

В. С. РОМАСЬКО, В. Г. ДОРОШЕНКО

**О РЕОЛОГИЧЕСКОМ СООТНОШЕНИИ ДЛЯ СТАРЕЮЩЕГО
МАТЕРИАЛА**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 11 IV 1971)

Всякое изменение напряженного состояния сопровождается релаксационным процессом, связанным с установлением термодинамического равновесия. Предполагается, что для термодинамически необратимых процессов вблизи состояния равновесия выполняется кинетическое уравнение

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{\vartheta} \cdot W, \quad (1)$$

согласно которому интенсивность внутреннего механического взаимодействия du/dt пропорциональна отклонению W системы от равновесного состояния. Из уравнения (1) следуют уравнения ползучести Ребиндера ^(1, 2)

$$\epsilon = \epsilon' + \epsilon'', \quad (2)$$

$$\epsilon' = \frac{\Delta\sigma}{E'}, \quad (3)$$

$$\epsilon'' = \frac{\Delta\sigma}{E''} \left(1 - \exp\left(-\frac{\epsilon'' E''}{\Delta\sigma} - \frac{t}{\vartheta}\right) \right), \quad (4)$$

если интенсивностью и отклонением служат $du/dt = E'' \cdot \epsilon'' \cdot d\epsilon''/dt$ и $W = \Delta\sigma(\epsilon_m'' - \epsilon'')$. Здесь E' — модуль условно мгновенной деформации ϵ' ; $E'' = \Delta\sigma/\epsilon_m''$ — модуль равновесной деформации ползучести ϵ_m'' ; ϑ — время релаксации неравновесного процесса; $\Delta\sigma$ — скачок напряжения в момент времени t_i ; t — время $t \geq t_i$.

Коэффициенты уравнения Ребиндера являются параметрами состояния и характеризуют диссипативные свойства среды ⁽³⁾. Изменение состояния среды приводит к переменности коэффициентов E' , E'' , ϑ . Для каждого материала возможны при различных внешних условиях шесть вариантов поведения реономных параметров, изображенных на схеме 1. (Под γ понимается любой из параметров E' , E'' , ϑ).

Схема 1

Линейность соотношения	Старый материал	Стареющий материал	$W(t)$
Линейное	$\gamma = \text{const}$	$\gamma = \gamma(t_i)$	$W \rightarrow 0$
Нелинейное	$\gamma = \gamma(\sigma)$	$\gamma = \gamma(\sigma, t_i)$	$t \rightarrow \infty,$
	$\gamma = \gamma(\sigma, t)$	$\gamma = \gamma(\sigma, t, t_i)$	$W \rightarrow \infty, t \rightarrow \infty$

Показано ⁽⁴⁾, что при $\gamma = \text{const}$ любая из известных дробно-экспоненциальных функций влияния хорошо согласуется с результатами опыта, но лучшее соответствие опыту достигается с помощью Э-функции Работнова. Для материалов с параметром дробности равным 0,5 Э-функция совпадает ⁽⁵⁾ в первом приближении с функцией влияния, полученной из уравнений (2–4).

При $\gamma = \gamma(t_i)$ уравнения Ребиндера описывают ползучесть стареющего материала. На рис. 1 проведено сравнение экспериментальных ⁽⁶⁾ (сплошные линии) и расчетных (пунктирные линии) кривых ползучести песча-

ного бетона, за вычетом условно мгновенных деформаций, при различных моментах загрузки t_0 . Параметр ϑ приближенно выбирался постоянным $\vartheta=50$ суткам. Функция $\frac{\Delta\sigma(t_i)}{E''(t_i)}$ аппроксимировалась выражением $a+b/t_i$, в котором $a=10^{-4}$, $b=1,2 \cdot 10^{-3}$ суток.

Значительное отличие расчетных от экспериментальных кривых, соответствующих нагружению образцов в возрасте 90 и 181 суток, объясняется

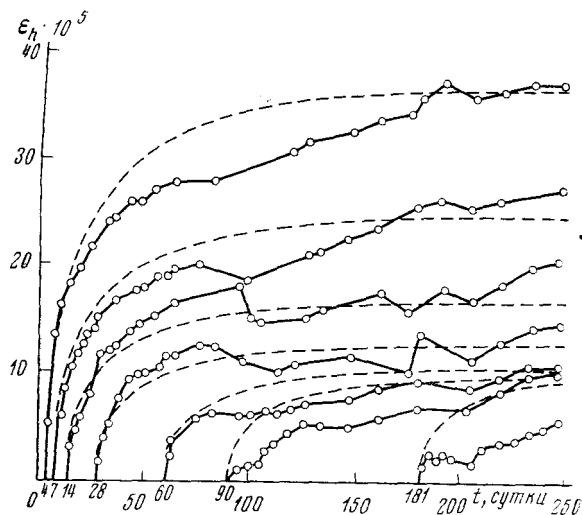


Рис. 1. Кривые ползучести песчаного бетона при загрузках в моменты времени 4, 7, 14, 28, 60, 181 (в сутках)

неточностью экспериментального определения величины деформаций ϵ' , приведенных ниже.

t_0 сутки	4	7	14	28	60	90	181
$\epsilon' \cdot 10^5$	14,9	13,2	11,3	13,8	12,5	13,0	16,6

Очевидно, что часть деформаций ϵ'' для $t_0=90$ и $t_0=181$ суток необоснованно отнесены к деформациям ϵ' .

Предположение о малости отклонения от состояния равновесия не мешает уравнениям Ребиндера описывать ползучесть в нелинейной области при $\gamma=\gamma(\sigma)$. В табл. 1 сравниваются экспериментальные значения дефор-

Таблица 1

t , сек.	2,0	2,8	3,8	5,0	5,8	7,0	8,8	17,0	∞
$\epsilon_{\text{эксп}}$, %	0,426	0,451	0,470	0,480	0,483	0,486	0,489	0,496	0,500
$\epsilon_{\text{теор}}$, %	0,426	0,451	0,470	0,483	0,489	0,493	0,497	0,500	0,500

маций одноосного сжатия монокристалла KCl при температуре 300° K и скачке напряжения $\Delta\sigma=100$ г/мм² с рассчитанными при $E'=10^9$ г/мм², $E''=2 \cdot 10^4$ г/мм², $\vartheta=2,4$ сек. Предел текучести монокристалла KCl при 300° K равен 40 г/мм² (?).

Таким образом можно утверждать, что уравнения Ребиндера описывают линейную и нелинейную ползучесть стареющих и уже старых материалов, если система стремится и достигает равновесного состояния, т. е. $W \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$.

Авторы выражают благодарность Х. И. Кауфманну за любезно предоставленные результаты исследований ползучести монокристаллов KCl.

Харьковский институт
инженеров коммунального строительства

Поступило
15 VII 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ P. A. Reh binder, L. V. Ivanova-Tschumakova, Zs. Phys. Chem., В. 209, Н. 1/2 (1958). ² Л. В. Чумакова, П. А. Ребиндер, ДАН, т. 81, № 2, 239 (1951). ³ Н. В. Рапп, В. С. Ромасько, ДАН, т. 200, № 3, 581 (1971). ⁴ В. А. Маньковский, М. И. Розовский, Прикл. мех., т. 7, в. 1, 18 (1971). ⁵ В. С. Ромасько, Н. В. Рапп, Прикл. мех., т. 8, в. 5, 92 (1972). ⁶ И. И. Улицкий, С. В. Киреева, И. Ф. Фанстиль, Потери предварительного напряжения от ползучести и усадка бетона в железобетонных конструкциях, Киев, 1962, стр. 112. ⁷ Х. И. Кауфманн, Ганд. дисс., ХГУ, 1973.