

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОГНЕУСТОЙЧИВОСТТА НА СТОМАНОБЕТОННИ ГРЕДИ ЧРЕЗ ОПРОСТЕНИЯ ИЗЧИСЛИТЕЛЕН „ЗОНОВ МЕТОД“ НА БДС EN 1992-1-2:2005

Б. Захариева-Георгиева¹

Ключови думи: стоманобетонни греди, огнеустойчивост

Научна област: стоманобетонни конструкции

РЕЗЮМЕ

Анализиран е опростеният изчислителен „Зонов метод“ на БДС EN 1992-1-2:2005 (Еврокод 2) за определяне на границата на огнеустойчивост на стоманобетонни греди при стандартен пожар. Разгледан е конкретен числен пример и са направени изводи за практическото приложение на този метод у нас.

1. Въведение

В част 1–2 на Еврокод 2 [2] са дадени следните алтернативни опростени методи за оценка на огнеустойчивостта на стоманобетонни греди:

- метод „Изотерма 500 °С“ (Приложение В.1);
- „Зонов метод“ (Приложение В.2);
- опростен изчислителен метод на Приложение Е.

При опростените изчислителни методи проверката за огнеустойчивост на елементите по показателя „носимоспособност“ се състои в удовлетворяване на условието $E_{fi,d,t} \leq R_{fi,d,t}$, където $E_{fi,d,t}$ е изчислителна стойност на съответните усилия от въз-

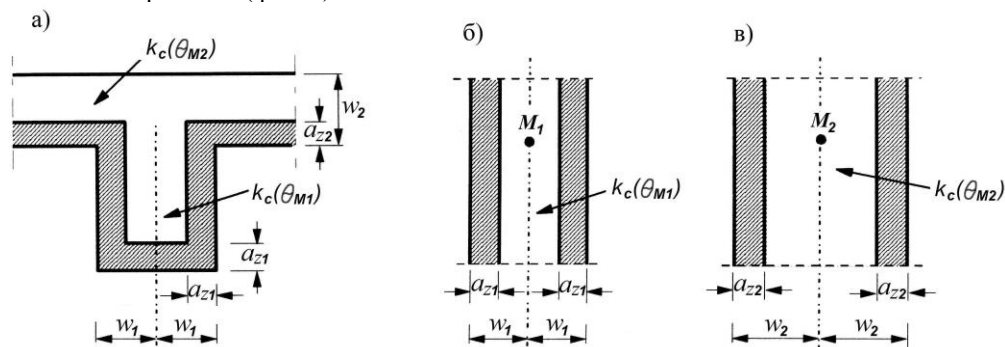
¹ Борянка Захариева-Георгиева, проф. д-р инж., кат. „Масивни конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София

действията при пожарна ситуация; тези усилия се определят за момент $t = 0$ и се приема, че са непроменени във времето; $R_{fi,d,t}$ е изчислителна носимоспособност на елемента при пожарно въздействие в момента t .

В настоящата статия е анализиран опростеният изчислителен „Зонов метод“ на БДС EN 1992-1-2 за оценка на огнеустойчивостта на стоманобетонни греди при стандартен пожар. Разгледан е конкретен числен пример и са направени изводи за практическото приложение на този метод у нас.

2. Зонов метод за оценка на огнеустойчивостта на стоманобетонни греди

Методът е приложим за обикновени и за предварително напрегнати стоманобетонни греди с правоъгълно или плочогредово напречно сечение, подложени на стандартно пожарно въздействие (според стандартната крива „температура–време“). Прогрютото напречно сечение на гредата се представя чрез редуцирано напречно сечение, като се пренебрегва повредената зона с дебелина a_z (a_{z1} или a_{z2}) откъм пряко нагряваните повърхности (фиг. 1).



Фиг. 1. Редуцирано напречно сечение при стандартен пожар на: а) тристранно нагрята стоманобетонна греда с плочогредово сечение; б) стена; в) дебела стена

При зоновия метод напречното сечение се разделя на определен брой ($n \geq 3$) успоредни зони с еднаква дебелина (правоъгълни елементи), като се оценяват средната температура θ_i и съответно средната якост на натиск на бетона $f_{cd}(\theta_i)$ за всяка зона.

Реброто на стоманобетонната греда (фиг. 1а) се привежда към еквивалентната стена от фиг. 1б, а поясът (плочата) се привежда към еквивалентната стена от фиг. 1в. Точка M (M_1 от фиг. 1б или M_2 от фиг. 1в) е произволна точка от средната равнина на съответната еквивалентна стена, използвана за определяне на редуцираната якост на натиск на бетона в редуцираното напречно сечение. При пряко нагряване на две срещуположни повърхности широчината на сечението се приема равна на $2w_1$ (фиг. 1б). За правоъгълно едностранно нагрявано напречно сечение (пояса на плочогредовото сечение) широчината се приема равна на w_2 (фиг. 1а), а то се представя посредством дебела стена с широчина $2w_2$ (фиг. 1в).

За долната повърхност на реброто, изложено на тристранно пожарно въздействие, с широчина, по-малка от височината, стойността на a_z се приема същата като изчислената за двете му страни (фиг. 1а).

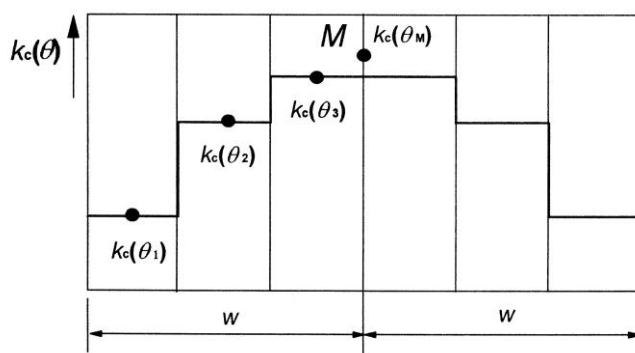
Повредената зона от напречното сечение a_z се определя по следния начин:

1) половината от общата широчина на напречното сечение на реброто w_1 (фиг. 2) или дебелината на пояса (плочата) w_2 се разделя на n успоредни зони с еднаква дебелина ($n \geq 3$);

2) изчислява се температурата θ_i за средната равнина на всяка зона и се определят редукионните коефициенти $k_c(\theta_i)$ за якостта на натиск на бетона в отделните зони;

3) средният редукионен коефициент $k_{c,m}$ за напречното сечение на реброто или на пояса се определя с отчитане на изменението на температурата във всяка зона по формулата

$$k_{c,m} = \frac{(1-0,2/n)}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_c(\theta_i); \quad (1)$$



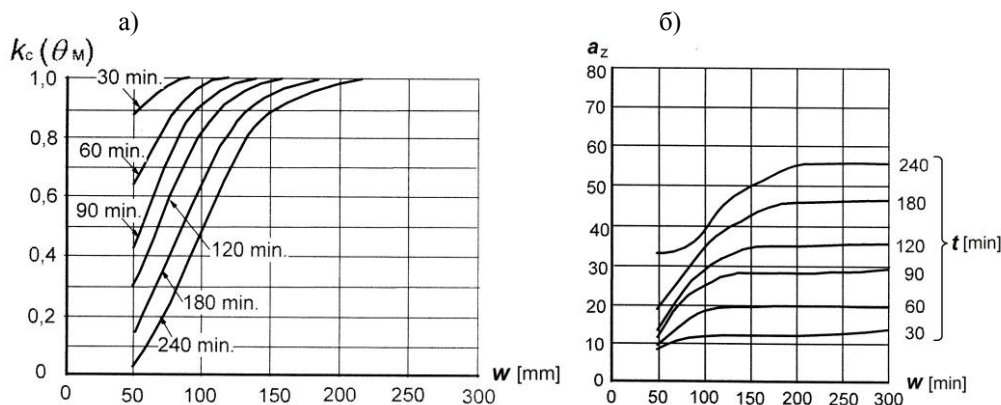
Фиг. 2. Разделяне на двустранно нагрявана стена на зони

4) дебелината на повредената зона a_z (a_{z1} или a_{z2}) при греди и плочи, подложени на срязване в равнината, се изчислява по формулата

$$a_z = w \cdot \left(1 - \frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right), \quad (2)$$

където $k_c(\theta_M)$ е редукионен коефициент за бетона в точка M (M_1 от фиг. 1б или M_2 от фиг. 1в), определен от фиг. 3а.

Описаната процедура се опростява значително чрез директно отчитане на стойностите на a_z (a_{z1} и a_{z2}) от фиг. 3б. Графиките на фиг. 3 се отнасят за бетон със силициеви добавъчни материали и са в полза на сигурността за други добавъчни материали.



Фиг. 3. Редуциране на напречното сечение и на якостта на натиск на бетон със силициеви добавъчни материали: а) редуционен коефициент за якостта на бетона в точка М; б) дебелина на повредената зона a_z на напречното сечение на стоманобетонна греда или плоча

Изчислителната якост на натиск на бетона $f_{cd,fi}$ в редуцираното сечение на реброто или на пояса при пожарно въздействие се определя от израза

$$f_{cd,fi} = k_c(\theta_M) \cdot f_{ck} / \gamma_{C,fi}, \quad (3)$$

където $\gamma_{C,fi} = 1.0$ е частен коефициент на сигурност за механичните характеристики на бетона при пожарна ситуация.

Изчислителната стойност на максималното напрежение в армировката при високи температури (включително и на прътите, разположени извън редуцираното сечение) е

$$f_{sd,\theta} = f_{sy,\theta} / \gamma_{S,fi} = k_s(\theta_i) \cdot f_{yk} / \gamma_{S,fi}, \quad (4)$$

където $f_{sy,\theta}$ е характеристична стойност на границата на провлачване на армировъчната стомана при пожарно въздействие;

$k_s(\theta_i)$ – редуционен коефициент за висока температура θ_i ;

$\gamma_{S,fi} = 1.0$ – частен коефициент на сигурност за механичните характеристики на армировъчната стомана при пожарна ситуация.

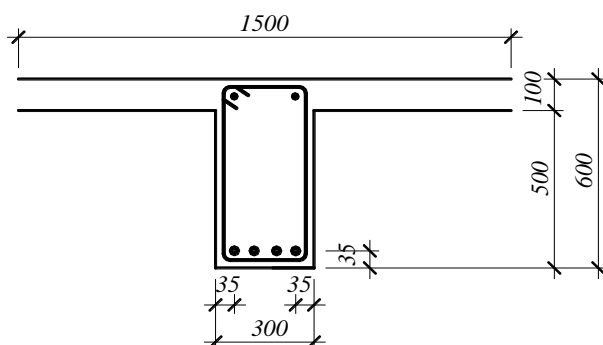
По-нататък проектирането на стоманобетонната греда за пожарна ситуация следва изчислителната процедура за нормална температура.

В сеченията с положителни огъващи моменти на гредата, подложена на тристранно пожарно въздействие (фиг. 1а), полезната височина d_{fi} при проектиране за пожарна ситуация е равна на тази при проектиране за нормална температура: $d_{fi} = d$. В сеченията с отрицателни огъващи моменти (опорните сечения на непрекъснати греди или на конзоли) е нагрятата натисковата зона и бетонът в крайните ѝ участъци е повреден, което довежда до намаляване на полезната височина на сечението d_{fi} : $d_{fi} < d$.

3. Числен пример

Да се провери носимоспособността на огъване при пожарно въздействие на стоманобетонна греда в офис сграда (категория В) с показаното на фиг. 4 напречно сечение при статическа схема „проста греда” и изчислителен отвор $\ell_{eff} = 6$ m. Гредата е натоварена с равномерно разпределено натоварване, чиито характеристични стойности са: $g_k = 20$ kN/m; $q_k = 10$ kN/m. Приети са бетон клас C20/25 и армировъчна стомана клас B420. Изискваната граница на огнеустойчивост при стандартен пожар е R90.

(Проверките за носимоспособност на срязване не са обект в тази статия).



Фиг. 4. Напречно сечение на стоманобетонната греда

3.1. Изчисляване на надлъжната армировка за нормална температура

Изчислителни якостни характеристики на материалите при температура 20 °C:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_C = 1.20 / 1.5 = 13.33 \text{ N/mm}^2;$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S = 420 / 1.15 = 365.22 \text{ N/mm}^2.$$

Изчислителни стойности на натоварванията:

$$g_d = \gamma_G \cdot g_k = 1.35 \cdot 20 = 27 \text{ kN/m}; \quad q_d = \gamma_Q \cdot q_k = 1.5 \cdot 10 = 15 \text{ kN/m}.$$

Оразмерителен огъващ момент: $M_{Ed, \max} = (g_d + q_d) \cdot \ell_{eff}^2 / 8 = 189 \text{ kN.m}.$

При $M_f = \eta \cdot f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot \lambda \cdot h_f \cdot (d - 0.5 \lambda \cdot h_f) = 840 \text{ kN.m} > M_{Ed, \max}$ нулевата линия е в плочата и надлъжната армировка се изчислява по следната процедура:

$$m_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}} = 0.03 < m_{Ed, \lim} = 0.2952; \quad \zeta = 0.5 \cdot (1 + \sqrt{1 - 2 \cdot m_{Ed}}) = 0.9848;$$

$$A_{s, req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = 9.3 \text{ cm}^2 > A_{s, \min}; \quad A_{s, prov} = 10.18 \text{ cm}^2 (4\phi 18).$$

3.2. Определяне на границата на огнеустойчивост чрез зонен метод

Изчислителни стойности на натоварванията при пожарна ситуация:

$$g_{fi} = 1 \cdot g_k = 20 \text{ kN/m}; \quad q_{fi} = \psi_{2,1} \cdot q_k = 0,3 \cdot 10 = 3 \text{ kN/m}.$$

Изчислителен огъващ момент при пожарно въздействие

$$M_{fi,d} = (g_{fi} + q_{fi}) \cdot \ell_{eff}^2 / 8 = 103,5 \text{ kN.m}.$$

Дебелината на повредената зона от реброто a_{z1} се отчита от графиката, дадена на фиг. 3б, за граница на огнеустойчивост R90 и $w_1 = 150 \text{ mm}$: $a_{z1} = 28 \text{ mm}$. От същата графика се определя и дебелината на повредената зона a_{z2} от долната страна на плочата: за граница на огнеустойчивост R90 и $w_2 = 100 \text{ mm}$ се отчита $a_{z2} = 25 \text{ mm}$.

Дадените по-долу изчисления показват, че при пожарна ситуация нулевата линия е в плочата, тъй като за височината на натисквата зона се получава стойност $x < h_f - a_{z2} = 100 - 25 = 75 \text{ mm}$. При продължителност на пожара 90 минути и $w_2 = 100 \text{ mm}$ от фиг. 3а се отчита стойност $k_c(\theta_M) = 0,92$ на редукиционния коефициент за якостта на натиск на бетона в точка M . В натисквата зона бетонът работи с изчислителна якост на натиск при пожар $f_{cd,fi} = 0,92 \cdot 20 / 1,0 = 18,4 \text{ N/mm}^2$.

Изчисленията се извършват за огъващия момент при пожарно въздействие:

$$m_{fi,d} = \frac{M_{fi,d}}{b_{eff} \cdot d_{fi}^2 \cdot \eta \cdot f_{cd,fi}} = 0,012 < m_{Ed,lim} = 0,2952;$$

$$\zeta = 0,5 \cdot (1 + \sqrt{1 - 2 \cdot m_{fi,d}}) = 0,994;$$

$$\xi = (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot m_{fi,d}}) / \lambda = 0,015;$$

$$x = \xi \cdot d_{fi} = 8 \text{ mm} < h_f - a_{z2} = 100 - 25 = 75 \text{ mm}.$$

За граница на огнеустойчивост R90 от температурните профили на фиг. 5 се отчита температурата във всеки армировъчен прът: $\theta_1 \approx 700 \text{ }^\circ\text{C}$ за ъгловите пръти; $\theta_2 \approx 500 \text{ }^\circ\text{C}$ за вътрешните пръти.

От табл. 3.2а на [2] се определят съответните редукиционни коефициенти: $k_{s1,\theta} = 0,23$; $k_{s1,\theta} = 0,78$ и се изчисляват максималните напрежения в отделните армировъчни пръти при пожарно въздействие:

$$f_{sy,\theta,1} = k_{s1,\theta} \cdot f_{yk} = 96,6 \text{ N/mm}^2 \text{ за ъгловите пръти};$$

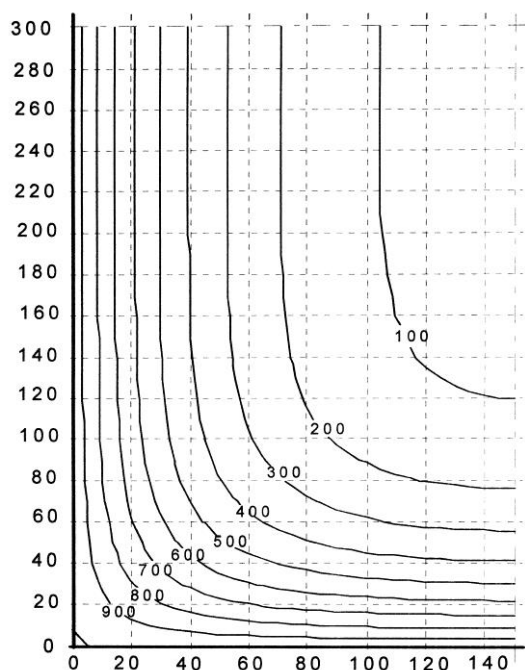
$$f_{sy,\theta,2} = k_{s2,\theta} \cdot f_{yk} = 327,6 \text{ N/mm}^2 \text{ за вътрешните пръти}.$$

Средната характеристична стойност на границата на провлачаване на армировъчната стомана при пожарно въздействие е $f_{sy,0} = 212,1 \text{ N/mm}^2$.

Необходимата площ на надлъжната опънна армировка при пожарна ситуация е

$$A_{s,req,fi} = \frac{M_{fi,d}}{\zeta_d \cdot (f_{sy,0} / \gamma_{S,fi})} = 8,7 \text{ cm}^2 < A_{s,prov} = 10,18 \text{ cm}^2 (4\phi 18).$$

Следователно при пожарно въздействие с продължителност 90 минути носимоспособността на огъване на гредата е осигурена.



Фиг. 5. Температурни профили за стоманобетонна греда с размери на напречното сечение 600/300 mm при R90

4. Заключение

Опростеният изчислителен зонен метод за оценка на огнеустойчивостта на стоманобетонни греди е сложен и в близко бъдеще едва ли ще намери широко приложение в проектантската практика у нас, поради следните причини:

- в БДС EN-1-2:2005 [2] са дадени изключително малък брой температурни профили: например за греди в Приложение А има температурни профили само за напречни сечения с размери 150/80 mm; 300/160 mm; 600/300 mm и 800/500 mm; за да се използва този изчислителен метод, проектантите трябва да разполагат с пълен набор температурни профили за всички размери на правоъгълни напречни сечения, които обичайно се прилагат у нас;
- опростените изчислителни методи за оценка на огнеустойчивостта на стоманобетонни греди са по-сложни за приложение от метод „таблични данни” и при използването им трябва да се правят допълнителни проверки за носимоспособност на срязване и евентуално на усукване на гредите, за закотвяне на

армировката при пожарна ситуация (съгласно Приложение D на [2]), както и проверка срещу разцепване на бетона при въздействие от пожар (т. 4.5 на [2]).

Тъй като в долните ъгли на гредите възникват температурни концентрации при пожарна ситуация (фиг. 5), редукионните коефициенти за границата на провлачване на армировъчната стомана $k_{sy,\theta}$ имат много ниски стойности за долните ъглови пръти.

С оглед осигуряване на по-голяма огнеустойчивост на стоманобетонните греди, при конструирането им е препоръчително да се избират не 2 броя, а 3 или повече броя долни надлъжни пръти, защото при пожарно въздействие междинните пръти работят с по-големи якостни характеристики от ъгловите пръти.

ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 1992-1-1:2005 и БДС EN 1992-1-1/NA – Еврокод 2. Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Част 1–1: Общи правила и правила за сгради.
2. БДС EN 1992-1-2:2005 и БДС EN 1992-1-2/NA – Еврокод 2. Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Част 1–2: Общи правила. Проектиране на конструкции срещу въздействие от пожар.
3. Захариева-Георгиева, Б., Хр. Нешев. Определяне на огнеустойчивостта на стоманобетонни колони чрез опростения изчислителен зонов метод на БДС EN 1992-1-2:2005, XIV международна научна конференция ВСУ'2014, 5–6 юни, София.

SIMPLIFIED CALCULATION METHOD “ZONE METHOD” FOR CALCULATING THE RESISTANCE IN A FIRE SITUATION OF REINFORCED CONCRETE BEAMS IN ACCORDANCE WITH BDS EN 1992-1-2:2005

B. Zaharieva-Gueorguieva¹

Keywords: reinforced concrete beams, resistance in a fire situation

Research area: reinforced concrete structures

ABSTRACT

This article discusses the simplified calculation method “zone method” of BDS EN 1992-1-2:2005 (Eurocode 2) for assessing the fire resistance of reinforced concrete beams. Conclusions on the practical application of this method in Bulgaria are based on an analysis of the results of a specific example.

¹Boriana Zaharieva-Gueorguieva, Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046