



Получена: 07.05.2021 г.

Приета: 27.05.2021 г.

ИЗСЛЕДВАНЕ ЧРЕЗ ИТЕРАЦИОННА ПРОЦЕДУРА НА ОГНЕУСТОЙЧИВОСТТА НА ПРАВОЪГЪЛНИ КОМБИНИРАНИ КОЛОНИ С ИЗЦЯЛО ВБЕТОНИРАН СТОМАНЕН Н-ПРОФИЛ, ПОДЛОЖЕНИ НА ЧЕТИРИСТРАННО ПОЖАРНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ И НАТИСК С ДВОЙНО ОГЪВАНЕ

Б. Захариева-Георгиева¹, Хр. Нешев²

Ключови думи: комбинирани колони с изцяло вбетониран стоманен профил, огнеустойчивост, пожарно въздействие

РЕЗЮМЕ

Комбинираните стомано-стоманобетонни колони с изцяло вбетонирани отворени стоманени Н-профили се прилагат в редица случаи в строителната практика. Изчисляването им при пожарна ситуация се разглежда от нормативния документ БДС EN 1994-1-2, който предлага таблични и опростени изчислителни методи за определяне на границата на огнеустойчивост. На база на опростения изчислителен метод „Изотерма 500 °С“ от БДС EN 1992-1-2 е съставена итерационна процедура за определяне на носещата способност по нормални сечения на такъв тип колони, подложени на четиристранно пожарно въздействие. Определена е общата носимоспособност на стомано-стоманобетонните колони при отчитане на геометричните несъвършенства и ефектите от втори ред. Разработен е числен пример и са направени изводи и препоръки за практическо приложение.

¹ Борянка Захариева-Георгиева, проф. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: bogiana_fce@uacg.bg

² Христиан Нешев, гл. ас. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: neshev_bg@abv.bg

1. Въведение

Комбинираните стомано-стоманобетонни елементи представляват съчетание на стоманен профил и бетон или стоманобетон, проектирани да работят като единен конструктивен елемент. Стомано-стоманобетонните колони се прилагат при значителни натоварвания и ограничени габаритни размери на напречните сечения – при сгради от високото строителство (небостъргачи), промишлени сгради със значителни отвори, мостове, естакади, тунели и други. Изчисляването на комбинирани елементи, работещи при нормални условия и повишени температури, е изследвано аналитично и експериментално в редица научни трудове и статии [1, 7 ÷ 10, 15 ÷ 20], като се отчитат множество и различни фактори, от които зависи границата на огнеустойчивостта – вида и размерите на бетонното и вбетонираното стоманено сечение; количеството, диаметърът и бетонното покритие на вложената надлъжна армировка; опорните условия; ефективната (изкълчвателна) дължина на колоната; механичните характеристики на използваните материали; външните въздействия – центричен натиск, равнинен или нецентричен натиск; видът на пожарното въздействие (стандартно или параметрично) и др.

В настоящата разработка е представена методология и е съставена процедура за определяне на границата на огнеустойчивост на правоъгълни комбинирани колони с изцяло вбетонирани стоманени Н-профили, подложени на натиск с двойно огъване и четиристранно пожарно въздействие.

2. Определяне на границата на огнеустойчивост на комбинирани стомано-стоманобетонни колони съгласно БДС EN 1994-1-2 [6]

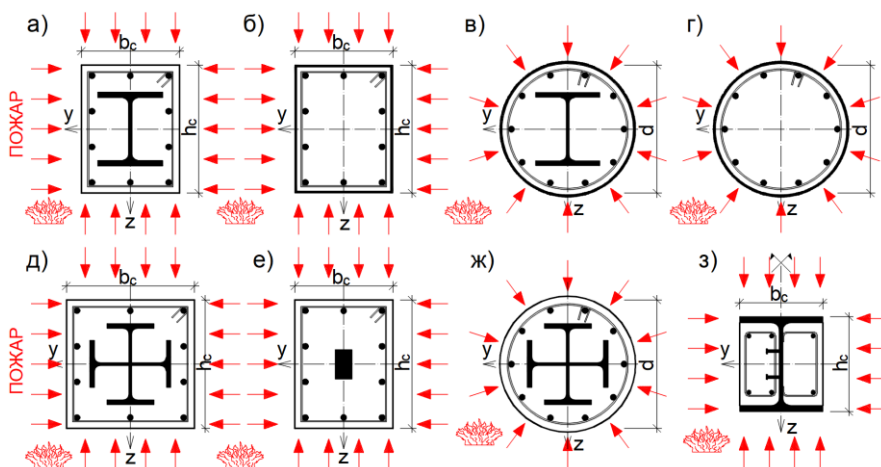
Съгласно действащите към момента стандарти за проектиране на строителни конструкции оценката на поведението на комбинирани елементи, подложени на пожарно въздействие, може да се осъществява на база на заложените правила и препоръки в БДС EN 1994-1-2 [6]. Изчислителните методики за определяне на границата на огнеустойчивост на комбинирани елементи в [6] са следните:

- признати проектни решения във вид на таблични данни за отделни видове конструктивни елементи;
- опростени изчислителни модели за отделни видове елементи;
- усъвършенствани изчислителни модели за симулиране на поведението на цялата конструкция, на части от нея или на отделни елементи, отчитащи геометрията на пожарния сектор, горимостта на материалите, свойствата на димния газ, обмяната на маса и енергия и др.

Методът „Таблични данни“ е лесен за прилагане в практиката, а резултатите от него са консервативни спрямо експериментални изследвания и усъвършенствани изчислителни модели. Областта на приложение на метода за комбинирани колони е само при стандартно пожарно въздействие и елементи от укрепени рамки с максимална дължина, равна на 30 пъти по-малкия външен габаритен размер на напречното сечение. В [6] са предоставени таблични решения за правоъгълни комбинирани колони с изцяло вбетонирани стоманени Н-профили (фиг. 1а), за правоъгълни колони с частично вбетонирани стоманени Н-профили (фиг. 1з) и за запълнени с бетон правоъгълни и кръгли стоманени профили (фиг. 1б и фиг. 1г).

Опростените изчислителни методи за комбинирани колони в [6] могат да се прилагат за елементи от укрепени рамки, подложени на осово натоварване и пожарно въздействие. Изключвателната дължина l_{fi} на колони от междинни етажи и последен етаж при повишени температури може да се приеме съответно 50% и 70% от етажната височина, а за най-долния етаж – от 50% до 70% в зависимост от ротационната поддаваемост на възела при основата на колоната. В [6] са предоставени основни насоки за определяне на границата на огнеустойчивост на стомано-стоманобетонни колони, подложени на централен натиск. Последователността на изчисление е следната:

- дискретизация на бетонното сечение и стоманения профил;
- определяне на температурата във всеки краен елемент на база на температурния режим на пожарното въздействие;
- изчисляване на носимоспособността на осов натиск $N_{fi,pl,R}$ в пластичен стадий при пожарна ситуация;
- определяне на изчислителната коравина на огъване $(EI)_{fi,eff}$;
- определяне на критичната Ойлерова сила $N_{fi,cr} = \left(\pi^2 (EI)_{fi,eff} \right) / l_0^2$ в еластичен стадий при пожар;
- изчисляване на относителната стройност $\bar{\lambda}_0 = \sqrt{N_{fi,pl,R} / N_{fi,cr}}$;
- определяне на коефициента на изключване χ в зависимост от $\bar{\lambda}_0$, съгласно методиката, дадена в т. 6.3.1 на [4], при използване на таблица 6.5 на [5];
- определяне на изчислителната носимоспособност на колоната, подложена на осов натиск при пожарна ситуация – $N_{fi,Rd} = \chi N_{fi,pl,Rd}$.



Фиг. 1. Напречни раззеси на често използвани в практиката комбинирани колони

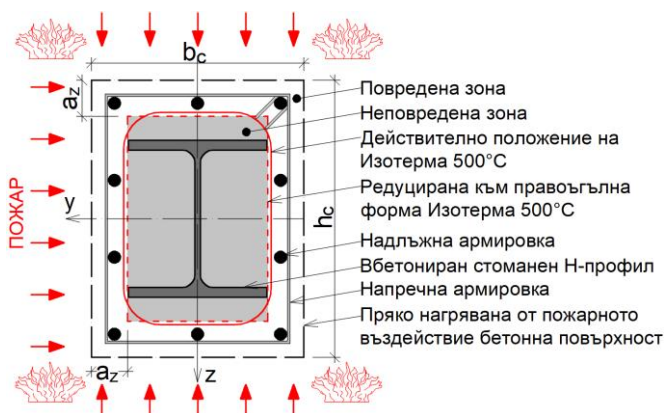
В приложение G на [6] са представени опростени изчислителни методи за определяне на границата на огнеустойчивост на колони с частично вбетонирани стоманени се-

чения (фиг. 1з), подложени на равнинен и кос нецентричен натиск с малък ексцентрицитет (приложната точка на натоварването е в рамките на сечението), а в приложение *H* на [6] – за елементи от затворени квадратни или затворени кръгли профили, запълнени с бетон (фиг. 1б и 1г).

В [6] не е дадена подробна методика за изчисляване на комбинирани колони с изцяло вбетонирано Н-сечение, подложени на равнинен и кос нецентричен натиск и четиристранно пожарно въздействие (фиг. 1а).

3. Определяне на границата на огнеустойчивост на правоъгълни комбинирани колони с изцяло вбетониран стоманен Н-профил, подложени на четиристранно пожарно въздействие и натиск с двойно огъване

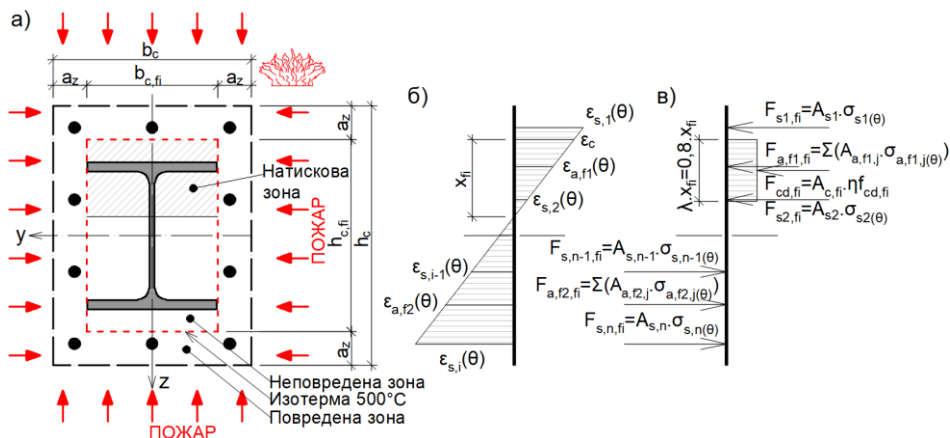
Настоящото предложение за определяне на границата на огнеустойчивост на двойно симетрични комбинирани колони с изцяло вбетониран Н-профил, подложени на четиристранно пожарно въздействие, се основава на опростения изчислителен метод „Изотерма 500 °С“, който е изложен в БДС EN 1992-1-2 [3] и може да се прилага за стоманобетонни конструктивни елементи. Методът се базира на условното приемане, че бетонът с температура, по-висока от 500 °С, няма принос към носимоспособността на елемента, т.е. пренебрегва се при изчисляване на сечението за пожарно въздействие. Определянето на носещата способност се извършва с редуцирано напречно сечение, което се приема с правоъгълна форма и площ, равна на действителната площ на изотермата с температура 500 °С. Бетонът в редуцираното сечение запазва пълната си якост (приема се средна условна температура на бетона в сечението, по-ниска от 100 °С). Дебелината на повредения бетон a_z откъм пряко нагряваната повърхност на сечението се определя за средното положение на изотерма 500 °С, като се използват температурните профили, дадени в приложение А на [3] или в друга специализирана литература. Метод „Изотерма 500 °С“, изследван подробно в [11 ÷ 14], може да се приложи за разглеждания вид комбинирани колони, независимо от липсата на такава възможност в БДС EN 1994-1-2 [6] (фиг. 2).



Фиг. 2. Редуцирано напречно сечение на комбинирана колона с изцяло вбетониран стоманен Н-профил, подложена на четиристранно пожарно въздействие

числят се якостните и деформационните характеристики на армировъчната и конструкционната стомана съгласно препоръките на [3] и [6]. На база на „правилото на трите точки“, гласящо че в крайно гранично състояние правата на деформациите задължително минава през минимум една от трите точки *A*, *B* или *C* (фиг. 3в), се изчисляват серия от точки, формиращи кривата на носимоспособност на комбинираното сечение за съответния период на подлагане на елемента на пожарно въздействие.

С цел опростяване и оптимизация на изчислителната процедура настоящата разработка използва идеализирана еквивалентна правоъгълна работна диаграма на напреженията в бетона съгласно т. 3.1.7 на [2], а не правоъгълна работна диаграма, разпростираща се до нулевата линия на сечението (фиг. 4).



Фиг. 4. Идеализирана изчислителна схема за определяне на носещата способност по нормални сечения (огъващ момент спрямо ос *y-y*) на комбинирана колона с изцяло вбетониран *H*-профил при пожар

Уравненията на статиката, изведени за ос *y-y*, минаваща през средата на непрогрятото (прогрятото) сечение са (форм. (1), форм. (2)):

$$\sum M = 0 \rightarrow M_{Rd,y,fi} = \lambda x_{fi} b_{c,fi} \eta f_{cd,fi} (0,5h_{c,fi} - 0,5\lambda x_{fi}) \pm \pm \sum_{i=1}^n A_{s,i} \sigma_{s,i(\theta)} (0,5h_{c,fi} - d_{s,i,fi}) \pm \sum_{j=1}^m A_{a,f1(2),j} \sigma_{a,f1(2),j(\theta)} (0,5h_{c,fi} - d_{a,f1(2),j,fi}) \pm \pm \sum_{k=1}^l A_{a,w,k} \sigma_{a,w,k(\theta)} (0,5h_{c,fi} - d_{a,w,k,fi}); \quad (1)$$

$$\sum H = 0 \rightarrow N_{Rd,fi} = \lambda x_{fi} b_{c,fi} \eta f_{cd,fi} \pm \sum_{i=1}^n A_{s,i} \sigma_{s,i(\theta)} \pm \pm \sum_{j=1}^m A_{a,f1(2),j} \sigma_{a,f1(2),j(\theta)} \pm \pm \sum_{k=1}^l A_{a,w,k} \sigma_{a,w,k(\theta)}. \quad (2)$$

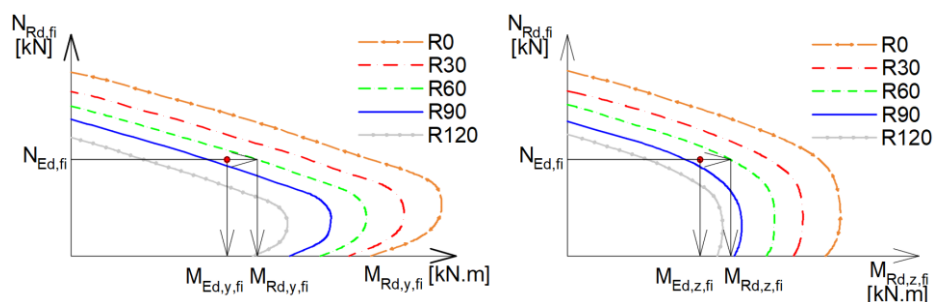
При изчисляване на натисковата сила в бетона се изважда съответната площ на конструкционната стомана. С цел опростяване на изчисленията и осигуряване на точност, кореспондираща със сложния характер на пожарното въздействие, равноейства-

щата сила се прилага в средата на еквивалентната правоъгълна диаграма на натисковите напрежения в бетона.

Програмната процедура итерира височината на натисковата зона със стъпка $0,005h_{c,fi}$. За всяка височина x_{fi} се определят:

- деформациите и напреженията в бетона, армировката и всички дискретизирани елементи от стоманеното сечение;
- комбинацията от усилията огъващ момент $M_{Rd,y,fi}$ и осова натискова сила $N_{Rd,fi}$.

По аналогичен начин е разработена процедурата и за изчисляване на носещата способност на комбинираното сечение при пожарно въздействие спрямо ос $z-z$. На фиг. 5 е представен общ изглед на определените чрез разработената процедура криви на взаимодействие спрямо ос $y-y$ и $z-z$ на комбинирана колона с изцяло вбетониран Н-профил, подложена на четиристранно пожарно въздействие.



Фиг. 5. Криви на взаимодействие (носимоспособност при пожарно въздействие) при огъване спрямо оси $y-y$ и $z-z$ на комбинираната колона

Разработената изчислителна процедура се основава на следните предпоставки:

- в сила е хипотезата на Бернули за равнинните сечения – напречни сечения, равнинни и перпендикулярни на надлъжната ос на елемента, остават и след деформацията равнинни и перпендикулярни на деформираната му надлъжна ос;
- в крайно гранично състояние е в сила „правилото на трите точки“;
- разглежда се обикновен бетон (с нормална плътност) с клас до C50/60;
- якостта на опън на бетона се пренебрегва;
- използва се изчислителна правоъгълна работна диаграма на бетона съгласно [2];
- използва се билинейна работна диаграма за армировъчната стомана и конструкционната стомана, без да се отчита уякчаването на материала;
- колоната е подложена на стандартно пожарно въздействие или на други параметрични температурни режими на нагряване във времето, които пораждават подобни температурни полета;
- не се отчитат температурните разширения на материалите (бетон, армировъчна и конструкционна стомана) при пожарното въздействие.

При конструиране на комбинираното нередучирано напречно сечение на колоната е необходимо да се спазват всички изисквания за геометричните параметри, бетонни покрития, разстояния на стоманения профил до краищата на сечението и др., дадени в БДС EN 1994-1-1 [5].

Устойчивостта на комбинираните колони, подложени на натиск с двойно огъване (кос нецентричен натиск), съгласно [5] може да бъде проверена чрез следните условия, които са преобразувани за пожарна ситуация (форм. (3)):

$$\frac{M_{Ed,y,fi}}{M_{Rd,y,fi}} \leq \alpha_{M,y,fi}; \quad \frac{M_{Ed,z,fi}}{M_{Rd,z,fi}} \leq \alpha_{M,z,fi}; \quad \frac{M_{Ed,y,fi}}{M_{Rd,y,fi}} + \frac{M_{Ed,z,fi}}{M_{Rd,z,fi}} \leq 1,0, \quad (3)$$

където $M_{Ed,y,fi}$ и $M_{Ed,z,fi}$ са изчислителните огъващи моменти с включени допълнителни усилия от несъвършенства и ефекти от втори ред;

$M_{Rd,y,fi}$ и $M_{Rd,z,fi}$ – носимоспособностите на огъване спрямо оси y - y и z - z при пожарно въздействие, за съответната граница на огнеустойчивост, определени съгласно фиг. 5.

Несъвършенствата в елемента се отчитат чрез случайните ексцентрицитети $e_{i,y,fi}$ и $e_{i,z,fi}$, определени съгласно табл. 6.5 на [5]. При ясно изразена равнина на изкълчване несъвършенствата могат да бъдат отчетени само в равнината, в която се очаква да настъпи разрушение на елемента. В противен случай, проверките се изпълняват за двете равнини. Авторите препоръчват при изчисляване на комбинираните колони с отношение на размерите $h_c/b_c \approx 1$ и изцяло вбетониран Н-профил от тип (HEA, HEB, HEM), подложени на пожарно въздействие, несъвършенствата да се отчитат и в двете главни направления на елемента.

Ефектите от втори ред се вземат под внимание чрез умножаване на огъващия момент $M_{Ed,fi}$ с коефициент k , който е равен на:

$$k_{fi} = \beta / \left[1 - \left(N_{Ed,fi} / N_{cr,eff,fi} \right) \right] \geq 1,00, \quad (4)$$

където $N_{cr,eff,fi}$ е критичната осова сила за съответната ос, определена на базата на коравината на огъване при пожарно въздействие;

β – еквивалентен коефициент на огъване, съгласно табл. 6.4 на [5].

Критичната сила $N_{cr,eff,fi}$ се изчислява по следната формула:

$$N_{fi,cr} = \left[\pi^2 (EI)_{fi,eff} \right] / l_{i,fi}^2, \quad (5)$$

където $(EI)_{fi,eff}$ е коравината на комбинираното сечение при пожарно въздействие;

$l_{i,fi}$ – изкълчвателна дължина на колоната в съответното направление.

Коравината на сечението се определя съгласно формула 6.42 на [5]:

$$\begin{aligned} & (EI)_{fi,eff} = \\ & = 0,9 \left(0,50 E_{cm} I_{cm} + \sum_{i=1}^n E_{s,i(\theta)} I_{s,i} + \sum_{j=1}^m E_{a,f1(2),j(\theta)} I_{a,f1(2),j} + \sum_{k=1}^l E_{a,w,k(\theta)} I_{a,w,k} \right), \quad (6) \end{aligned}$$

където E_{cm} е секущият модул на бетона при нормална температура;

$E_{s,i(\theta)}$, $E_{a,f1(2),j(\theta)}$ и $E_{a,w,k(\theta)}$ – модулите на еластичност съответно на армировъчната и конструкционната стомана при съответната температура θ на всеки армировъчен прът и всеки краен елемент от Н-профила;

I_{cm} , $I_{s,i}$, $I_{a,fi(2),j}$ и $I_{a,w,k}$ – инерционните моменти на площите съответно на редуцираното бетонно сечение, надлъжната армировка и конструкционния профил.

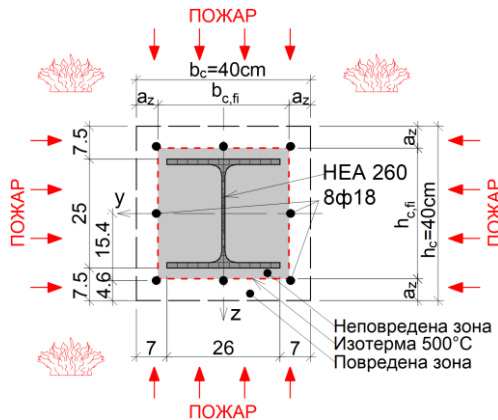
Окончателните изчислителни огъващи моменти с включените допълнителни усилия от несъвършенства и ефекти от втори ред са:

$$M_{Ed,y,fi} = k_{y,fi} \left(M_{Ed1,y,fi} + N_{Ed,fi} e_{i,y,fi} \right);$$

$$M_{Ed,z,fi} = k_{z,fi} \left(M_{Ed1,z,fi} + N_{Ed,fi} e_{i,z,fi} \right).$$
(7)

4. Числен пример

Чрез прилагане на разработената итерационна процедура да се изследва носимоспособността на комбинирана колона, подложена на четиристранно стандартно пожарно въздействие в продължение на 90 min. Изкълчвателната дължина на елемента при температурното въздействие е 500 cm. Размерите на напречното сечение на колоната са $b_c = h_c = 40$ cm, като е вбетониран Н-профил тип HEA260 по EN 10025 с клас S275 (фиг. 6). Вложената надлъжна армировка е 8φ18 от армировъчна стомана клас B500. Използван е бетон клас C25/30. Изчислителните усилия при пожарна ситуация от първи ред са $N_{ed,fi} = 1750$ kN, $M_{Ed1,y,fi} = 80$ kNm и $M_{Ed1,z,fi} = 50$ kNm.



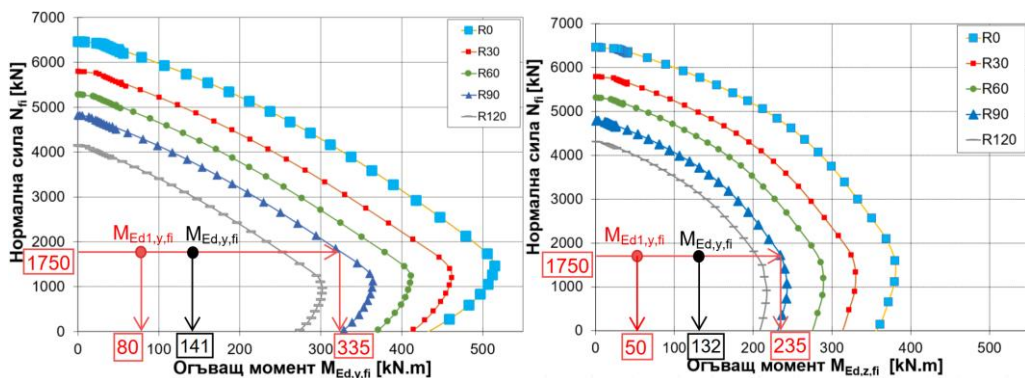
Фиг. 6. Параметри на изчисляваната комбинирана колона

Кривите на взаимодействие, изчислителните моменти с включени геометрични несъвършенства и ефекти от втори ред, както и носимоспособността $M_{Ed,fi}$ за изследваната комбинирана колона са представени на фиг.7.

Резултатите от извършените проверки за устойчивост на натоварената на кос нецентричен натиск комбинирана колона са:

$$\frac{M_{Ed,y,fi}}{M_{Rd,y,fi}} \leq \alpha_{M,y,fi} \Leftrightarrow \frac{141}{335} = 0,42 < 0,9; \quad \frac{M_{Ed,z,fi}}{M_{Rd,z,fi}} \leq \alpha_{M,z,fi} \Leftrightarrow \frac{132}{235} = 0,56 < 0,9; \quad (8)$$

$$\frac{M_{Ed,y,fi}}{M_{Rd,y,fi}} + \frac{M_{Ed,z,fi}}{M_{Rd,z,fi}} \leq 1,0 \Leftrightarrow \frac{141}{335} + \frac{132}{235} = 0,98 < 1,0. \quad (9)$$



Фиг. 7. Криви на взаимодействие (носимоспособност при пожарно въздействие) при огъване спрямо оси $y-y$ и $z-z$ на изследваната колона

Изследваният елемент, подложен на стандартно пожарно въздействие в продължителност на 90 min, е в състояние да понесе действащите върху него натоварвания.

5. Заключение и изводи

При анализиране на настоящата разработка могат да бъдат направени следните заключения и изводи:

1. Табличните данни за определяне на границата на огнеустойчивост на комбинирани колони в [6] са в ограничен обем и не обхващат множеството прилагани от проектантите в практиката комбинации от стоманени отворени или затворени профили и габаритни напречни сечения на елементите.

2. Предложените криви на изкълчване в приложение G и H на [6] са дадени само за комбинирани колони със запълнени с бетон затворени стоманени профили, както и за частично вбетонирани стоманени сечения, подложени на огъване спрямо оста $z-z$.

3. Приложение G на [6] може да бъде използвано само при клас на конструкционната стомана S355, клас на бетона C40/50 и клас на армировъчната стомана B500, а приложение H – за класове съответно S355, C30/35 и B500. Границата на огнеустойчивост може да бъде определена само за стандартна крива „температура – време“ и четиристранно пожарно въздействие. Според авторите е необходимо разработване на допълнителни криви на изкълчване при пожарно въздействие за различни класове на използваните материали, както и за други видове комбинирани напречни сечения.

4. В настоящата разработка е представена методология за изчисляване на границата на огнеустойчивост на правоъгълни комбинирани колони, подложени на четиристранно пожарно въздействие, с изцяло вбетониран H -профил, симетрично разположен спрямо главните оси на напречното сечение, чрез прилагане на опростения метод „Изотерма 500 °C“ от БДС EN 1992-1-2 [3].

5. Разработена е програмна процедура, чрез която се определят кривите на взаимодействие (криви на носимоспособност) в двете главни направления на елемента, допълнителните огъващи моменти от геометрични несъвършенства и ефекти от втори ред, както и границата на огнеустойчивост на стомано-стоманобетонни колони с изцяло вбетониран H -профил.

6. Авторите са на мнение, че геометричните несъвършенства и ефектите от втори ред е необходимо винаги да се отчитат при изчисляване на комбинирани колони, подло-

жени на пожар, поради намаляващата коравина на елемента с развитие на температурно въздействие. Това се дължи на редуцирането на модула на еластичност на конструктивните материали с повишаване на температурата им, както и на повреждане на бетонното сечение откъм пряко нагряваните повърхности. Ефектите от втори ред могат да имат пренебрежим ефект върху елемента при условия на нормална експлоатация, но техният принос при условията на пожарно въздействие вероятно е значителен.

7. Настоящата методология може да бъде прилагана както за пожарно въздействие по стандартната крива „температура – време“, така и по параметрична крива.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Albero, V., Espinos, A., Romero, M., Wang, Y.* Interaction diagram based method for fire resistance design of eccentrically loaded concrete-filled steel tubular columns. *Thin-Walled Structures*, 2018.

2. BDS EN 1992-1-1:2005/NA – Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings.

3. BDS EN 1992-1-2:2005/NA – Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design.

4. BDS EN 1993-1-1/NA – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings.

5. BDS EN 1994-1-1/NA – Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings.

6. BDS EN 1994-1-2/NA – Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design.

7. *Espinos, A., Romero, M., Lam, D.* Fire performance of innovative steel-concrete composite columns using high strength steels. *Thin-Walled Structures*, 2016.

8. *Huang, Z., Tan, K., Toh, W., Phng, G.* Fire resistance of composite columns with embedded I-section steel – Effects of section size and load level. // *Journal of Constructional Steel Research*, 2008.

9. *Klabníka, M., Králíka, J.* Equivalent stress and strain of composite column under fire. *Procedia Engineering*, 2017.

10. *Kolev, Z.* Load-bearing capacity of high-strength concrete columns with fully encased steel sections compression subjected to compression and uniaxial bending. Ph.D Thesis, UACEG, Sofia, 2017.

11. *Neshev, Hr.* Fire resistance determination of rectangular and T-beam concrete sections subjected to uniaxial bending without axial force and fire exposure, in accordance of simplified calculation method „isotherm 500 °C“. XVII International Scientific Conference VSU'2017.

12. *Neshev, Hr.* Fire resistance of reinforced columns. Ph.D Thesis, UACEG, Sofia, 2016.

13. *Neshev, Hr.* Influence of second order effects for determination of fire resistance of rectangular concrete columns with symmetrical reinforcement, subjected to uniaxial bending and one-sided or all-sided fire exposure, in accordance of calculation method „isotherm 500 °C“ with BDS EN 1992-1-2, XVII International Scientific Conference VSU'2017.

14. *Neshev, Hr.* Research of fire resistance of structural systems made of reinforced concrete shear walls composite with fully encased steel sections. University Scientific Conference of the National Military University "Vasil Levski", Veliko Tarnovo, 2020.

15. *Rocha, F., Rodrigues, J., Neto, J.* Fire behavior of steel and partially encased composite columns embedded on walls. // Journal of Constructional Steel Research, 2018.

16. *Rodrigues, J., Laim, L.* Fire resistance of restrained composite columns made of concrete filled hollow sections. // Journal of Constructional Steel Research, 2017.

17. *Venkov, L., Zaharieva-Gueorguieva, B.* Design of composite steel-concrete structures. Sofia, 2013.

18. *Xiong, M., Yan, J.* Buckling length determination of concrete filled steel tubular column under axial compression in standard fire test. Materials and Structures, 2015.

19. *Zaharieva-Gueorguieva, B.* Verification of fire resistance of composite reinforced concrete columns by tabular method according to Eurocode 4. Magazine „Stroitelstvo“, 2/2002.

20. *Zaharieva-Gueorguieva, B.* Fire resistance of composite columns with partially concreted steel sections using the simplified calculation method of Eurocode 4. Magazine „Stroitelstvo“, 6/2002.

FIRE RESISTANCE OF RECTANGULAR COMPOSITE STEEL AND CONCRETE COLUMNS WITH FULLY ENCASED STEEL H-SECTIONS SUBJECTED TO COMPRESSION AND BIAXIAL BENDING AND ALL SIDED FIRE EXPOSURE BY INTERACTION PROCEDURE

B. Zaharieva-Gueorguieva¹, Hr. Neshev²

Keywords: fully encased composite columns, fire resistance

ABSTRACT

Composite steel and concrete columns with encased steel H-profiles are used in many cases in engineering practice. Calculations for fire situations are detailed by the design code BDS EN 1994-1-2. In this design code tabular and simplified calculation methods for determining fire resistance limits are presented. Using the simplified calculation method “Isotherm 500 °C” of BDS EN 1992-1-2, an iterative procedure for determining the load-bearing capacity of composite columns subjected to four-sided fire exposure is composed. The total load bearing capacity of composite steel and concrete columns is determined by taking into account the geometric imperfections and second order effects. A numerical example is developed and conclusions and recommendations are made.

¹ Borianka Zaharieva-Gueorguieva, Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: boriana_fce@uacg.bg

² Hristian Neshev, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: neshev_fce@uacg.bg