	0,232	0,301	0,323	0,334	0,340	0,355

Напряжения σ_x , σ_y и τ_{xy} в какой-либо произвольной точке (x_0, y_0) могут быть определены формулами

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x(x_0, y_0, \tau_1) &= c_1 \alpha E T_0, \\ \sigma_y(x_0, y_0, \tau_1) &= c_2 \alpha E T_0, \\ \tau_{xy}(x_0, y_0, \tau_1) &= c_3 \alpha E T_0. \end{aligned} \right\} \quad (1.37)$$

Некоторые значения постоянных c_1 , c_2 и c_3 приведены в таблице 1.

Пользуясь соотношениями (1.33) и (1.37), для нормальных напряжений можем написать неравенство

$$E T_0 < \frac{\sigma_{\text{доп.}}}{\alpha c_i H(t, \tau_1)}, \quad (i=1,2). \quad (1.38)$$

По неравенству (1.38), имея модуль упругости и допускаемые напряжения для данного бетона на растяжение и сжатие, можно определить ту температуру T_0 , при которой возможны отрыв блока от основания, трещины на свободной поверхности и возникновение пластических деформаций.

Ниже, в таблицах 3 и 4, приводятся температуры T_0 , при которых на верхней грани блока возможно появление трещин.

При вычислениях для модуля упругости, коэффициента линейного расширения и допускаемых нормальных напряжений на растяжение для бетона марки 110 приняты следующие значения:

$$\left. \begin{aligned} E &= 2 \cdot 10^5 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}, \\ \alpha &= 0,00001, \\ \sigma_{\text{доп.}} &= 12 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}, \end{aligned} \right\} \quad (1.39)$$

и использованы значения $H(t, \tau_1)$, приведенные в таблице 2.

Таблица 3

Температура T_0 , при которой в точке $\left(\frac{3l}{4}, h\right)$ возможно появление трещин

t в днях	h/2l							
	1/8		1/6		1/4		1/3	
	τ_1							
	7	28	7	28	7	28	7	28
7	16,53°	—	12,89°	—	11,04°	—	10,81°	—
14	28,31°	—	22,06°	—	18,9°	—	18,51°	—
28	66,13°	16,53°	51,54°	12,89°	44,15°	11,04°	43,23°	10,81°
45	123,38°	33,95°	96,16°	26,46°	82,37°	22,67°	80,65°	22,19°
60	157,48°	46,06°	122,7°	35,89°	105,12°	30,75°	102,92°	30,1°
90	179,70°	54,93°	140,06°	42,8°	120,0°	36,67°	117,47°	35,9°
360	179,7°	54,93°	140,06°	42,8°	120,0°	36,67°	117,47°	35,9°
∞	179,7°	54,93°	140,06°	42,8°	120,0°	36,67°	117,47°	35,9°

Таблица 4

Температура T_0 , при которой в точке (0, h) возможно появление трещин

t в днях	h/2l					
	1/6		1/4		1/3	
	τ_1					
	28	45	28	45	28	45
28	81,64°	—	28,07°	—	15,66°	—
45	167,65°	81,64°	57,63°	28,07°	32,14°	15,66°
60	227,35°	152,6°	78,2°	52,45°	43,6°	29,26°
90	271,25°	252,75°	93,2°	86,9°	52,0°	48,46°
360	271,25°	252,75°	93,2°	86,9°	52,0°	48,46°
∞	271,25°	252,75°	93,2°	86,9°	52,0°	48,46°

Из таблиц 3 и 4 следует, что при замыкании бетонного блока в раннем периоде после укладки бетона ($\tau = \tau_1$) температурные напряжения в бетоне с учетом явления ползучести сравнительно низки.

При повышении температуры T_0 трещины могут появляться в период строительства и в начальное время после замыкания бетонных сооружений.

В рассматриваемых бетонных блоках трещины появляются больше у краев верхней грани, а если блок короткий ($h/2l > 1/3$), то и по всей длине верхней грани.

В таблице 5 приводятся температуры T_0 , при которых в середине блока в плоскости его сопряжения с основанием возможен отрыв блока от его основания.

Таблица 5

Температура T_0 , при которой в точке (0,0) возможен отрыв блока от основания

t в днях	h/2l					
	1/4			1/3		
	τ_1					
	7	28	45	7	28	45
7	73,0°	—	—	53,8°	—	—
14	125,0°	—	—	92,2°	—	—
28	292,0°	73,0°	—	215,2°	53,8°	—
45	545,0°	150,0°	73,0°	401,6°	110,5°	53,8°
60	695,3°	203,3°	136,5°	512,4°	150,0°	100,6°
90	793,7°	242,5°	226,0°	584,8°	178,8°	166,7°
360	793,7°	242,5°	226,0°	584,8°	178,8°	178,8°
∞	793,7°	242,5°	226,0°	584,8°	178,8°	178,8°

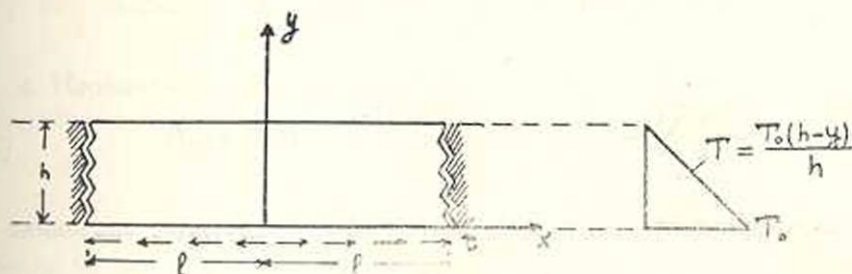
Из таблицы 5 следует, что отрыв середины блока от основания возможен для коротких блоков, когда $h/2l > 1/3$.

Следует отметить, что допущение об отсутствии горизонтальных и вертикальных перемещений на линии контакта бетонного блока с основанием не отражает действительного положения при рассмотрении температурных напряжений в массивных бетонных блоках, так как здесь не учитываются силы сцепления блока с фундаментом.

Такая постановка не отвечает на вопрос — как определить рациональную длину блока, в котором возникают наименьшие температурные напряжения, если задана высота блока.

II

1. Предположим теперь, что на нижней грани блока $y=0$ (фиг. 2) действуют постоянные по величине касательные напряжения τ_{xy} , равные сопротивлению бетона сцеплению τ (величина τ при расчетах на ползучесть предполагается зависящей от времени t). Очевидно, что в средней части рассматриваемой грани должна существовать зона, где касательные напряжения $|\tau_{xy}(x, 0)| < \tau$, так как из условия симметрии следует, что при $x=0$ должно быть $\tau_{xy}=0$. Для простоты длину этой зо-



Фиг. 2.

ны будем считать равной нулю. Очевидно, что полученное при этих условиях решение будет иметь силу лишь на некотором удалении от начала координат. Напряжения σ_y в любом сечении $y=\text{const}$, на протяжении участков $0 < |x| < l$, образуют самоуравновешивающуюся систему сил; в связи с этим считаем возможным допустить, что на нижней грани блока напряжения $\sigma_y(x, 0)=0$ (аналогичное допущение относительно напряжений $\sigma_y(x, 0)$ сделано С. В. Александровским [7]).

$$\sigma_y(x, 0)=0, \quad \tau_{xy}(x, 0)=\tau. \quad (2.1)$$

Продольную сторону блока $y=h$, как прежде (в I), считаем свободной от внешних напряжений, а торцы блока лишены перемещений в направлении оси y и свободно перемещаются в направлении оси x

$$\left. \begin{aligned} \sigma_y(x, h)=0, \quad \tau_{xy}(x, h)=0, \\ \sigma_x(l, y)=0, \quad v(l, y)=0. \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

Как это сделано в предыдущем разделе, перемещения берем в виде (1.14) и (1.15), а напряжения $\sigma_x(x, y)$, $\sigma_y(x, y)$ и $\tau_{xy}(x, y)$ —в виде (1.16)–(1.18).

Требуя выполнение краевых условий (2.1) и (2.2), для определения неизвестных коэффициентов A_k , B_k , C_k и D_k , получим соотношения:

$$\begin{aligned} (A_k - C_k) \operatorname{ch} \alpha_k + (B_k - D_k) \operatorname{sh} \alpha_k - 2\alpha_k (A_k \operatorname{sh} \alpha_k + B_k \operatorname{ch} \alpha_k) &= 0, \\ (A_k + C_k) \operatorname{sh} \alpha_k + (B_k + D_k) \operatorname{ch} \alpha_k + 2\alpha_k (A_k \operatorname{ch} \alpha_k + B_k \operatorname{sh} \alpha_k) &= -\frac{x_k}{\alpha_k}, \\ A_k - C_k &= -x_k, \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$B_k + D_k = \frac{4\tau}{\pi(2k-1)} - \frac{x_k}{\alpha_k},$$

$$\text{где } \alpha_k = \frac{(2k-1)\pi h}{2l}, \quad x_k = \frac{16\mu(\lambda' + \mu)\alpha T_0(-1)^k}{(2\mu + \lambda')\pi(2k-1)}. \quad (2.4)$$

При этом использованы разложения (1.23),

$$1 = \frac{4}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^{k+1}}{2k-1} \cos \frac{(2k-1)\pi x}{2l} \quad (0 \leq x < l), \quad (2.5)$$

и

$$1 = \frac{4}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{2k-1} \sin \frac{(2k-1)\pi x}{2l} \quad (0 < x \leq l). \quad (2.6)$$

Коэффициенты A_k , B_k , C_k и D_k имеют следующие значения:

$$A_k = \frac{1}{2\nabla_k} \left\{ \left[\frac{x_k}{\alpha_k} - \frac{4\tau}{\pi(2k-1)} \right] \left(\operatorname{th} \alpha_k - \frac{\alpha_k}{\operatorname{ch}^2 \alpha_k} \right) + \right. \\ \left. + \frac{x_k}{\operatorname{ch} \alpha_k} - \frac{x_k \operatorname{th} \alpha_k}{\alpha_k \operatorname{ch} \alpha_k} - x_k \operatorname{th}^2 \alpha_k \right\}. \quad (2.7)$$

$$B_k = \frac{1}{2\nabla_k} \left\{ - \left[\frac{x_k}{\alpha_k} - \frac{4\tau}{\pi(2k-1)} \right] \operatorname{th}^2 \alpha_k + \right. \\ \left. + \frac{x_k \alpha_k}{\operatorname{ch}^2 \alpha_k} + x_k \operatorname{th} \alpha_k - \frac{x_k \operatorname{th} \alpha_k}{\operatorname{ch} \alpha_k} \right\}, \quad (2.8)$$

$$C_k = \frac{1}{2\nabla_k} \left\{ \left[\frac{x_k}{\alpha_k} - \frac{4\tau}{\pi(2k-1)} \right] \left(\operatorname{th} \alpha_k - \frac{\alpha_k}{\operatorname{ch}^2 \alpha_k} \right) + \right. \\ \left. + \frac{x_k}{\operatorname{ch} \alpha_k} + x_k \operatorname{th}^2 \alpha_k - \frac{x_k \operatorname{th} \alpha_k}{\alpha_k \operatorname{ch} \alpha_k} - 2x_k \left(\frac{\alpha_k}{\operatorname{ch} \alpha_k} \right)^2 \right\}, \quad (2.9)$$

$$D_k = \frac{1}{2\nabla_k} \left\{ - \left[\frac{x_k}{\alpha_k} - \frac{4\tau}{\pi(2k-1)} \right] \left(\operatorname{th}^2 \alpha_k - 2 \frac{\alpha_k^2}{\operatorname{ch}^2 \alpha_k} \right) + \right. \\ \left. + \frac{x_k \operatorname{th} \alpha_k}{\operatorname{ch} \alpha_k} - \frac{x_k \alpha_k}{\operatorname{ch}^2 \alpha_k} - x_k \operatorname{th} \alpha_k \right\}, \quad (2.10)$$

где введено обозначение

$$\nabla_k = \operatorname{th}^2 \alpha_k - \left(\frac{\alpha_k}{\operatorname{ch} \alpha_k} \right)^2. \quad (2.11)$$

В таблице 6 приведены результаты вычислений, произведенные для частных случаев блока, когда отношение высоты блока к его длине составляет 1/3, 1/4, 1/6 и 1/8, причем при вычислениях использованы значения (1.32).

Таблица 6

$h/2l$	1/8	1/6	1/4	1/3
$\sigma_x \left(\frac{3l}{4}, h \right)$	$2\tau + 0,030E\alpha T_0$	$1,5\tau + 0,034E\alpha T_0$	$\tau + 0,102E\alpha T_0$	$0,757\tau + 0,150E\alpha T_0$
$\sigma_x \left(\frac{l}{4}, h \right)$	$6,012\tau - 0,007E\alpha T_0$	$4,518\tau - 0,004E\alpha T_0$	$3,003\tau - 0,001E\alpha T_0$	$2,214\tau + 0,002E\alpha T_0$
$\sigma_x \left(\frac{3l}{4}, 0 \right)$	$-4,044\tau - 0,011E\alpha T_0$	$-2,999\tau + 0,036E\alpha T_0$	$-1,999\tau + 0,124E\alpha T_0$	$-1,493\tau + 0,212E\alpha T_0$
$\sigma_x \left(\frac{l}{4}, 0 \right)$	$-11,974\tau + 0,008E\alpha T_0$	$-8,976\tau - 0,0003E\alpha T_0$	$-5,993\tau - 0,001E\alpha T_0$	$-4,547\tau + 0,002E\alpha T_0$

2. Нормальные напряжения $\sigma_x^*(t)$ с учетом ползучести бетона определяются соотношением

$$\sigma_x^*(x, y; \tau_1, t) = \sigma_x(x, y, \tau_1) H(t, \tau_1), \quad (2.12)$$

где $\sigma_x(x, y, \tau_1)$ — упруго-мгновенное напряжение, вызванное в блоке, в возрасте бетона $\tau = \tau_1$ действием стационарного теплового потока. Некоторые значения $\sigma_x(x, y, \tau_1)$ приведены в таблице 6.

$H(t, \tau_1)$ имеет значение, которое дается формулой (1.34) и таблицей 2.

Ниже, в таблицах 7—10, пользуясь известными значениями $\sigma_x(x, y, \tau_1)$ и $H(t, \tau_1)$, а также полагая для бетона марки 110, согласно (1.39), $E\alpha = 2 \frac{K^2}{cm^2}$, приводим некоторые значения напряжений $\sigma_x^*(x, y; \tau_1, t)$.

Таблица 7

Значения напряжений σ_x^* в точке $\left(\frac{3l}{4}, h \right)$

t в днях	h/2l							
	1/8		1/6		1/4		1/3	
	τ_1							
	7	28	7	28	7	28	7	28
1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	$2\tau + 0,06T_0$	—	$1,5\tau + 0,038T_0$	—	$\tau + 0,204T_0$	—	$0,757\tau + 0,3T_0$	—
14	$1,168\tau + 0,035T_0$	—	$0,876\tau + 0,04T_0$	—	$0,584\tau + 0,119T_0$	—	$0,442\tau + 0,175T_0$	—
28	$0,5\tau + 0,015T_0$	$2\tau + 0,06T_0$	$0,375\tau + 0,017T_0$	$1,5\tau + 0,068T_0$	$0,25\tau + 0,051T_0$	$\tau + 0,204T_0$	$0,189\tau + 0,075T_0$	$0,757\tau + 0,3T_0$
45	$0,26\tau + 0,008T_0$	$0,974\tau + 0,029T_0$	$0,195\tau + 0,009T_0$	$0,73\tau + 0,033T_0$	$0,13\tau + 0,027T_0$	$0,487\tau + 0,099T_0$	$0,098\tau + 0,039T_0$	$0,369\tau + 0,146T_0$
60	$0,21\tau + 0,006T_0$	$0,718\tau + 0,022T_0$	$0,158\tau + 0,007T_0$	$0,539\tau + 0,024T_0$	$0,165\tau + 0,021T_0$	$0,359\tau + 0,073T_0$	$0,079\tau + 0,032T_0$	$0,272\tau + 0,108T_0$

1	2	3	4	5	6	7	8	9
90	0,184 τ + +0,006 T_0	0,602 τ + +0,018 T_0	0,138 τ + +0,006 T_0	0,452 τ + +0,02 T_0	0,092 τ + +0,019 T_0	0,301 τ + +0,061 T_0	0,07 τ + +0,028 T_0	0,228 τ + +0,09 T_0
360	0,184 τ + +0,006 T_0	0,602 τ + +0,018 T_0	0,138 τ + +0,006 T_0	0,452 τ + +0,02 T_0	0,092 τ + +0,019 T_0	0,301 τ + +0,061 T_0	0,07 τ + +0,028 T_0	0,228 τ + +0,09 T_0
∞	0,184 τ + +0,006 T_0	0,602 τ + +0,018 T_0	0,138 τ + +0,006 T_0	0,452 τ + +0,02 T_0	0,092 τ + +0,019 T_0	0,301 τ + +0,061 T_0	0,07 τ + +0,028 T_0	0,228 τ + +0,09 T_0

Таблица 8

Значения напряжений σ_x^* в точке $\left(\frac{l}{4}, h\right)$

t в днях	h/2l							
	1/8		1/6		1/4		1/3	
	τ_1							
	7	28	7	28	7	28	7	28
7	6,012 τ — —0,014T ₀	—	4,518 τ — —0,008T ₀	—	3,003 τ — —0,002T ₀	—	2,214 τ + +0,004T ₀	—
14	3,511 τ — —0,008T ₀	—	2,639 τ — —0,005T ₀	—	1,754 τ — —0,001T ₀	—	1,293 τ + +0,002T ₀	—
28	1,503 τ — —0,004T ₀	6,012 τ — —0,014T ₀	1,13 τ — —0,002T ₀	4,518 τ — —0,008T ₀	0,751 τ — —0,001T ₀	3,003 τ — —0,002T ₀	0,554 τ + +0,001T ₀	2,214 τ + +0,004T ₀
45	0,782 τ — —0,002T ₀	2,928 τ — —0,007T ₀	0,587 τ — —0,001T ₀	2,2 τ — —0,004T ₀	0,39 τ —	1,462 τ — —0,001T ₀	0,288 τ + +0,001T ₀	1,078 τ + +0,002T ₀
60	0,631 τ — —0,001T ₀	2,158 τ — —0,005T ₀	0,474 τ — —0,001T ₀	1,622 τ — —0,003T ₀	0,315 τ —	1,078 τ — —0,001T ₀	0,232 τ —	0,795 τ + +0,002T ₀
90	0,553 τ — —0,001T ₀	1,81 τ — —0,004T ₀	0,416 τ — —0,001T ₀	1,36 τ — —0,002T ₀	0,276 τ —	0,904 τ — —0,001T ₀	0,204 τ —	0,666 τ + +0,001T ₀
360	0,553 τ — —0,001T ₀	1,81 τ — —0,004T ₀	0,416 τ — —0,001T ₀	1,36 τ — —0,002T ₀	0,276 τ —	0,904 τ — —0,001T ₀	0,204 τ —	0,666 τ + +0,001T ₀
∞	0,553 τ — —0,001T ₀	1,81 τ — —0,004T ₀	0,416 τ — —0,001T ₀	1,36 τ — —0,002T ₀	0,276 τ —	0,904 τ — —0,001T ₀	0,204 τ —	0,666 τ + +0,001T ₀

При нагревании блока ($T_0 > 0$) в плоскости его сопряжения с основанием вдоль всей длины блока возникают касательные напряжения τ , которые препятствуют блоку расширяться ($\tau > 0$). При охлаждении же ($T_0 < 0$), наоборот, касательные напряжения препятствуют блоку сжиматься ($\tau < 0$).

Максимальное значение касательного напряжения τ равно сопротивлению бетона сцеплению. Если бетонный блок уложен на другой блок из старого бетона, тогда τ равняется сопротивлению сцепления нового блока со старым. Прочность сцепления нового блока со старым может колебаться в зависимости от условий кладки [10]. В среднем для бетона марки 110 можно принять $\tau_{\max} \approx 15 \text{ кг/см}^2$.

Таблица 9

Значения напряжений σ_x^* в точке $\left(\frac{3l}{4}, 0\right)$

t в днях	h/2l							
	1/8		1/6		1/4		1/3	
	σ_1							
	7	28	7	28	7	28	7	28
7	-4,044 τ — -0,022T ₀	—	-2,999 τ + +0,072T ₀	—	-1,999 τ + +0,248T ₀	—	-1,493 τ + +0,424T ₀	—
14	-2,362 τ — -0,013T ₀	—	-1,751 τ + +0,042T ₀	—	-1,167 τ + +0,145T ₀	—	-0,872 τ + +0,248T ₀	—
28	-1,011 τ — -0,006T ₀	-4,044 τ — -0,022T ₀	-0,75 τ + +0,018T ₀	-2,999 τ + +0,072T ₀	-0,5 τ + +0,062T ₀	-1,999 τ + +0,248T ₀	-0,373 τ + +0,106T ₀	-1,493 τ + +0,424T ₀
45	-0,526 τ — -0,003T ₀	-1,969 τ — -0,011T ₀	-0,39 τ + +0,009T ₀	-1,461 τ + +0,035T ₀	-0,26 τ + +0,032T ₀	-0,974 τ + +0,121T ₀	-0,194 τ + +0,055T ₀	-0,727 τ + +0,206T ₀
60	-0,425 τ — -0,002T ₀	-1,452 τ — -0,008T ₀	-0,315 τ + +0,008T ₀	-1,077 τ + +0,026T ₀	-0,21 τ + +0,026T ₀	-0,718 τ + +0,089T ₀	-0,157 τ + +0,045T ₀	-0,536 τ + +0,152T ₀
90	-0,372 τ — -0,002T ₀	-1,217 τ — -0,007T ₀	-0,276 τ + +0,007T ₀	-0,903 τ + +0,022T ₀	-0,184 τ + +0,023T ₀	-0,602 τ + +0,075T ₀	-0,137 τ + +0,039T ₀	-0,449 τ + +0,128T ₀
∞	-0,372 τ — -0,002T ₀	-1,217 τ — -0,007T ₀	-0,276 τ + +0,007T ₀	-0,903 τ + +0,022T ₀	-0,184 τ + +0,023T ₀	-0,602 τ + +0,075T ₀	-0,137 τ + +0,039T ₀	-0,449 τ + +0,128T ₀

Таблица 10

Значения напряжений σ_x в точке $\left(\frac{l}{4}, 0\right)$

l в дюйм	h/2l							
	1/8		1/6		1/4		1/3	
	τ_1							
	7	28	7	28	7	28	7	28
7	-11,974 τ + +0,016T ₀	—	-8,976 τ - -0,001T ₀	—	-5,993 τ - -0,002T ₀	—	-4,547 τ - +0,004T ₀	—
14	-6,993 τ + +0,009T ₀	—	-5,242 τ - -0,001T ₀	—	-3,5 τ - -0,001T ₀	—	-2,655 τ + +0,003T ₀	—
28	-2,994 τ + +0,004T ₀	-11,974 τ + +0,056T ₀	-2,244 τ	-8,976 τ - -0,001T ₀	-1,498 τ - -0,001T ₀	-5,993 τ - -0,002T ₀	-1,137 τ + +0,001T ₀	-4,547 τ + +0,004T ₀
45	-1,557 τ + +0,002T ₀	-5,831 τ + +0,008T ₀	-1,167 τ	-4,371 τ	-0,779 τ	-2,919 τ - -0,001T ₀	-0,591 τ + +0,001T ₀	-2,214 τ + +0,002T ₀
60	-1,257 τ + +0,002T ₀	-4,299 τ + +0,006T ₀	-0,942 τ	-3,222 τ	-0,629 τ	-2,151 τ - -0,001T ₀	-0,477 τ	-1,632 τ + +0,001T ₀
90	-1,102 τ + +0,001T ₀	-3,604 τ + +0,005T ₀	-0,826 τ	-2,702 τ	-0,551 τ	-1,804 τ - -0,001T ₀	-0,418 τ	-1,369 τ + +0,001T ₀
∞	-1,102 τ + +0,001T ₀	-3,604 τ + +0,005T ₀	-0,826 τ	-2,702 τ	-0,551 τ	-1,804 τ - -0,001T ₀	-0,418 τ	-1,369 τ + +0,001T ₀

При нагревании блока в плоскости основания возникают, вдоль направления оси x , сжимающие нормальные напряжения σ_x , причем эти напряжения могут достигнуть в средней части нижней плоскости блока значительной величины. На верхней же грани блока при этом возникают опасные растягивающие напряжения σ_x (вблизи краев блока эти напряжения могут оказаться и сжимающими).

При охлаждении нижней плоскости блока имеем обратную картину: вдоль нижней грани возникают растягивающие нормальные напряжения, которые могут привести к трещинам, а на верхней грани в ее средней части—сжимающие напряжения σ_x , которые уменьшаются при приближении к торцам блока.

Картина эта усиливается, если увеличивается длина блока.

Учет ползучести бетона показывает, что трещинообразование может произойти главным образом в период строительства, во время укладки бетонных блоков и в первый период их работы. Нормальные напряжения σ_x с учетом ползучести бетона оказываются низкими, когда замыкание бетонных блоков произведено в раннем возрасте бетона (при скоростной укладке); они велики, если замыкание бетонных блоков произведено поздно (при τ_1 больших) и если применяются длинные блоки.

Таблицы 6—10 отчетливо показывают влияние размеров блока на величину опасных для разрыва напряжений σ_x . Для того, чтобы на основании проделанных вычислений можно было дать практические рекомендации о выборе бетонирования, необходимо получить из опыта величины сопротивления бетона сцеплению τ при различном возрасте бетона.

В заключение считаю своим приятным долгом выразить благодарность Г. С. Шапиро за ценные советы при выполнении этой работы.

Сектор математики и механики
АН Армянской ССР

Поступило 6 X 1953

ЛИТЕРАТУРА

1. Маслов Г. Н. Температурные напряжения и деформации в бетонных массивах на основах теории упругости. Известия НИИГ, том XIII, 1934.
2. Басевич А. З. и Шапиро Г. С. Сборник „Свирьстрой“, 1937.
3. Нилендер Ю. А. Расчет разрезки массивных бетонных сооружений. Труды IV Всесоюзной конференции по бетону и железобетонным конструкциям, ч. II. Стройиздат, 1949.
4. Маслов Г. Н. Задачи теории упругости о термоупругом равновесии. Известия НИИГ, том 23, 1938.
5. Маслов Г. Н. Элементарные статические расчеты сооружений на температурные изменения. Известия НИИГ, том 26, 1940.
6. Маслов Г. Н. Термическое напряженное состояние бетонных массивов при учете ползучести бетона. Известия НИИГ, том 28, 1940.
7. Александровский С. В. Температурные напряжения в массивных блоках от экзотермии цемента. Сборник НИИ по строительству. Исследования, массивные Известия VII, № 3—2.

- и стержневые конструкции" Министерства строительства предприятий машиностроения, М., 1952.
8. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. Гостехиздат, М.—Л., 1952.
9. Filon L. N. G. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Ser. „A“, Vol. 201, 1903.
10. Гвоздев А. А., Васильев А. П. и Димитриев С. А. Изучение сцепления нового бетона со старым. ОНТИ, 1936.

Բ. Լ. Աբրահամյան

ՈՒՂՂԱՆԿՅՈՒՆԱԶԵՎ ԲԵՏՈՆՅԱ ԲԼՈԿՈՒՄ ԶԵՐՄԱՅԻՆ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՄՍՍԻՆ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում քննության է առնված ուղղանկյունաձև բետոնյա բլոկի ջերմային վիճակի հարթ խնդիրը՝ հիմնատակի հետ ամրացման տարրեր պայմանների գեղարված:

Խնդրի լուծումը սկզբում արված է առաձգականության աեսության եղանակներով, հենվելով Գ. Ն. Մասլովի աշխատությունների վրա, իսկ հետո, համաձայն Ն. Ս. Հարությունյանի կողմից մշակված բետոնի սողքի աեսության՝ սողքի ակնառումով:

Յուշյ է արված, որ ջերմային լարումների հաշվարկման այս եղանակը կարող է օգտակար լինել բետոնյա բլոկների կիրառելի շախերը որոշելու համար: