

УДК 624.012+699.841

МІЦНІСТЬ ЦЕГЛЯНОЇ КЛАДКИ ЗА НАЯВНОСТІ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ТРІЩИН

ПРОЧНОСТЬ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ ПРИ НАЛИЧИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРЕЩИН

THE STRENGTH OF MASONRY IN THE PRESENCE OF HORIZONTAL CRACKS

Хохлін Д.О., к.т.н., с.н.с., Попок К.В., аспірант (Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ)

Хохлин Д.А., к.т.н., с.н.с., Попок К.В., аспирант (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев)

Khokhlin D.O., Ph.D., senior researcher, Popok K.V., PhD student (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv)

В статті розглянуті результати та аналіз експериментальних досліджень стандартних зразків цегляної кладки з горизонтальною тріщиною на стиск. Оговорено характерні випадки та напрями використання отриманих результатів дослідження.

В статье рассмотрены результаты и анализ экспериментальных исследований стандартных образцов кирпичной кладки с горизонтальной трещиной на сжатие. Оговорены характерные случаи и направления использования полученных результатов исследования.

The main propositions, assumptions and grounds of itemized procedure which was developed by the author for the nonlinear static analysis of construction systems by influence of seismic loads and base substantial differential settlements based on capacity spectrum method are considered in the article.

Ключові слова:

Міцність, жорсткість, деформації, цегляна кладка, тріщини.

Прочность, жесткость, деформации, кирпичная кладка, трещины.

Strength, rigidity, deformation, masonry, cracks.

Територія України характеризується широким розповсюдженням особливих та складних інженерно-геологічних умов, зокрема, сейсмічної небезпеки, просідаючих ґрунтів, підроблювання, а також інших чинників, які

можуть призвести до виникнення горизонтальних та інших випадків нормальних тріщин в цегляній кладці, що й розповсюджено спостерігається на практиці. Отже актуальними є питання оцінки впливу таких тріщин на несучу здатність кладки.

Не дивлячись на актуальність питання врахування наявності горизонтальних тріщин при розрахунках цегляної кладки, до даного часу не проводилося його системних досліджень. Таким чином, потрібним є проведення таких досліджень з використанням як теоретичних розрахунків, так й експериментальних випробувань.

Аналіз літератури проведений в роботах [1,2] підтвердив необхідність у проведенні комплексних системних досліджень впливу одинарних тріщин на несучу здатність кам'яної кладки. У подальшому був виконаний комплекс теоретичних дослідів і розрахунків [3], який дозволив оцінити ступінь зниження несучої здатності за дії різних зусиль простінків цегляних простінків залежно від типу (вертикальна, похила по штрабі, горизонтальна) тріщини. При цьому єдиним варіантом, який не був об'єктивно досягнутий при теоретичній оцінці, став вплив горизонтальної тріщини на опір кладки на стиск. Даний варіант потребує окремих експериментальних випробувань.

Метою дослідження є оцінка впливу горизонтальної тріщини на опір цегляної кладки на стиск.

Експериментальне випробування кладки для визначення оцінки можливого зниження опору кладки на стиск після утворення горизонтальної тріщини проведено на основі ДСТУ Б EN 1052-1:2011 [4]. Відповідні розміри експериментальних зразків (з врахуванням розмірів цегли 250x120x65 мм) наведені на рис. 1.

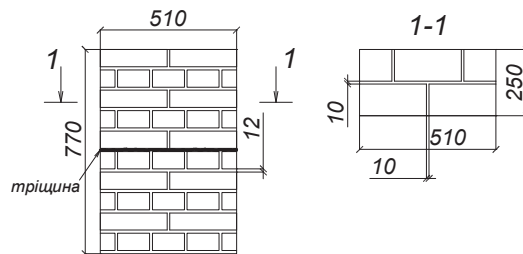
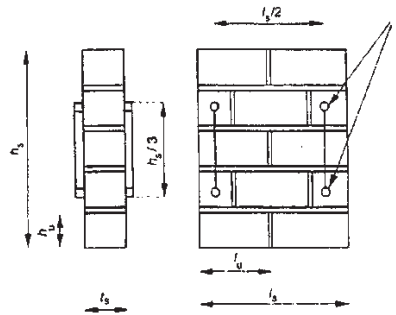


Рис. 1. Загальні розміри зразків для випробувань на стиск за наявності горизонтальної тріщини

В цілому було виконано 3 зразки з горизонтальними тріщинами (ЗТ-1...3) та 3 контрольні без (БТ-1...3). Утворення тріщин забезпечувалось розклинюванням середнього горизонтального шву з торця зразку.

Схема розташування датчиків переміщень наведена на рис. 2 ($l_s/2 = 255$ мм; $h_s/3 = 255$ мм) [4].



Позначки:
1 – вимірювання переміщень

Key:
1 – Displacement measurements

Рис. 2. Схема розташування датчиків переміщень на зразках для випробувань на стиск за наявності горизонтальної тріщини

Для випробувань була використана рядова керамічна цегла марки М100 або $f_b = 10,0$ МПа (за даними виробника – Кіровоградського заводу будівельних матеріалів № 1). Розчин виготовлявся цементно-піщаний з запланованою маркою М50 ($f_m = 5,0$ МПа) з додаванням вапна наступного складу за об'ємом (Цемент М400:Вапняне тісто:Пісок:Вода): 1,0:0,9:8,0:1,2.

Для визначення та врахування фактичної міцності матеріалів були проведені їх контрольні випробування: цегли на згин та стиск згідно ДСТУ Б В.2.7-248:2011 [5]; кубів розчину зі стороною 70,7 мм на стиск згідно ДСТУ Б В.2.7-239:2010 [6].

Згідно ДСТУ Б В.2.7-61:2008 [7] за результатами випробувань (табл. 1) марка цегли складає М100 за показником міцності на згин ($f_b = 10,0$ МПа), хоча безпосередньо середня міцність на стиск досягає майже показника $f_b = 15,0$ МПа.

Таблиця 1

Результати випробувань зразків цегли

№ п/п	Розміри цеглини, мм	Маса цеглини, г	Руйнуюче зусилля, кгс	Границя міцності, кгс/см ² (Н/мм ²)
На стиск				
1	247x119x66	2970	41400	140
	248x120x68	2915		(14,0)
2	248x119x65	3025	45200	153
	247x119x65	2975		(15,3)
3	247x119x64	2975	43200	147
	248x119x65	2980		(14,7)
4	248x119x66	3060	41400	139
	249x120x65	2990		(13,9)

продовження табл. 1

5	247x119x65	2975	45400	154
	248x119x63	2975		(15,4)
Середнє значення				147 (14,7)
На згин				
1	248x120x63	2995	320	20,1 (2,01)
2	249x120x64	2950	256	15,6 (1,56)
3	248x119x66	3055	308	17,7 (1,77)
4	248x119x66	3075	236	13,6 (1,36)
5	248x119x65	2940	314	18,6 (1,86)
Середнє значення				17,1 (1,71)

Результати випробувань розчину показали середню міцність на стиск 45 кгс/см^2 або $f_m = 4,5 \text{ МПа}$.

Результати випробувань зразків кам'яної кладки у вигляді графіків деформування σ - ϵ представлені на рис. 3.

Загальні результати випробувань зразків кам'яної кладки мають наступний вигляд (зусилля руйнування, напруження руйнування обраховано з врахуванням фактичних розмірів перерізу зразку):

- Зразок БТ-1 (БТ – тут і далі без тріщини) – $F_i = 48,5 \text{ тс}$ або $f_i = 3,80 \text{ МПа}$;
- Зразок БТ-2 – $F_i = 49,5 \text{ тс}$ або $f_i = 3,87 \text{ МПа}$;
- Зразок БТ-3 – $F_i = 51,0 \text{ тс}$ або $f_i = 4,01 \text{ МПа}$ (середнє значення для зразків БТ – $f = 3,89 \text{ МПа}$);
- Зразок ЗТ-1 (ЗТ – тут і далі з тріщиною) – $F_i = 45,0 \text{ тс}$ або $f_i = 3,53 \text{ МПа}$;
- Зразок ЗТ-2 – $F_i = 50,0 \text{ тс}$ або $f_i = 3,92 \text{ МПа}$;
- Зразок ЗТ-3 – $F_i = 50,0 \text{ тс}$ або $f_i = 3,92 \text{ МПа}$ (середнє значення для зразків ЗТ – $f = 3,79 \text{ МПа}$).

Фото з випробувань представлено на рис. 4.

Аналіз представлених даних показує дві основні тенденції. По-перше, відсутність суттєвого ослаблення середньої міцності зразків з горизонтальною тріщиною у порівнянні зі зразками без неї (зниження лише 2,5%). По-друге, в основному пружний характер деформування зразків з тріщиною аж до самого руйнування. Побудова відповідних апроксимаційних лінійних залежностей для зразків ЗТ показала гарний рівень збіжності з експериментальними даними: отримані коефіцієнти детермінації моделі не

менші за $R^2 = 0,9812$, відповідні коефіцієнти кореляції не менші за $R = \sqrt{R^2} = 0,99$, що означає «дуже високу» силу зв'язку між даними та прийнятну якість моделі (за співвідношенням Чедока). Отримана осереднена лінійна модель у вигляді $\sigma = 1390 \cdot \epsilon$, що відповідає осередненому модулю деформацій зразків ЗТ: $E_{зт} = 1390 \text{ МПа}$. Дане значення приблизно відповідає середньому січному модулю деформацій в точці руйнування зразків БТ ($E_{бт,др} = 1521$

МПа), а також середньому модулю пружності кладки зразків БТ ($E_{\text{бр},0} = 3933$ МПа) з коефіцієнтом 0,35.

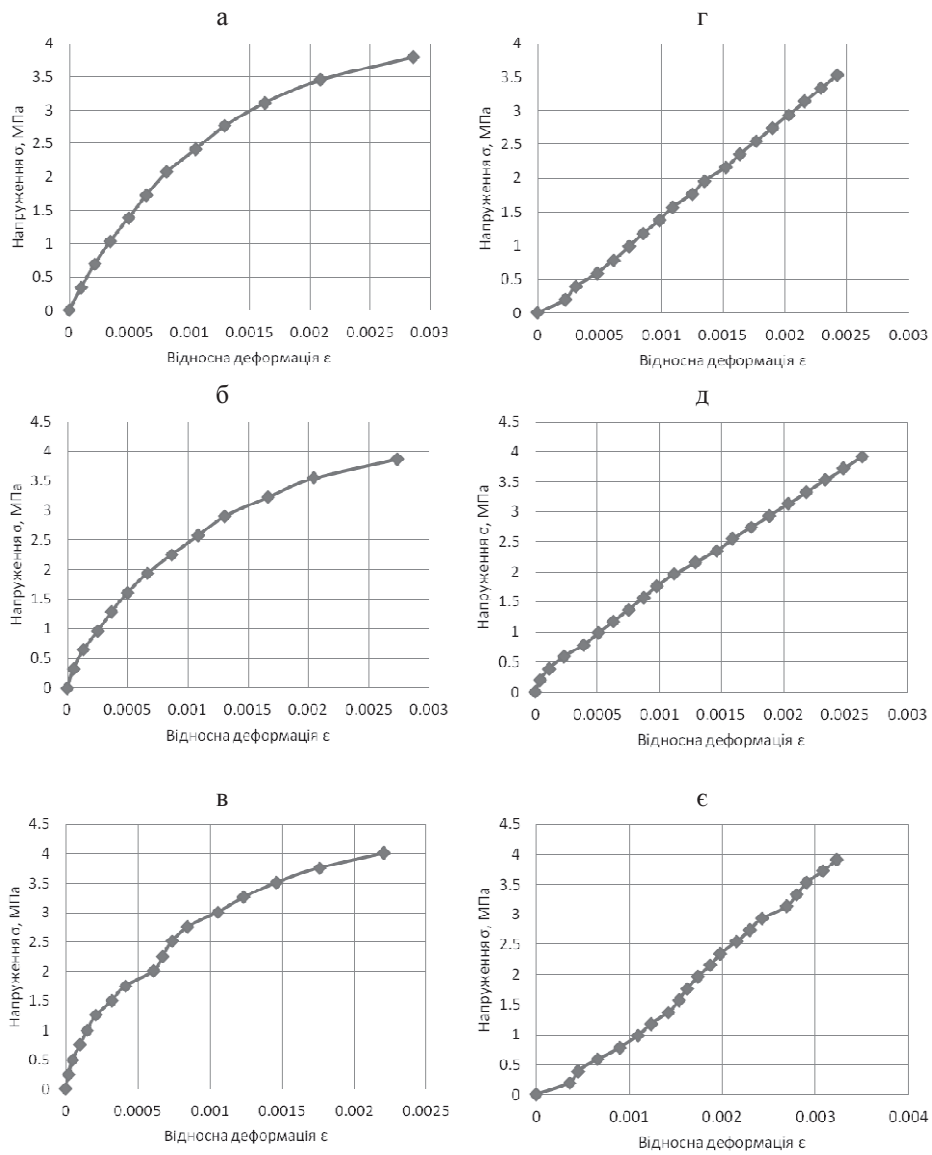


Рис. 4. Графіки деформування σ - ϵ за результатами випробувань зразків кам'яної кладки: а) для зразка БТ-1; б) для зразка БТ-2; в) для зразка БТ-3; г) для зразка ЗТ-1; д) для зразка ЗТ-2; є) для зразка ЗТ-3.

Отриманий результат стосовно зниження жорсткості зразків з тріщинами може бути пояснений додатковими вертикальними деформаціями в шві з тріщиною з вибиранням зазорів, що очікувано виникли при утворенні горизонтальної тріщини.

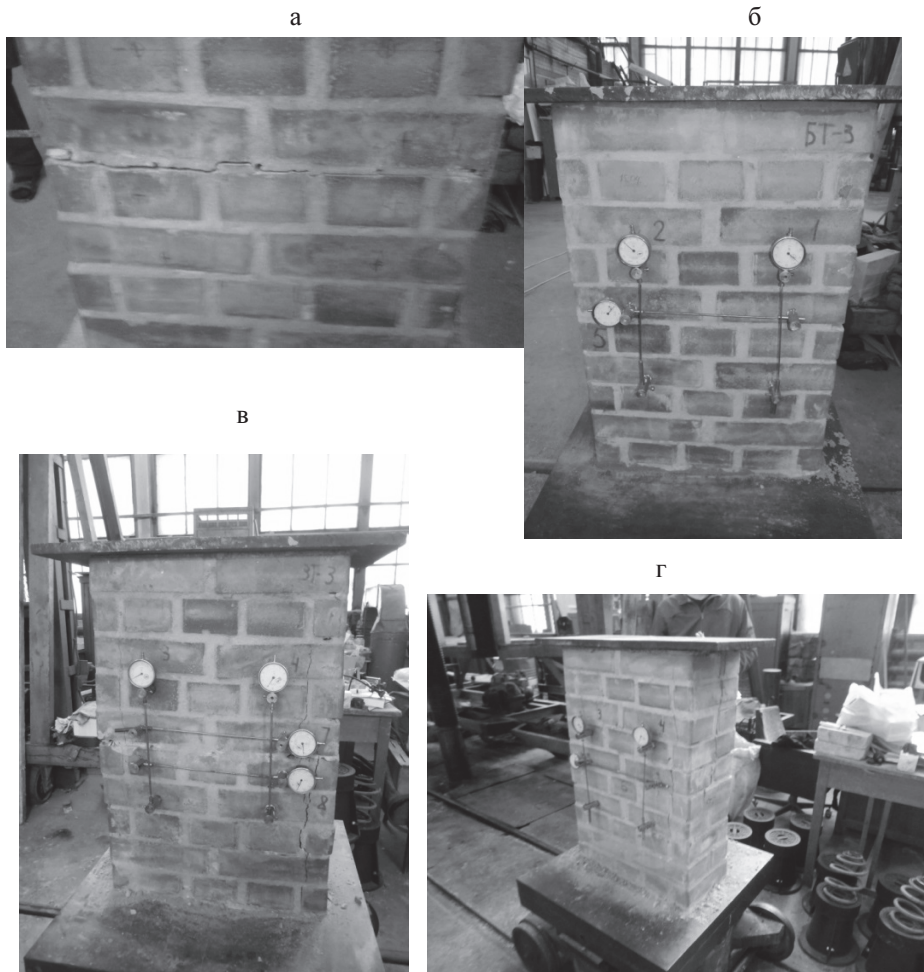


Рис. 4. Фото випробувань: а) горизонтальна тріщина, утворена розколинкою шву з торця зразка; б) зразок, підготовлений до випробування; в) зруйнований зразок з попередньо утвореною горизонтальною тріщиною; г) зруйнований зразок без горизонтальної тріщини.

Таким чином, можна зробити висновок, що у випадку виникнення горизонтальної тріщини у шві кладки без руйнування шару розчину у якості

пружної «постілі» для каменів не відбувається суттєвого зниження опору кладки на стиск. При цьому суттєво знижується модуль деформацій і жорсткість кладки з тріщиною, які залишаються відносно стабільними до моменту руйнування. Логічно, що гірших результатів слід очікувати у випадку руйнування шару розчину у якості пружної «постілі» для каменів для передавання зусиль.

Отримані результати повинні мати силу для наступних випадків виникнення тріщин (передбачається варіант прикладення та сприйняття стискаючого напруження на ділянці шву з тріщиною): тріщини в шві від дії нормального розтягуючого напруження; ступінчастої тріщини по похилій штрабі; тріщини в шві від зрізу при відсутності руйнування шару розчину (при «обережному» зрізі по контакту розчину та каменю).

Актуальним розглянутий випадок є для ситуації дії значних поперечних сил на кам'яні конструкції, які й можуть спричинити виникнення руйнувань від розтягуючих напружень і зрізу. У випадку дії комплексу навантажень, наприклад, значних нерівномірних деформацій та сейсмічних впливів, можливий варіант виникнення тріщин від одного впливу з подальшим привантаженням ділянки стиском від іншого. В результаті, не дивлячись на відсутність суттєвого зниження опору ділянки кладки з тріщиною на стиск, у випадку його можливого виникнення через прикладення нового навантаження або перерозподілу зусиль слід враховувати суттєве зниження жорсткості даної ділянки майже утричі. Значний вплив при цьому може бути отриманий на параметри конструктивної системи, пов'язані з жорсткістю конструкцій, наприклад, на періоди власних коливань. Зокрема можна констатувати можливість збільшення періодів власних коливань (згідно загально відомої закономірності $T = 2\pi\sqrt{M/K}$) до 70-80%.

На основі викладеного вище можна зробити наступні висновки. У випадку виникнення горизонтальної тріщини у шві кладки без руйнування шару розчину у якості пружної «постілі» для каменів не відбувається суттєвого зниження опору кладки на стиск (хоча для остаточної підтвердження тенденції слід провести більш широке коло випробувань). При цьому суттєво (до 3-х разів для досліджених зразків кладки) знижується модуль деформацій і жорсткість кладки з тріщиною, що може бути пояснений додатковими вертикальними деформаціями в шві з тріщиною з вибиранням зазорів, що очікувано виникли при утворенні горизонтальної тріщини. Отримані результати повинні мати силу для наступних випадків виникнення тріщин: тріщини в шві від дії нормального розтягуючого напруження; ступінчастої тріщини по похилій штрабі; тріщини в шві від зрізу при відсутності руйнування шару розчину. У випадку дії комплексу навантажень можливий варіант виникнення тріщин від одного впливу з подальшим привантаженням ділянки стиском від іншого. В результаті, не дивлячись на відсутність суттєвого зниження опору ділянки кладки з тріщиною на стиск, у випадку його можливого виникнення через

прикладення нового навантаження або перерозподілу зусиль слід враховувати суттєве зниження жорсткості даної ділянки майже утричі, що призводить в т.ч. до перерозподілу зусиль і збільшення періодів власних коливань.

1. Попок К.В. Проблеми оцінки та підвищення сейсмостійкості кам'яних конструкцій і будівель з пошкодженнями та дефектами / К.В. Попок // Вісник Сумського національного аграрного університету: Науковий журнал. – Суми: СНАУ, 2014. – Вип.10 (18) – С.118-122. 2. Попок К.В. Технічний стан кам'яних будівель в умовах сейсмонебезпечних територій України / К.В. Попок // Будівельні конструкції: Збірник наукових праць. – К: ДП НДІБК, 2015. – Вип.82 – С.436-443. 3. Попок К.В. Напрями впливу характерних дефектів і пошкоджень кам'яних конструкцій і будівель на їх сейсмостійкість / К.В. Попок // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне, 2015. – Вип.31 – С.492-498. 4. Методи випробування кам'яної кладки: Частина 1. Визначення міцності при стиску (ІЕН 1052-1:1998, ІДТ): ДСТУ Б EN 1052-1:2011. – К.: Мінрегіон України, 2012. – 19 с. 5. Матеріали стінові. Методи визначення границь міцності при стиску і згині (ГОСТ 8462-85, МОД): ДСТУ Б В.2.7-248:2011. – К.: Мінрегіон України, 2012. – 18 с. 6. Розчини будівельні. Методи випробувань (EN 1015-11:1999, NEQ): ДСТУ Б В.2.7-239:2010. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 34 с. 7. Будівельні матеріали. Цегла та камені керамічні рядові і лицьові. Технічні умови (EN 771-1:2003, NEQ): ДСТУ Б В.2.7-61:2008. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 32 с.