

Г. С. ВАРДАНЫН, В. Д. ШЕРЕМЕТ

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФОТОУПРУГОСТИ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ НАПРЯЖЕНИЙ В БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ОТ ВЫНУЖДЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ

Расчет напряжений в бетонных конструкциях, вызванных вынужденными деформациями с учетом свойств ползучести и старения бетона, обычно ведется по теории Г. Н. Маслова—Н. Х. Арутюняна. В ряде случаев при сложных граничных условиях и форме конструкции теоретические расчеты могут привести к непреодолимым математическим трудностям.

В этих случаях могут оказаться эффективными экспериментальные методы исследования напряжений на моделях, среди которых наиболее перспективным является поляризационно-оптический метод исследования напряжений (метод фотоупругости).

В настоящее время имеются работы, посвященные применению поляризационно-оптического метода к непосредственному моделированию ползучести бетона [3, 6]. Основная трудность, возникающая при таком моделировании—получение оптически-чувствительного материала для модели с реологическими свойствами, подобными свойствам бетона.

В данной работе предлагается метод, не требующий материала для модели со специальными реологическими свойствами. Достаточно иметь упругий оптически-чувствительный материал, применяемый в обычном методе фотоупругости.

Метод основан на теореме Н. Х. Арутюняна, устанавливающей связь между компонентами полных напряжений в работе $\varepsilon_{ij}^*(t)$, отыскиваемых с учетом линейной ползучести, и соответствующими упруго-мгновенными напряжениями $\varepsilon_{ij}(t)$ для этого же тела [2]. На основании этой теоремы, с учетом обобщений С. В. Александровского [1], напряжения $\varepsilon_{ij}^*(t)$, вызываемые вынужденными деформациями (температурные воздействия, усадка, осадка опор и др.) с учетом ползучести и изменяемости модуля $E(t)$, при свободной от напряжений границе или наличии жестких связей на всей границе тела или ее части, определяются через соответствующие напряжения $\varepsilon_{ij}(t)$ упруго-мгновенной задачи этого же тела с помощью следующей системы интегральных уравнений:

$$\frac{\varepsilon_{ij}^*(t)}{E(t)} = (1 - R^*) \frac{\varepsilon_{ij}(t)}{E(t)} \quad (1)$$

($i, j = x, y, z$)

где R^* — интегральный оператор с ядром $R(t, \tau)$, причем

$$R^* f(t) = \int_0^t R(t, \tau) f(\tau) d\tau \quad (2)$$

$R(t, \tau)$ — наследственная функция бетона второго рода.

Напряжения $\varepsilon_{ij}(t)$ исходной упруго-мгновенной задачи в случае температурных (усадочных, влажностных и др.) воздействий можно представить в виде [1]

$$\varepsilon_{ij}(t) = \bar{\varepsilon}_{ij}(t) \Gamma(t) \quad (3)$$

где $\bar{\varepsilon}_{ij}(t)$ — решение упруго-мгновенной задачи при $\Gamma(t) = 1$, определяемое выражением

$$\bar{\varepsilon}_{ij}(t) = \varepsilon_0 E(t) F_{ij}(x, y, z) \quad (4)$$

$\Gamma(t)$ и $F_{ij}(x, y, z)$ — безразмерные функции координат, ε_0 и E_0 — константы.

Полные напряжения с учетом выражений (3) и (4) представляются в виде

$$\varepsilon_{ij}(t) = \bar{\varepsilon}_{ij}(t) H(t, \tau_1) \quad (5)$$

где

$$H(t, \tau_1) = (1 - R^*) \Gamma(t) \quad (6)$$

Если принять, что изменение модуля мгновенной деформации бетона во времени аппроксимируется зависимостью

$$E(t) = E_0(1 - be^{-at}) \quad (7)$$

то выражение (5) окончательно можно представить в виде

$$\varepsilon_{ij}^*(t) = \bar{\varepsilon}_{ij}^*(t) H(t, \tau_1) \quad (8)$$

где

$$H(t, \tau_1) = (1 - be^{-at}) \bar{H}(t, \tau_1) \quad (9)$$

$$\bar{\varepsilon}_{ij}^* = E_0 \varepsilon_0 F_{ij}(x, y, z) \quad (10)$$

Таким образом, для определения полных напряжений $\varepsilon_{ij}^*(t)$ в бетонных конструкциях достаточно иметь напряжения $\bar{\varepsilon}_{ij}$, соответствующей упругой задачи с модулем $E_0 = \text{const}$ от единичного воздействия ($\Gamma(t) = 1$) и функцию $H(t, \tau_1)$, которая определяется по заданным кривым релаксации и изменения модуля мгновенной деформации бетона во времени.

Определение напряжений $\bar{\varepsilon}_{ij}$. Упругие напряжения $\bar{\varepsilon}_{ij}$ температурной задачи достаточно просто можно определить на моделях методами фотоупругости. Обзор методов определения термоупругих на-

пряжений с применением поляризационно-оптических измерений приведен в работе [5].

В ряде случаев наиболее просто термоупругие напряжения на моделях можно определить методом „замораживания“ свободных температурных деформаций [4, 5, 7]. Согласно этому методу модель, геометрически подобная натуре, составляется путем склеивания из элементов, в которых предварительно „заморожены“ деформации, соответствующие свободным температурным (или усадочным). Напряжения в модели, соответствующие искомым температурным (или усадочным), возникают при „размораживании“ модели. Для их определения применяются обычные методы фотоупругости.

Определение и исследование функции $H(t, \tau_1)$. Функция $H(t, \tau_1)$ при различных значениях переменных t и τ_1 определяется из уравнения (6). При этом оператор R^* определяется по заданным кривым релаксации. Для средних значений параметров бетона можно пользоваться таблицами, приведенными в работе [1].

В работе [1] показано, что $\bar{H}(t, \tau_1)$ в случае стационарных вынужденных деформаций ($\Gamma(t) = 1$) — монотонно убывающая функция, при этом

$$H(t, \tau_1) \text{ при } t = \tau_1 \quad (11)$$

и

$$0 < \bar{H}(t, \tau_1) = 1 - \lim_{t \rightarrow \infty} R^* \cdot 1 < 1 \quad (12)$$

Как видно из уравнения (6), в случае нестационарных вынужденных деформаций функция $\bar{H}(t, \tau_1)$ определяется не только механическими свойствами бетона (функцией $R(t, \tau)$), но и характером воздействий (функцией $\Gamma(t)$).

Можно показать, что если $\Gamma(t) > 0$ и непрерывна в интервале времени $[\tau_1, t_2]$, в интервале $[\tau_1, t_1]$ не убывающая, а в $[t_1, t_2]$ убывающая, причем $0 < \Gamma(\tau_1) < \Gamma_0$, $\Gamma(t_1) = \Gamma_0 > 0$, $\Gamma(t_2) > 0$, то внутри интервала $[t_1, t_2]$ найдется такое значение $t = t^*$, где $\bar{H}(t^*, \tau_1) = 0$. Действительно,

$$\text{при } t = t_1, \quad \bar{H}(t, \tau_1) = \Gamma_0 - \int_{\tau_1}^{t_1} R(t_1, \tau) \Gamma(\tau) d\tau$$

$$\text{при } t = t_2, \quad \bar{H}(t, \tau_1) = - \int_{t_1}^{t_2} R(t_2, \tau) \Gamma(\tau) d\tau$$

Применяя теорему о среднем, получим

$$\bar{H}(t_1, \tau_1) \cdot \Gamma_0 - \Gamma(\xi) \int_{\tau_1}^{t_1} R(t_1, \tau) d\tau, \quad \tau_1 < \xi < t_1 \quad (13)$$

$$H(t_2, \tau_1) = -\Gamma(\tau_1) \int_{t_1}^{t_2} R(t, \tau) d\tau, \quad t_1 < \tau < t_2 \quad (14)$$

Учитывая условие (12) и то, что $\Gamma(t) < \Gamma_0$ а $\Gamma(\tau_1) > 0$, получим $H(t_1, \tau_1) > 0$ и $H(t_2, \tau_1) < 0$. Так как функция $H(t, \tau_1)$ при принятых условиях и интервале $[t_1, t_2]$ непрерывна, монотонно убывает и на концах интервала принимает значения разных знаков, то в этом интервале обязательно найдется одно значение $t = t^*$, где $H(t^*, \tau_1) = 0$. Момент времени t^* определяется из уравнения

$$\Gamma(t^*) = \int_{t^*}^{\tau_1} R(t^*, \tau) \Gamma(\tau) d\tau \quad (15)$$

Представляет интерес следующая задача. Пусть функция воздействия представлена в виде

$$\Omega(t) = \begin{cases} \Gamma(t), & \tau_1 \leq t \leq t^* \\ b(t), & t > t^* \end{cases} \quad (16)$$

при этом $\Gamma(t)$ удовлетворяет принятым выше условиям и $b(t^*) = \Gamma(t^*)$. Какова должна быть $b(t)$, чтобы функция $H(t, \tau_1)$, следовательно, и полные напряжения, остались нулевыми при всех $t > t^*$.

На основании уравнения (6) имеем

$$b(t) - \int_{t^*}^t \Omega(\tau) R(t, \tau) d\tau = 0, \quad t \geq t^*$$

Записав интеграл по интервалам $[\tau_1, t^*]$ и $[t^*, t]$ с учетом (16), получим

$$b(t) - \int_{\tau_1}^t R(t, \tau) \Omega(\tau) d\tau = \varphi(t) \quad (17)$$

где

$$\varphi(t) = \int_{t^*}^t R(t, \tau) \Gamma(\tau) d\tau \quad (18)$$

известная функция.

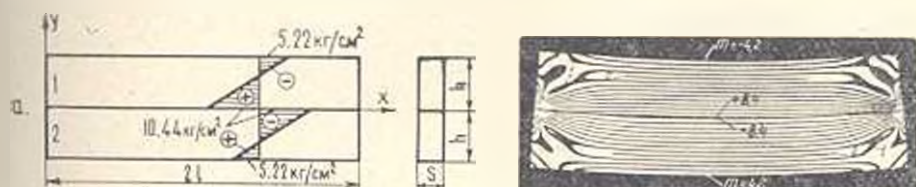
Уравнение (17) является интегральным уравнением относительно искомой функции $b(t)$, решение которого имеет следующий вид:

$$b(t) = \varphi(t) + \int_{t^*}^t L(t, \tau) \varphi(\tau) d\tau \quad (19)$$

Здесь $L(t, \tau)$ — ядро ядра $R(t, \tau)$.

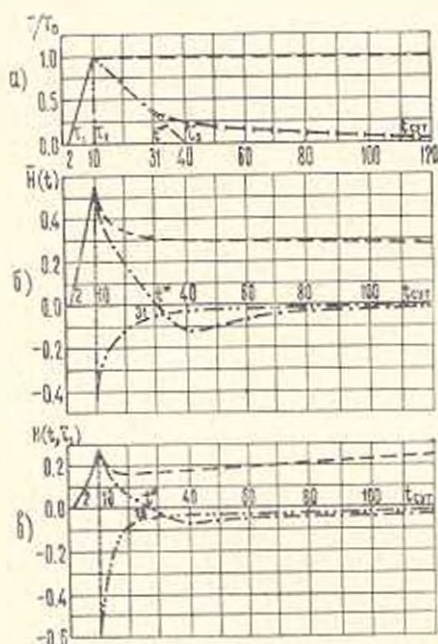
Приведенный анализ показывает, что несмотря на постоянство знака нестационарных вынужденных деформаций, вызванные ими полные напряжения вследствие релаксации могут менять свои знаки, что

может привести к нарушению прочности конструкции. Кроме того, представляется возможным регулировать изменение полных напряжений подбором функций воздействия $\Omega(t)$.



Фиг. 1. Составная плита при однородном температурном воздействии в элементах.
а — схема и эпюра напряжений,
б — картина полос интерференции в модели.

В качестве примера рассматривается бетонная плита, составленная из двух элементов (фиг. 1а). Допустим, элемент 2 подвергается однородным нестационарным температурным воздействиям ($\Gamma_2 = T/T_0$),



Фиг. 2. Графики изменения температуры — (а), функции $H(t)$ — (б) и функции $H(t, \tau_1)$ — (в).

- нагрев по линейному закону,
- вынужденное охлаждение,
- постоянная температура,
- — охлаждение по линейному закону,
- график температуры $t(t)$.

а в элементе 1 эти воздействия отсутствуют ($\Gamma_1 = 0$). Требуется определить напряжения с учетом ползучести в бетонной плите, с предельным значением модуля деформации $E_c = 2.6 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2$ и коэффи-

коэффициентом линейного температурного расширения $\alpha = 1.0 \cdot 10^{-5} \text{ (град)}^{-1}$, от указанных воздействий.

Случай 1. Старение бетона не учитывается. Элемент 2 подвергается однородному нагреву по линейному закону от температуры 0°C до $T_0 = 8^\circ\text{C}$ в течение $\tau_2 - \tau_1 = 8 \text{ сут.}$, $T(t) = \frac{T_0}{\tau_2 - \tau_1} (t - \tau_1)$, а затем:

1) мгновенно охлаждается до 0°C ,

2) температура остается постоянной, равной $T_0 = 8^\circ\text{C}$.

3) элемент охлаждается по линейному закону $T(t) = -\frac{T_0}{\tau_3 - \tau_2} \times (t - \tau_2)$ от 8°C до 0°C в течение $\tau_3 - \tau_2 = 30 \text{ сут.}$ Графики изменения температуры приведены на фиг. 2а.

Для определения термоупругих напряжений ε_{ij} модель из оптически-чувствительного материала ЭД6-М склеивается из двух элементов, в одном из которых предварительно "замораживаются" свободные деформации при одноосном растяжении элемента. Искомые термоупругие напряжения в модели создаются путем ее "размораживания". Такая задача исследована в работе [5]. Размеры модели: $2l = 9.6 \text{ см.}$, $2h = 2.8 \text{ см.}$, $S = 0.58 \text{ см.}$, оптическая постоянная материала модели $\varepsilon_0^{(1.0)} = 0.277 \text{ кл/см.}$, "замороженные" деформации в элементе 1 модели — $\varepsilon_x = \varepsilon_n E = 8/E$. Напряжения в модели определяются выражением

$$\varepsilon_m = \frac{\varepsilon_0^{(1.0)}}{S} m = \frac{0.277}{0.58} m = 0.478 m \quad (20)$$

Напряжения в геометрически подобной натуре определяются формулой [4]

$$\varepsilon_n = \frac{E_n}{E_m} \frac{\varepsilon_m - \varepsilon_c}{\varepsilon_p - \varepsilon_c} \varepsilon_p \quad (21)$$

С учетом значений $\varepsilon_p - \varepsilon_c = \alpha T_0 = 1.0 \cdot 10^{-5} \cdot 8 = 8 \cdot 10^{-5}$, $E_m(\varepsilon_p - \varepsilon_c) = E_m \varepsilon_c = 8 \frac{\text{кл}}{\text{см.}^2}$, $E_n = E_0 = 2.6 \cdot 10^5 \frac{\text{кл}}{\text{см.}^2}$ получим

$$\varepsilon_{n, \text{т}} = \varepsilon_n = \frac{2.6 \cdot 10^5 \cdot 8 \cdot 10^{-5}}{8} \cdot 0.478 m = 1.243 m \quad (22)$$

где порядки полос m определяются по картине полос интерференции (фиг. 16). Эпюра напряжений по сечению плиты приведена на фиг. 16.

* Деформации ε_x в этой работе не моделировались, так как они за счет малой толщины модели незначительно сказываются на напряжениях ε_{xx} в зоне склейки. Эти деформации можно также смоделировать, если "заморозить" деформации в пластинке при одноосном растяжении и элемент модели вырезать из этой пластинки в направлении, перпендикулярном линии действия нагрузки $\left(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_c = -\frac{1}{K} \varepsilon_0 \right)$.

Функция $\bar{H}(t)$ для принятых температурных полей определяется из уравнения (6) при $R(t, \tau) = R(t - \tau)$ и $\Gamma(t) = T(t)/T_0$

$$\bar{H}_1(t) = \frac{1}{T_0} \left| T_1(t) - \int_0^t R(t-\tau) T_1(\tau) d\tau \right|, \quad (\tau_1 \leq t \leq \tau_2 - 0) \quad (23)$$

$$\bar{H}_1(t) = -\frac{1}{T_0} \int_0^t R(t-\tau) T_1(\tau) d\tau, \quad (\tau_2 - 0 \leq t < \infty) \quad (24)$$

$$\bar{H}_2(t) = \bar{H}_1(t) + \frac{1}{T_0} \left| T_2(t) - \int_0^t R(t-\tau) T_2(\tau) d\tau \right|, \quad (\tau_1 \leq t < \infty) \quad (25)$$

$$\bar{H}_3(t) = \bar{H}_1(t) + \frac{1}{T_0} \left| T_3(t) - \int_0^t R(t-\tau) T_3(\tau) d\tau \right|, \quad (\tau_3 \leq t \leq \tau_4) \quad (26)$$

$$\bar{H}_3(t) = \bar{H}_1(t) - \frac{1}{T_0} \int_0^t R(t-\tau) T_3(\tau) d\tau, \quad (\tau_4 \leq t < \infty) \quad (27)$$

В интегралах $\int_0^t R(t-\tau) T_i(\tau) d\tau$ подстановкой

$$T_i(\tau) = a_i \tau + b_i \quad (28)$$

$$R(t-\tau) = A_1 e^{-\beta_1(t-\tau)} + A_2 e^{-\beta_2(t-\tau)} \quad (29)$$

$$(i = 1, 2, 3; j = 1, 2)$$

получаем

$$\int_0^{\tau_{j+1}} R(t-\tau) T_i(\tau) d\tau = M_i(\tau_{j+1}, \tau_j) e^{-\beta_1 t} - N_i(\tau_{j+1}, \tau_j) e^{-\beta_2 t} \quad (30)$$

где

$$M_i(\tau_{j+1}, \tau_j) = \frac{A_1}{\beta_1} \left| \left(a_i \tau_{j+1} + b_i - \frac{a_i}{\beta_1} \right) e^{\beta_1 \tau_{j+1}} - \left(a_i \tau_j + b_i - \frac{a_i}{\beta_1} \right) e^{\beta_1 \tau_j} \right| \quad (31)$$

$$N_i(\tau_{j+1}, \tau_j) = \frac{A_2}{\beta_2} \left| \left(a_i \tau_{j+1} + b_i - \frac{a_i}{\beta_2} \right) e^{\beta_2 \tau_{j+1}} - \left(a_i \tau_j + b_i - \frac{a_i}{\beta_2} \right) e^{\beta_2 \tau_j} \right| \quad (32)$$

Подставляя значения параметров для „старого“ бетона из работы [1]

$$\begin{aligned} A_1 &= 0.024 \text{ (сум)}^{-1}; & A_2 &= 3.452 \text{ (сум)}^{-1} \\ \beta_1 &= 0.067 \text{ (сум)}^{-1}; & \beta_2 &= 9.438 \text{ (сум)}^{-1} \end{aligned} \quad (33)$$

и принимая $\tau_1 = 0$, $\tau_2 = 8 \text{ сум}$, $\tau_3 = 38 \text{ сум}$, из формул (23)–(27), с учетом обозначения (28)–(32), получим окончательные выражения для функции $\bar{H}_i(t)$

для интервала $(0 \leq t < 8)$, $i = j = 1$, $a_1 = T_0/8$, $b_1 = 0$

$$H_1(t) = 0.655 + 0.035t - 0.650 e^{-0.067t} - 0.005 e^{-9.438t} \quad (34)$$

для интервала $(8 \leq t < \infty)$ при $i = j = 1$, $a_1 = T_0/8$, $b_1 = 0$,

$$H_1(t) = 4.650 \cdot 10^{30} e^{-9.438t} - 0.400 e^{-0.067t} \quad (35)$$

для интервала $(8 \leq t < \infty)$ при $i = j = 2$, $a_2 = 0$, $b_2 = T_0$,

$$H_2(t) = \bar{H}_1(t) + 0.597 e^{-0.067t} + 4.710 \cdot 10^{30} e^{-9.438t} \quad (36)$$

для интервала $(8 \leq t \leq 38)$ $i = 3$, $j = 2$, $a_3 = -T_0/30$, $b_3 = 16 T_0/15$,

$$\bar{H}_3(t) = \bar{H}_1(t) + 0.184 - 0.009t + 0.890 e^{-0.067t} + 4.714 \cdot 10^{30} e^{-9.438t} \quad (37)$$

для интервала $(38 \leq t < \infty)$ $i = 3$, $j = 2$, $a_3 = -T_0/30$, $b_3 = 16 T_0/15$,

$$\bar{H}_3(t) = \bar{H}_1(t) + 3.075 \cdot 10^{48} e^{-9.438t} - 1.350 e^{-0.067t} \quad (38)$$

Графики изменения полученных функций $\bar{H}_i(t)$ приведены на фиг. 2б.

Случай II. Элементы плиты выполнены из „стареющего“ бетона одинакового возраста. Термоупругие напряжения ε_x в этом случае также определяются по формуле (22).

Функции $H_i(t, \tau_i)$ для соответствующих интервалов времени определяются по формулам (23)–(27), заменяя в них $R(t - \tau)$ на $R(t, \tau)$. Интегралы, входящие в эти формулы, вычисляются численными методами при $\tau_1 = 2 \text{ сут}$, $\tau_2 = 10 \text{ сут}$, $\tau_3 = 40 \text{ сут}$ на основании таблиц $R(t, \tau)$ [1].

Искомые функции $H(t, \tau_i)$ определяются по формуле (9) при $b = 1$, $\beta = 0.206 (\text{сут})^{-1}$. Графики этих функций представлены на фиг. 2а. Полные напряжения $\varepsilon_x(t)$ в плите из „старого“ или „стареющего“ бетона для различных моментов времени определяются умножением ε_{x0} на соответствующие ординаты графиков $\bar{H}_i(t)$ (фиг. 2б) или $H_i(t, \tau_i)$ (фиг. 2а).

На фиг. 2 видно, что как в случае „старого“, так и „стареющего“ бетона при мгновенном охлаждении и охлаждении по линейному закону до 0°C полные напряжения меняют свои знаки. При охлаждении по линейному закону полные напряжения достигают нулевых значений при $t = t^*$. Значения t^* , определяемые графическим решением уравнения (15) равны 31 сут для „старого“ и 28 сут для „стареющего“ бетона.

Из уравнения (19) можно определить закон изменения температуры $\theta(t)$ в элементе 2 для $t > t^*$, при котором полные напряжения в плите останутся нулевыми.

Например, для „старого“ бетона, подставив в уравнение (19)

$$\varepsilon(t) = B_1 e^{-\beta t} + B_2 e^{-\beta t} \quad (39)$$

$$L(t - \tau) = E_0 [\gamma_1 \Delta_0 e^{-\beta(t-\tau)} + \gamma_2 \Delta_0 e^{-\beta(t-\tau)}] \quad (40)$$

получим

$$\theta(t) = K_1 e^{-\gamma_1 t - (\gamma_1 - \gamma_2)t^2} + K_2 e^{-\gamma_2 t - (\gamma_2 - \gamma_1)t^2} + K_3 e^{-\gamma_3 t - (\gamma_3 - \gamma_1)t^2} + \quad (41)$$

$$+ K_4 e^{-\gamma_4 t - (\gamma_4 - \gamma_1)t^2} + K_5 e^{-\gamma_5 t} + K_6 e^{-\gamma_6 t}$$

где

$$B_1 = M_1(\tau_0, \tau_1) + M_3(t^*, \tau_0), \quad B_2 = N_1(\tau_0, \tau_1) + N_3(t^*, \tau_0)$$

$$K_1 = -B_1 \frac{E_0 \gamma_1 \gamma_0}{\gamma_1 - \gamma_1}, \quad K_2 = -B_1 \frac{E_0 \gamma_2 \Delta_0}{\gamma_2 - \gamma_1}, \quad K_3 = -B_2 \frac{E_0 \gamma_1 \gamma_0}{\gamma_1 - \gamma_2} \quad (42)$$

$$K_4 = -B_2 \frac{E_0 \gamma_2 \Delta_0}{\gamma_2 - \gamma_2}, \quad K_5 = B_1 - K_1 - K_2, \quad K_6 = B_2 - K_3 - K_4$$

$$\gamma_1 = 0.03 \text{ (сум)}^{-1}, \quad \gamma_2 = 6 \text{ (сум)}^{-1}$$

$$\gamma_0 = 0.756 \cdot 10^{-5} \frac{\text{с.м}^2}{\text{кг}}, \quad \Delta_0 = 0.219 \cdot 10^{-5} \frac{\text{с.м}^2}{\text{кг}}$$

Значения коэффициентов M_1, M_3, N_1, N_3 определяются по формулам (31) и (32).

С учетом обозначений (42) выражение (41) примет окончательный вид

$$\theta(t) = 0.584 e^{-0.03t} - 0.034 e^{-0.067t} - 1.010 \cdot 10^{55} e^{-6t} - 1.780 \cdot 10^{124} e^{-9.438t}$$

График этой функции показан на фиг. 2а.

Инженерно-строительный институт
им. В. В. Куйбышева

Поступила 10 XI 1971

Г. И. АЛЕКСАНДРОВ, В. П. СЕРГЕЕВ

ՀԱՅՈՒԱՆԱԶԴԻԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՄԵԾՈՒՐԻ ԿՐԱԹՈՒՄԸ ԲԵՏՈՆՅԱՆ
ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐՈՒՄ ԱՏՐՊՈՂԱԿԱՆ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՆԵՐԻՅ ԱՌԱՋԱՑԱԾ
ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆԸ ԽՈՂԵՐ ՓԱՅՄԱՆԵՐՈՒՄ

Ա. Վ. Փ. Ս. Փ. Ս. Փ.

Հոգվածում դիտարկվում է բետոնյա կոնստրուկցիաներում առիպողական զեֆորմացիաներից առաջացած լարումների որոշման եղանակի գծային առիպի հաշվառումով համապատասխան առաձգական խնդրի հայտնի էքսպերիմենտալ լուծման հիման վրա մոտեցական լարումները որոշվում են մոդելների վրա ֆունկցիոնալիզացիան մեթոդով:

Դիտարկված է երկչերտ բետոնյա սալում առիպեր չիրմային ներգործությունների դեպքում լարի լարումների որոշման օրինակ:

USAGE OF PHOTOELASTIC METHOD FOR DETERMINATION OF STRESS DUE TO STRAINS UNDER CREEP CONDITIONS IN CONCRETE STRUCTURES

G. S. VARDANIAN, V. D. SHEREMET

Summary

The method for stress determination under linear creep due to strains in concrete structures, based on the known solution of the corresponding elastic problem, is given in the article. Elastic stresses are determined on models by the polarization method.

An example of full stress determination in a double-layered concrete slab under different temperature effects is also examined.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Александровский С. В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на температурные и влажностные воздействия. Стройиздат, М., 1966.
2. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. Гостехтеориздат, М., 1952.
3. Варданян Г. С., Мусатов А. Г., Павлов В. В. Моделирование ползучести элементов строительных конструкций поляризационно-оптическим методом. Сб. трудов МИСИ им. В. В. Куйбышева. Моделирование задач динамики, термоупругости и статик поляризационно-оптическим методом, № 73, 1970, стр. 84—96.
4. Варданян Г. С., Пригоровский Н. И. Моделирование термоупругих напряжений в поляризационно-оптическом методе. Изв. АН СССР, ОТИ, Механика и машиностроение, № 4, 1962, стр. 146—149.
5. Варданян Г. С., Пригоровский Н. И. Методы определения термоупругих напряжений. Поляризационно-оптический метод исследования напряжений, АГУ, 1966, стр. 274—286.
6. Хесин Г. А., Варданян Г. С., Мусатов А. Г. Моделирование ползучести элементов бетонных конструкций поляризационно-оптическим методом. Тр. VII Всесоюзной конференции по поляризационно-оптическому методу исследования напряжений, Гвалли, 1971.
7. Хесин Г. А., Долопидов В. В., Сивастьянов В. Н. Исследование термонапряженного состояния бетонных блоков гидротехнических сооружений методом фотоупругости. Гидротехническое строительство, № 12, 1968.