

## РАСЧЕТ СЖАТОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО СТЕРЖНЯ НА ДЕЙСТВИЕ СТУПЕНЧАТО – ВОЗРАСТАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ

Твардовский И.А., Ковалева И.Л., Калинина Т.А. (*Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса*)

**В статье приведена методика и результаты расчетного определения напряжений в железобетонном стержне, воспринимающем длительную ступенчато–возрастающую нагрузку, близкую к реальным условиям загружения.**

Все здания и сооружения возводятся в соответствии с разработанным календарным планом производства работ, учитывающим технологические особенности строительно-монтажных работ, время твердения бетона, технологические перерывы и т.д.

Характер формирования сжимающих напряжений в бетоне при этом отображается восприятием ступенчато увеличивающейся во времени нагрузкой. Очевидно, что для определения напряжений в бетоне и арматуре, необходимо учитывать предысторию нагружения конструкции.

В связи с выше изложенным, предлагается в сжатых железобетонных конструкциях определять напряжения в бетоне и арматуре суммированием приращений напряжений от каждой ступени с учетом свойств ползучести бетона и изменения его прочности во времени.

На рис. 1 представлены графики приложения ступенчатой нагрузки и соответствующее изменение напряжений в бетоне. Приращения напряжений в момент приложения каждой ступени и только от нее определяются по формуле

$$\Delta\sigma_{bi}(t_i) = \frac{\Delta\sigma_i(t_i)}{1 + \mu\alpha(t_i)f_k(t_i)}, \quad (1)$$

где:  $A_b$  – площадь сечения;  $f_k(t_i)$  – коэффициент нелинейности, учитывающий уровень нагрузки;  $\mu$  – коэффициент поперечных деформаций

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_i(t_i) &= N_i(t_i)/A_b \\ N_i(t_i) &= N_{i-1}(t_{i-1}) + \Delta N_i(t_i); \quad \alpha(t_i) = E_b(t_i)/E_s(t_i) \end{aligned}$$

N, МПа

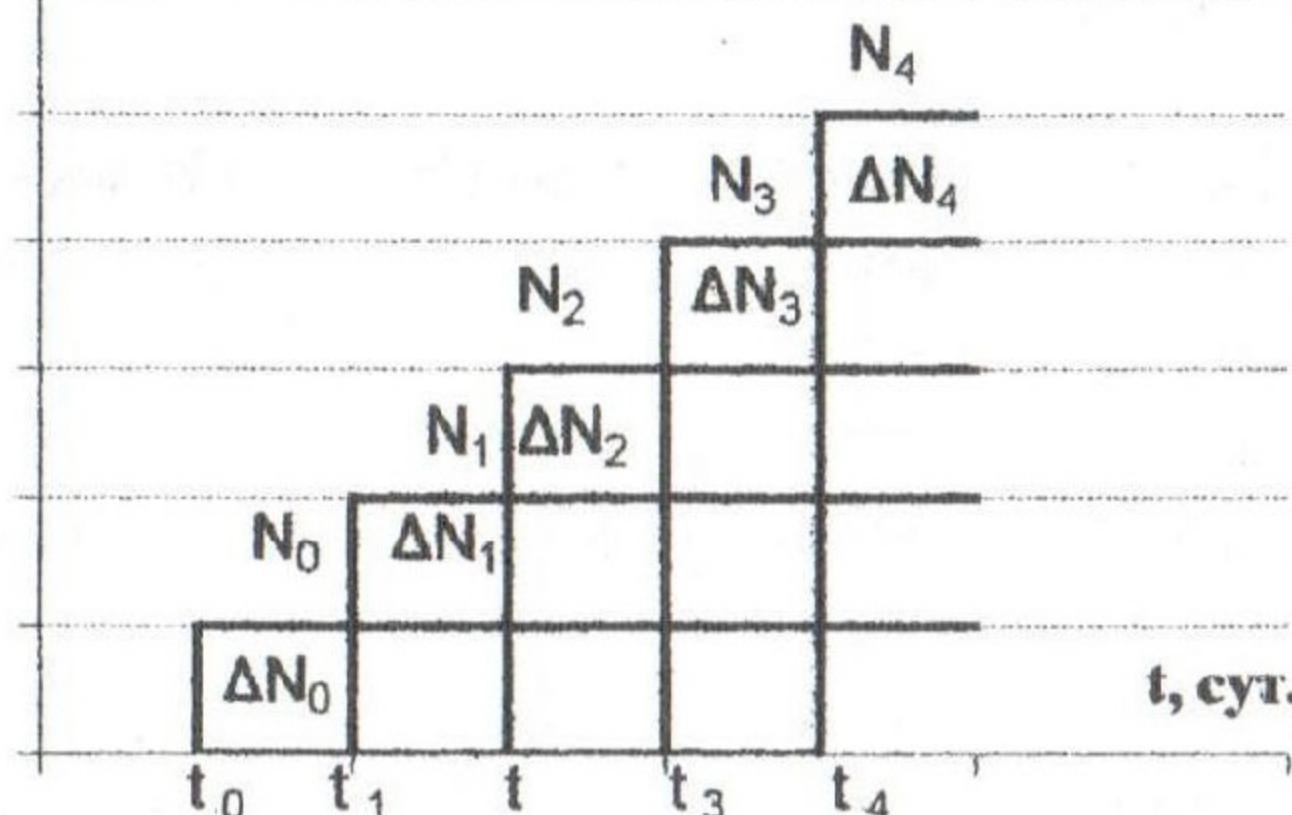


Рис. 1 а

$\sigma_b$ , МПа

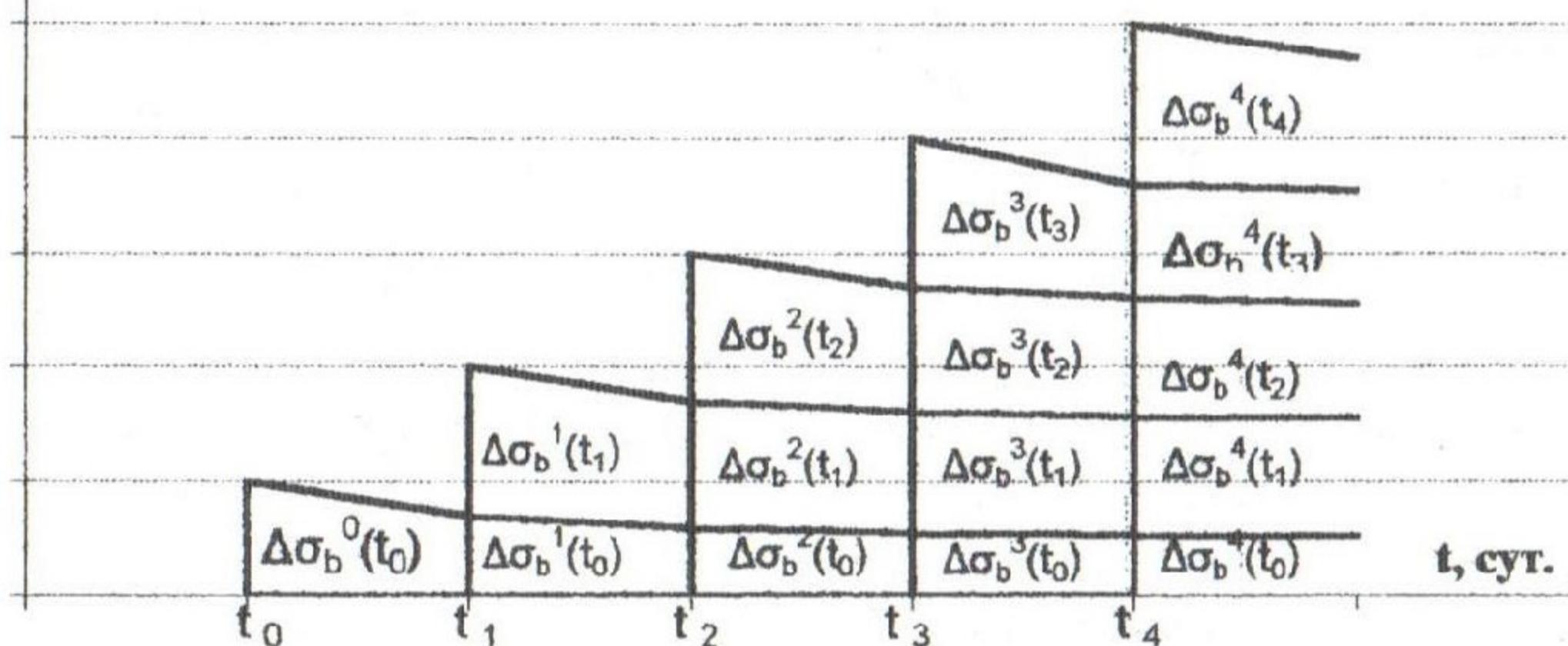


Рис. 1 б

Для момента времени  $t_i$  необходимо учесть всю предысторию загружения. Выражение для определения напряжений в бетоне имеет следующий вид

$$\sigma_{bi}(t_i) = \sum_{i=1}^j \Delta\sigma_{bi}(t_i) + \sum_{i=1}^j \Delta\sigma_{bi}(t_i, t_j) \quad (2)$$

где  $\Delta\sigma_{bi}(t_i)$  определяется по формуле (1),

$$\Delta\sigma_{bi}(t_i, t_j) = \frac{\Delta\sigma_{bi}(t_i) - \mu E_s \Delta\sigma_b(t_j, t_i) [f_k(t_{i-1}) (1/E(t_i) - 1/E(t)_{i-1}^i) + f_c(t_{i-1}) (C(t_j, t_i) - C(t_j, \xi)_{i-1}^i)]}{1 + \mu E_s [f_r(t_i)/E_b(\xi)_{i-1}^i + f_c(t_i) C(t_i, \xi)_{i-1}^i]} \quad (3)$$

По этим формулам выполнены вычисления, результаты которых представлены в таблице 1.

Таблица 1

Вре- мя (сту- пень), t, сут	Общая нагруз- ка <i>N</i> , т	Напря- жение в армату- ре $\sigma_s$ , МПа	Напря- жение в бетоне $\sigma_b$ , МПа	Уровень напря- жений в бетоне, $\sigma_b(t) / R_b(t_0)$	Относительные деформации в бетоне без учета усадки		По- греш- ность $\Delta$ , %
					опыт	расчет	
1	2	3	4	5	6	7	8
28	1,5	8,3	1,33	0,06	4,0	4,1	2,5
34	3,0	18,5	2,62	0,12	9,0	9,6	6,2
39	4,5	29,7	3,90	0,18	16,1	15,3	4,9
45	6,0	42,9	5,14	0,24	24,1	21,9	9,1
42	7,5	58,2	6,33	0,29	31,1	29,2	6,1
66	9,0	81,5	7,36	0,33	41,8	39,6	5,2
70	10,5	91,7	8,66	0,38	49,2	45,6	7,3
77	12,0	107,0	9,85	0,43	59,3	53,5	9,7
81	13,5	118,4	11,13	0,48	68,6	60,4	9,9
88	15,0	135,3	12,29	0,53	78,1	69,7	10,7
93	16,5	149,5	13,51	0,57	86,0	78,5	8,7
97	18,0	162,8	14,74	0,62	97,0	87,6	10,1
101	19,5	177,1	15,95	0,67	108,5	97,9	10,2
107	21,0	196,1	17,07	0,72	121,4	111,8	7,9
114	22,5	215,4	18,19	0,76	136,3	128,2	5,9
119	24,0	231,0	19,37	0,80	150,8	144,4	4,2
125	25,0	247,9	20,04	0,83	163,7	158,6	3,1
132	28,0	275,7	22,48	0,93	177,7	194,2	8,4
167	31,5	249,4	24,51	0,99	235,7	286,0	17,5
174	32,0	364,3	24,71	1,00	261,2	294,4	11,2
189	32,5	396,7	24,56	0,98	291,8	317,4	8,1
235	33,0	443,8	24,12	0,96	352,4	348,9	0,9
255	33,24	456,7	24,11	0,95	360,3	358,9	0,4

Поскольку в опытах применялась арматура с упрочнением, то расчет осуществлялся на основе секущего модуля деформаций.

Алгоритм вычисления напряженно - деформированного состояния сжатых железобетонных стержней по предлагаемой методике при ступенчато возрастающей нагрузке достаточно сложен. В целях упрощения процесса вычислений предлагается заменить ступенчатую нагрузку эквивалентной монотонно - возрастающей по закону

$$N(t) = N(t, t_0) + N(t_0), \quad (4)$$

для схемы загружения «1», (рис. 2),

$$N(t) = N(t, t_0), \quad (5)$$

для схемы загружения «2», (рис. 2), которые дают верхнюю и нижнюю оценки для ступенчатого режима. Третья схема более всех соответствует заданному режиму загружения. Точность эквивалентного режима при численной реализации зависит от выбора точек  $t_1, t_2, \dots, t_i$ .

Матричная форма эквивалентного режима может быть представлена в виде (6).

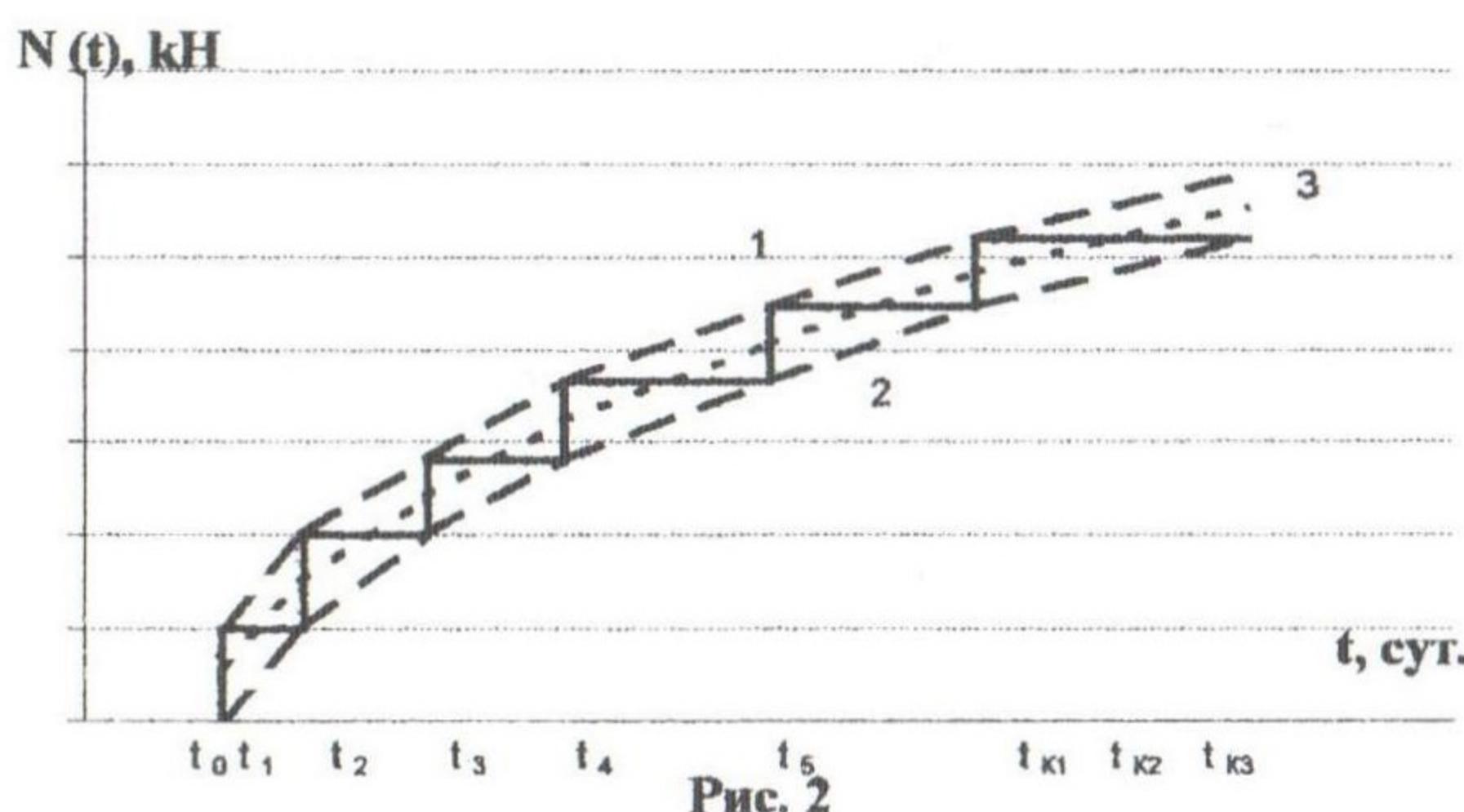


Рис. 2

Вычисления характеристик напряженного – деформированного состояния, выполненные в соответствии с этим алгоритмом и представленные в табл. 1, свидетельствуют о хорошем совпадении.

### Литература

1. Прокопович И.Е., Кобринец В.М., Темнов Иг.Ил., Абу Аль Ниадж Мохаммад. Влияние режима приложения сжимающей нагрузки на прочность бетонных и железобетонных стержней -М.: Известия вузов. Строительство и архитектура, 1989. № 6, С.1-5.
2. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций. -М.: НИИЖБ, Стройиздат, 1988.
3. Прокопович И.Е., Ковалева И.Л. Расчет предела длительного сопротивления бетона при сжатии. -М.: Бетон и железобетон, 1986, №9, С.29-30.

$$\begin{array}{|c}
\hline
[1+a\delta(t_0, t_0)]/a & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\
\hline
\delta(t_1, t_0) - \delta(t_1, \xi)_{t_0}^{t_1} & \left[1+a\delta(t_1, \xi)_{t_0}^{t_1}\right]/a & 0 & 0 & \dots & 0 \\
\delta(t_2, t_0) - \delta(t_2, \xi)_{t_0}^{t_1} & \delta(t_2, \xi)_{t_0}^{t_1} - \delta(t_2, \xi)_{t_1}^{t_2} & \left[1+a\delta(t_2, \xi)_{t_1}^{t_2}\right]/a & 0 & \dots & 0 \\
\delta(t_3, t_0) - \delta(t_3, \xi)_{t_0}^{t_1} & \delta(t_3, \xi)_{t_0}^{t_1} - \delta(t_3, \xi)_{t_1}^{t_2} & \delta(t_3, \xi)_{t_1}^{t_2} - \delta(t_3, \xi)_{t_2}^{t_3} & \left[1+a\delta(t_3, \xi)_{t_2}^{t_3}\right]/a & \dots & 0 \\
\delta(t_4, t_0) - \delta(t_4, \xi)_{t_0}^{t_1} & \delta(t_4, \xi)_{t_0}^{t_1} - \delta(t_4, \xi)_{t_1}^{t_2} & \delta(t_4, \xi)_{t_1}^{t_2} - \delta(t_4, \xi)_{t_2}^{t_3} & \delta(t_4, \xi)_{t_2}^{t_3} - \delta(t_4, \xi)_{t_3}^{t_4} & \dots & 0 \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
\delta(t_n, t_0) - \delta(t_n, \xi)_{t_0}^{t_1} & \delta(t_n, \xi)_{t_0}^{t_1} - \delta(t_n, \xi)_{t_1}^{t_2} & \delta(t_n, \xi)_{t_1}^{t_2} - \delta(t_n, \xi)_{t_2}^{t_3} & \delta(t_n, \xi)_{t_2}^{t_3} - \delta(t_n, \xi)_{t_3}^{t_4} & \dots & \left[1+a\delta(t_n, \xi)_{t_{n-1}}^{t_n}\right]/a \\
\hline
\end{array}$$

(6)

$$\begin{array}{c}
\left\| \sigma_b(t_0) \right\| \\
\left\| \sigma_b(t_1) \right\| \\
\left\| \sigma_b(t_2) \right\| \\
\left\| \sigma_b(t_3) = \sigma_{01}(t_0) \right. \\
\left. \sigma_{02}(t_1) \right. \\
\left. \sigma_{03}(t_2) \right. \\
\left. \sigma_{04}(t_3) \right. \\
\left. \sigma_{05}(t_4) \right. \\
\left. \vdots \right. \\
\left. \sigma_{0n}(t_n) \right\|
\end{array}
x$$

$$a = \mu_S E_S$$