

НОСЕЩА СПОСОБНОСТ НА ПРАВОЪГЪЛНИ СТОМАНОБЕТОННИ СЕЧЕНИЯ, ПОДЛОЖЕНИ НА КОС НЕЦЕНТРИЧЕН НАТИСК ПО ЕВРОКОД 2

В. Янчев¹

Ключови думи: деформации, напрежения, огъващи моменти, натискава нормална сила

Научна област: стоманобетонни конструкции

РЕЗЮМЕ

В НПБСК е приета правоъгълна диаграма за разпределение на напреженията в натисквата зона на стоманобетонни сечения, подложени на огъващи моменти и осова натискава сила. С цел по-лесната адаптация към Еврокод 2, тук е приета правоъгълна работна диаграма на бетона и работна диаграма на армировъчната стомана – билинейна с хоризонтален горен клон.

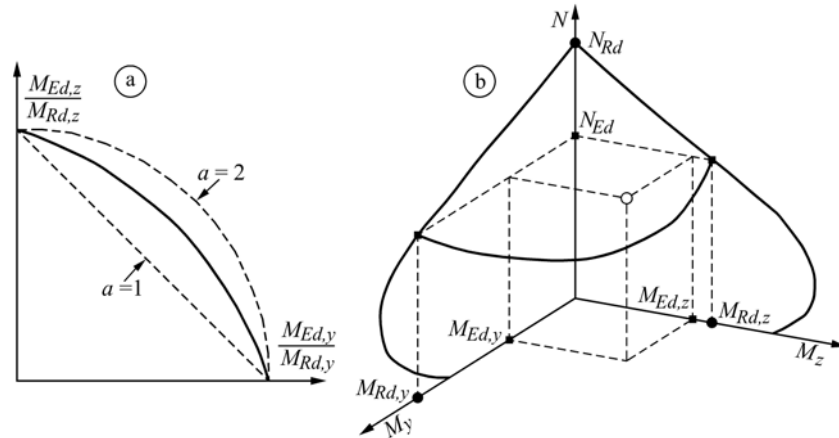
Изведени са зависимости за определяне на носещата способност на правоъгълни стоманобетонни сечения, подложени на кос нецентричен натиск по Еврокод 2 при прието разположение на армировката.

Необходимата носеща способност на правоъгълно сечение, подложено на действието на два огъващи момента $M_{Ed,y}$, $M_{Ed,z}$ и нормална натискава сила N_{Ed} е осигурена, ако за конкретните стойности на $n_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{bh\eta f_{cd}}$ и $\omega_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{bh} \frac{f_{yd}}{\eta f_{cd}}$ е изпълнено условието

¹ Владимир Янчев, доц. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски” 1, София, e-mail: vladimir_yanchev@abv.bg

$$\left(\frac{m_{Ed,y}}{m_{Rd,y}}\right)^\alpha + \left(\frac{m_{Ed,z}}{m_{Rd,z}}\right)^\alpha \leq 1, \quad (1)$$

където $m_{Ed,y} = \frac{|M_{Ed,y}|}{bh^2\eta f_{cd}}$; $m_{Ed,z} = \frac{|M_{Ed,z}|}{b^2\eta f_{cd}}$.



Фиг. 1

Равенството (1) може да се представи чрез кривата на фиг. 1а. То е изпълнено при $m_{Ed,y} = \bar{m}_{Rd,y}$ и $m_{Ed,z} = \bar{m}_{Rd,z}$, т.е. в сила е изразът

$$\left(\frac{\bar{m}_{Rd,y}}{m_{Rd,y}}\right)^\alpha + \left(\frac{\bar{m}_{Rd,z}}{m_{Rd,z}}\right)^\alpha = 1. \quad (1a)$$

С $\bar{m}_{Rd,y}$ и $\bar{m}_{Rd,z}$ са означени относителните носещи способности на сечението при наличието на два огъващи момента (по ос y и по ос z) и при конкретни зададени стойности на n_{Ed} , ω_{tot} и ъгъл на наклона на нулевата линия θ . При $\theta = \bar{\theta} = \arctg(h/b)$ т.е. нулева линия, успоредна на диагонала на правоъгълното напречно сечение, тези две носещи способности са равни $\bar{m}_{Rd,y} = \bar{m}_{Rd,z} = \bar{m}_{Rd}$ [5] и дават координатите $(\bar{m}_{Rd}, \bar{m}_{Rd})$ на средната точка в кривата на носещата способност, изобразена в съответната координатна система при конкретни зададени стойности на n_{Ed} и ω_{tot} .

С $m_{Rd,y} = |M_{Rd,y}| / (bh^2\eta f_{cd})$ е означена относителната носеща способност на сечението при липсата на огъващ момент по ос z , при същите стойности на n_{Ed} и ω_{tot} , но при $\theta = 0$, т.е. нулева линия, успоредна на страната b на правоъгълното напречно сечение.

С $m_{Rd,z} = \left| M_{Rd,z} \right| / \left(b^2 h \eta f_{cd} \right)$ е означена относителната носеща способност на сечението при липсата на огъващ момент по ос y , при същите стойности на n_{Ed} и ω_{tot} , но при $\theta = 90^\circ$, т.е. нулева линия, успоредна на страната h на правоъгълното напречно сечение.

Двете точки $(m_{Rd,y}, 0)$ и $(0, m_{Rd,z})$ от кривата на носещата способност лежат на абсцисата, респективно на ординатата на координатната система, като при $d_1/h = b_1/b = d_s/\bar{h}$ са изпълнени равенствата $m_{Rd,y} = m_{Rd,z} = m_{Rd}$ и $\bar{m}_{Rd,y} = \bar{m}_{Rd,z} = \bar{m}_{Rd}$ [5] за дадени конкретни стойности на n_{Ed} и ω_{tot} .

Подробни стойности от кривата на носещата способност могат да се получат, след като се намери степенният показател α от (1a). Уравнението (1a) добива вида (1b).

$$2 \left(\frac{\bar{m}_{Rd}}{m_{Rd}} \right)^\alpha = 1. \quad (1b)$$

След логаритмуване на двете страни на (1b) се получава

$$\alpha = \frac{\ln 2}{\ln(m_{Rd}/\bar{m}_{Rd})}. \quad (2)$$

Носещите способности $m_{Rd,y} = m_{Rd,z} = m_{Rd}$ на нецентричен натиск с единичен ексцентрицитет за съответните стойности на n_{Ed} и ω_{tot} могат да се определят от номограмите в [3, 4] за различни стойности на отношението d_1/h .

Носещите способности $\bar{m}_{Rd,y} = \bar{m}_{Rd,z} = \bar{m}_{Rd}$ на кос нецентричен натиск при $\theta = \bar{\theta} = \arctg(h/b)$, фиксирани стойности на n_{Ed} , ω_{tot} и при прието конкретно разположение на армировката в напречното сечение – фиг. 2 и 3, се определят по изразите, дадени нататък в изложението, при условие че е изпълнено $d_1/h = b_1/b = d_s/\bar{h}$.

• за област 3 – фиг. 2

$$\text{– при } \frac{d_1/h}{(1-1/\chi_5)(1-d_1/h)} \leq \bar{\xi} = \frac{\bar{x}}{d} \leq \frac{|\varepsilon_{cu3}|}{|\varepsilon_{cu3}| + |\varepsilon_{yd}|},$$

където $\chi_5 = \frac{E_s |\varepsilon_{cu3}|}{f_{yd}}$ и $\bar{\xi}$ е корен на уравнението

$$2\lambda^2 \left(1 - \frac{d_1}{h} \right)^2 \bar{\xi}^2 + \frac{\chi_5}{4} \left[2 - \frac{1}{\bar{\xi}(1-d_1/h)} \right] \omega_{tot} - |n_{Ed}| = 0:$$

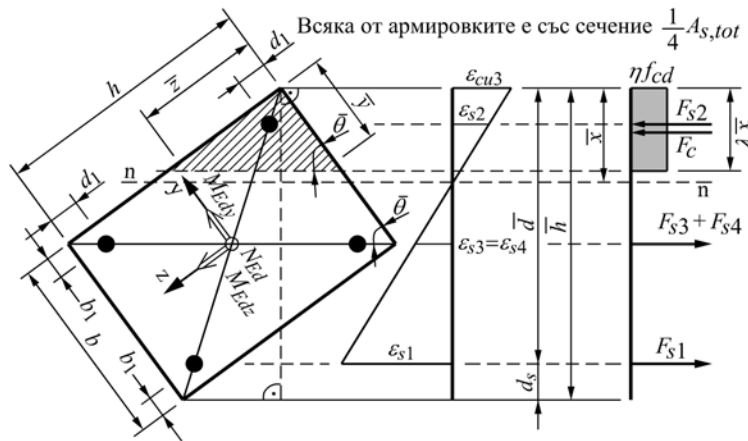
$$\bar{m}_{Rd} = \lambda^2 \left(1 - \frac{d_1}{h}\right)^2 \bar{\xi}^2 \left[1 - \frac{4\lambda}{3} \left(1 - \frac{d_1}{h}\right) \bar{\xi}\right] + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} - \frac{d_1}{h}\right) \omega_{tot};$$

– при $\bar{\xi} < \frac{d_1/h}{(1-1/\chi_5)(1-d_1/h)}$,

където $\bar{\xi}$ е корен на уравнението

$$2\lambda^2 \left(1 - \frac{d_1}{h}\right)^2 \bar{\xi}^2 + \frac{\chi_5}{4} \left[3 - \frac{1+d_1/h}{\bar{\xi}(1-d_1/h)}\right] \omega_{tot} - \frac{1}{4} \omega_{tot} - |n_{Ed}| = 0:$$

$$\bar{m}_{Rd} = \lambda^2 \left(1 - \frac{d_1}{h}\right)^2 \bar{\xi}^2 \left[1 - \frac{4\lambda}{3} \left(1 - \frac{d_1}{h}\right) \bar{\xi}\right] + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2} - \frac{d_1}{h}\right) \left\{1 + \chi_5 \left[1 - \frac{d_1/h}{\bar{\xi}(1-d_1/h)}\right]\right\} \omega_{tot};$$



Фиг. 2

• за области 4 и 4а

– при триъгълна натискава зона – фиг. 2 и $\frac{|\epsilon_{cu3}|}{|\epsilon_{cu3}| + |\epsilon_{yd}|} < \bar{\xi} \leq \frac{0,5}{\lambda(1-d_1/h)}$, където

$\bar{\xi}$ е корен на уравнението

$$2\lambda^2 \left(1 - \frac{d_1}{h}\right)^2 \bar{\xi}^2 + \frac{1}{2} \chi_5 \left[1 - \frac{0,5}{\bar{\xi}(1-d_1/h)}\right] \omega_{tot} + \frac{1}{4} \left[1 - \chi_5 \left(\frac{1}{\bar{\xi}} - 1\right)\right] \omega_{tot} - |n_{Ed}| = 0:$$

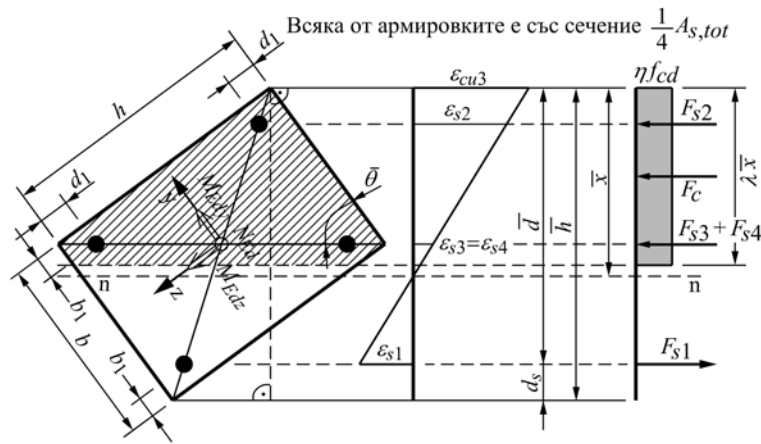
$$\bar{m}_{Rd} = \lambda^2 \left(1 - \frac{d_1}{h}\right)^2 \bar{\xi}^2 \left[1 - \frac{4\lambda}{3} \left(1 - \frac{d_1}{h}\right) \bar{\xi}\right] + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2} - \frac{d_1}{h}\right) \left[1 + \chi_5 \left(\frac{1}{\bar{\xi}} - 1\right)\right] \omega_{tot};$$

– при петогъгълна натискава зона – фиг. 3 и $\frac{0,5}{\lambda(1-d_1/h)} < \bar{\xi} \leq \frac{1}{1-d_1/h}$,

където $\bar{\xi}$ е корен на уравнението

$$1 - 2 \left[1 - \lambda \left(1 - \frac{d_1}{h} \right) \bar{\xi} \right]^2 + \frac{\chi_5}{2} \left[1 - \frac{0,5}{\bar{\xi}(1-d_1/h)} \right] \omega_{tot} + \frac{1}{4} \left[1 - \chi_5 \left(\frac{1}{\bar{\xi}} - 1 \right) \right] \omega_{tot} - |n_{Ed}| = 0 :$$

$$\bar{m}_{Rd} = \left[1 - \lambda \left(1 - \frac{d_1}{h} \right) \bar{\xi} \right]^2 \left\{ 1 - \frac{4}{3} \left[1 - \lambda \left(1 - \frac{d_1}{h} \right) \bar{\xi} \right] \right\} + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2} - \frac{d_1}{h} \right) \left[1 + \chi_5 \left(\frac{1}{\bar{\xi}} - 1 \right) \right] \omega_{tot} ;$$



Фиг. 3

• за област 5

– при петогъгълна натискава зона – фиг. 3 и $\frac{1}{1-d_1/h} < \bar{\xi} < \frac{1}{\lambda(1-d_1/h)}$,

където $\bar{\xi}$ е корен на уравнението

$$1 - 2 \left[1 - \lambda \left(1 - \frac{d_1}{h} \right) \bar{\xi} \right]^2 + \frac{\chi_6}{2} \cdot \frac{\bar{\xi} - 0,5/(1-d_1/h)}{\bar{\xi} - 3/[7(1-d_1/h)]} \omega_{tot} + \frac{1}{4} \left[1 + \chi_6 \frac{\bar{\xi} - 1}{\bar{\xi} - 3/[7(1-d_1/h)]} \right] \omega_{tot} - |n_{Ed}| = 0 :$$

$$\bar{m}_{Rd} = \left[1 - \lambda \left(1 - \frac{d_1}{h} \right) \bar{\xi} \right]^2 \left\{ 1 - \frac{4}{3} \left[1 - \lambda \left(1 - \frac{d_1}{h} \right) \bar{\xi} \right] \right\} + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2} - \frac{d_1}{h} \right) \left[1 - \chi_6 \frac{\bar{\xi} - 1}{\bar{\xi} - 3/[7(1-d_1/h)]} \right] \omega_{tot} ,$$

където $\chi_6 = \frac{E_s |\varepsilon_{c3}|}{f_{yd}}$;

– при натиснато цяло сечение и $\frac{1}{\lambda(1-d_1/h)} \leq \bar{\xi} < \frac{3/7 - \chi_6 d_1/h}{(1-\chi_6)(1-d_1/h)}$,

където $\bar{\xi} = \frac{1,75\chi_6\omega_{tot}(2-d_1/h) + 3(1+0,25\omega_{tot}-|n_{Ed}|)}{7(1-d_1/h)[1+0,25(1+3\chi_6)\omega_{tot}-|n_{Ed}|]}$;

$$\bar{m}_{Rd} = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2} - \frac{d_1}{h} \right) \left[1 - \chi_6 \frac{\bar{\xi} - 1}{\bar{\xi} - 3 / [7(1-d_1/h)]} \right] \omega_{tot};$$

– при натиснато цяло сечение и $\bar{\xi} \geq \frac{3/7 - \chi_6 d_1/h}{(1-\chi_6)(1-d_1/h)}$,

където $\bar{\xi} = \frac{3 - 3|n_{Ed}| + 3,5\chi_6\omega_{tot}}{7(1-d_1/h)(1+\chi_6\omega_{tot}-|n_{Ed}|)}$;

$$\bar{m}_{Rd} = 3,5\chi_6 \frac{(0,5 - d_1/h)^2}{7(1-d_1/h)\bar{\xi} - 3} \omega_{tot}.$$

Като се използва (1a) при изчислена стойност на α от (2), на базата на известни m_{Rd} и \bar{m}_{Rd} , могат да се получат останалите точки от кривата на носещата способност при кос нецентричен натиск за избраните n_{Ed} и ω_{tot} . Задават се стойности на $\bar{m}_{Rd,y}$ в интервала $(0, \bar{m}_{Rd})$ и се получават съответните стойности на $\bar{m}_{Rd,z} \neq \bar{m}_{Rd,y}$ от израза

$$\bar{m}_{Rd,z} = m_{Rd} \left[1 - \left(\frac{\bar{m}_{Rd,y}}{m_{Rd}} \right)^\alpha \right]^{\frac{1}{\alpha}}. \quad (3)$$

За фиксирано d_1/h и при приетото разположение на армировката – фиг. 2 и 3, се получават поредица от фамилии от криви за различни стойности на n_{Ed} и ω_{tot} .

ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 1992-1-1, ЕВРОКОД 2: Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции, Част 1-1: Общи правила и правила за сгради, 2005.
2. Русев, К. Стоманобетон НПБСК-ЕС2. АВС Техника, С., 2008.
3. Русев, К., Вл. Янчев. ЕС2. Оразмеряване на стоманобетонни конструкции по нормални сечения. АВС Техника, С., 2011.
4. Русев, К. и др. Ръководство по стоманобетон Еврокод 2. КИИП, С., 2013.

5. Cedolin, L., G. Cusatis, S. Eccheli, M. Roveda. Biaxial bending of concrete columns: an analytical solution. Studies and researches – V.26, Graduate school in concrete structures – Fratelli Pesenti Politecnico di Milano, Italy, 2006.

Постъпила: октомври 2014 г.

**CARRYING CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE
RECTANGULAR CROSS-SECTIONS UNDER TWO BENDING
MOMENTS AND COMPRESSIVE AXIAL FORCE
ACCORDING TO EUROCODE 2**

V. Yanchev¹

Keywords: strains, stresses, bending moments, compressive axial force

Research area: reinforced concrete structures

ABSTRACT

Rectangular stress distribution diagram within the compression zone of RC-sections to resist the flexure moments and compressive axial force is adopted in the Bulgarian norms. In order to achieve an approximate harmonization with the Eurocode 2, rectangular constitutive law for concrete has been admitted along with a bilinear stress-strain relationship with horizontal upper branch for steel.

Design equations have been derived to serve for determination of carrying capacity of reinforced concrete rectangular cross-sections with assumed location of reinforcement under two bending moments and compressive axial force according to Eurocode 2.

¹ Vladimir Yanchev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd, Sofia 1046, e-mail: vladimir_yanchev@abv.bg

