

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:

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

φ_0 – условный коэффициент ползучести, который может быть определен следующим образом:

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

φ_{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; β_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:

α – 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 Δt_i ; Δt_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 $\varphi(t, t_0)$, 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 Φ 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; σ_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-

букладываемости 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 Φ_0 – условный коэффициент ползучести, определяемый:

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

Здесь Φ_{RH} – коэффициент, учитывающий влияние относительной влажности окружающей среды и определяемый:

$$\Phi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0,13\sqrt{h_0}} \quad \text{для } f_{cm} \leq 35 \text{ МПа}$$

$$\Phi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - RH/100}{0,13\sqrt{h_0}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \quad \text{для } f_{cm} > 35 \text{ МПа}$$

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; β_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; β_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 $t = t_0$; α – коэффициент, учитывающий вид цемента:

$\alpha = -1$ — для нормальноотвердеющего 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 нормальноотвердеющего 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, нормальноотвердеющего 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 Δt_i ; Δt_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».

Репозиторий БНТУ