

## ПОШУК ЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ ПРОТЯЖНИХ КАМ'ЯНИХ БУДІВЕЛЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ

**Охрімчук В.Л.**, аспірантка,  
**Валовой О.І.**, к.т.н., професор,  
*Криворізький національний університет*  
vivo-39@mail.ru

**Анотація.** В статті розглянуті основні способи підсилення кам'яних конструкцій з огляду їх застосування для підвищення сейсмостійкості протяжних кам'яних будівель. Наведені дані натурного обстеження групи досліджуваних будівель, вказано їх характерні пошкодження та дефекти. Виконано аналіз необхідності підсилення окремих елементів та вузлів для забезпечення безаварійної експлуатації протяжних кам'яних будівель в умовах сейсмонебезпечних територій. Результати дослідження прийняті для подальшої роботи над питанням розробки єдиного алгоритму підвищення сейсмостійкості існуючих кам'яних будівель з підвищеною з точки зору сейсмостійкості довжиною, визначенням найбільш ефективних методів підсилення.

**Ключові слова:** протяжна кам'яна будівля, сейсмостійкість, сейснопідсилення.

## ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ПРОТЯЖЕННЫХ КАМЕННЫХ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ

**Охрімчук В.Л.**, аспірантка,  
**Валовой А.И.**, к.т.н., профессор,  
*Криворожский национальный университет*  
vivo-39@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные способы усиления каменных конструкций с учетом их применения для повышения сейсмостойкости протяженных каменных зданий. Приведены данные натурного обследования группы исследуемых зданий, указаны их характерные повреждения и дефекты. Выполнен анализ необходимости усиления отдельных элементов и узлов для обеспечения безаварийной эксплуатации протяженных каменных зданий в условиях сейсмоопасных территорий. Результаты исследования приняты для дальнейшей работы над вопросом разработки единого алгоритма повышения сейсмостойкости существующих каменных зданий с повышенной с точки зрения сейсмостойкости длиной, определением наиболее эффективных методов усиления.

**Ключевые слова:** протяженное каменное здание, сейсмостойкость, сейсмоусиление.

## THE SEARCH FOR EFFECTIVE SOLUTIONS TO IMPROVE SEISMIC RESISTANCE OF LONG MASONRY BUILDINGS WITH APPLICATION OF EXISTING METHODS

**Okhrimchuk V.L.**, post-graduate student,  
**Valovoy A.I.**, PhD, Professor  
*Krivy Rih National University*  
vivo-39@mail.ru

**Abstract.** Over the 9 month of 2016, there have been three strong earthquakes in the world. The growth trend of seismic activity remains, that's why, the problem of buildings seismic resistance improvement, is very important. The territory of Ukraine is also vulnerable to seismic effects. Seismic loading is particularly dangerous for the long and tall buildings. The long masonry building is influenced by negative factors: large length, low-grip of brick with mortar, operational structures failure. The data of the buildings field studies, their characteristic failure and defects are showed in the article. The analysis of the necessity to reinforce the individual elements and components to ensure trouble-free operation of the long masonry buildings in earthquake-prone areas conditions is performed. The article considers the existing methods of masonry structures strengthening: construction of reinforced concrete "shirts" and metal clips, embedding and building out of reinforced concrete frame, reinforcement of polymer composite materials, and installation of anti-seismic belts. The possibility of applying these methods to the long stone buildings is considered in the paper. The results of the study were used for further work on the problem of developing a single algorithm to increase earthquake resistance of existing stone buildings with high length, determining the most effective methods of enhancement.

**Key words:** a long masonry building, seismic resistance, seismic strengthening.

**Вступ.** З початку 2016 року відбулося понад два десятки потужних землетрусів магнітудою від 5,3 до 7,8 балів. Чотири з них виявилися найбільш руйнівними: Тайвань (116 загиблих, 422 поранених), Японія (41 загиблих, більше 2000 поранених), Еквадор (660 загиблих, 51376 поранених), Італія (250 загиблих, 400 поранених). На території сходу України, що вважається несейсмічною також були зафіксовані підземні поштовхи. 7 серпня 2016 року відбувся землетрус з епіцентром в районі міста Маріуполь магнітудою від 4,6 до 4,9 бали [1]. Тенденція до зростання сейсмічної активності в світі зберігається, що вимагає від вчених звернути особливу увагу на питання сейсмостійкості будівель для запобігання руйнуванням і, як наслідок, людським втратам.

**Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій.** Питанню сейсмостійкості будівель присвячені роботи К.В. Єгупова, В.К. Єгупова, Ю.І. Немчинова, О.В. Кендзери, А.Я. Барашикова, Я.М. Айзенберга, І.Л. Корчинського, Ю.Д. Черепинського та ін. Серед останніх досліджень варто відзначити роботи С.Е. Панюкова, Д.О. Хохліна, О.О. Сліпича.

Незважаючи на значні досягнення світових і вітчизняних вчених в області сейсмосахисту будівель і споруд, все ж деякі питання залишаються недостатньо дослідженими і потребують ретельного вивчення. Так, серед існуючих будівель слід виділити протяжні кам'яні будівлі, які в силу своїх конструктивних особливостей можуть зазнати значних руйнувань при дії сейсмічних навантажень.

**Постановка завдання.** Землетруси внаслідок дії високочастотних коливань являють найбільшу небезпеку для висотних і протяжних будівель. Тому одним з принципів сейсмостійкого будівництва є обмеження довжини споруд. Проте значна кількість існуючих будівель має довжину більше 30 м, що вже негативно впливає на їх сейсмостійкість. Щодо протяжних кам'яних будівель, то до фактору довжини додаються також недостатня здатність кладки сприймати зусилля розтягу та вигину, низьке зчеплення розчину з цеглою, порушення монолітності кладки та ін. Високий ризик серйозних руйнувань для даного класу будівель підтверджує актуальність питання підвищення їх сейсмостійкості з метою забезпечення подальшої надійної експлуатації.

**Цілі і завдання.** Метою дослідження є узагальнення і аналіз існуючих способів підвищення сейсмостійкості конструкцій для визначення можливості їх застосування до протяжних кам'яних будівель, створення основи для подальшого пошуку найбільш ефективних рішень і методів.

**Основний матеріал і результати.** В ході дослідження протяжних кам'яних будівель авторами було виконано натурне обстеження понад 30 споруд з підвищеною з огляду сейсмостійкості довжиною. При цьому виділено характерні архітектурно-будівельні особливості, дефекти та пошкодження. Слід зазначити, що переважна більшість протяжних

кам'яних споруд відноситься до забудови 50...70-х років минулого століття. Таким чином, крім дефектів, пов'язаних з відхиленнями від проектної документації, в таких будівлях наявні значні пошкодження, що виникли за тривалий період їх експлуатації.

Протяжні кам'яні будівлі в переважній більшості виконані за жорсткою безкаркасною конструктивною схемою. Довжина будівель або їх відсіків перевищує 30 м (в основному – 55...60 м). Фундаменти стрічкові, виконані зі збірних фундаментних плит та блоків. Стіни – з цегляної кладки, цегла М-75, М-100; розчин – змішаний на цементному в'язучому. Товщина зовнішніх стін складає 510 мм, внутрішніх – 380 та 250 мм. Перекриття – із попередньо напружених залізобетонних круглопорожнистих панелей.

Для більшості будівель характерні наступні недоліки, які визначають необхідність проведення заходів з підвищення сейсмостійкості протяжних кам'яних будівель:

- об'ємно-планувальні рішення не відповідають вимогам діючих норм;
- надмірні розміри відсіків або всієї будівлі;
- недостатньо надійний зв'язок між стінами різних напрямків;
- відсутність або недостатня надійність антисейсмічних поясів;
- недостатньо надійний зв'язок між перекриттями і стінами;
- наявність експлуатаційних пошкоджень конструкцій.

З огляду на конструктивні рішення досліджуваних будівель, необхідним є підсилення наступних несучих конструкцій, елементів і вузлів:

- простінків і стін, в тому числі міжвіконних ділянок стін;
- з'єднання поздовжніх і поперечних стін;
- зв'язків між стінами і перекриттями;
- фронтонів та інших виступаючих ділянок стін;
- сполучення антисейсмічних поясів і перекриттів.

Особливу увагу варто приділити стінам, оскільки їх стан в окремих випадках межує з незадовільним. Для існуючих протяжних кам'яних будівель характерними є пошкодження стін у вигляді відпаданя та тріщин захисного штукатурного шару, наявності ділянок систематичного замокання стін з подальшим розморожуванням та відколами цегли, руйнування цегляної кладки стін на окремих ділянках, тріщин цегли стін, наскрізних тріщин та пошкоджень внутрішніх стін і перегородок. Перелічені пошкодження негативно впливають на сейсмостійкість конструкцій, тому потребують вжиття заходів щодо їх усунення.

На сьогоднішній день розроблені методи підвищення сейсмостійкості кам'яних будівель, які можуть бути запропоновані до застосування для споруд підвищеної довжини.

Одним з таких способів є підсилення стін і простінків двосторонніми залізобетонними «сорочками» (рис. 1). З двох боків стіни влаштовують шар бетону однакової або різної товщини (призначають за розрахунком, але не менше 50 мм). Для армування використовують арматурну сітку, яку закріплюють на стінах наскрізними бовтами. Додатково сітки закріплюють анкерами. На віконних простінках «сорочки» влаштовують з обох боків [2].

Для влаштування залізобетонних «сорочок» традиційно застосовується важкий бетон. В той же час ведеться робота з визначення можливості застосування в якості підсилюючих шарів легких бетонів. Застосування легких бетонів при сейсмopідсиленні існуючих будівель дозволить значною мірою підвищити теплотехнічні характеристики конструкцій, що підсилюються. З метою виявлення ступеня кількісного впливу сейсмopідсилення з використанням легких бетонів в лабораторії Томського державного архітектурно-будівельного університету були проведені експериментальні дослідження фрагментів кам'яної кладки на дію статичного і динамічного навантаження. Результати показали, що застосування полістиролбетону дозволяє підвищити несучу здатність фрагментів кладки від 27 до 40% в залежності від щільності підсилюючого шару. Характер деформування посиленних зразків за рахунок включення в роботу підсилюючого шару набуває пружно-пластичний характер [3].

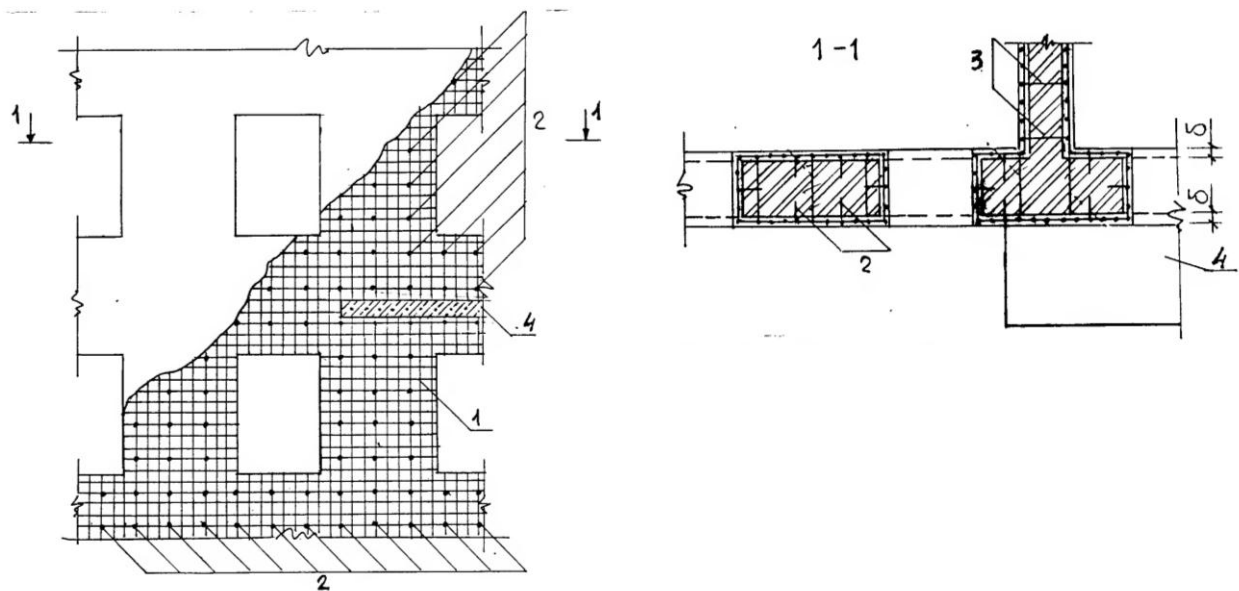


Рис. 1. Підсилення стін суцільними двосторонніми залізобетонними «сорочками»: 1 – сітка за розрахунком; 2 – анкери; 3 – наскрізні з'єднувальні стрижні; 4 – балкон

Такий спосіб підсилення для протяжних кам'яних будівель дозволяє відновити і підвищити несучу здатність стінових конструкцій, забезпечує перерозподіл зусиль розтягу. Ефективним рішенням для простінків є підсилення металевими обоймами (рис. 2).

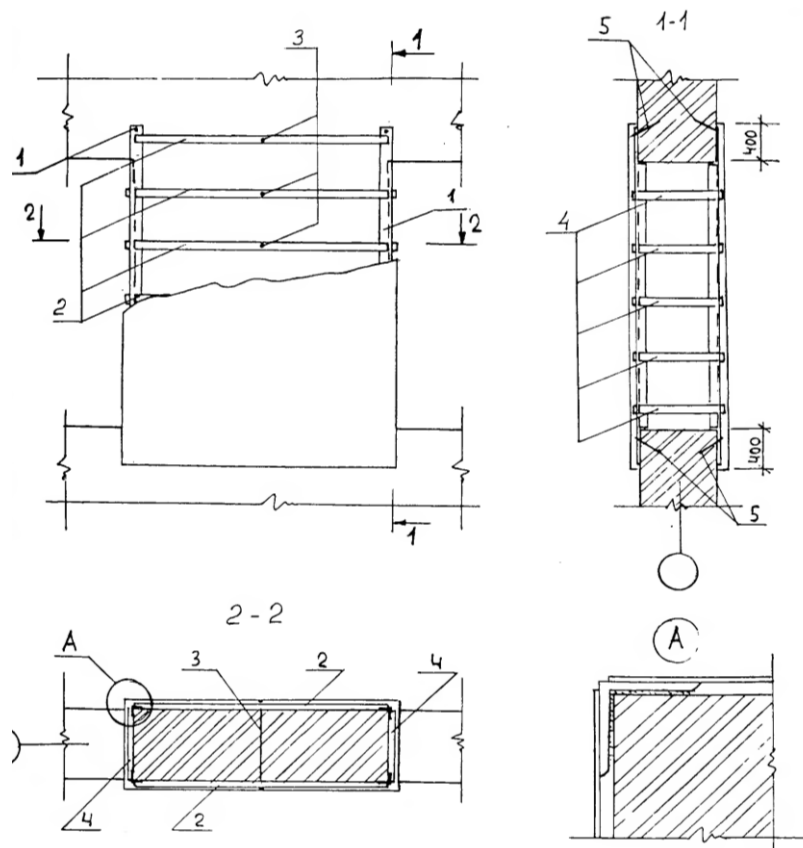


Рис. 2. Підсилення простінків металевими обоймами: 1 – кутник; 2 – полоса; 3 – стяжні бовти; 4 – полоса; 5 – анкери

Обойми виконують з кутників, які встановлюють на кутах простінка і зв'язують між собою пластинами в обох напрямках. По ширині простінка пластили з'єднують між собою через кладку бовтами [2].

Одним з ефективних рішень з підвищення сейсмостійкості кам'яних будівель може бути їх реконструкція з використанням прибудови та вбудови повноцінного рамного або рамно-в'язевого залізобетонного каркасу (з заведенням його елементів у фундаменти). Така реконструкція передбачає прибудову по фасадах плоских залізобетонних рам (бажано з в'язями) та вбудова додаткових каркасних і в'язевих елементів в межах сходової клітини (рис. 3). При цьому конструкції додаткової конструктивної системи поєднуються з існуючими стінами в першу чергу на рівнях перекриття та покриття [4].

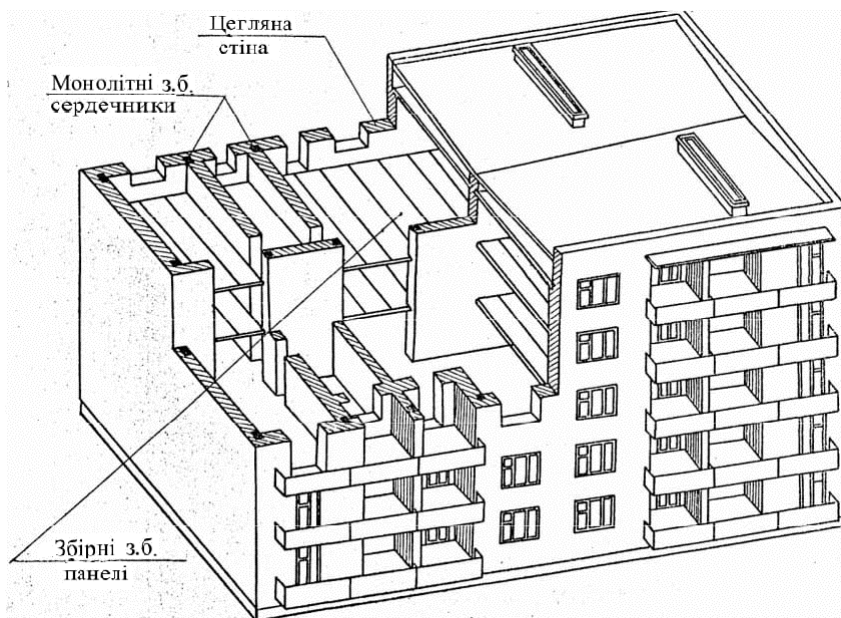


Рис. 3 Аксонометрична схема конструкцій типової подвійної блок-секції 5-поверхового житлового будинку серії № 67-04с

Хоча довжина типової секції будинку серії №67-04с не перевищує 30 м, такий спосіб підсилення може бути ефективно застосований до протяжної кам'яної будівлі. Подібне рішення дозволить зменшити негативний вплив підвищеної довжини за рахунок поєднання всіх елементів споруди в одну замкнену систему.

Як один з прогресивних, можливо виділити напрямок використання для підсилення сучасних композитних матеріалів (рис. 4).

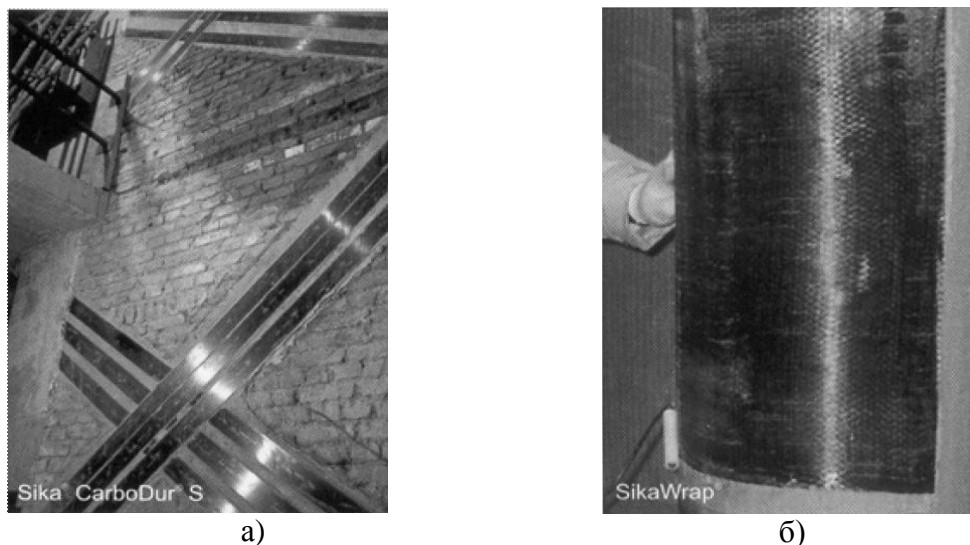


Рис. 4. Підсилення конструкцій композитними матеріалами:  
а – стрічки; б – полотна

При порівнянні властивостей металевих та, наприклад, вуглецевих (більш уживаних) композитних елементів підсилення останні мають суттєві переваги: значно менше відношення власної ваги до міцності, майже повна корозостійкість, відсутність обмежень по довжині, спрощений, більш дешевий і швидкий монтаж, більша втомна міцність. Недоліками можна вважати роботу тільки на розтяг, розподіл навантаження тільки уздовж волокон, необхідність термічного захисту та більшу вартість матеріалу. Можливі різні варіанти нанесення стрічок залежно від розмірів, форми та передбаченого напружено-деформованого стану стін або простінків (перехресне діагональне та (або) вертикально-горизонтальне, спіральне, комбіноване), полотна, в свою чергу, наклеюють по всій площині конструкції, що підсилюється [5].

В окремих досліджуваних будівлях не виконані передбачені проектом заходи сейсдобезпеки у вигляді антисейсмічних поясів, тому доцільним в таких будівлях є їх влаштування. Антисейсмічні пояси влаштовують у збірному або монолітному виконанні. При збірному варіанті з двох боків стіни монтують балочні елементи, які закріплюють на стінах анкерами і з'єднують між собою зваркою. Монолітні пояси складаються з двох елементів з внутрішньої і зовнішньої сторони стіни, поєднаних за допомогою пропущених через отвори в кладці стрижнями арматури. Пояси армують просторовими каркасами [2].

**Висновки.** Незважаючи на високий рівень сучасної науки і техніки, значні здобутки в області сейсмології, на сьогоднішній день не існує методу достеменного визначення місця і сили землетрусу. Тому єдиним дієвим інструментом запобігання руйнуванням і людським втратам залишається забезпечення сейсмостійкості будівель і споруд. В умовах зростання сейсмічної активності, коли підземні поштовхи фіксують на територіях, що раніше вважалися несейсмічними, особливої уваги потребують існуючі споруди, які можуть становити групу ризику. Враховуючи ряд чинників, які негативно впливають на сейсмостійкість протяжних кам'яних будівель, можна зробити висновок, що вони будуть особливо вразливі до сейсмічних впливів. Наукова новизна даної роботи полягає в узагальненні існуючих методів підвищення сейсмостійкості конструкцій із каменю та розробці питання сейсмостійкості протяжних кам'яних споруд, яке не знайшло відображення у чинних будівельних нормах. Різноманіття існуючих методів підсилення кам'яних будівель породжує проблему ефективності їх застосування, тому метою подальшої роботи над проблемою є дослідження напружено-деформованого стану протяжних кам'яних будівель, аналіз впливу підсилення на роботу конструкцій під дією сейсмічних навантажень та визначення найбільш ефективних способів підвищення сейсмостійкості для досліджуваного класу споруд.

## Література

1. GeoCenter.info: Информационно-аналитический портал – Режим доступа: <http://geocenter.info/new/na-vostoke-ukrainy-proizoshlo-zemletrjasenie-7-avgusta-2016>
2. Повышение сейсмостойкости зданий: Серия 0.00-2.96с. – М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, 1988. – Выпуск 0-1. – 82 с.
3. Усеинов Э.С. Сейсмоусиление зданий с несущими конструкциями из каменной кладки с применением полистиролбетона / Э.С. Усеинов // Материалы VII Международной конференции студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». – 2010. – С. 681-683.
4. Хохлін Д.О. Реконструкція кам'яних будівель в умовах сейсмонезбезпеки з використанням прибудови та вбудови залізобетонного каркасу / Д.О. Хохлін // Комунальне господарство міст. Науково-технічний збірник, 2013. – №110. – С. 17-22.
5. Хохлін Д.О. Підвищення ефективності підсилення будівельних конструкцій і споруд в умовах сейсмічних впливів за наявності чинників значних нерівномірних деформацій основи / Д.О. Хохлін // Комунальне господарство міст. Науково-технічний збірник, 2013. – №107. – С. 38-47.

Стаття надійшла 26.09.2016