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 – III**

НОСИМОСПОСОБНОСТ НА НОСЕЩИ ТУХЛЕНИ СТЕНИ, АРМИРАНИ С ВГРАДЕНА В ЗИДА ХОРИЗОНТАЛНА И ВЕРТИКАЛНА АРМИРОВКА, ПОДЛОЖЕНИ НА ВЕРТИКАЛЕН ТОВАР

Д. Кръстева[1], Т. Бараков[2]

Ключови думи*: носещи зидани стени, вградена в зида хоризонтална и вертикална армировка, носимоспособност, частен коефициент на сигурност на материала* γ_M

Научна област*: зидани конструкции*

РЕЗЮМЕ

Предложена е методика съгласно Еврокод 6 за определяне на носимоспособността на подложени на натиск носещи тухлени зидове, армирани с мрежи, разположени в хоризонталните фуги и вградена в зида вертикална армировка.

Методиката се основава на „Нормите за проектиране на зидани конструкции”. Получените резултати са потвърдени експериментално.

Проведен е натурен експеримент с тухлен зид с размери: дължина 50 cm, дебелина 25 cm и височина 200 cm. Използвани са единични плътни тухли с размери 25/12/6,5 cm с нормализирана якост на натиск 14 MPa. Якост на натиск на разтвора M6,3 MPa и класове на вградената хоризонтална армировка B420 и B500 на вградената вертикална армировка. Предложени са стойности на частните коефициенти на хоризонталната армировка k_3 = 0,6 и на вертикалната армировка k_4 = 0,6 и γ_M = 2,0.

[1] Диляна Кръстева, ас. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ 1, 1046 София, e-mail: d.krasteva@mail.bg

[2] Тодор Бараков, проф. д-р, кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ 1, 1046 София, e-mail: t.barakov@mail.bg

1. Въведение

Предназначението на армировката, поставена във вид на мрежи в хоризонталните фуги на зидарията, е да се ограничи развитието на напречни деформации в нея, да повиши нейната носимоспособност при натоварването ѝ с вертикални товари.

Вертикалните натискови сили създават допълнително триене и сцепление между напречната армировка и разтвора и работят съвместно със зидарията срещу нейното разрушение.

Вертикалната армировка благодарение на сцеплението ѝ с разтвора със зидарията директно участва в поемането на вертикални товари, като в нея се появяват натискови напрежения. Големината им зависи от якостта на разтвора и от сцеплението му с армировката.

2. Експериментален модел

Експерименталните резултати са постигнати при изследване на стена, натоварена с вертикален товар, иззидана с единични плътни тухли при редуване на редове с напречни и напречни и надлъжни фуги, в които през два реда са поставени армировъчни мрежи с диаметър ф4 от стомана B420, вертикална армировка N8 от стомана B500, вградена в зида. Размерите на стената са: дължина 50 cm, дебелина 25 cm и височина 200 cm.

3. Материали

При експерименталния модел (Модел 1) и при теоретичните изчисления се използват следните материали:

– единични плътни тухли с размери 25/12/6,5 cm с нормализирана якост на натиск на блоковете 14 MPa;

– разтвор: циментo-варов разтвор с якост на натиск M6,3 MPa;

– стомана клас A-III (B420) с диаметър ф4;

– стомана клас A-IV (B500) с диаметър N8.

4. Изчисляване

4.1. Изчисляване на тухлен зид с армировка в хоризонталните фуги и вградена в зида вертикална армировка по методиката, залегнала в *„Нормите за проектиране на зидани конструкции“*

Изчисляване на общата носимоспособност се осъществява съгласно чл. 76 (1), формула (26) [1]:

$$N_{Rd} = m_g.\varphi.R.\gamma_c.A + m_g.\varphi.\frac{R_s.k_3.\mu}{100}A + \varphi.n.A_{s1}R_{sv}.k_4\,, \qquad (1)$$

където:

1) С първия член на формулата се отчита носимоспособността на тухлената зидария

$$N_{Rdm} = m_g.\varphi.R.\gamma_c.A\,, \tag{2}$$

m_g – отчита влиянието на продължително действащия товар

$$m_g = 1 - \eta.\frac{N_g}{N}\,, \tag{3}$$

η – коефицент на зидарията (табл. 20 [1])

$$\lambda_h = \frac{200}{25} = 8 \rightarrow \eta = 0 \rightarrow m_g = 1\,.$$

От табл. 15 [1] за глинени тухли с $R_P = 6,3$ MPa се отчита еластичната характеристика на зидарията ά = 1000, а от табл. 18 [1] → φ – коефициент на изкълчване; φ = 0,95.

$A = 25.50 = 1250\ \text{cm}^2 = 0,125\ \text{m}^2$ – площта на сечението на елемента;

γ_c – коефициент за условие на работа:

$\gamma_c = 1$ при площ A≥0,30 m²;

$\gamma_c = 0,8$ при площ A<0,30 m²;

R – изчислително съпротивление на натиск на зидарията (табл. 2 от [1]).

При якост на натиск на тухлата – $R_T = 14$ MPa и якост на натиск на разтвора – $R_P = 6,3$ MPa се отчита изчислителната якост на натиск на зидарията:

$$R = 1,9\ \text{MPa} = 0,19\ \text{kN/cm}^2.$$

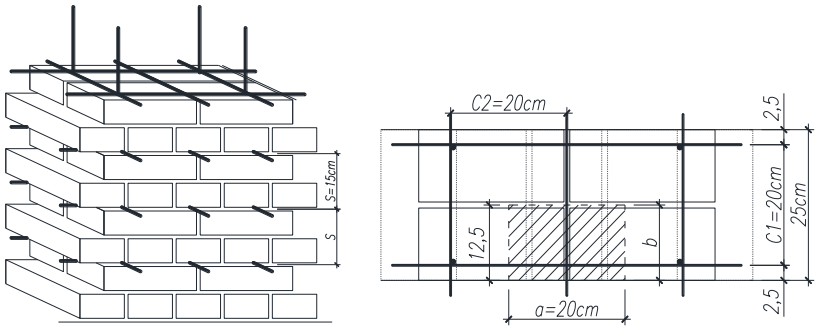
Носимоспособноста на тухлената зидария, изчислена по формула (2) е:

$$N_{Rd,m} = m_g.\varphi.R.\gamma_c.A = 1.0,95.0,19.0,8.25.50 = 180,5\ \text{kN}.$$

2) С втория член на формула (1) се отчита носимоспособността на армировката в хоризонталните фуги

$$N_{Rd,s} = m_g.\varphi.\frac{R_s.k_3.\mu}{100}.A\,, \tag{4}$$

k_3 – частен коефициент за условия на работа за армировката, поставена в хоризонталните фуги.



Фиг. 1. (Модел 1)

Приема се: $c_1 = c_2 = 20$ cm; $b = \frac{c_1}{2} + 2,5 = 12,5$ cm; $a = c_2 = 20$ cm; $s = 15$ cm.

Обем на армировката ф4 с $A_{s1} = A_{s2} = 0,125$ cm^2:

$$V_s = A_{s1}.b + A_{s2}.a = 0,125.12,5 + 0,125.20 = 4,06 \text{ cm}^3. \quad (5)$$

Обем на зидарията:

$$V_k = a.b.s = 12,5.20.15 = 3750 \text{ cm}^3. \quad (6)$$

Обемен процент на армиране:

$$\mu = \frac{V_s}{V_k} = \frac{4,06}{3750}.100 = 0,108\%; \ \mu_{\min} = 0,1\%; \ \mu_{\max} = 50.\frac{R}{R_s} = 50\frac{0,19}{37,5} = 0,25\%;$$

$k_3 = \gamma_{si} = 0,6$ – според табл. 13 [1].

Носимоспособност на армировката в хоризонталните фуги

$$N_{Rd,s} = m_g.\varphi.\frac{R_s.k_3.\mu}{100}.A = 1.0,95.\frac{37,5.0,6.0,108}{100}.25.50 = 28,85 \text{ kN}.$$

3) С третия член на формула (1) се отчита носимоспособността на вертикалната армировка, вградена в зида:

$$N_{Rd,v} = \varphi.n.A_{s1}R_{sv}.k_4; \quad (7)$$

$$N_{Rd,v} = 0,95.4.0,503.37,5.0,6 = 43 \text{ kN}.$$

4) **Обща носимоспособност на зидария, армирана с армировка в хоризонталните фуги и с вградена вертикална армировка съгласно** *„Нормите за проектиране на зидани конструкции“*, е:

$$N \le m_g.\varphi.R.\gamma_c.A + m_g.\varphi.\frac{R_{sh}.k_3.\mu}{100}A + \varphi.n.A_{s1}R_{sv}.k_4; \quad (8)$$

$$N_{Rd} = N_{Rd,m} + N_{Rd,s} + N_{Rd,v} = 180,5 + 28,85 + 43 = 252,35 \text{ kN}.$$

4.2. Изчисляване на носимоспособността на тухлен зид с армировка в хоризонталните фуги и вградена вертикална армировка въз основа на теорията, дадена в *Еврокод 6* и проведени експериментални изследвания

В Еврокод 6 липсва методика за изчисляване на носимоспособността на носещи тухлени стени, армирани с надлъжна и напречна армировка (мрежи) в хоризонталните фуги, подложени на вертикален товар, но се препоръчва да се проведат експериментални изследвания, които да послужат за създаването ѝ. На база на експериментално изследване, което включва натоварване на тухлена стена Модел 1, са получени резултати, чрез които могат да се направят препоръки за изчисляване на носещи зидани конструкции с напречна и надлъжна армировка в хоризонталните фуги, подложени на вертикален товар.

Носимоспособността на тухлен зид с армировка в хоризонталнте фуги и вградена надлъжна армировка се определя като сума от носимоспособността на тухления зид и носимоспособността на армировката в хоризонталните фуги и вертикалната вградена в зида армировка.

Материали:

– единични плътни тухли с размери 25/12/6,5 cm с нормализирана якост на натиск на блоковете $f_b = 14$ MPa;

– разтвор: М6,3 MPa с $f_m = 6,3$ MPa – якост на натиск на циментo-варов разтвор;

– стомана клас B420 с диаметър ф4 и $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{420}{1,15} = 365$ MPa;

– стомана клас B500 с диаметър N8 и $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435$ MPa.

1) Носимоспособността на тухления зид се дава с израз (9)

$$N_{Ed,m} = \Phi_m.t.l.f_d\,, \tag{9}$$

където:

$$f_k = K.f_b^{0,7}.f_m^{0,3}\,, \tag{10}$$

f_k е характеристичната якост на натиск на зидарията в N/mm^2;

$K = 0,55$ – константа, отчетена от табл. 3.3 [2], коригирана с 0,8 при зидария с редуване на напречни и напречни и надлъжни редове тухли;

$f_b = 14$ N/mm^2 – нормализираната средна якост на натиск на блоковете за зидария в направлението на ефекта от приложеното въздействие;

$f_m = 6,3$ N/mm^2 – якостта на натиск на разтвора;

γ_M – частен коефициент на материала (табл. 2.1 [3]);

Φ_m – коефициент, отчитащ деформациите от II ред;

f_d – изчислителната якост на натиск на зидарията

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}; \tag{11}$$

$$f_k = K.f_b^{0,7}.f_m^{0,3} = 0,55.14^{0,7}.6,3^{0,3} = 6,06 \text{ N/mm}^2.$$

Носимоспособността само на зида е

$$N_{Rd,m} = \Phi_m.A.f_d = 0,85.25.50.\frac{0,8.0,606}{\gamma_M} = \frac{515,10}{\gamma_M} \text{ kN}.$$

2) Носимоспособността на армировката (мрежите) в хоризонталните фуги може да бъде дадена с израза

$$N_{Rds} = \Phi_m.A.k_3.\frac{\rho.f_{yd}}{100}\,. \tag{12}$$

Както в „Нормите за проектиране на зидани конструкции", и тук се предлага използване на обемния процент на армиране съгласно формули (5) и (6).

Обемен процент на армиране: $\rho = \frac{V_s}{V_k} = \frac{4,06}{3750}.100 = 0,108\%$.

Носимоспособността на мрежите е

$$N_{Rd,s} = \Phi_m.A.k_3.\frac{\rho.f_{yd}}{100} = 0,85.25.50.k_3.\frac{0,108.36,5}{100} = 41,88.k_3 \text{, kN,}$$

k_3 – частен коефициент за условие на работа на стоманата при армирани зидарии с мрежи в хоризонталните фуги.

3) Носимоспособност само на вертикалната армировка (вградена в зида):

$$N_{Rd,sv} = \Phi_m.k_4.A_{sv}.f_{yd} \text{ ,} \qquad (13)$$

където:

k_4 – частен коефициент за условие на работа на вертикалната армировка;

A_{sv} – площ на вертикалната усилваща армировка;

f_{yd} – изчислителна граница на провлачване на вертикалната армировка

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa;}$$

$$N_{Rd,sv} = 0,85.k_4.4.50,3.434 = 74222,7.k_4 \text{ , N;}$$

$$N_{Rd,sv} = 74,22.k_4 \text{ , kN.}$$

4) Обща носимоспособност на зидарията с армировка в хоризонталните фуги и вертикална армировка, вградена в стената, се дава с израз (14):

$$N_{Rd} = N_{Rd,m} + N_{Rd,sw} + N_{Rd,sv} = \Phi_m.\left[A.\left(0,8.f_d + k_3.\frac{\rho.f_{yd}}{100} \right) + k_4.A_{sv}.f_{yd} \right]; \qquad (14)$$

$$N_{Rd} = 0,85.\left[250.500.\left(\frac{0,8.6,06}{\gamma_M} + k_3.\frac{0.108.365}{100} \right) + k_4.4.50,3.434 \right];$$

$$N_{Rd} = \frac{515,10}{\gamma_M} + 41,88.k_3 + 74,22.k_4 \text{, kN.}$$

В табл. 1 е дадена носимоспособността на тухлената зидария $N_{Rd,m}$ при различни стойности на частния коефициент на сигурност на зидарията γ_M , изчислени по формула (9).

Таблица 1

	$N_{Rd,m}$, kN (l = 50 cm)
γ_M = 1,4	367,93
γ_M = 1,5	343,40
γ_M = 2	257,55
γ_M = 2,2	234,14
γ_M = 2,5	206,04

В табл. 2 е дадена носимоспособността само на армировката $N_{Rd,sw}$ в хоризонталните фуги, при различни стойности на коефициента k_3 .

Таблица 2

$N_{Rd,s}$, kN (l = 50 cm)			
k_3 = 1	k_3 = 0,8	k_3 = 0,6	k_3 = 0,5
41,88	33,51	25,13	20,94

В табл. 3 е дадена носимоспособността само на вертикалната армировка $N_{Rd,sv}$, вградена в зида, при различни стойности на коефициента k_4 .

Таблица 3

$N_{Rd,sv}$, kN (l = 50 cm)			
k_4 = 1	k_4 = 0,8	k_4 = 0,6	k_4 = 0,5
74,22	59,38	44,53	37,11

В табл. 4 е дадена общата носимоспособност N_{Rd} на зидарията и армировките при различни стойности на частните коефициенти γ_M , k_3 и k_4 .

Таблица 4

$$\boldsymbol{N_{Rd} = N_{Rd,m} + N_{Rd,s} + N_{Rd,sv}}$$

	N_{Rd} (l = 50 cm)													
	k_3	k_4	k_3	k_4	k_3	k_4	k_3	k_4	k_3	k_4	k_3	k_4	k_3	k_4
γ_M	1	1	0,8	1	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6
γ_M = 1,4	483,35		474,97		460,27		445,56		437,18		425,64		432,99	
γ_M = 1,5	458,82		450,45		435,74		421,03		412,65		401,11		408,47	
γ_M = 2	372,97		364,60		349,89		335,18		**326,80**		315,26		322,62	
γ_M = 2,2	349,56		341,18		326,47		311,77		303,39		291,85		299,20	
γ_M = 2,5	321,46		313,09		298,38		283,67		275,29		263,75		271,11	

Експер.	540 kN

Извод: От така получените стойности за N_{Rd} се установява, че при k_3 = 1 и k_4 = 1 носимоспособността, получена по теоретичен път, е най-близка по стойност с експерименталните резултати. Но от гледна точка на общата сигурност на елемента се препоръчват стойности k_3 = 0,6 и k_4 = 0,6 и γ_M = 2,0 (В ЕС6 минималната стойност на частния коефициент на сигурност за този вид зидария от блокове II категория с предписан разтвор е γ_M = 2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормите за проектиране на зидани конструкции, София, 1986.
2. Еврокод 6. Проектиране на зидани конструкции.
3. *Бараков, Т*. Зидани конструкции. София, 2002.
4. *Баракова, Н. Т. Бараков*. Зидани конструкции Еврокод 6. София.

BEARING CAPACITY OF BRICK MASONRY WALLS REINFORCED BY HORIZONTAL AND VERTICAL REINFORCEMENT INCORPORATED IN THE MASONRY, SUBJECTED TO VERTICAL LOAD

D. Krasteva[1], T. Barakov[2]

***Keywords*:** *brick masonry, reinforced masonry in horizontal mortar joints, vertical reinforcement, partial safety factors for material properties of masonry* γ_M

***Research area*:** *masonry structures*

ABSTRACT

The present research proposes a method, according to Eurocode 6, for determining the bearing capacity of brick walls subjected to vertical loads, reinforced with networks located in the horizontal joints and built-in wall vertical reinforcement. The methodology is based on the "The Standards for the Design of Masonry Structures". The results are confirmed experimentally.

[1] Diliana Krasteva, Senior Assist. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: d.krasteva@mail.bg

[2] Todor Barakov, Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: t.barakov@mail.bg