

УДК 624.012

## Различия в требованиях СНБ 5.03-01-02 и ТКП EN 1992-1-1-2009 по определению ползучести бетона

Армянинов О.Д., Борисовец А.М.  
(Научный руководитель – Шилов А.Е.)  
Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь

В ходе сравнительного анализа двух нормативных документов СНБ 5.03-01-02 и ТКП EN 1992-1-1-2009 были выявлены определенные отличия в методике определения ползучести бетона.

### Методика определения коэффициента ползучести бетона $\varphi(t, t_0)$ по ТКП EN 1992-1-1-2009

При проведении испытаний на образцах, отличных от базовых предельные значения ползучести следует умножать на коэффициент  $K_2$ , приведенный в таблице 1.

Таблица 1. – Переходные коэффициенты при определении ползучести

Размер ребра поперечного сечения образца, см	Переходные коэффициенты при определении ползучести $K_2$
7	0,83
10	0,90
15	1,0
20	1,10

Коэффициенты, указанные в таблице, применимы для тяжелых и мелкозернистых бетонов, а также бетонов на пористых заполнителях, приготовленных на цементных вяжущих.

Значения переходных коэффициентов для ячеистых и силикатных бетонов должны быть установлены экспериментально.

Основные формулы для определения коэффициента ползучести по ТКП EN 1992-1-1-2009:

(1) Коэффициент ползучести  $\varphi(t, t_0)$  может быть определен по формуле:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \beta_c(t, t_0)$$

$\varphi_0$  – условный коэффициент ползучести, который может быть определен следующим образом:

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta_{f_{cm}} \cdot \beta_{t_0}$$

$\varphi_{RH}$  – коэффициент, учитывающий влияние относительной влажности воздуха на условный коэффициент ползучести:

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1\sqrt[3]{h_0}} \quad \text{для } f_{cm} \leq 35 \text{ МПа}$$

$$\varphi_{RH} = \left[ 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1\sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \quad \text{для } f_{cm} > 35 \text{ МПа}$$

$RH$  – относительная влажность воздуха окружающей среды, %;

$\beta_{(f_{cm})}$  – коэффициент, учитывающий влияние предела прочности при сжатии бетона на условный коэффициент ползучести:

$$\beta_{f_{cm}} = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}}$$

$f_{cm}$  – средняя прочность при сжатии бетона, МПа, в возрасте 28 сут;

$\beta_{(t_0)}$  – коэффициент, учитывающий влияние возраста бетона при начале нагружения на условный коэффициент ползучести:

$$\beta_{t_0} = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,20}}$$

$h_0$  – условный приведенный размер элемента, мм:

$$h_0 = \frac{2A_c}{u}$$

$A_c$  – общая площадь поперечного сечения бетона;  $u$  – периметр элемента, контактирующий с атмосферой;  $\beta_c(t, t_0)$  – коэффициент, описывающий развитие ползучести после приложения нагрузки, который рассчитан по следующей формуле:

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right]^{0,3}$$

Здесь  $t$  – возраст бетона на рассматриваемый момент, сут;  $t_0$  – возраст бетона в момент приложения нагрузки, сут;  $t - t_0$  – неоткорректированная продолжительность нагружения, сут;  $\beta_H$  – коэф-

коэффициент, учитывающий относительную влажность воздуха (RH, %) и условный размер элемента ( $h_0$ , мм). Он может быть определен следующим образом:

$$\beta_H = 1,5 \left[ 1 + 0,012RH^{18} \right] \cdot h_0 + 250 \leq 1500 \quad \text{для } f_{cm} \leq 35 \text{ МПа}$$

$$\beta_H = 1,5 \left[ 1 + 0,012RH^{18} \right] \cdot h_0 + 250 \alpha_3 \leq 1500 \alpha_3 \quad \text{для } f_{cm} > 35 \text{ МПа}$$

$\alpha_{1/2/3}$  – коэффициенты для учета влияния прочности бетона:

$$\alpha_1 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7}; \quad \alpha_2 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2}; \quad \alpha_3 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,5}$$

(2) Влияние вида цемента (см. 3.1.2 (6)) на коэффициент ползучести бетона может быть учтено посредством модифицирования возраста при начале нагружения  $t_0$ , в соответствии со следующим выражением:

$$t_0 = t_{0,T} \cdot \left( \frac{9}{2 + t_{0,T}^{1,2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0,5$$

$t_{0,T}$  – откорректированный с учетом температуры возраст бетона при начале нагружения, сут, откорректированный также согласно формуле приведенной ниже:

$\alpha$  – показатель степени, который зависит от вида цемента:

$\alpha = -1$  — для цемента класса S;

$\alpha = 0$  — для цемента класса N;

$\alpha = 1$  — для цемента класса R.

(3) Влияние повышенных или пониженных температур в диапазоне от 0°C до 80°C на степень зрелости бетона может быть учтена посредством корректировки возраста бетона в соответствии со следующей формулой:

$$t_T = \sum_{i=1}^n e^{-4000/[273+T \Delta t_i]^{-13,65}} \cdot \Delta t_i,$$

где  $t_T$  – откорректированный с учетом температуры возраст бетона, который заменяет  $t$  в соответствующих формулах;  $T(\Delta t_i)$  – температура, °C, в течение периода времени  $\Delta t_i$ ;  $\Delta t_i$  – количество суток, когда температура  $T$  преобладает.

Средний коэффициент вариации определенного указанным выше методом коэффициента ползучести, определенный по компьютерной базе данных результатов лабораторных исследований, находится в пределах 20%.

Значения  $\Phi(t, t_0)$ , определенные по приведенным выше формулам, должны быть связаны с касательным модулем  $E_c$ .

Если менее точная оценка является удовлетворительной, значения, приведенные на рисунке 3.1 из 3.1.4 Еврокода, могут быть применены для определения ползучести бетона в возрасте 70 лет.

### **Методика определения коэффициента ползучести бетона $\Phi$ по СНБ 5.03-01-02**

Предельные значения коэффициента ползучести бетона  $\Phi(\infty, t_0)$ , полученные по графикам, применимы для расчетных ситуаций, когда уровень сжимающих напряжений в бетоне при первом нагружении в момент времени  $t_0$  не превышает  $0,45f_{cm}(t_0)$ . Если сжимающие напряжения в момент времени  $t_0$  превышают  $0,45f_{cm}(t_0)$ , следует выполнять модификацию значений коэффициента ползучести  $\Phi(\infty, t_0)$ , полученных по графикам с учетом нелинейной ползучести по формуле

$$\Phi_k(\infty, t_0) = \Phi(\infty, t_0) \cdot \exp \left[ 1,5 \left( \frac{\sigma_c}{f_{cm}(t_0)} - 0,45 \right) \right],$$

где  $\Phi(\infty, t_0)$  – предельное значение модифицированного (нелинейного) коэффициента нелинейной ползучести;  $\sigma_c$  – сжимающие напряжения в бетоне в момент времени  $t_0$ ;  $f_{cm}(t_0)$  – средняя прочность бетона на сжатие в возрасте  $t_0$ , определяемая согласно п.6.1.2.8.

Согласно п.6.1.4.3 и п. 6.1.4.4 предельные значения коэффициента ползучести бетона  $\Phi(\infty, t_0)$ , полученные по графикам, приведенным на рисунке 1, применимы при расчетах конструкций в условиях сезонных колебаний температуры от минус 25 до 40°C и относительной влажности RH от 20 до 100%.

Предельные значения коэффициента ползучести бетона  $\Phi(\infty, t_0)$ , полученные по графикам, применимы для бетонов классов по прочности на сжатие не более  $C^{55}/_{67}$  из смесей, имеющих марки по удо-

бюукладываемости П2 и П3. Для бетонных смесей других марок по удобоукладываемости значения коэффициентов ползучести  $\Phi(\infty, t_0)$ , следует умножать на поправочные коэффициенты:

при СЖ3, СЖ2, СЖ1, Ж4, Ж3, Ж2 — не более 0,70;

при Ж1, П1, П2 — 0,80;

при П3 — 1,00;

при П4, П5, РК-1, РК-2 — 1,20;

при РК-3, РК-4, РК-5, РК-6 — 1,30.

Для бетонов классов по прочности на сжатие более  $C^{55}/_{67}$  независимо от марки бетонной смеси по удобоукладываемости предельные значения коэффициентов ползучести  $\Phi(\infty, t_0)$ , полученные по графикам, приведенным на рисунке 1, следует умножать на поправочный коэффициент, равный 1,2.

Согласно приложению Б последовательность определения коэффициента ползучести бетона следующая:

Коэффициент ползучести бетона следует определять по формуле

$$\Phi(t, t_0) = \Phi_0 \cdot \beta_c,$$

где  $\Phi_0$  — условный коэффициент ползучести, определяемый:

$$\Phi_0 = \Phi_{RH} \cdot \beta_{f_{cm}} \cdot \beta_{t_0},$$

Здесь  $\Phi_{RH}$  — коэффициент, учитывающий влияние относительной влажности окружающей среды и определяемый:

$$\Phi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1\sqrt[3]{h_0}} \quad \text{для } f_{cm} \leq 35 \text{ МПа}$$

$$\Phi_{RH} = \left[ 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1\sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \quad \text{для } f_{cm} > 35 \text{ МПа}$$

RH — относительная влажность, %;  $\beta(f_{cm})$  — коэффициент, учитывающий влияние прочности бетона на условный коэффициент ползучести:

$$\beta_{f_{cm}} = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}}$$

$f_{cm}$  — средняя прочность бетона, МПа, в возрасте 28 сут;

$\beta(t_0)$  – коэффициент, учитывающий влияние возраста  $t_0$  бетона к моменту нагружения:

$$\beta t_0 = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,20}}$$

$h_0$  – приведенный размер элемента, мм, определяемый:

$$h_0 = \frac{2A_c}{u}$$

$A_c$  – площадь поперечного сечения;  $u$  – открытый периметр сечения, контактирующий с атмосферой;  $\beta_c$  – коэффициент, описывающий развитие ползучести во времени

$$\beta_c = \left[ \frac{t - t_0}{\beta_n + t - t_0} \right]^{0,3}$$

$t$  – возраст бетона к рассматриваемому моменту времени в проектной ситуации, сут;  $t_0$  – возраст бетона к моменту нагружения, сут;  $\beta_n$  – коэффициент, учитывающий влияние относительной влажности и приведенного размера сечения на развитие ползучести во времени, определяемый:

$$\text{при } f_{cm} \leq 35 \text{ Мпа} \quad \beta_n = 1,5 \left[ 1 + 0,012RH^{18} \right] \cdot h_0 + 250 \leq 1500$$

$$\text{при } f_{cm} > 35 \text{ Мпа} \quad \beta_n = 1,5 \left[ 1 + 0,012RH^{18} \right] \cdot h_0 + 250 \alpha_3 \leq 1500 \alpha_3$$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – коэффициенты, учитывающие влияние прочности бетона и принимаемые равными:

$$\alpha_1 = \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,7}, \quad \alpha_2 = \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,2}, \quad \alpha_3 = \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0,5}$$

Влияние вида цемента на величину коэффициента ползучести допускается учитывать путем модификации времени  $t_0$  в формуле (Б.5) по формуле:

$$t_0 = t_{0,T} \left[ \frac{9}{2 + t_{0,T}^{1,2}} + 1 \right]^\alpha \geq 0,5$$

где  $t_{0,T}$  – возраст бетона к моменту нагружения, сут, модифицированный с учетом влияния изменения температуры при  $t = t_0$ ;  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий вид цемента:

$\alpha = -1$  — для нормальнотвердеющего портландцемента ПЦ 400-Д20 по ГОСТ 10178, шлакопортландцемента по ГОСТ 10178, ЦЕМ II класса по прочности на сжатие 32,5, ЦЕМ III по ГОСТ 31108;

$\alpha = 0$  — для нормальнотвердеющего портландцемента ПЦ 500-Д20 по ГОСТ 10178, ЦЕМ II класса по прочности на сжатие 42,5 по ГОСТ 31108;

$\alpha = 1$  — для быстротвердеющего портландцемента и ПЦ 550-Д0 по ГОСТ 10178, нормальнотвердеющего портландцемента ПЦ 500-Д0 по ГОСТ 10178, ЦЕМ I класса по прочности на сжатие 42,5 по ГОСТ 31108.

Влияние изменения температуры (в интервале от 0 до 80 °С) на величину ползучести учитывается путем модификации времени  $t_T$  в расчетных формулах:

$$t_T = \sum_{i=1}^n \exp\left[-4000 / (273 + T) \Delta t_i - 13,65\right] \cdot \Delta t_i$$

где  $t_T$  – модифицированный возраст бетона, сут, с учетом влияния изменений температуры;  $T(\Delta t_i)$  – температура, °С, действующая на временном интервале  $\Delta t_i$ ;  $\Delta t_i$  – временной интервал, сут, для которого принимают постоянное значение температуры  $T(\Delta t_i)$ .

*Вывод:* Отличия в определении коэффициентов пластичности представлены на диаграмме ниже:

**ТКП EN 1992-1-1-2009**

В случае отличия образцов испытаний от базовых, вводится поправочный коэффициент

Учтена зависимость от относительной влажности RH

Зависимость от возраста бетона

**СНБ 5.03-01-02**

$\sigma_{mc} \leq 0,45f_{cm}(t_0)$  (в противном случае необходима модификация коэффициента ползучести)

Учтена зависимость от относительной влажности RH

Для марок по удобоукладываемости П2 и П3 (в противном случае вводятся поправочные коэффициенты)

Для классов больших  $C^{55}/_{67}$  вводится поправочный коэффициент 1,2



## ЛИТЕРАТУРА

1. СНБ 5.03.01-02. «Бетонные и железобетонные конструкции».- Мн.:Стройтехнорм, 2003г. – 274 с.
2. EN 1992-1-1:2004 Еврокод 2: Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1: Общие правила проектирования и правила проектирования зданий».