

## ВЛИЯНИЕ УСАДОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ БЕТОНА НА НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Бетондун келәмүнүн азаюу деформациясынын аркасында темир бетон конструкцияларындагы арматуранын жана бетондун баштапкы чыңалууларын аныктоонун ыкмалары каралган.*

*Рассматривается методика определения начальных напряжений в бетоне и арматуре железобетонных конструкций, обусловленных усадочными деформациями бетона.*

*The technique of definition of initial voltage in concrete and armature of the Ferro-concrete designs caused by shrinkable deformations of concrete is considered.*

Как известно из /1/, усадочные деформации бетона в железобетонных конструкциях способствуют возникновению начальных внутренне уравновешенных напряжений – растяжения в бетоне и сжатия в арматуре, которые способствуют снижению трещиностойкости железобетонных элементов, а в конечном итоге - снижению долговечности и надежности.

### 1. Расчет начальных напряжений в бетоне и арматуре железобетонных элементов от усадочных деформаций бетона

Как уже было отмечено, усадочные деформации бетона в обычных железобетонных элементах способствуют возникновению начальных внутренне уравновешенных напряжений – растяжения в бетоне и сжатия в арматуре. Выражения для начальных растягивающих напряжений в бетоне, согласно /1/, запишутся в виде:

а) для случая симметричного армирования

$$\sigma_{at(T)} = \frac{\varepsilon_{sh(T)} \cdot E_s}{\frac{1}{\mu_s} + \frac{\alpha}{\nu_{\sigma(T)}}}, \quad (1.1)$$

где  $\alpha = E_s / E_c$  – отношение модулей упругости арматуры и бетона;

$\mu_s = \frac{A_s}{A}$  – коэффициент армирования;  $\varepsilon_{sh}$  – конечная величина относительной деформации усадки, определяется из табл. 9 /2/;  $\nu_{\sigma(T)}$  – коэффициент упругопластических деформаций бетона;

б) для случая несимметричного армирования

$$\sigma_{at(T)} = \frac{2,25 \cdot \varepsilon_{sh(T)} \cdot E_s}{1 / \mu_s + 2,25 \cdot n / \nu_{\sigma(T)}}, \quad (1.2)$$

Из уравнения равновесия внутренних усилий определится напряжение сжатия в арматуре

$$\sigma_{s(T)} = \sigma_{at(T)} / \mu_s; \quad (1.3)$$

Деформации стесненной усадки бетона железобетонных элементов, как и деформации свободной усадки бетона, развиваются во времени и способствуют увеличению величины растягивающих напряжений в бетоне, приближая их к некоторой конечной величине. Вместе с тем, указанные напряжения развивают деформации ползучести в бетоне, снижая эффект внутреннего самоупреждения.

Для количественной оценки величины напряжения в бетоне и арматуре от усадочных деформаций воспользуемся графическим методом.

Используя зависимости (1.1), (1.2) и (1.3), построим серию кривых  $\sigma_{st(\tau)} - \tau$  при различных значениях  $\mu_s$ ,  $P$ ,  $\varepsilon_{sh(\tau)}$ ,  $\tau$  и постоянном значении  $v_{\varepsilon(\tau)}$ . Затем в тех же зависимостях, принимая  $\varepsilon_{sh(\tau)} = \varepsilon_{shu} = const$ , построим другую серию кривых при различных значениях  $\mu_s$ ,  $P$ ,  $\tau$  и  $v_{\varepsilon(\tau)}$ . В точках пересечения этих кривых получим численные значения установившихся напряжений растяжения в бетоне железобетонных элементов от усадки и время стабилизации усадочных напряжений. Далее с помощью выражения (1.3) определим напряжение сжатия в арматуре.

В предварительно напряженных железобетонных элементах указанные напряжения в арматуре представляют собой ни что иное, как **потери преднапряжения в напрягаемой арматуре**.

Диаграммы  $\sigma_{st} - \tau$  от усадки и ползучести при различных  $\mu_s$  и  $P$  для случаев симметричного и несимметричного армирования приведены на рис. 1 и 2.

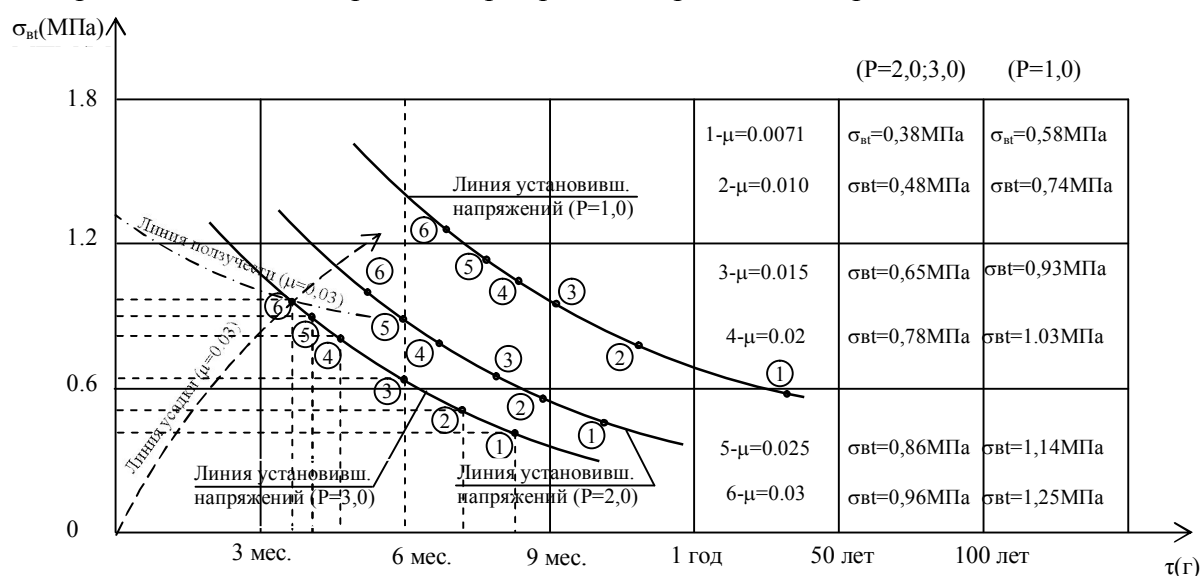


Рис. 1. Диаграмма  $\sigma_{st} - \tau$  от усадки и ползучести бетона при различных  $\mu_s$  и  $P$  (армирование симметричное)

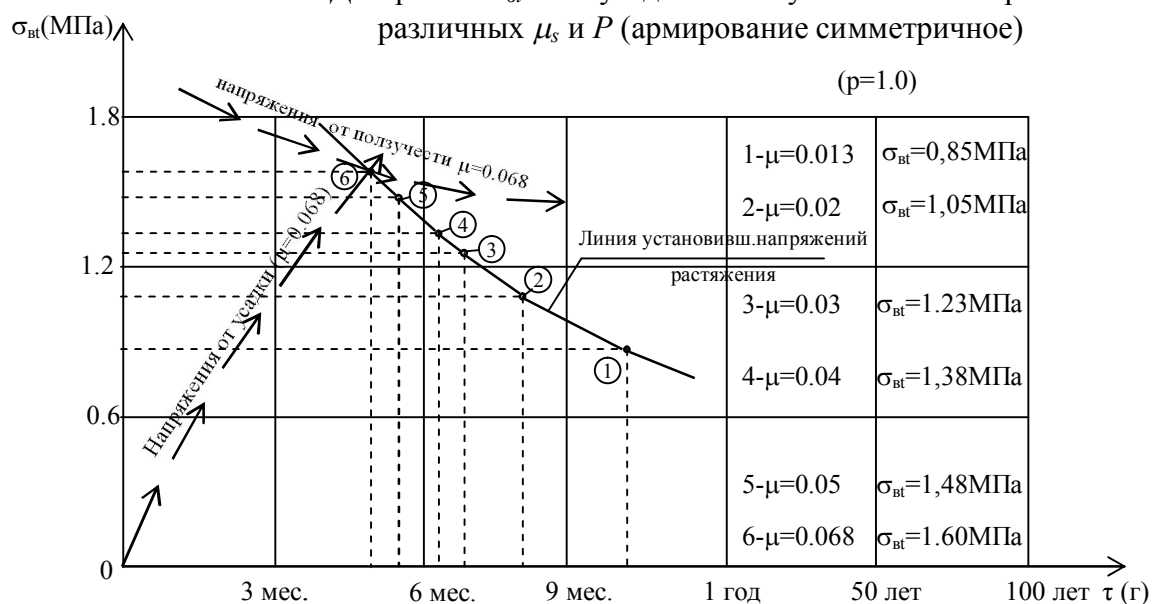


Рис. 2. Диаграмма  $\sigma_{st} - \tau$  от усадки и ползучести бетона при различных  $\mu_s$  и  $P$  (армирование несимметричное)

При построении указанных диаграмм численные значения  $v_{e(T)}$  для различных  $\frac{\sigma_{eT}}{R_{eT}}$  и  $\tau$  принимались по диаграмме рис. 3.

Численные значения  $\sigma_{e(\tau)}$  и  $\sigma_{s(\tau)}$  при различных  $\mu_s$  и  $P$  приведены в табл. 1-3.

Таблица 1.

$P$	1,0						Примечание
$\mu_s$	0,0077	0,010	0,015	0,02	0,025	0,03	Армирование симметричное
$\sigma_{e(\tau)}$ (МПа)	0,58	0,74	0,93	1,03	1,14	1,25	
$\tau$ (месяцев)	13	11	9,0	8,2	7,5	6,9	

Таблица 2

$P$	2,0; 3,0						Примечание
$\mu_s$	0,0077	0,010	0,015	0,02	0,025	0,03	Армирование симметричное
$\sigma_{e(\tau)}$ (МПа)	0,38	0,48	0,65	0,78	0,86	0,96	
$\sigma_{s(\tau)}$ (МПа)	53,5	48	43,3	39,0	34,4	32,0	
$\tau$ (мес) $P=2,0$	10	9,7	7,6	6,6	6,0	4,2	
$\tau$ (мес) $P=3,0$	8,1	7,2	6,0	5,0	4,5	4,0	

Таблица 3

$P$	1,0						Примечание
$\mu_s$	0,013	0,02	0,03	0,04	0,05	0,068	Армирование несимметричное
$\sigma_{e(\tau)}$ (МПа)	0,85	1,05	1,23	1,38	1,48	1,60	
$\sigma_{s(\tau)}$ (МПа)	65,4	52,5	41,0	34,5	29,6	23,5	
$\tau$ (мес.)	9,9	8,0	7,0	6,2	5,5	5,1	

## 2. Графическое представление упругопластического коэффициента бетона при различных уровнях и длительностях загрузки

Бетон, как известно, является упругопластическим материалом, и при действии внешних нагрузок в нем развиваются как упругие, так и неупругие деформации. Развитие неупругих деформаций в бетоне, в нормах проектирования железобетонных конструкций /3/, учитывается при помощи коэффициента упругопластичности бетона

$$v_{e(\tau)} = \left[ \frac{\varepsilon_{el}}{\varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl}(\tau, \sigma_e / R_e)} \right], \quad (2.1)$$

который зависит от времени  $\tau$  действия длительной нагрузки и уровня напряжений  $\sigma_e / R_e$ . Используя это выражение и диаграмму зависимости  $\sigma_e / R_e - \varepsilon_e$  при различных  $\tau$ , можно осуществить графическое представление упругопластического коэффициента бетона для различных уровней и длительностей загрузки (рис. 3).

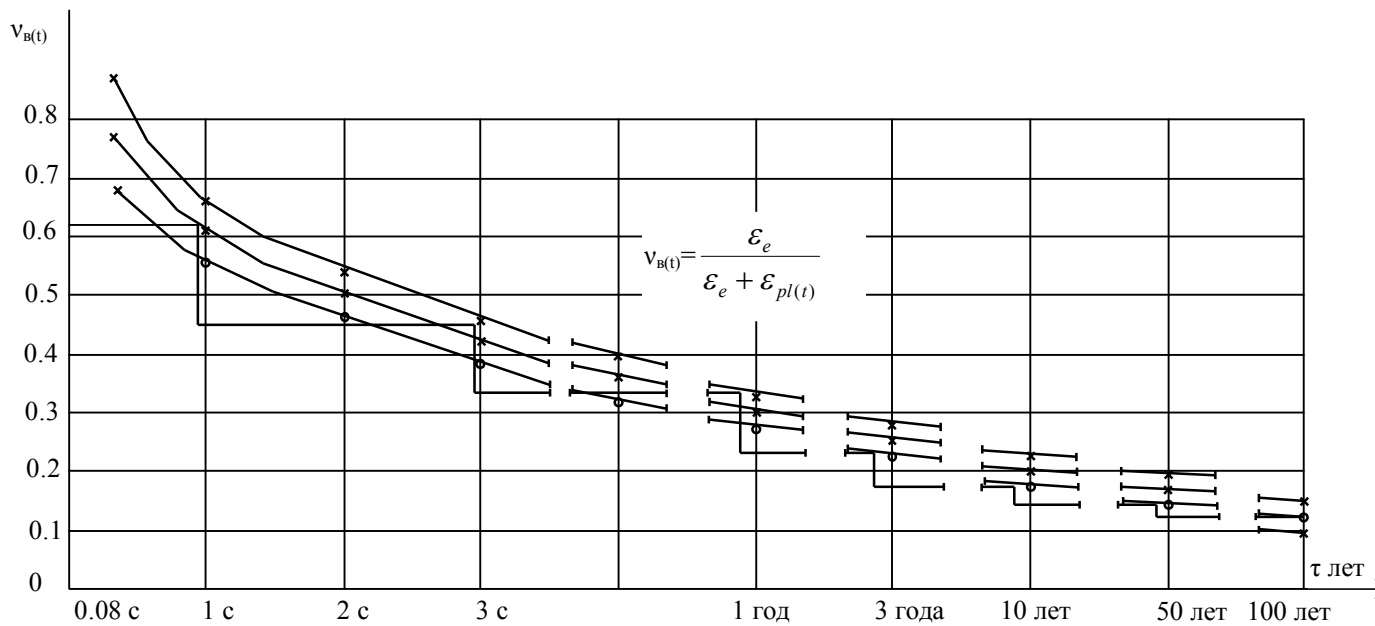


Рис.3. Диаграмма изменения коэффициента упругопластических деформаций бетона  $v_{B(t)}$ -T для различных длительностей нагружения

### Список литературы

1. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. - М.: Стройиздат, 1991.
2. Инновационные методы расчета и проектирования сейсмостойких железобетонных конструкций, зданий и сооружений: Промежуточный отчет по научной работе, 2008.
3. СНиП 2.03.01-84\* Бетонные и железобетонные конструкции. – М., 1999.