

ПРИМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ДЛИТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ И ЛЕГКИХ БЕТОНОВ ПРИ СЖАТИИ

Ковалева И.Л., Черная Л.В. (*Одесская государственная академия
строительства и архитектуры, г. Одесса*)

В статье приведена методика и результаты расчетного определения длительного сопротивления тяжелых бетонов средних классов и легких бетонов на заполнителях различных видов. Применение зависимостей предложенной методики позволяет прогнозировать предел длительного сопротивления бетона.

В статье [2] показано, что в рамках предпосылок линейной механики разрушения [1] длительная прочность сжатого бетона $R_b^c(t)$ может быть выражена через кратковременную прочность в тот же момент времени с помощью выражения

$$\eta^c(t) = \frac{R_b^c(t)}{R_b(t)} = m_v(t)m_E(t), \quad (1)$$

где

$$m_E(t) = \left[\frac{E(t_0)}{E(t)} \cdot \frac{1}{1 + E(t_0)C(t, t_0)} \right]^{0,5}; \quad m_v(t) = \left[\frac{\gamma_c(t)}{\gamma(t)} \right]^{0,5} \quad (2)$$

В формуле (2) через $\gamma(t)$ и $\gamma_c(t)$ обозначены поверхностные энергии трещин при разрушении, найденные в предположении, что разрушение происходит в момент приложения нагрузки t и после ее действия в течение промежутка времени $t - t_0$. Вторая формула (2) свидетельствует, что для перехода от $R_b(t)$ к $R_b^c(t)$ достаточно знать только соотношение γ_c и γ . Поскольку какие-либо экспериментальные данные о функции γ_c отсутствуют, для создания определенного представления о $m_v(t)$ в [2] эта функция, согласно (1) и (2), однозначно выражена через $R_b^c(t)$, $R_b(t)$, $C(t, t_0)$ и $E(t)$.

Формула (1) оказалась полезной, в частности для определения $R_b^c(t)$ при значениях $t - t_0$, превышающих продолжительность опытов, в том числе и при $t \rightarrow \infty$.

Расчеты показали, что для тяжелых бетонов В20 – В40 как $m_v(t)$, так и $\eta^c(t)$ при больших $t - t_0$ достаточно близки. Поэтому в настоящей статье приведены их средние для различных классов бетона значения, что удобно с точки зрения практики. Кроме того, описаны соответствующие данные по легким бетонам (см. табл. 1). Для расчетного определения $m_v(t)$ были выбраны эксперименты, содержащие комплексные данные об изменении во времени прочностных и деформативных характеристик бетона.

Таблица 1

Вид бетона	Тяжелый [2]	Легкий [4]	Легкий [3]
Вид заполнителя	Гранитный щебень	Безобжиговый зольный гравий (БЗГ)	Шлаковая пемза
Класс бетона	В30	В25	В40
Возраст бетона к моменту нагружения t_0 , сут	28 - 360	28	250
Продолжительность действия сжимающей нагрузки $t_{max} - t_0$, сут	300 - 720	300	1 200
Начальный модуль упругости $E(t_0)$, МПа	31 000	19 000	23 000
η_{min}	0,30 – 0,80	0,40	0,30
$\eta^c(t_{max})$	0,82	0,74	0,76

В первой формуле (2) под $C(t, t_0)$ подразумевается мера ползучести бетона при растяжении. Но в рассматриваемых экспериментах деформации ползучести определялись только при сжатии, в связи с чем было предпринято следующее: мера ползучести, соответствующая наиболее низкому уровню сжимающих напряжений η_{min} , делилось на коэффициент нелинейности [2].

Учитывая, что экспериментальные данные относятся хотя и к большим, но конечным периодам времени, с целью более надежного определения значений $m_v(t)$ и $\eta^c(t)$ при $t \rightarrow \infty$ для аналитического описания кривых ползучести использовалась методика ГОСТ 24544-81, кроме того, считалось, что $E(\infty) = E(t_{\max})$ и $R_b(\infty) = R_b(t_{\max})$.

Изменения во времени физико-механических характеристик бетонов: модуля упругости, меры ползучести, кратковременной прочности, описаны экспоненциальными зависимостями вида (3), коэффициенты которых приведены в таблице 2.

$$X(t) = X(\infty) \left[1 - \beta_1 e^{-\alpha_1(t-t_0)} - \beta_2 e^{-\alpha_2(t-t_0)} - \beta_3 e^{-\alpha_3(t-t_0)} \right] \quad (3)$$

Модули упругости легких бетонов в экспериментах [3] и [4] за время наблюдений не изменились, поэтому в расчетах их значения приняты постоянными и равными, соответственно, $0,227 \cdot 10^5$ МПа и $0,19 \cdot 10^5$ МПа.

Кроме того, в опытах [3] не выявлен рост кратковременной прочности бетона, т.е. $R_b(t) / R_b(t_0) = const = 1$.

Таблица 2

Характеристика	Вид бетона	Значение при $t \rightarrow \infty$	$\alpha_{1,1}$ сут ⁻¹	$\alpha_{2,1}$ сут ⁻¹	$\alpha_{3,1}$ сут ⁻¹	β_1	β_2	β_3
$E(t)$, МПа	Тяжелый [2]	$0,32 \cdot 10^5$	0,005	-	-	0,025	-	-
$C(t, t_0)$, Мпа ⁻¹	Тяжелый [2]	$6,61 \cdot 10^{-5}$	0,002	0,013	0,420	0,330	0,420	0,250
	Легкий [3]	$5,08 \cdot 10^{-5}$	0,020	0,002	-	0,7890	0,210	-
	Легкий [4]	$14,27 \cdot 10^{-5}$	0,001	0,003	-	0,250	0,750	-
$\frac{R_b(t)}{R_b(t_0)}$	Тяжелый [2]	1,06	0,006	0,008	-	0,020	0,040	-
	Легкий [4]	1,12	0,005	0,004	-	0,001	0,110	-
$m_v(t)$	Тяжелый [2]	1,340	0,0021	0,0110	-	0,0623	0,1914	-
	Легкий [3]	1,088	0,0089	0,0110	-	0,0438	0,0371	-
	Легкий [4]	1,250	0,0051	0,0120	-	0,0405	0,1752	-

На рис. 1 показаны кривые $m_v(t)$, аналитическое описание которых также имеет вид (3) (соответствующие коэффициенты представлены в таблице 2). [2]

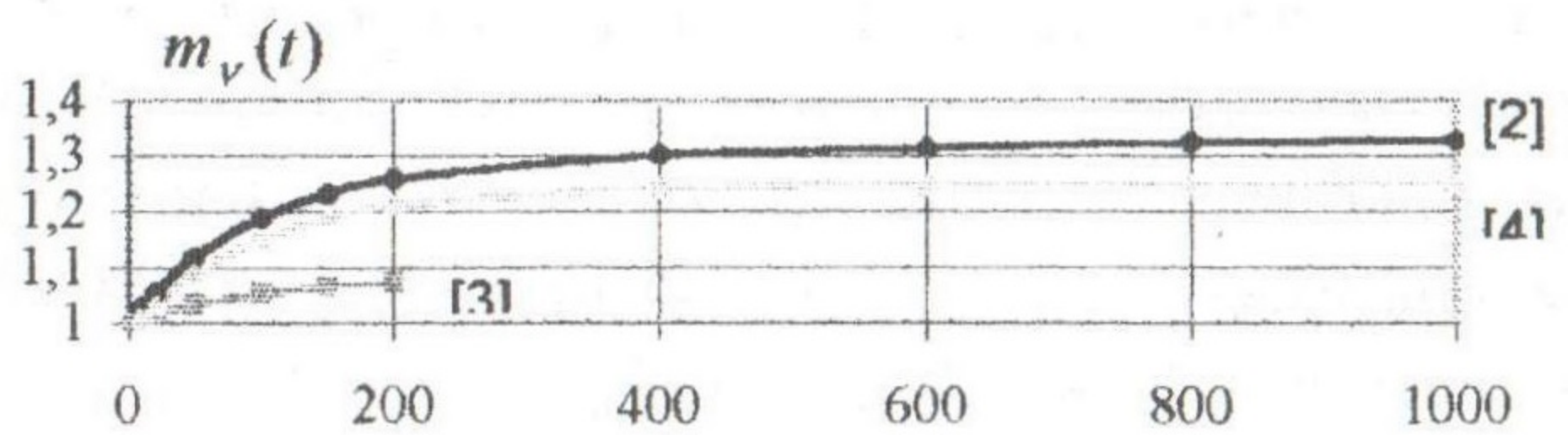


рис. 1 t - t₀, сут

Расчеты показывают, что функция относительной интенсивности поверхностной энергии трещины $m_v(t)$ во времени возрастает и ее предельное значение для тяжелых бетонов превышает соответствующие значения $m_v(\infty)$ для легких бетонов, имеющих более низкий предел длительного сопротивления.

Кривые относительной длительной прочности, построенные с помощью формул (1) и (2), описывают относительную длительную прочность не только на интервале времени, отвечающем реальному эксперименту, но и позволяют определять ее на протяжении всего срока эксплуатации сооружения. Так для момента времени $t = 50$ лет пределы длительного сопротивления тяжелого бетона [2] и легких бетонов [3] и [4], составляют соответственно 0,806 (коэффициент вариаций 0,01), 0,74 и 0,75 (рис. 2).

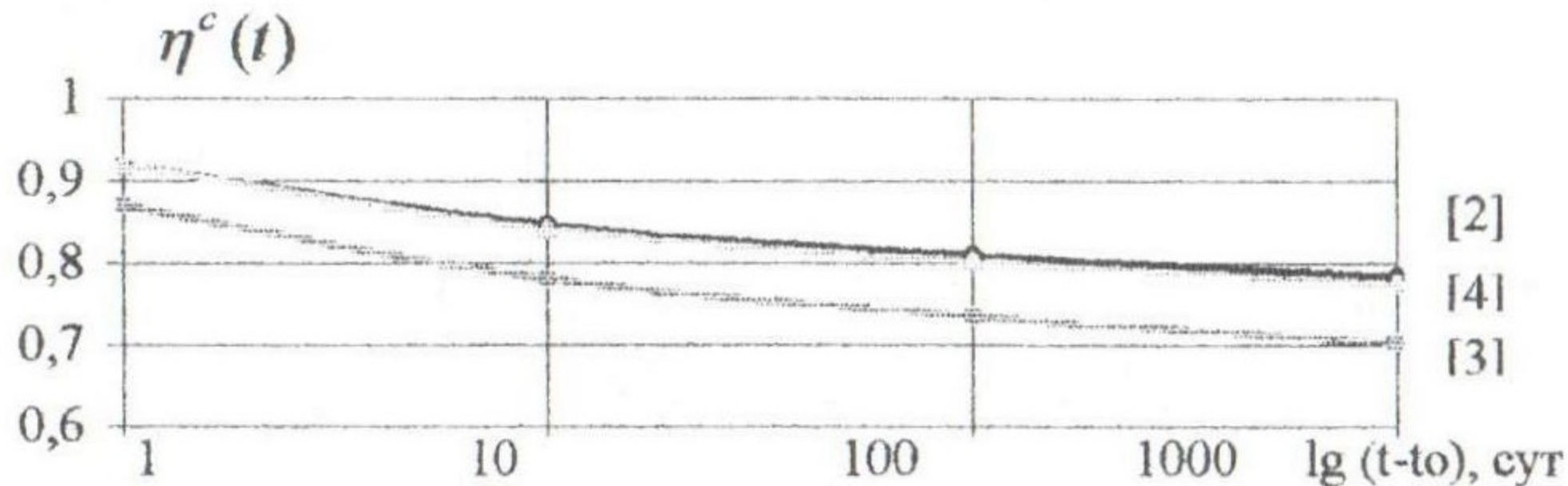


Рис. 2

Однако, для практического прогнозирования длительного сопротивления тяжелых и легких бетонов можно пользоваться другими зависимостями, которые также получены в результате аппроксимации экспериментальных данных:

для тяжелых бетонов [2]

$$\eta^c(t) = 0,92 - 0,016 \ln(t - t_0); \quad (4)$$

для шлакопемзобетона (получена автором [3])

$$\eta^c(t) = 0,87 - 0,045 \lg(t - t_0); \quad (5)$$

для бетона на БЗГ [4]

$$\eta^c(t) = 0,92 - 0,017 \ln(t - t_0). \quad (6)$$

Выводы:

Логарифмические выражения (4) – (6) имеют тот недостаток, что удовлетворительно описывают кривую длительного сопротивления лишь в промежутке времени от 1 до 1250 суток. Значения относительной длительной прочности по этим формулам для $t = 50$ лет соответственно составляют 0,763, 0,645 и 0,748.

Следовательно, в общем случае для описания относительной длительной прочности рассмотренных бетонов в интервалах времени, не превышающих 3,5 года, возможно, с некоторым допущением, применение формул (4) – (6).

Для более точного описания длительного сопротивления бетона и определения его предела при наличии сведений о характеристиках конкретного бетона ($R_b(t)$, $R_b(t_0)$, $C(t, t_0)$ и $E(t)$) рекомендуется использовать зависимость (1) с привлечением результатов расчетного определения функции $m_v(t)$, полученных в [5] и настоящей работе.

Литература

1. Зайцев Ю.В. Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушения. – М.: Стройиздат, 1982.-196 с.
2. Прокопович И.Е., Ковалева И.Л. Расчет предела длительного сопротивления бетона при сжатии. -М.: Бетон и железобетон, 1986, №9, С.29-30.
3. Чернавин В.Ю. К вопросу о длительном деформировании различных видов бетона. В сб. Напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций. -М.: НИИЖБ, 1986. С.138 – 145.
4. Кудрявцев А.А., Мурзабеков Е.Р. Длительная прочность бетона на безобжиговом зольном гравии (БЗГ). -М.: Бетон и железобетон, 1986, №11, С.29-30.
5. Ковалева И.Л. Об особенностях применения линейной механики разрушения для расчета длительного сопротивления бетона. В сб. Ползучесть в конструкциях. –Одесса: ИМК Город мастеров, 1998. С.69 - 72.