УДК 622.831

А. Моцонелидзе, М. Лордкипанидзе, Т. Кикава

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АДСОРБЦИОННОЙ ТЕОРИИ БЕТОНА

Грузинский технический университет, г. Тбилиси

Основное положение адсорбционной теории о природе линейной ползучести бетона заключается в том, что деформация ползучести в области упругого деформирования является обратимой, упругой. Она происходит в результате адсорбционного влияния воды (как поверхностно-активного вещества (ПАВ), выраженного ее расклинивающим действием в обратимых микротрещинах, что порождает в них дополнительное напряжение к имеющемуся напряжению от нагрузки. Адсорбционная теория показывает, что бетон работает по линейному закону вплоть до достижения действительного предела прочности (R) [1].

Следует отметить, что ни в одной из теорий линейной ползучести бетона не учитывается характер ползучести этого материала, когда в определенный момент времени каждому значению деформаций соответствует определенное напряжение. Последнее при этом лежит на линии модуля упругости в точке его пересечения с вертикалью, возведенной из точки кривой ползучести в момент стабилизации деформаций [2].

Несмотря на сказанное, опираясь на принципиальные положения теорий линейной ползучести, в которых деформация представляется суммой мгновенной деформации и деформации ползучести при постоянной внешней нагрузке, можно видоизменить уравнение состояния таким образом, чтобы оно описывало процесс ползучести в соответствии с экспериментами.

Согласно адсорбционной теории о природе ползучести бетона, стабилизированному значению деформации после процесса ползучести $\varepsilon(t_c)$, которое складывается из начальной (мгновенной) деформации $\varepsilon(t_0)$ и деформации ползучести $\varepsilon(t_c) - \varepsilon(t_0)$, соответствует напряжение $\sigma(t_c)$, также являющееся суммой $\sigma(t_0)$ и $\sigma(t_c) - \sigma(t_0)$ (рис. 1).

Предлагаемое уравнение состояния бетона принципиально базируется на линейной теории ползучести Больцмана-Волтера [3]. Модифицируя его в соответствии с адсорбционной теорией о природе ползучести бетона, получаем:

$$\varepsilon(t_c) = \left[\frac{1}{E(t_0)} - \overline{K}(t_c - t_0)\Delta t \right] \sigma(t_0) + \beta \overline{K}(t_c - t_0)\Delta t \cdot \sigma(t_c), \qquad (1)$$

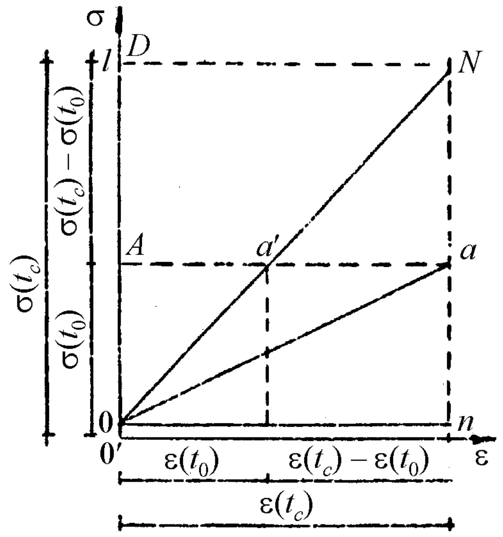

Рис. 1.

где $E(t_0)$ – модуль упругости бетона в момент t_0 приложения нагрузки;

$$E(t_0) = \sigma(t_0)/\varepsilon(t_0);$$

$$\overline{K}(t_c - t_0) = \frac{K(t_c - t_0)}{E(t_0)}, \qquad (2)$$

$\Delta t = t_c - t_0$ – время продолжительности процесса ползучести при определенной постоянной внешней нагрузке; если считать, что $t_0 \approx 0$, тогда $\Delta t \approx t_c$; β – коэффициент, характеризующий изменение модуля деформации на процесс ползучести:

$$\beta = E'(t_c)/E(t_c); \qquad (3)$$

$E'(t_c)$ – секущий модуль деформации бетона в момент времени t_c; $E(t_c)$ – модуль упругости бетона в момент времени t_c; $\overline{K}(t_c - t_0)$ – ядро ползучести, характеризующее скорость ползучести при постоянной внешней нагрузке, отнесенную к единице действующего давления.

Для бетона, который является дисперсным и квазиоднофазным (при деформировании соотношение фаз в единице объема практически не меняется) материалом, ядро ползучести можно представить следующим образом:

$$\overline{K}(t_c - t_0) = \delta e^{-\delta_1 (t_c - t_0)}, \qquad (4)$$

где δ и δ_1 – параметры ползучести, являющиеся соответственно коэффициентом ядра ползучести и коэффициентом ее затухания, определяемыми экспериментально.

Коэффициент затухания ползучести δ_1 численно равен тангенсу угла наклона полулогарифмической прямой к оси t (зависимость $\ln \dot{s}(t)/P_i h(t)$):

$$\delta_1 = \mathrm{tg}\varphi. \qquad (5)$$

Значения $\ln \dfrac{\dot{s}(t)}{P_i h(t)}$, откладываемые на оси ординат, включают следующие величины: $\dot{s}(t_j)$ – скорость относительной осадки,

$$\dot{s}(t_j) = \frac{s(t_j)}{tj}, \quad t_0 \le t_j \le t_c; \qquad (6)$$

$s(t_j)$ - укорочение испытуемого образца в момент времени t_j,

$$s(t_j) = \varepsilon(t_j) \cdot l; \qquad (7)$$

l – база измерителя; P_i - внешнее давление на образец бетона на определенной i-й ступени нагружения; $h(t_j)$ – высота испытуемого образца в момент времени t_j,

$$h(t_j) = h - s(t_j), \tag{8}$$

где

$$h = h_{\text{Н}} - s_{\text{ус}}; \tag{9}$$

$h_{\text{Н}}$ – начальная высота образца; h – высота образца до начала испытания; $s_{\text{ус}}$ - усадка бетона в момент начала испытания образца.

Зная коэффициент затухания ползучести δ_1, можно определить коэффициент ядра ползучести δ по следующему выражению:

$$\delta = \delta_1 \frac{a_0''}{a_0'}, \tag{10}$$

где a_0' - коэффициент относительной сжимаемости в момент приложения нагрузки (коэффициент первичной относительной сжимаемости),

$$a_0' = \frac{s(t_0)}{P_i h(t_0)}; \tag{11}$$

$s(t_0)$ – укорочение образца в момент времени t_0,

$$s(t_0) = \varepsilon(t_0) l; \tag{12}$$

$h(t_0)$ - высота образца в момент времени t_0,

$$h(t_0) = h - s(t_0); \tag{13}$$

a'' - вторичный коэффициент относительной сжимаемости,

$$a'' = \frac{a_0^K - a_0'}{1 - e^{-\delta_1 t_c}}, \tag{14}$$

где a_0^K – коэффициент относительной сжимаемости бетона в стабилизированном, конечном для данной ступени нагрузки состоянии,

$$a_0^K = \frac{s(t_c)}{P_i h(t_c)}, \tag{15}$$

где $s(t_c)$ – укорочение образца в момент времени t_c; $h(t_c)$ – высота образца в момент времени t_c,

$$h(t_c) = h - s(t_c). \tag{16}$$

По приведенным выражениям можно определить параметры затухающей ползучести, необходимые для описания процесса ползучести по модифицированной теории ползучести Больцмана-Волтера в соответствии с адсорбционной теорией ползучести.

Ниже предлагается пример расчета напряжения $\sigma(t_c)$ в момент времени t_c в стандартной легкобетонной призме (10 × 10 × 40). Для определения параметров ползучести, а также других величин, входящих в уравнение (1), используем экспериментальные данные ползучести (см. табл.).

Таблица

$\varepsilon \cdot 10^{-5}$	t, сут
0(68.5)	0
8	20
23	80
28	120
32	160
34	240
35	280

Пример. $\sigma_1 = 0{,}43 \cdot R_{раз} = 130{,}3$ кгс/см^2; $h_Н = 40$ см;. $s_{ус} = 0{,}02$ см; $R_{раз} = 303$ кгс/см^2; $E(t_0) = 189500$ кгс/см^2; $E(t_c) = 193000$ кгс/см^2; $E'(t_c) = 125300$ кгс/см^2; $\varepsilon = 103{,}75 \cdot 10^{-5}$; $\varepsilon(t_0) = 68{,}5 \cdot 10^{-5}$.

Определив и подставив полученные величины в (1), найдем искомое значение $\sigma(t_c)$. Полученный результат совпадает с экспериментальным показателем (рис. 2).

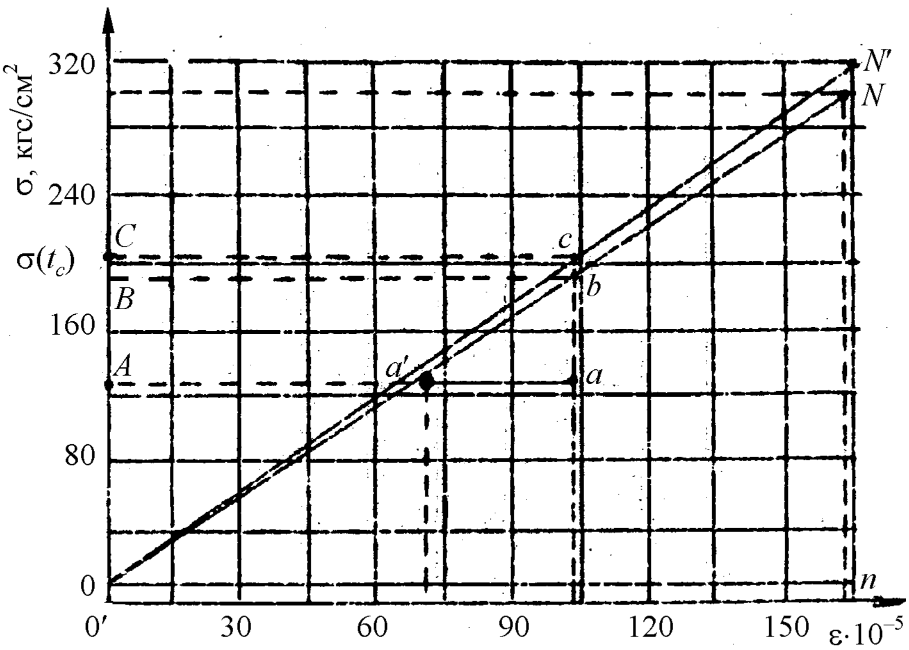

Рис. 2.

Таким образом, уравнение состояния бетона с учетом дополнительного напряжения от ползучести принимает вид закона Гука, т.е. бетон работает во времени по линейному закону.

1. *Балавадзе В.К.* Новое о прочности и деформативности бетона и железобетона [Текст] / В.К. Балавадзе. – Тбилиси: изд-во АН ГССР, 1986.
2. *Бавадзе В.К., Лордкипанидзе М.М.* Новое представление о работе бетона во времени [Текст] / В.К. Бавадзе, М.М. Лордкипанидзе // Сообщения АН ГССР. – 1989. – 134. – №3.
3. *Цитович Н.А.* Механика грунтов [Текст] / Н.А. Цитович. – Изд-во 3, доп. – М.: Высшая школа, 1979.