

– Львів, 2013. – №755 – С. 111 – 117. 4. Коровин, Н. Н. Экспериментальное исследование шпоночных сопряжений ригелей с колонной / Н. Н. Коровин, В. С. Еськов // Бетон и железобетон. – 1965. – №3. – С. 40 – 43. 5. Пособие по проектированию жилых зданий / ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). – М.: Стройиздат, 1989. – Вып. 3. – 304 с. 6. Каркасно-панельное здание «РАМПА» 2000398 МПК-8 Е04В1/18. / Шмуклер В.С.; патентообладатель – Шмуклер В.С. – Оpubл. 15.10.1999, Бюл. № 22. – 10 с. : ил. 7. Рожко, В.Н. Міцність шпонокових з'єднань бетонних і залізобетонних елементів: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Рожко В.Н.; Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава, 2008. – 182 с. 8. Юрко, І.А. Міцність шпонокових стиків із фібробетону на синтетичних волокнах: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / І.А. Юрко. – Полтава, 2011. – 183 с.

**УДК 699.841**

**МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ  
НЕРІВНОМІРНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ОСНОВИ НА СЕЙСМОСТІЙКІСТЬ  
НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ**

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ  
НЕРАВНОМЕРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ОСНОВАНИЯ НА  
СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

**PROCEDURE OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF BASE  
DIFFERENTIAL SETTLEMENTS INFLUENCE ON BEARING  
STRUCTURES EARTHQUAKE RESISTANCE**

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

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

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

**Сформульовані завдання та представлена відповідна методика експериментальних досліджень впливу напружень і пошкоджень від значних нерівномірних вертикальних деформацій основи та перекосів на сейсмостійкість несучих кам'яних конструкцій.**

**Сформулированы задания и представлена соответствующая методика экспериментальных исследований влияния напряжений и повреждений от значительных неравномерных деформаций основания и перекосов на сейсмостойкость несущих каменных конструкций.**

**Assignments are stated and relevant procedure of experimental research of influence of stresses and damages by substantial base differential settlements and sideways on bearing structures earthquake resistance is represented.**

**Ключові слова:**

Сейсміка, деформації, експеримент, методика.

Сейсмика, деформации, эксперимент, методика.

Seismic, settlements, experiment, procedure.

**Значна частина України є сейсмонебезпечною**, а для будівель класу відповідальності СС-3 згідно карт ОСР 2004-С, а також деяких нових досліджень [1], сейсмонебезпечною (6 та більше балів) є вся територія країни. По всій Україні присутні й ті чи інші чинники значних нерівномірних деформацій основи (ЗНДО).

Виникнення ЗНДО є джерелом утворення складного напружено-деформованого стану конструктивних систем будівель і споруд, тріщин, місцевих та загальних руйнувань конструкцій. Особливо це стосується залізобетонних і кам'яних будівель з жорсткими конструктивними системами (при цьому більш уразливими є конструкції з кам'яної кладки). Очевидно, що перебування у такому переднапруженому стані, а також розвиток дефектів і пошкоджень веде до зниження сейсмостійкості будівлі (споруди). Таким чином, необхідним є вивчення впливу наслідків ЗНДО на сейсмостійкість конструктивних систем. При цьому теоретичні розрахункові дослідження мають бути доповнені наочними натурними експериментами за детальною проробленою методикою.

В цілому, експериментальні дослідження сейсмостійкості конструкцій в тому чи іншому аспекті (визначення несучої здатності на горизонтальні поперечні сили, динамічних характеристик, показників пластичності та демпфування тощо) плідно проводилися довгий час. Щодо кам'яних конструкцій можна навести результати експериментальних випробувань [2-7 та ін.]. Їх аналіз показує відсутність випробувань, які б стосувалися вивчення напружено-деформованого стану кладки з пошкодженнями та без в умовах одночасної дії перекосів в горизонтальному та вертикальному напрямках, характерному для сумісної послідовної дії ЗНДО та сейсміки. Іншою проблемою є мала кількість досліджень несучої здатності кладки у пошкодженому стані (наприклад, від ЗНДО). Зокрема, відсутні дослідження залишкової міцності кладки на стиск за наявності горизонтальної тріщини, яка може бути як протяжною, так і ступінчастою.

**Метою статті є розгляд методики експериментального дослідження**

особливостей роботи переднапруженої та (або) пошкодженої кладки при дії горизонтальних сейсмічних сил.

Сформульовані наступні основні завдання експерименту:

- показати факт та ступінь зменшення несучої здатності кам'яної стінки на дію горизонтальної сили за наявності нерівномірних вертикальних деформацій (перекосів) в стінці як за наявності відповідних тріщин, так і без;
- перевірити теоретичні припущення щодо врахування впливу похилих тріщин по штрабі на несучу здатність кладки при дії горизонтальної сили;
- на основі моделювання експерименту у розрахункових програмних комплексах перевірити та уточнити методики такого моделювання роботи кам'яної кладки для прикладних розрахунків;
- виконання додаткового експерименту з оцінки ступіню впливу тріщини в горизонтальному перерізі кладки на її міцність на стиск.

Для реалізації завдань, як оптимальний варіант, вибрано фрагмент цегляної стіни (простінок) з мінімальними розмірами, достатніми для створення балки-стінки, що відобразить роботу на поперечні сили (перекіс) як у вертикальному напрямі, так й у горизонтальному.

Слід враховувати, що, за теоретично-розрахунковими дослідженнями одного з авторів, основна небезпека для несучих стін та широких простінків при поєднанні зусиль від сейсміки та ЗНДО складає у значному збільшенні головних нормальних напружень (розтягуючих та стискаючих) в середніх частинах при несприятливому суміщенні напрямів вертикальних та горизонтальних перерізаючих сил. При цьому руйнування буде відбуватися у вигляді утворення похилих тріщин, які є характерними для стін та широких простінків при сейсмічному впливі. Таким чином, при експериментальному дослідженні роботи високої балки-стінки за дії перекосів у двох напрямках важливо забезпечити умови руйнування саме за головними нормальними напруженнями в похилих перерізах, тобто відсутність, наприклад, попереднього руйнування від згину або відриву від основи.

З врахуванням вищенаведеного підібрані наступні параметри зразків для випробування. Загальні розміри представлені на рис. 1.

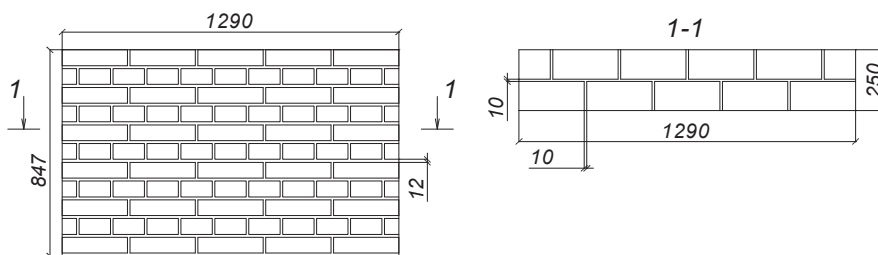


Рис. 1. Загальні розміри зразків для випробувань

Зразки складаються з цегли рядової керамічної повнотілої М100 ( $f_b = 10,0$  МПа) та розчину цементно-піщаного з додаванням вапна М50 ( $f_m = 5,0$  МПа).

**Схема випробувань передбачає** послідовне прикладення вертикальних та горизонтальних сил на зразок за схемою, представленою на рис. 2. Величина вертикальних сил  $V_V$  підібрана в двох варіантах: без утворення похилих тріщин (тільки відповідні додаткові напруження) та з утворенням. В обох випадках прогнозується зниження несучої здатності на дію горизонтальної сили  $V_H$ . Для доведення даного припущення слід провести контрольні випробування для аналогічних зразків на поперечні сили  $V_H$  за дії вертикальних сил  $V_V$  без послаблення основи.

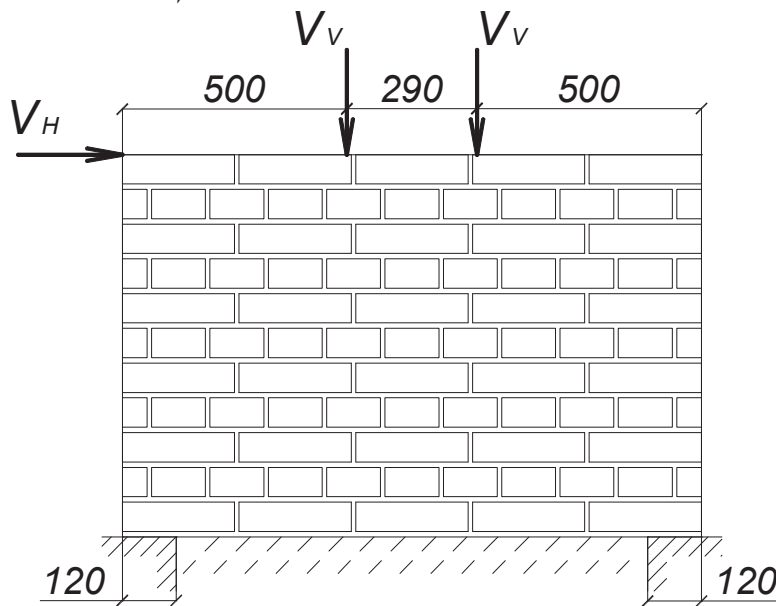


Рис. 2. Схема прикладення сил при випробуваннях

Розроблені наступні послідовності випробувань.

Для варіанту без утворення похилих тріщин:

- 1) створення зразку за наявності опори по всій довжині;
- 2) набір 100% міцності розчином кладки;
- 3) влаштування прольоту з залишенням опор по краях 120 мм (балки-стілки на 2-х шарнірних опорах);
- 4) покрокове привантаження силами  $V_V = 10$  кН: 10 кроків по 1 кН з перервами до 3 хв. (термін перерви фіксується) для зняття показників датчиків (фіксація деформацій діагоналей та прогину в прольоті по етапах прикладення  $V_V$ , контроль утворення тріщин);

5) влаштування опор в прольоті при залишенні дії  $V_V$  для блокування додаткових вертикальних переміщень від повзучості, а також упорів збоку дії сили  $V_H$  для уникнення відриву краю зразка від опори (у подальшому здійснюється контроль величини  $V_V$ ), а також упору в основі для сприйняття сили  $V_H$  в горизонтальному напрямі.

6) дія  $V_H$  до руйнування ( $V_H = V_{Hu}$ ): кроки по 2,5 кН з перервами до 3 хв. (термін перерви фіксується) для зняття показників датчиків (фіксація деформацій діагоналей та горизонтального переміщення верху зразку  $\Delta_H$  по етапах прикладення  $V_H$ ; здійснюється контроль величини  $V_V$ , а також утворення тріщин).

Для варіанту з утворенням похилих тріщин:

1) створення зразку за наявності опори по всій довжині;

2) набір 100% міцності розчином кладки;

3) влаштування прольоту з залишенням опор по краях 120 мм (балки-стілки на 2-х шарнірних опорах);

4) покрокове привантаження силами  $V_V = V_{Vt}$  ( $V_{Vt}$  – момент утворення чітких похилих тріщин): кроки по 1,5 кН з перервами до 3 хв. (термін перерви фіксується) для зняття показників датчиків (фіксація деформацій діагоналей та прогину в прольоті по етапах прикладення  $V_V$ , контроль утворення тріщин);

5) влаштування опор в прольоті при залишенні дії  $V_V$  для блокування додаткових вертикальних переміщень, а також упорів збоку дії сили  $V_H$  для уникнення відриву краю зразка від опори (у подальшому здійснюється контроль величини  $V_V$ ), а також упору в основі для сприйняття сили  $V_H$  в горизонтальному напрямі;

6) дія  $V_H$  до руйнування ( $V_H = V_{Hu}$ ): кроки по 2,5 кН з перервами до 3 хв. (термін перерви фіксується) для зняття показників датчиків (фіксація деформацій діагоналей та горизонтального переміщення верху зразку  $\Delta_H$  по етапах прикладення  $V_H$ ; здійснюється контроль величини  $V_V$ , а також утворення тріщин).

Для контрольних випробувань без послаблень в основі (рис. 3):

повторення 1-ї та 2-ї схем з забезпеченням опор в прольоті на початку (відповідні величини  $V_V$  зберігаються).

1) створення зразку за наявності опори по всій довжині;

2) набір 100% міцності розчином кладки;

3) покрокове привантаження силами  $V_V$ , повністю аналогічно схемам 1 (для схеми 3) та 2 (для схеми 4) (фіксація термінів перерви, деформацій діагоналей по етапах прикладення  $V_V$ , контроль утворення тріщин);

4) дія  $V_H$  до руйнування ( $V_H = V_{Hu}$ ): кроки по 2,5 кН з перервами до 3 хв. (термін перерви фіксується) для зняття показників датчиків (фіксація деформацій діагоналей та горизонтального переміщення верху зразку  $\Delta_H$  по етапах прикладення  $V_H$ ; здійснюється контроль величини  $V_V$ , а також утворення тріщин).

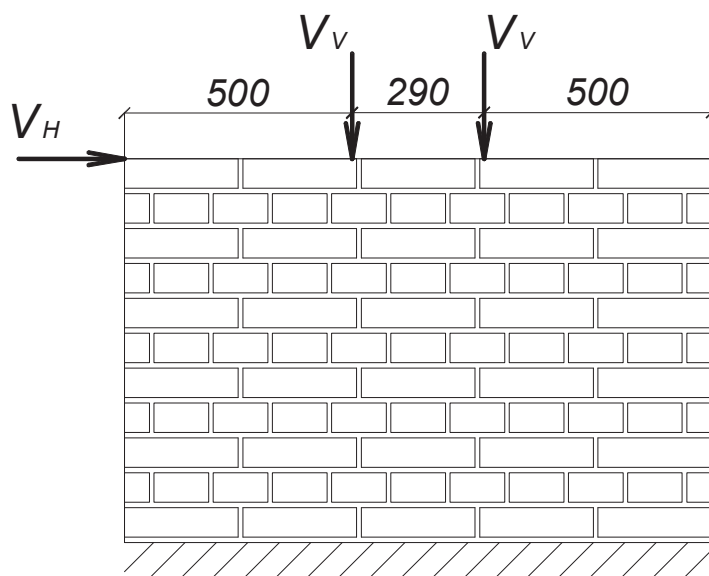


Рис. 3. Схема прикладення сил при випробуваннях без послаблення основи

Обладнання та конструкція випробувального стенду має бути розраховане на наступні максимальні зусилля: руйнуючі поперечні сили  $V_{Hu}$  – до 80 кН, момент утворення тріщини  $V_{Vt}$  – до 36 кН. Загальна схема датчиків – на рис. 4.

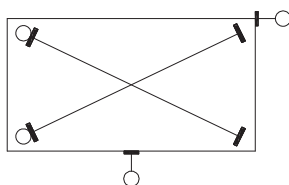


Рис. 4. Загальна схема влаштування датчиків на зразку

Додаткове випробування кладки з метою визначення ступеню зниження міцності кладки на стиск після утворення горизонтальної тріщини має бути проведено на основі ДСТУ Б EN 1052-1:2011 [8]. При цьому для порівняння мають бути випробувані як зразки з наявною тріщиною, так й контрольні без. Підібрано відповідні параметри експериментальних зразків (з врахуванням розмірів цегли 250x120x65 мм), загальна схема яких представлена на рис. 5.

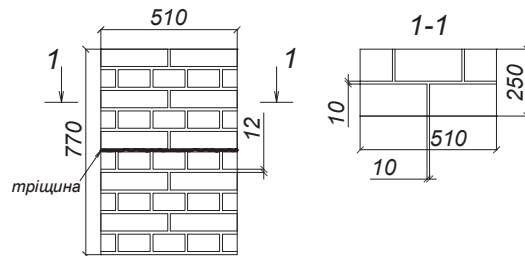
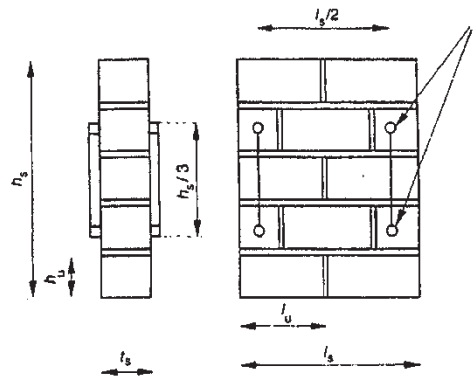


Рис. 5. Загальні розміри зразків для випробувань на стиск за наявності горизонтальної тріщини

Схема розташування датчиків переміщень наведена на рис. 6 ( $l_s/2 = 255$  мм;  $h_s/3 = 255$  мм) [8].



**Позначки:**

1 – вимірювання переміщень

**Key:**

1 – Displacement measurements

Рис. 6. Схема розташування датчиків переміщень на зразках для випробувань на стиск за наявності горизонтальної тріщини

Окремою проблемою є утворення необхідної тріщини шляхом її розкриття від розтягуючих зусиль (найбільш наближено до реальності). Для цього пропонується закласти у середній горизонтальний шов арматурні стрижні  $\varnothing 10$  A400 у кількості 5 шт. з рівномірним кроком 100 мм. Дані стрижні виконують функцію ослаблення шву, а також можуть бути використані для додаткового підклинювання в процесі утворення тріщини. Для утворення тріщини в горизонтальному шві слід передбачити влаштування додаткових поперечних сил для згину у відповідному перерізі або у вертикальному положенні кладки, або утворити тріщину шляхом

навантаження зразку як згинальної балки на 2-х опорах (в останньому варіанті закладення стрижнів арматури може не знадобитися).

Для визначення та врахування фактичної міцності матеріалів мають бути проведені їх контрольні випробування: цегли на згин та стиск (половинки після згину) згідно ДСТУ Б В.2.7-248:2011 [9]; кубів розчину зі стороною 70,7 мм на стиск згідно ДСТУ Б В.2.7-239:2010 [10] для кожного варіанту його міцності (складу).

Таким чином, в статті наведена загальна методика експериментальних досліджень послаблюючого впливу значних вертикальних нерівномірних деформацій основи, відповідних напружень і тріщин на несучу здатність конструкцій з кам'яної кладки. Завданнями даного дослідження визначено наступне: показати факт та ступінь відповідного зменшення несучої здатності кам'яної стінки на дію горизонтальної сили; перевірити теоретичні припущення щодо врахування впливу похилих тріщин по штрабі на несучу здатність кладки при дії горизонтальної сили; на основі моделювання експерименту у розрахункових програмних комплексах перевірити та уточнити методики такого моделювання роботи кам'яної кладки для прикладних розрахунків; виконання додаткового експерименту з оцінки ступіню впливу тріщини в горизонтальному перерізі кладки на її міцність на стиск.

1. Кендзера А.В. О необходимости сейсмического микрорайонирования строительных площадок высотных зданий и ответственных сооружений в низко- и высокосейсмических районах Украины / А.В. Кендзера, В.К. Егупов, О.С. Вербицкая, Ю.В. Семенова, Ю.В. Лесовой, К.В. Егупов, Н.Г. Марьенков, К.Н. Бабик // Будівельні конструкції. – К.: НДІБК, 2015. – Вип. 82. – С. 44-66. 2. Абдурашидов К.С. Натурные исследования колебаний зданий и сооружений и методы их восстановления / К.С. Абдурашидов. – Ташкент: Фан, 1974. – 216 с. 3. Мартемьянов А.И., Ширин В.В. Способы восстановления зданий и сооружений, поврежденных землетрясением. – М.: Стройиздат, 1978. – 204 с. 4. Поляков С.В. Сейсмостойкие конструкции зданий: учеб. пособие для вузов / С. В. Поляков. – М.: Высш. школа, 1983. – 304 с. 5. The influence of vertical mortar joints on the seismic strength of unreinforced brick walls / [Mahmoud R. Maheri, A. R. Rajabi and M. A. Najafgholipour-Haghighi]. // First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology: Int. conf., Switzerland, 3-8 September 2006. – Geneva, 2006. - Paper Number: 28. 7. Копаница Д.Г. Экспериментальные исследования фрагментов кирпичной кладки на действие статической и динамической нагрузки / Д.Г. Копаница, О.В. Кабанцев, Э.С. Усеинов // Вестник ТГАСУ. – Томск: ФГБОУ ВПО ТГАСУ, 2012. – № 4, 2012. – С. 157-178. 8. Методи випробувань кам'яної кладки: ДСТУ Б EN 1052-1:2011. – К.: Мінрегіон України, 2012. – Частина 1: Визначення міцності при стиску. – 15 с. 9. Матеріали стінові. Методи визначення границь міцності при стиску і згині: ДСТУ Б В.2.7-248:2011. – К.: Мінрегіон України, 2012. – 12 с. 10. Розчини будівельні. Методи випробувань: ДСТУ Б В.2.7-239:2010. – К.: Мінрегіон України, 2010. – 34 с.