

ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ – СОФИЯ

Първа научно-приложна конференция с международно участие
„СТОМАНОБЕТОННИ И ЗИДАНИ КОНСТРУКЦИИ – ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА“

22 – 23 октомври 2015

22 – 23 October 2015

First Scientific-Applied Conference with International Participation

“REINFORCED CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES – THEORY AND PRACTICE”

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY – SOFIA

48 ^{ТОМ}
vol.

2015

св.
fasc. 12 – II

ГРАНИЦА НА ОГНЕУСТОЙЧИВОСТ НА СТОМАНОБЕТОННИ КОЛОНИ СЪГЛАСНО ФОРМУЛА (5.7) ОТ ТАБЛИЧЕН МЕТОД „А“ НА БДС EN 1992-1-2:2005

Х. Нешев¹

Ключови думи: стоманобетонни колони, огнеустойчивост

Научна област: строителни конструкции

РЕЗЮМЕ

Разгледана е формула (5.7) от табличен метод А на БДС EN 1992-1-2:2005 за определяне на границата на огнеустойчивост на стоманобетонни колони. Направено е предложение за изменение на формулата, като е отчетен начинът на конструиране на арматурката – с 4, с 6 или с 8 надлъжни пръта. Предложението е съставено с резултатите от 80-те лабораторно изпитани колони, въз основа на които е съставена формула (5.7) на БДС EN 1992-1-2:2005. Направени са изводи и препоръки за практическо приложение.

1. Въведение

Границата на огнеустойчивост на стоманобетонни колони съгласно БДС EN 1992-1-2 [2] може да бъде определена чрез някоя от следните изчислителни методики:

- признати проектни решения (таблични данни) – метод А и метод В. Те са разработени въз основа на емпирични данни, потвърдени експериментално в лабораторни условия (пещи) и теоретични (числени) изчисления;
- опростени методи за изчисляване за отделни видове елементи – „Изотерма 500 °С” и Зонов метод;

¹ Христиан Нешев, инж. докторант, кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. “Хр.Смирненски” № 1, 1046 София, e-mail:neshev_bg@abv.bg

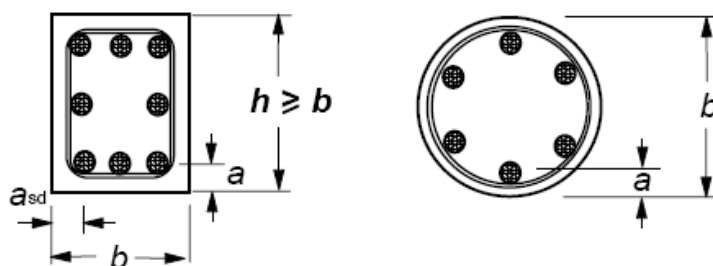
- усъвършенствани изчислителни методи – чрез тях се изготвя реалистичен анализ на поведението на конструкцията, на част от нея или на отделен конструктивен елемент.

В табличен метод А, освен табличните данни, е дадена и формула (5.7) за определяне на границата на огнеустойчивост на стоманобетонни колони.

В настоящата разработка е направено предложение за изменение на формула (5.7) от [2], с оглед по-точно отчитане на начина на конструиране на надлъжната армировка в елемента.

2. Оценка на огнеустойчивостта на стоманобетонни колони съгласно формула (5.7) на табличен метод А

При използване на табличен метод А се отчитат минималните стойности на широчината на колоната b_{\min} и на осовото разстояние a от центъра на тежестта на надлъжната армировка до пряко нагряваната бетонна повърхност (табл. 5.2а [2]), за съответната граница на огнеустойчивост (фиг. 1).



Фиг. 1. Напречни сечения (правоъгълно и кръгло) на стоманобетонни колони

За определяне на границата на огнеустойчивост по табличен метод А е необходимо изчисляване на степента на натоварване μ_{fi} в ситуация на пожар, която отчита товарните комбинации, носимоспособността на натиск и на огъване на колоната, включително ефектите от втори ред

$$\mu_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}}, \quad (1)$$

където $N_{Ed,fi}$ е изчислителното осово натоварване при пожарна ситуация;

N_{Rd} – изчислителна носимоспособност на колоната при нормална температура.

Определянето на N_{Rd} се извършва съгласно [1], при използване на частните коефициенти на сигурност на материалите, при нормална температура. Отчита се началният ексцентрицитет, както и породените ефекти от втори ред. С цел опростяване на изчислителната процедура и в полза на сигурността, вместо степента на натоварване μ_{fi} , може да се използва редукираният коефициент η_{fi} .

Табличните данни от метод А могат да се прилагат:

- за елементи от укрепени конструкции;
- за колони с кръгло или правоъгълно напречно сечение;
- за елементи, подложени на стандартна крива „температура–време“ до 240 min;
- за елементи, изготвени от бетон с нормална плътност (2000 kg/m^3 до 2600 kg/m^3);
- при изключвателна дължина на колоната $l_{o,fi} \leq 3 \text{ m}$ в условия на пожар, определена съгласно т. 5.3.2(2) на [2];
- при ексцентрицитет от първи ред в условия на пожарно въздействие, който може да се приеме равен на този при проектиране за нормална температура, $e = M_{oEd,fi} / N_{oEd,fi} \leq 0,15.h$ (0,15.b);
- при площ на надлъжната армировка A_s извън зоната на снаждане, не по-голяма от 4% от площта на напречното бетонно сечение на колоната.

В [2] под формула (5.7) към табличен метод А е записана следната формула за определяне на границата на огнеустойчивост на стоманобетонни колони:

$$R = 120 \cdot \left(\frac{R_{\eta,fi} + R_a + R_l + R_b + R_n}{120} \right)^{1.8}, \quad (2)$$

където:

$$R_{\eta,fi} = 83 \cdot \left(1,00 - \mu_{fi} \frac{(1 + \omega)}{\frac{0,85}{\alpha_{cc}} + \omega} \right); \quad (3)$$

$$R_a = 1,60(a - 30); \quad (4)$$

$$R_l = 9,60(5 - l_{o,fi}); \quad (5)$$

$$R_b = 0,09b; \quad (6)$$

$$b = 2A_c / (b + h) \text{ – за правоъгълни напречни сечения}; \quad (7)$$

$$b = b \text{ (диаметър на колоната) – за кръгли напречни сечения}; \quad (8)$$

$$R_n = 0 \text{ – при 4 надлъжни пръта (само в ъглите, при правоъгълно сечение)}; \quad (9)$$

$$R_n = 12 \text{ – при повече от 4 надлъжни пръта};$$

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} \text{ – механичен коефициент на армиране при нормална температура};$$

α_{cc} – коефициент, отчитащ дълговременните ефекти върху якостта на натиск и неблагоприятни ефекти, породени от начина на прилагане на натоварването.

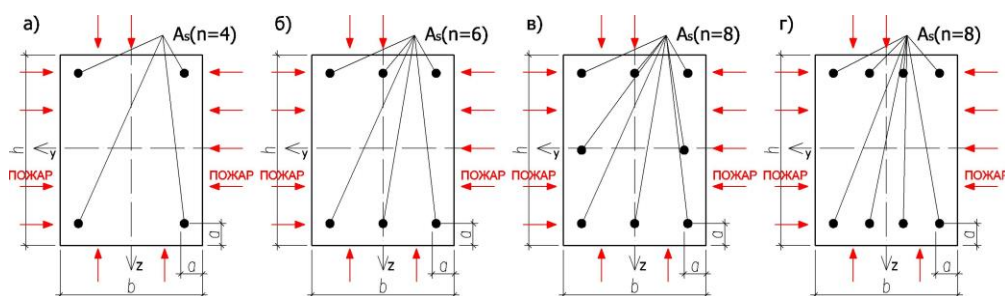
Формулата е валидна при следните допълнителни ограничения:

- осовото разстояние между надлъжните пръти и бетонната повърхност трябва да бъде в границите $25 \text{ mm} \leq a \leq 80 \text{ mm}$;
- $200 \text{ mm} \leq b \leq 450 \text{ mm}$;
- $h \leq 1,5b$;
- ефективната (изкълчвателната) дължина на колоната в условия на пожар е $2 \text{ m} \leq l_{o,fi} \leq 6 \text{ m}$. При $l_{o,fi} < 2 \text{ m}$ в полза на сигурността се приема $l_{o,fi} = 2 \text{ m}$.

Формулата е съставена въз основа на резултатите от 80 експериментални резултата, проведени в четири различни лабораторни пещи – Лиеж (Белгия), Гент (Белгия), Отава (Канада) и Брауншвайг (Германия) [4]. Формулата е приложима за стоманобетонни колони, изпълнени по монолитен или сглобяем способ.

3. Предложение за изменение на формула (5.7) от табличен метод А

Тъй като в ъглите на стоманобетонните колони възникват температурни концентрации, ъгловите надлъжни пръти работят с по-ниски якостни характеристики от армировката във вътрешността на страните на колоната. Формула (5.7) от табличен метод А на [2] не отчита пряко температурата на надлъжната армировка в колоните, а косвено чрез коефициента R_n , приемащ стойност $R_n = 0$ при армировъчни пръти само в ъглите и $R_n = 12$ при повече пръти. При конструиране с 6 или с 8 надлъжни пръта границите на огнеустойчивост, изчислени съгласно формулата, са идентични. В действителност при две колони с равна площ на надлъжната армировка, но конструирани с 6 (фиг. 2б) и с 8 пръта (разположени 4 в ъглите и 4 в средата на всяка страна (фиг. 2в) или 4 в ъглите и по 2 пръта от две срещуположни страни (фиг. 2з) с еднакъв диаметър, крайно гранично състояние ще достигне първо елементът с 6 пръта. Това явление се дължи на факта, че в колоната, армирана с 6 надлъжни пръта, 33% от армировката работи при по-ниска температура, докато при варианта с 8 пръта – 50%. При двата варианта за армиране с 8 надлъжни пръта се приема, че температурата на прътите, разположени във вътрешността на страните, са нагreti с приблизително еднаква температура.



Фиг. 2. Конструиране на надлъжната армировка на стоманобетонни колони с:

а) 4 пръта; б) 6 пръта; в) и з) 8 пръта

Въз основа на тези разсъждения и анализа на експерименталните резултати от четирите лаборатории [4] се предлага изменение на коефициента R_n в следния вариант:

$$R_n = 4 \text{ – при 4 надлъжни пръта (само в ъглите при правоъгълно сечение);} \quad (10)$$

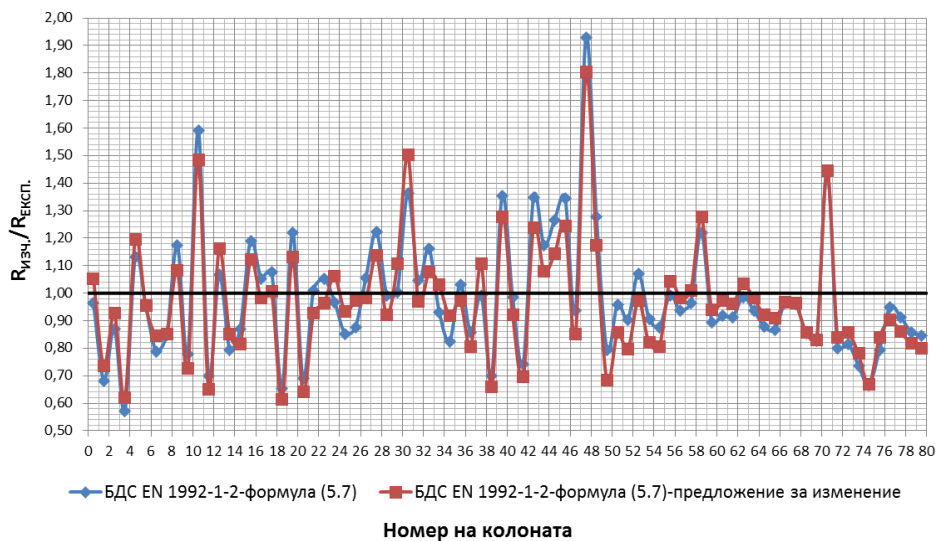
$$R_n = 8 \text{ – при 6 надлъжни пръта; } R_n = 12 \text{ при 8 и повече надлъжни пръта;}$$

Предложението за изменение е разработено при използване на средните стойности на якостните характеристики на материалите, представени в [4], с цел сравняване на резултатите от предложената формула с експерименталните резултати. При изчисляване на границата на огнеустойчивост на колони при реална проектна разработка съгласно системата „Еврокодове“ ще бъдат използвани характеристичните якостни параметри на материалите със съответната 95% обезпеченост, коригирани с частния коефициент на сигурност за бетона при проектиране за пожарна ситуация. Изкълчвателните дължини на елементите са приети съгласно [4]. В табл. 1 е представена извадка на резултатите от предложеното изменение на формула (5.7) на десет от осемдесетте лабораторно изпитани колони.

Таблица 1. Сравнителна таблица

№	n	A_s cm ²	a mm	b cm	h cm	ℓ cm	f_{cm} kN/cm ²	f_{ym} kN/cm ²	e cm	$N_{0Ed,fi}$ kN	$R_{експ.}$ min	ф-ла (5.7)		ф-ла (5.7) – предл.	
												$R_{изч.}$ min	$\frac{R_{изч.}}{R_{експ.}}$	$R_{изч.}$ min	$\frac{R_{изч.}}{R_{експ.}}$
1	4	8,0	33	30	30	390	3,4	57,6	0	950	61	59	0,96	64	1,05
2	4	8,0	33	30	30	390	3,5	57,6	0	622	120	82	0,68	88	0,74
3	4	8,0	33	30	30	390	3,7	57,6	2	220	125	109	0,87	116	0,93
4	4	8,0	33	30	30	390	3,3	57,6	2	664	128	73	0,57	79	0,62
5	4	8,0	48	30	30	390	3,7	57,6	2	349	123	139	1,13	147	1,19
6	8	16,1	33	30	30	390	3,6	57,6	2	370	126	120	0,95	120	0,95
7	4	8,0	33	30	30	390	2,9	57,6	0	422	116	91	0,79	98	0,84
8	8	16,1	33	40	40	390	3,0	57,6	2	1650	93	79	0,85	79	0,85
9	6	6,8	31	30	20	390	3,1	49,3	2	300	60	70	1,17	65	1,08
10	6	6,8	31	30	20	390	3,0	49,3	2	178	120	93	0,78	87	0,73

Всички параметри в таблицата са приети съгласно означенията в [2], като $R_{експ.}$ е границата на огнеустойчивост, получена експериментално, а $R_{изч.}$ – границата на огнеустойчивост, изчислена съгласно предложеното изменение на формула (5.7) на [2].

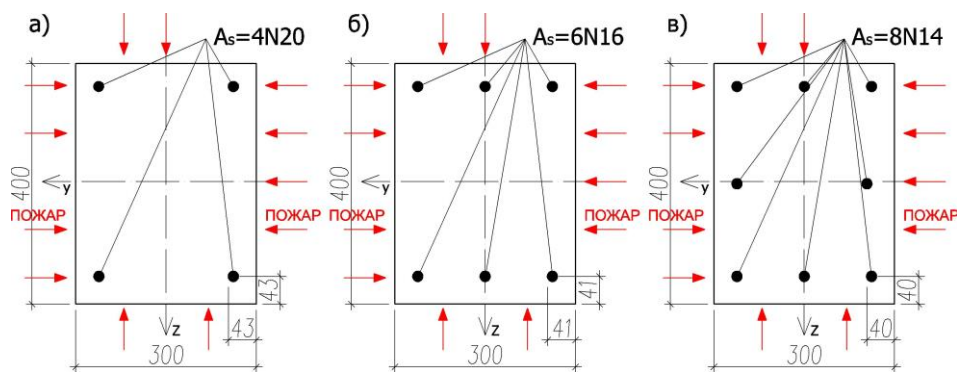


Фиг. 3. Отношение на $R_{изч.}/R_{експ.}$ чрез формула (5.7) и предложеното ѝ изменение

Резултатите от графичното сравнение на 80-те колони, изчислени чрез формула (5.7) и предложеното ѝ изменение, са представени на фиг. 3.

4. Числен пример

Да се определи огнеустойчивостта на три стоманобетонни колони от укрепена конструкция, натоварени с изчислителна нормална сила при пожарно въздействие $N_{Ed} = 1000$ kN, при размери на напречното сечение 300/400 mm, конструирани с надлъжни армировъчни пръти 4N20; 6N16 и 8N14, при осово разстояние $a = 43$ mm; 41 mm и 40 mm (фиг. 4). На всяка колона дължината е $\ell = 3,60$ m и изкълчвателната ѝ дължина при проектиране за нормална температура е $\ell_0 = 2,52$ m. Приет е бетон клас C20/25 и армировъчна стомана клас B420.



Фиг. 4. Напречно сечение на колона
а) с 4 пръта; б) с 6 пръта; в) с 8 пръта

Сравнение на изчислените резултати за колоните чрез формула (5.7) и предложението за изменение на формула (5.7) са представени в табл. 2.

Таблица 2. Сравнителна таблица на резултатите от числения пример

№	n	A_s cm ²	$R_{\text{формула (5.7)}}$ min	$R_{\text{формула (5.7) – предложение}}$ min
1	4N20	12,56	81.61	87.77
2	6N16	12,06	94.40	88.02
3	8N14	12,32	92.34	92.34

Изводи

При анализиране на резултатите от направеното предложение за изменение на формула (5.7) могат да бъдат направени следните изводи:

а) при пожарно въздействие междинните пръти в стоманобетонните колони работят с по-високи якостни характеристики от ъгловите поради възникването на температурни концентрации в ъгловите зони на сечението [3];

б) отчетено е влиянието на начина на конструиране на надлъжната армировка (при 4, 6 или 8 пръта) върху границата на огнеустойчивост на елемента;

в) при извършеното сравнение с експерименталните резултати от 80-те лабораторно изпитани колони средната стойност на $R_{\text{изч.}}/R_{\text{експ.}}$ е 0,965, по-малка от 1,00, а стандартното отклонение е 0,208;

г) границата на огнеустойчивост при колони, конструирани с:

- 4 надлъжни пръта, е по-висока при предложеното изменение;
- 6 надлъжни пръта, е по-ниска при предложеното изменение;
- 8 надлъжни пръта, е идентична и при двете формули;

д) чрез предложеното изменение на формулата се цели насърчаване на българските проектанти да избират 6, а по-добре 8 или повече пръти при конструиране на надлъжната армировка;

е) предложението за изменение може да бъде прилагано за изследване както на съществуващи стоманобетонни колони, така и на новопроектирани.

ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 1992-1-1:2005 и БДС EN 1992-1-1:2005/ 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 1992-1-2:2005/ 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. Табличен метод „А” за оценка на огнеустойчивостта на стоманобетонни колони съгласно БДС EN 1992-1-2:2005, Международна юбилейна научно-приложна конференция УАСГ”2012, 15 – 17 ноември 2012 г.

4. Anderberg, Y., Forsén, N., Hietanen, T., Izquierdo, J., Le Duff, A., Richter, E., Whittle, R., Bossenmayer, H., Litzner, H., Kruppa, J. Background documents to EN 1992-1-2 Eurocode 2: Design of concrete structures, Part 1-2: General rules – Structural fire design., 10.2013, http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/BD_EN_1992-1-2_rev2.pdf.

FIRE RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS WITH FORMULA (5.7) OF TABULATED DATA “A” METHOD IN ACCORDANCE WITH EN 1992-1-2:2005

H. Neshev¹

Keywords: reinforced concrete columns, resistance in a fire situation

Research area: building structures

ABSTRACT

This article discusses equation (5.7) of tabulated data A method of Eurocode 2 for determining the limits of fire resistance of reinforced concrete columns. Amending the equation (5.7) is suggested. The way of constructing the reinforcement – with 4, with 6 or with 8 longitudinal reinforcing bars is taken into account. The proposal is compared with the results of 80 laboratory tested columns. Conclusions and recommendations for practical application are made.

¹Hristian Neshev, Eng. PhD Student, Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: neshev_bg@abv.bg

**ИЗПИТВАНЕ, ВЪЗСТАНОВЯВАНЕ И
УСИЛВАНЕ НА СТОМАНОБЕТОННИ
КОНСТРУКЦИИ**

**TESTING, REHABILITATION AND
STRENGTHENING OF REINFORCED
CONCRETE STRUCTURES**

