

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

ОГНЕУСТОЙЧИВОСТ НА ПРАВОЪГЪЛНИ СТОМАНОБЕТОННИ КОЛОНИ СЪС СИМЕТРИЧНА АРМИРОВКА, ПОДЛОЖЕНИ НА ОГЪВАЩ МОМЕНТ И ОСОВА НАТИСКОВА СИЛА ПРИ ЧЕТИРИСТРАННО ПОЖАРНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ

Х. Нешев¹

Ключови думи: стоманобетонни колони, огнеустойчивост

Научна област: строителни конструкции

РЕЗЮМЕ

При четиристранно пожарно въздействие върху стоманобетонни колони, подложени на равнинен нецентричен натиск, в рамките на елемента се развиват процеси, свързани с изменение на якостните и деформационните характеристики на материалите (бетон и армировъчна стомана).

На базата на опростения изчислителен метод „Изотерма 500 °С“ са съставени нормализирани номограми за определяне на границата на огнеустойчивост на четиристранно нагreti правоъгълни стоманобетонни колони. Направени са изводи и препоръки за практическо приложение на номограмите.

1. Въведение

В настоящата разработка е извършен теоретичен анализ за определяне на границата на огнеустойчивост на четиристранно нагreti правоъгълни стоманобетонни сечения, подложени на равнинен нецентричен натиск при пожарно въздействие. Изчисленията се извършват съгласно опростения изчислителен метод „Изотерма 500 °С“ [2],

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

който се основава на хипотезата, че при температура, по-висока от 500 °С, бетонът е повреден и няма принос към носимоспособността на елемента (пренебрегва се при изчисляване на носимоспособността на сечението при пожарно въздействие). Работи се с редуцирано напречно сечение, като се приема, че при температура под 500 °С бетонът запазва цялата си якост. Дебелината на повредения слой a_z може да бъде определена с помощта на температурни профили, представени в приложение А на [2], [6] или в друга специализирана литература.

2. Изчисляване на правоъгълни стоманобетонни сечения, подложени на равнинен нецентричен натиск, със симетрична армировка при четиристранно пожарно въздействие

Съгласно метода „Изотерма 500 °С” при излагане на стоманобетонни колони на повишени температури се развиват процеси, свързани с намаляване на характеристичната граница на провлачване $f_{sy,\theta}$ на армировъчната стомана, увеличаване на граничната деформация на армировката, намаляване на напречното сечение на колоната вследствие на повреждане на външните слоеве и запазване на якостните и деформационните характеристики на бетона във вътрешните слоеве.

С развитие на пожарното въздействие температурата в колоната се увеличава, което води до намаляване на характеристичната граница на провлачване $f_{sy,\theta}$ на армировъчната стомана. Редуцирането ѝ се извършва посредством редуциционния коефициент $k_s(\theta)$, представен на фигура 4.2 в [2]. Изчислителната стойност на границата на провлачване на армировъчната стомана се определя по формулата $f_{sy,\theta} = f_{sy,\theta} / \gamma_{M,fi} = k_s(\theta) \cdot f_{yk} / \gamma_{M,fi}$, където f_{yk} е характеристичната граница на провлачване на стоманата при температура 20 °С, а $\gamma_{M,fi} = 1$ е частен коефициент на сигурност за механичните характеристики на материалите (бетон и армировъчна стомана) при пожарна ситуация. Модулът на еластичност на армировъчната стомана намалява при повишаване на температурата на надлъжната армировка съгласно приетите стойности в табл. 3.2а на [2].

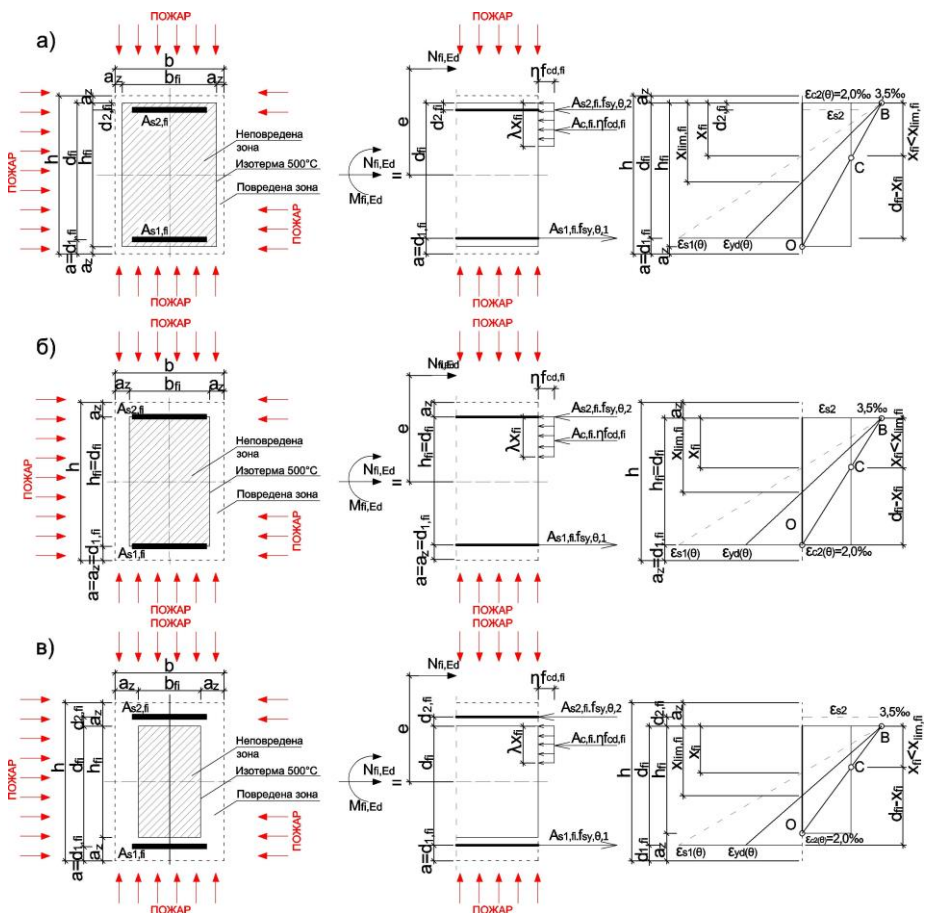
Съгласно метода „Изотерма 500 °С” бетонът с температура, по-ниска от 500 °С, работи с напрежения и деформации, равни на тези при температура 20 °С. Изчислителната якост на натиск на бетона при повишена температура е $f_{cd,fi} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_{M,fi}$. Необходимо е отчитане на коефициента $\alpha_{cc} = 0,85$, даден в [1], при проверката за носимоспособност на нормални сечения на вертикални или наклонени елементи, изпълнени по монолитен способ [4], [5].

Редуцираното напречно сечение на четиристранно нагрятата стоманобетонна колона е с размери: ширина $b_{fi} = b - 2 \cdot a_z$ и височина $h_{fi} = h - 2 \cdot a_z$, като началните размери на колоната b и h се намаляват от всяка страна с дебелината на повредената зона a_z . Полезната височина на колоната при пожарно въздействие е $d_{fi} = h_{fi} + a_z - d_{1,fi}$, където $d_{1,fi} = a$ е разстоянието от центъра на опънатата надлъжна армировка до най-близкия ръб на нередуцираното напречно сечение на колоната.

Разстоянието от центъра на натисковата армировка до най-близкия ръб на редуцираното напречно сечение се означава с $d_{2,fi}$ (фиг. 1).

На фиг. 1 са показани етапите на прогряване на колона в зависимост от дебелината на повредената зона a_z и разстоянието от пряко нагряваната бетонна повърхност до центъра на тежестта на надлъжната армировка $a = d_{1,fi}$. Дефинирани са три случая на положението на изотерма 500 °C:

- $a_z < d_{1,fi}$ – надлъжната армировка е в неповредената зона на сечението и температурата ѝ е под 500 °C;
- $a_z = d_{1,fi}$ – носещата армировка се намира върху изотерма 500 °C и дебелина на повредената зона a_z е равна на разстоянието a ;
- $a_z > d_{1,fi}$ – надлъжната армировка е извън редуцираното сечение и температурата ѝ е над 500 °C.



Фиг. 1. Основни параметри и означения на колона, подложена на равнинен нецентричен натиск при четиристранно пожарно въздействие съгласно [2] при

- $a_z < d_{1,fi}$;
- $a_z = d_{1,fi}$;
- $a_z > d_{1,fi}$

Предпоставки и валидност на предложените номограми:

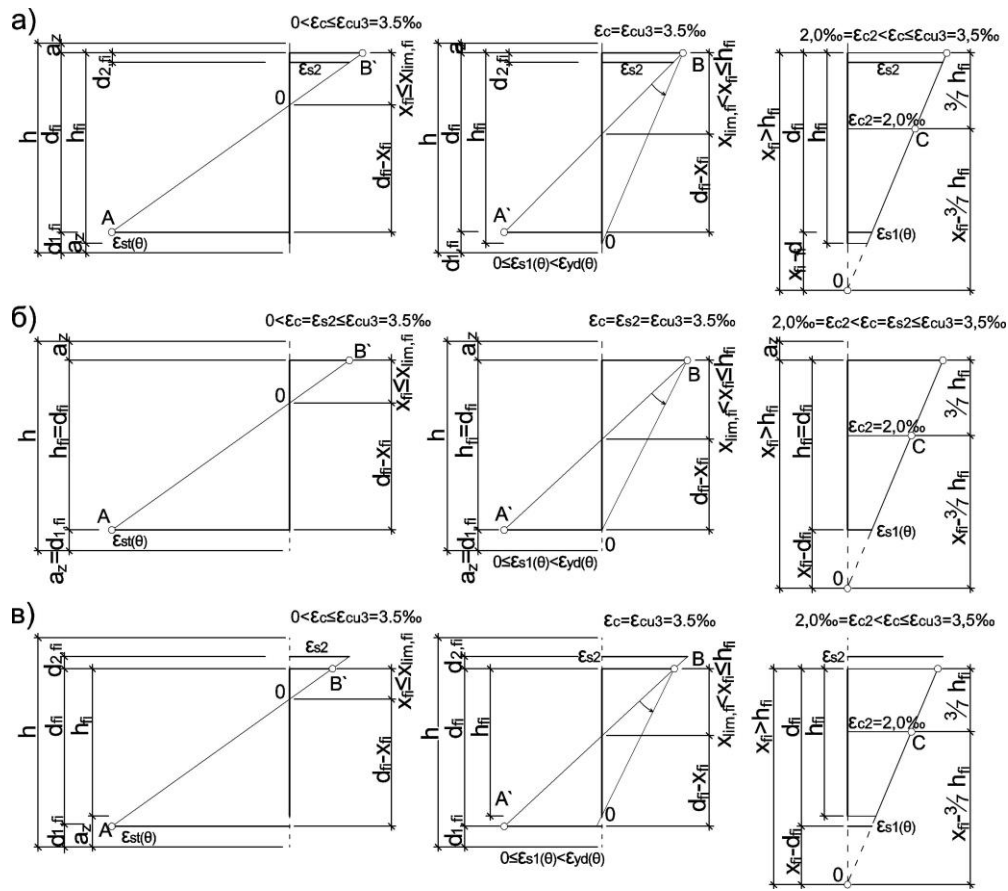
- в сила е хипотезата на Бернули – напречните сечения, равнинни и перпендикулярни на надлъжната ос на пръта, остават такива и след деформацията;
- в крайно гранично състояние линията на деформациите минава през една от трите точки А, В, С („правило на трите точки”);
- деформациите от срязване са много малки и се пренебрегват;
- разглеждат се колони с правоъгълни напречни сечения;
- цилиндричната якост на натиск на бетона е $f_c \leq 50$ МПа (разглежда се обикновен бетон);
- якостта на опън на бетона се пренебрегва;
- колоната е подложена на стандартно пожарно въздействие според ISO834 от четирите си страни или на други режими на нагряване във времето, които пораждат подобни температурни полета;
- количеството на вложената надлъжна армировка извън зоната на снаждане е $A_s \leq 0,04A_c$, където A_c е площта на напречното сечение на бетона;
- методът е приложим за колони, изпълнени по монолитен или сглобяем способ;
- методът е валиден за стоманобетонни колони с минимална широчина на напречното сечение b_{\min} съгласно [2], при четиристранно стандартно пожарно въздействие.

Крайно гранично състояние (КГС) на напречното сечение се достига в т. А при гранична деформация в надлъжната армировка $\varepsilon_{st,0} = 150$ ‰ и нулева линия в сечението, силно изтеглена към натисковите влакна (фиг. 2а). При съвпадение на т. В' и т. В, КГС настъпва едновременно откъм опънатата нагрята армировка и натиснатия бетон. Когато деформациите $\varepsilon_{s1,0}$ в опънатата армировка достигнат стойност $\varepsilon_{yd,0}$, а деформациите на бетона в натисковата зона са равни на ε_{cu3} , височината на натисковата зона се означава с $x_{lim,fi}$. Крайно гранично състояние се достига в т. В при гранична деформация на бетона в крайния ръб на редуцираното напречно сечение на колоната $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu3} = 3,5$ ‰ и нулева линия в сечението, разположена на разстояние $h_{fi} \geq x_{fi} > x_{lim,fi}$ от горния му край (фиг. 2б). Линията на деформациите минава през т. С при изцяло натиснато сечение (фиг. 2в). В този случай нулевата линия се намира извън сечението, към по-слабо натиснатите влакна. Бетонът в по-силно натиснатата зона е достигнал деформации $\varepsilon_c > \varepsilon_{c2} = 2,0$ ‰, но по-малки от $\varepsilon_{cu3} = 3,5$ ‰, а в по-слабо натиснатата зона деформациите не надвишават $\varepsilon_{c2} = 2,0$ ‰. Уравненията на статиката, изведени за ос, минаваща през средата на непрогрялото (прогрялото) сечение, са:

$$\sum M = 0 \rightarrow M_{fi,Ed} = \lambda \cdot x_{fi} \cdot b_{fi} \cdot \eta f_{cd,fi} \cdot \left(0,5 \cdot h_{fi} - 0,5 \cdot \lambda \cdot x_{fi} \right) \pm \pm A_{s1,fi} \cdot \sigma_{s(\theta),1} \cdot \left(0,5 \cdot h_{fi} + a_z - d_{1,fi} \right) + A_{s2,fi} \cdot \sigma_{s(\theta),2} \cdot \left(0,5 \cdot h_{fi} \mp d_{2,fi} \right), \quad (1)$$

$$\sum H = 0 \rightarrow N_{fi,Ed} = \lambda \cdot x_{fi} \cdot b_{fi} \cdot \eta f_{cd,fi} \mp A_{s1,fi} \cdot \sigma_{s(\theta),1} + A_{s2,fi} \cdot \sigma_{s(\theta),2}, \quad (2)$$

където $\sigma_{s(\theta),1}$ и $\sigma_{s(\theta),2}$ са съответно напреженията в опънната и натисковата армировка при пожарно въздействие.

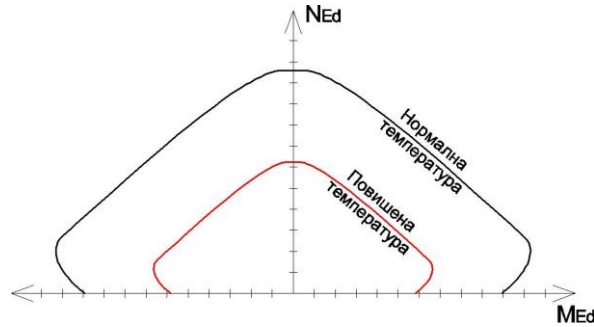


Фиг. 2. Деформации в колона, натоварена на нецентричен натиск и подложена на четиристранно пожарно въздействие при достигане на крайно гранично състояние (КГС) в точки А, В и С при

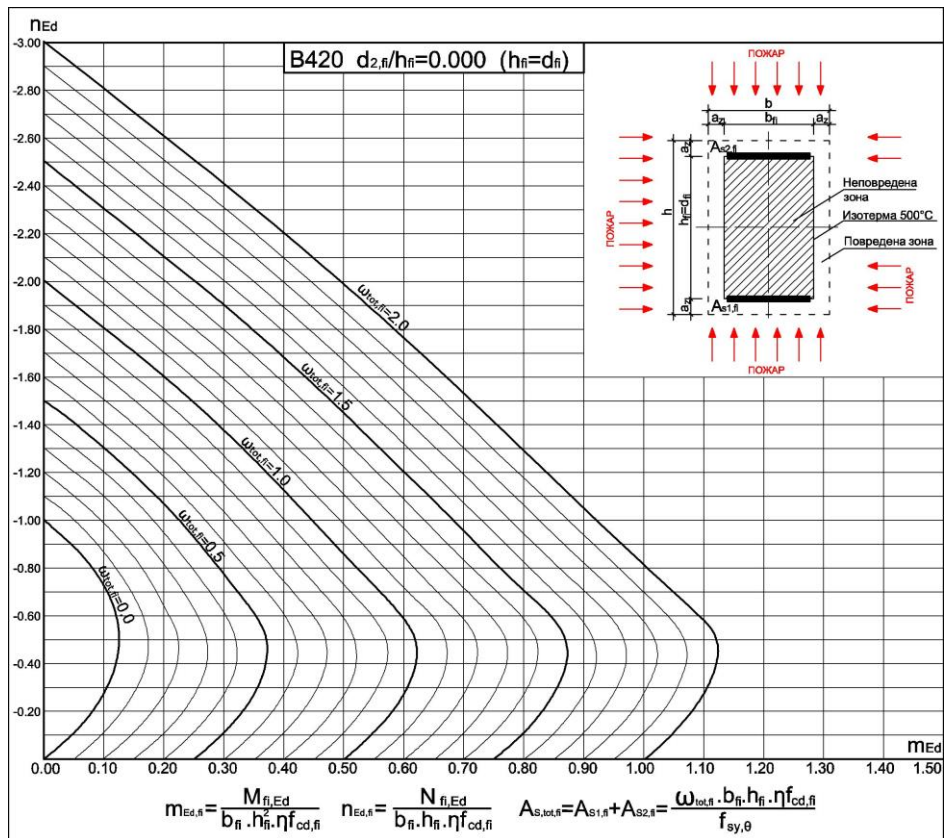
$$a) a_z < d_{1,fi}; \quad б) a_z = d_{1,fi}; \quad в) a_z > d_{1,fi}$$

В уравнения 1 и 2 пред усилието, възникващо в армировката с площ A_{s1} , се приема първият знак, когато тази армировка е опънна, а вторият знак, когато армировката A_{s1} е натискава. При $a_z < d_{1,fi}$ знакът пред $d_{2,fi}$ е минус, а при $a_z > d_{1,fi}$ – плюс.

С развитие на пожарното въздействие дебелината на прогретия слой a_z се увеличава, а размерите на редуцираното напречно сечение b_{fi} и h_{fi} – намаляват. Носещата способност на сечението намалява съгласно фиг. 3.



Фиг. 3. Крива на взаимодействие на правоъгълна колона, подложена на нецентричен натиск и четиристранно пожарно въздействие

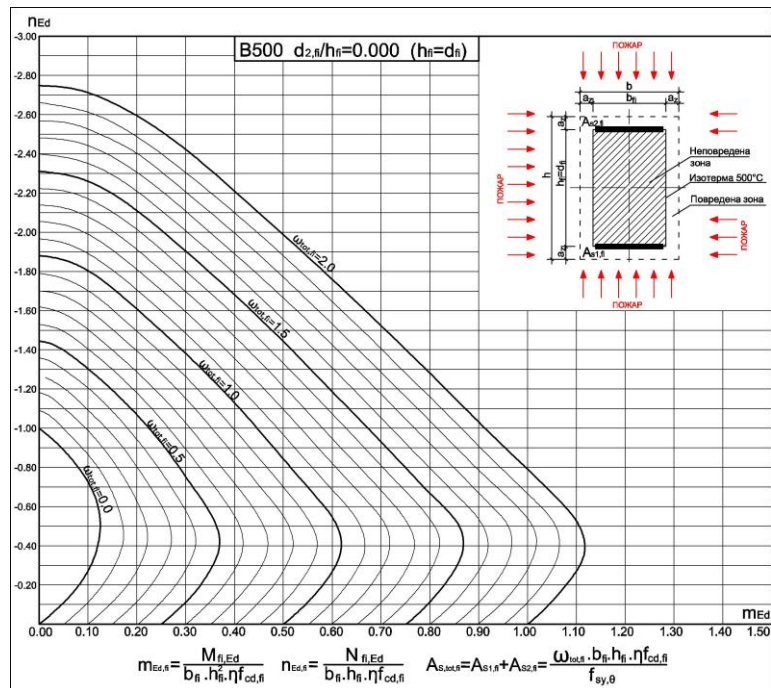


Фиг. 4. Крива на взаимодействие (носимоспособност при пожарно въздействие) на четиристранно нагрето правоъгълно стоманобетонно сечение със симетрична армировка при $d_{2,fi} / h_{fi} = 0$, армирано със стомана клас B420

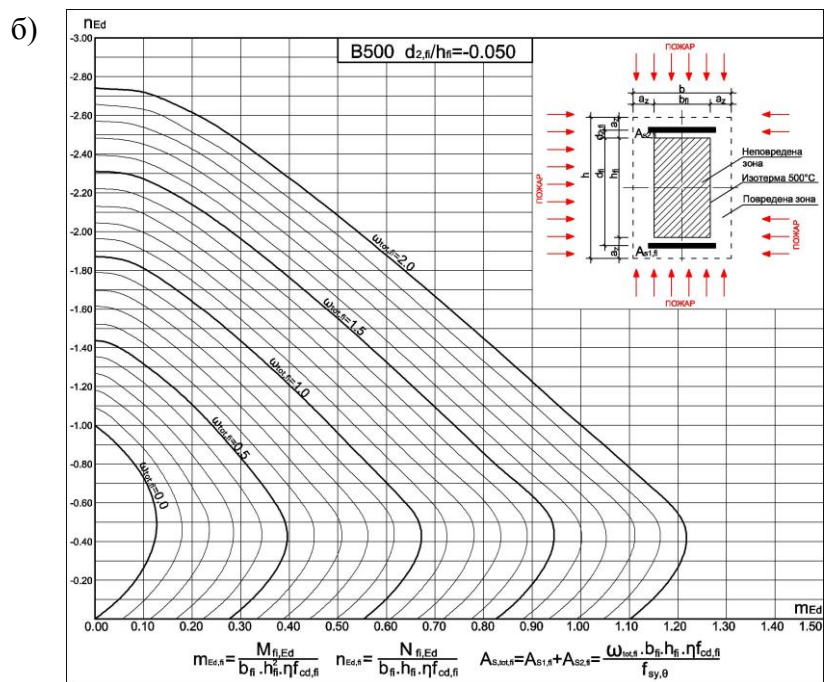
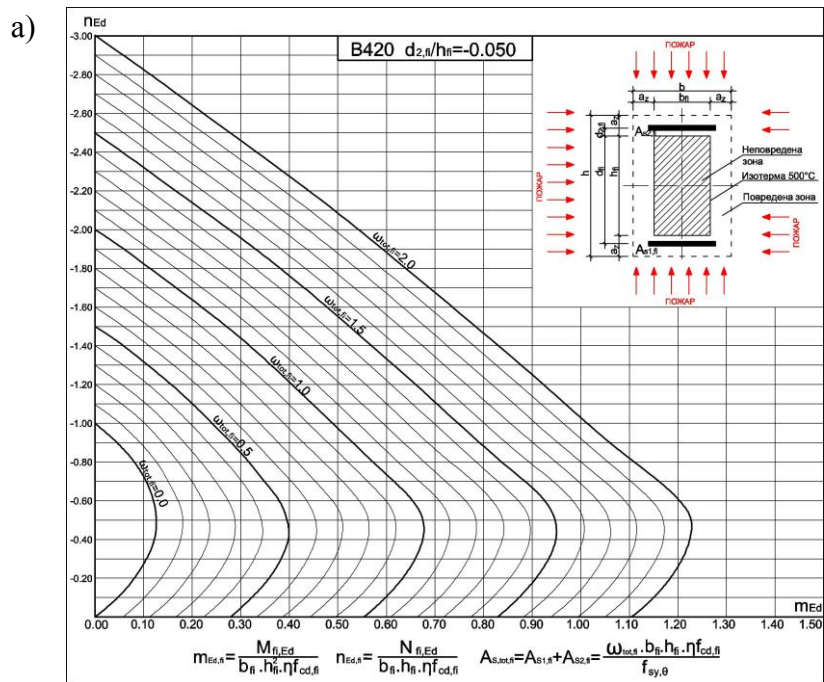
При $a_z < d_{1,fi}$ методиката за изчисляване, представена в [3], [7], [8] и [9] и нормализираните номограми, съставени за колони, натоварени на нецентричен натиск при нормална температура, могат да бъдат прилагани и за колони, подложени на пожарно въздействие, като отношението d_1/h се замени с $d_{2,fi}/h_{fi}$.

Относителният огъващ момент $m_{Ed,fi}$ и относителната нормална сила $n_{Ed,fi}$ се определят съгласно представените на номограмите формули, с тази разлика, че размерите на колоната b и h се заменят с размерите на редуцираното напречно сечение b_{fi} и h_{fi} . Отчитането на намаляването на якостните характеристики на материалите при висока температура се извършва чрез замяна на f_{yd} с $f_{sd,\theta}$ и на изчислителната якост на натиск на бетона f_{cd} с $f_{cd,fi} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_{M,fi}$.

При граничен случай $a_z = d_{1,fi}$ центърът на тежестта на носещата армировка се намира върху изотерма 500 °С и широчината на повредената зона a_z е равна на разстоянието a . В този случай полезната височина d_{fi} е равна на височината h_{fi} на прогрялото сечение. Предложени са номограми, чрез които могат да бъдат решени права (определяне на носимоспособността) и обратна (изчисляване на армировката) задача. Нормализираните номограми са съставени за армировъчна стомана клас В500 и В420. В този случай отношението $d_{2,fi}/h_{fi} = 0$ (фиг. 4, фиг. 5).



Фиг. 5. Крива на взаимодействие (носимоспособност при пожарно въздействие) на четиристранно нагрято, симетрично армирано с армировъчна стомана клас В500, правоъгълно стоманобетонно сечение с $d_{2,fi}/h_{fi} = 0.000$



Фиг. 6. Крива на взаимодействие (носимоспособност при пожарно въздействие) на четиристранно нагрято правоъгълно стоманобетонно сечение със симетрична армировка при $d_{2,fi} / h_{fi} = -0.050$, армирано със стомана клас а) B420; б) B500

При $a_z > d_{1,fi}$ надлъжната армировка е извън редуцираното сечение и температурата ѝ е над 500 °С. Приема се, че устойчивостта на надлъжната носеща армировка е осигурена от стрепената и от бетона, нагрят с температура, по-висока от 500 °С и намиращ се извън редуцираното напречно сечение. Независимо че при изчислителния метод „Изотерма 500 °С” се приема, че бетонът с температура, по-висока от 500 °С е повреден и няма принос към носимоспособността на елемента, той е с частично запазени якостни характеристики. Номограмите, съставени за колони, натоварени на нецентричен натиск при нормална температура, са неприложими. Съставени са нови такива за армировъчна стомана клас В420 и В500, чрез които може да бъде определена границата на огнеустойчивост на стоманобетонна колона със симетрична армировка, подложена на огъващ момент и осова сила при четиристранно пожарно въздействие. Изготвените номограми са за различни отношения на разстоянието $d_{2,fi}$ и височината на редуцираното сечение h_{fi} . На фиг. 6 са представени номограмите със стойност на $d_{2,fi} / h_{fi} = -0.050$ за стомана В420 и В500.

Изводи

При анализиране на създадената методика и приложените номограми могат да бъдат направени следните изводи:

а) методът може да бъде прилаган за сглобяеми или монолитни правоъгълни колони, подложени на огъващ момент и осова натискава сила при четиристранно пожарно въздействие;

б) дефинирани са три случая на положението на изотерма 500 °С спрямо центъра на тежестта на надлъжната армировка $d_{1,fi}$:

- при $a_z < d_{1,fi}$ се използват нормализираните номограми за колони, подложени на нецентричен натиск при нормална температура, като d_1 / h , b , h , f_{yd} , f_{cd} , m_{Ed} и n_{Ed} се заменят съответно с $d_{2,fi} / h_{fi}$, b_{fi} , h_{fi} , $f_{sy,\theta}$, $f_{cd,fi}$, $f_{cd,fi}$ и $n_{Ed,fi}$ съгласно приложените схеми;
- при $a_z = d_{1,fi}$ и $a_z > d_{1,fi}$ се използват предложените нормализирани номограми за определяне на границата на огнеустойчивост на стоманобетонни колони, подложени на стандартно пожарно въздействие;

в) предложените номограми могат да бъдат прилагани за права (определяне на носимоспособност) и обратна (изчисляване на армировка) задача при изчисляване на правоъгълни стоманобетонни сечения при повишена температура;

г) номограмите могат да бъдат използвани и при параметрични пожарни въздействия, при наличие на температурни профили за различни времена след началото на пожарното въздействие;

д) при оразмеряване на стоманобетонни сечения на базата на опростения изчислителен метод „Изотерма 500 °С” не се отчитат температурните разширения на материалите (бетон и армировъчна стомана).

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.
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. Даалов, Т., Б. Даалов. Ръководство за проектиране на стоманобетонни конструкции по Еврокод 2. ВСУ „Любен Каравелов“, София, 2010.
4. 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. Захариева-Георгиева, Б. Проверка за огнеустойчивост на стоманобетонни колони чрез опростения изчислителен метод „Изотерма 500 °С“ на БДС EN 1992-1-2:2005, сп. Строителство, бр. 6, 2012.
6. Методические рекомендации по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. МДС 21-2.2000.
7. Русев, К. и колектив. Еврокод 2. Ръководство по стоманобетон. София, 2011.
8. Русев, К. Стоманобетон НПБСК-ЕС2, София, 2008.
9. Русев, К., В. Янчев. ЕС2. Оразмеряване на стоманобетонни конструкции по нормални сечения. София, 2011.

FIRE RESISTANCE OF A RECTANGULAR REINFORCED CONCRETE COLUMNS WITH SYMMETRICAL REINFORCEMENT SUBJECTED TO UNIAXIAL BENDING AND ALL-SIDED FIRE EXPOSURE

H. Neshev¹

Keywords: reinforced concrete columns, resistance in a fire situation

Research area: building structures

ABSTRACT

During all-sided fire exposure of reinforced concrete columns subjected to uniaxial bending, modification of mechanical material properties /concrete and reinforcing steel/ is observed in the element.

Based on the simplified calculation method “Isotherm 500 °C” normalized nomograms are composed for determining the fire resistance of reinforced concrete columns, subject to all-sided fire exposure. Conclusions and recommendations are made for practical application of the nomograms.

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