

**МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ
ПОШКОДЖЕНИХ КАМ'ЯНИХ СТОВПІВ**

Гриньова І.І., аспірант,
Одеська державна академія будівництва та архітектури
irene.grinyova@gmail.com

Анотація. У статті представлені результати експериментального дослідження напружено-деформованого стану пошкоджених кам'яних стовпів. Розглянута загальна методика дослідження і методи вирішення окремих завдань. Представлені способи випробування на міцність окремих елементів цегляної кладки: цегли і цементно-піщаного розчину. Показана технологія виготовлення і випробування на позацентровий стиск кам'яних стовпів різного перерізу. Представлена матриця проведеного випробування із зазначенням рівнів та факторів, що варіюються: глибина пошкодження елементів, ексцентриситет прикладання навантаження і кут нахилу фронту пошкодження по одній з головних осей перерізу. У результаті проведення експерименту виявлено найбільш несприятливий фактор, який впливає на несучу здатність. Розраховано і проведено аналіз запасу міцності, на підставі дослідження використаних матеріалів, який не враховують при розрахунку несучої здатності пошкодженого кам'яного стовпа.

Ключові слова: методика проведення експерименту, напружено-деформований стан, пошкоджені кам'яні стовпи.

**МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ПОВРЕЖДЕННЫХ КАМЕННЫХ СТОЛБОВ**

Гринева И.И., аспірант,
Одесская государственная академия строительства и архитектуры
irene.grinyova@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния поврежденных каменных столбов. Рассмотрена общая методика исследования и методы решения отдельных задач. Представлены способы испытания на прочность отдельных элементов кирпичной кладки: кирпичей и цементно-песчаного раствора. Показаны методы изготовления и испытания на внецентренное сжатие каменных столбов разного сечения. Представлена матрица проведенного испытания с указанием уровней варьируемых факторов: глубина повреждения элементов, эксцентриситет приложения нагрузки и угол наклона фронта повреждения по одной из главных осей сечения. В результате проведения эксперимента выявлено наиболее неблагоприятный фактор, влияющий на несущую способность. Рассчитан и проведен анализ запаса прочности, на основании исследования используемых материалов, который не учитывают при расчете несущей способности поврежденного каменного столба.

Ключевые слова: методика проведения эксперимента, напряженно-деформированное состояние, поврежденные каменные столбы.

METHODS OF EXPERIMENTAL STUDY OF STRESS-STRAIN STATE DAMAGED STONE PILLAR

Hrynova I.I., postgraduate,
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture
irene.grinyova@gmail.com

Abstract. The article presents experimental studies of the stress-strain state of damaged stone pillars, which were carried out by the authors. The general research methodology and methods for solving individual problems are considered. The presented methods of testing the strength of individual elements of masonry: bricks and cement-sand mortar. Methods of manufacturing and testing for eccentric compression of stone columns of different sections are shown. The presented matrix of the test, indicating the levels of factors, varies: the depth of damage to the elements, the eccentricity of the load application, and the angle of inclination of the front of the fault along one of the main axes of the section. The experiment revealed the most unfavorable factor affecting the bearing capacity. The strength reserve is calculated and analyzed based on a study of the materials used, which is not taken into account when calculating the bearing capacity of a damaged stone column.

Keywords: methods of experimental study, stress-strain state, damaged stone pillars.

Вступ. Необхідність оцінювання залишкової несучої здатності і надійності елементів кам'яних конструкцій останнім часом інтенсивно зростає у зв'язку з тим, що вік значної частини будівель і споруд, побудованих 50 і більше років тому, наближається до нормативного терміну служби.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Чинний ДБН В.2.6-162:2010 пропонує розраховувати пошкоджені кам'яні елементи з урахуванням нелінійності деформування. Такий метод є найбільш точним, оскільки відповідає реальній фізичній моделі роботи кладки, як неоднорідного матеріалу. Більшість наукових досліджень з вивчення позацентровостиснутих елементів присвячені розгляду таких питань, як визначення несучої здатності і міцності елементів [1, 2], впливу різних факторів, таких як вид перев'язки швів, корозія [3], форма перерізу, гнучкість елементів [4, 5], армування, різних режимів навантажень [6, 7] тощо на характеристики міцності кам'яних конструкцій. У статтях Клименко Є.В. [8-10] підкреслюється, що в даний час визначення та прогнозування технічного стану будівельних конструкцій та споруд проводиться на інтуїтивному рівні та потребує більш детального вивчення.

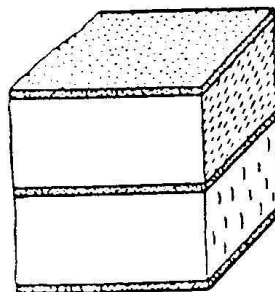
Мета та завдання. Встановити вплив різних значущих факторів на залишкову несучу здатність позацентрово-стиснутих пошкоджених кам'яних стовпів прямокутного перерізу на основі вивчення їх напружено-деформованого стану.

Для реалізації поставлених завдань досліджень, в якості базового об'єкта дослідження, була розроблена модель кам'яного стовпа. Для виготовлення зразків використовувалася цегла керамічна рядова повнотіла з маркою за міцністю 100 та маркою за морозостійкістю F-100 Татарбунарського цегельного заводу. Розчин виготовляли з цементу ПЦ – П – Б – Ш – 400 Одеського цементного заводу і піску з модулем крупності – 1,4. Для визначення характеристик міцності цегли були відібрані зразки з партії, що призначались для виготовлення конструкції, а саме, 10 цеглин марки М 100 для визначення границі міцності на стиск; та 5 цеглин для визначення границі міцності на згин.

Дослідження проводились у лабораторії випробувань будівельних матеріалів і виробів Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Випробування на стиск проводилось на зразках з двох цілих цеглин (рис. 1). Зразки виготовлялись у наступній послідовності. Розчин готувався з рівних за масою частин цементу марки 400 та піску, просіяного через сито з сіткою №1,25 (В/Ц=0,4...0,42). Цеглини повністю занурювали у воду на 1 хвилину. На горизонтально встановлену пластину клали

лист картону, поверхню вкривали розчином та одну цеглину, нову поверхню теж вкривали розчином та зверху клали другу цеглину та перекривали останнім шаром розчину. Шари розчину вирівнювалися на скляній поверхні. Надлишок розчину видаляли. Зразки маркувались крейдою, вказуючи дату виготовлення. Експериментальні дослідження виконувались на машині типу П-125 (ГОСТ 8905-58) (рис.1).



а)

б)

Рис. 1. Випробування на стиск:
а – руйнування зразків; б – схематичний вигляд

Зразки вимірювали з похибкою до 1 мм. Кожен лінійний розмір зразка обчислюють як середнє арифметичне значення результатів замірів двох середніх ліній протилежних поверхонь зразка. Перед початком випробувань на бокові поверхні зразка наносили вертикальні осьові лінії. Зразок встановлювали у центрі плити пресу, суміщаючи геометричні осі зразка та плити, та притискали верхньою плитою пресу, залишаючи невеликий зазор. Навантаження на зразок зростало безперервно і рівномірно з постійною швидкістю, що забезпечувало його руйнування за 20...60 секунд після початку випробувань. Марку цегли визначали відповідно до вимог ДСТУ Б В. 2.7. – 61 – 97 (табл. 1).

Таблиця 1 – Характеристики міцності цегли

Вид цегли	Границя міцності на стиск, МПа			Границя міцності на згин, МПа			Марка цегли
	сер.	мін.	макс.	сер.	мін.	макс.	
Керамічна рядова повнотіла з маркою морозостійкості F-100 Татарбунарського цегляного заводу	6,79	4,29	10,73	1,2	0,7	1,4	100

Розчин виготовляли з цементу ПЦ – П – Б – Ш – 400 Одеського заводу та піску з модулем крупності – 1,4 Вознесенського кар'єру Миколаївської області. Визначення характеристик міцності розчину проводили відповідно до вимог ДСТУ Б В. 2.7–23–95 та ГОСТ 5802-86. Із кожного замісу розчину, що призначався для виготовлення зразків, виготовлялися по 3 куби з довжиною ребра $70,7 \pm 0,7$ мм.

Випробування кубів з розчину виконувалось на пресі типу 2ПГ-10 з п'ятитонною шкалою. При дослідженні кубів навантаження збільшувалось ступенями із постійною швидкістю $0.6 \pm 0,4$ МПа в секунду до руйнівного. Після руйнування куб мав вигляд двох усічених пірамід, зімкнених меншими основами.

Обчислюємо розрахунковий опір за формулою:

$$R = F_{max} / A, \quad (1)$$

де F_{max} – руйнуюче навантаження, МН;

A – середня площа перерізу зразків, m^2 .

Остаточно приймаємо марку розчину М50 з розрахунковим опором $R=8,2$ МПа.

Для оцінки несучої здатності стовпа, що отримав пошкодження, прийнято три фактори: глибина пошкодження a , кут нахилу фронту пошкодження щодо однієї з головних осей перерізів θ і ексцентриситет e_0 / h .

Глибина і кут визначають величину і форму ушкодження, в той час як ексцентриситет – характер прикладеного навантаження. На основі даних обстежень будівель і споруд фронт пошкодження прийнятий прямолінійним, як найпоширеніший. Змодельоване пошкодження маємо в середній третині колони (рис. 2).

Таблиця 2 – Характеристика міцності розчину

Довжина	Ширина	Висота	Площа	Щільність	Руйнівне навантаження	Гранична міцність	Середня межа міцності	Об'єм	Вага
см	см	см	см ²	кг/м ³	кН	МПа	МПа	см ³	г
7,1	7	6,9	49,7	1823	40,1	7,9		342,9	625
6,9	7,1	7	49,0	1823	38,6	7,7	7,8	342,9	625
6,9	7	7	48,3	1849	38,2	7,8		338,1	625
6,9	7	7	48,3	1849	38,2	7,8		338,1	625
7	7,1	7	49,7	1796	39,2	7,7	7,8	347,9	625
6,9	7	7,1	48,3	1837	39,2	8,0		342,9	630

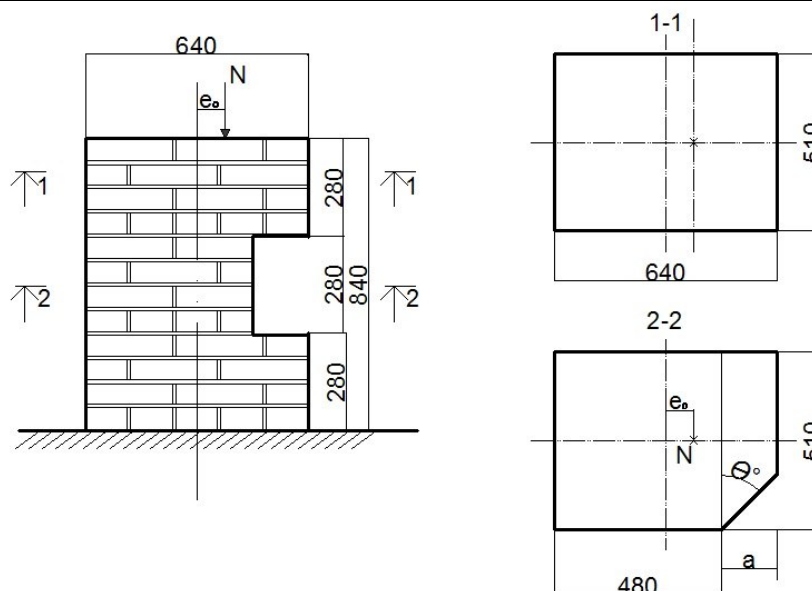


Рис. 2. Схема моделювання ушкоджень зразка-стовпа

Випробування зразків цегляних стовпів проводилось дією статичного короткотривалого навантаження до руйнування, що дозволило спостерігати усі стадії їх роботи. Перед початком випробувань для направленої їх проведення були виконані теоретичні розрахунки з визначення зусиль та навантажень, що відповідають моменту

утворення тріщин та руйнуванню. Випробування стовпчиків на короточасну дію стискаючого навантаження проводилось на 500-тонному гідравлічному пресі типу 2ПГ-500 №37 (м. Армавір), шкала на 200 тс, ціна поділки 666 кгс. Транспортування і встановлення на нижню плиту преса експериментальних зразків виконувалось кран-балкою. Зразки, що досліджувались, розміщували в пресі симетрично відносно осей шарнірів та центрувались і піддавались рівномірному тиску плити дослідної установки.

Для вимірювання деформацій цегляної кладки використовували індикатори годинникового типу ИЧ-10 із ціною поділки 0,01 мм.

Випробування зразків починали з контрольного навантаження зусиллям рівним 1/6 від руйнуючого. При контрольному завантаженні пристрої, встановлені на протилежних гранях зразка симетрично відносно його площини, повинні показувати однакові деформації. В протилежному випадку зразок розвантажували, переміщали його у потрібному напрямку та знову проводили контрольне навантаження. Результати відліків індикаторів не відрізнялись один від одного більш ніж на 15%. При досягненні однакових показань симетричних пристроїв скидання навантаження проводилось не до нуля, а приблизно до 100 кгс для забезпечення контактів траверс пресу зі зразком. Навантаження прикладалося ступенями по 1/10...1/16 від очікуваного руйнівного зусилля з витримкою 5-6 хвилин на кожному рівні навантаження. Швидкість зростання напружень (6...4) кгс/см² в секунду.

До і після витримки відліки за приладами записували на кожному рівні навантаження. У журналі спостережень фіксувались моменти появи тріщин, їх розкриття, характер руйнування зразка; виконувались відповідні замальовки.

За критерій руйнування стінки приймали нездатність дослідного зразка сприймати зростаюче навантаження.

Визначення міцності цегляної кладки, яка була використана у зразках за короточасного завантаження теоретично можливо визначити за формулою Л.І. Оніщика:

$$R_u = AR_1 \left(1 - \frac{a}{b + R_2/2R_1} \right) \gamma, \quad (2)$$

R_1 – міцність цегли на стиск;

R_2 – міцність розчину (кубова міцність);

A – коефіцієнт, що характеризує максимально можливу міцність кладки і визначається за формулою:

$$A = \frac{100 + R_1}{100m + nR_1} = 0,735 \quad (3)$$

$$R_u^{\text{теор}} = 0,735 \cdot 6,79 \cdot \left[1 - \frac{0,2}{0,3 + \frac{7,8}{2} \cdot 6,79} \right] = 3,849 \text{ МПа}$$

$$R_u^{\text{практ}} = 7,0 \text{ МПа}$$

Якщо порівняти в відсотковому відношенні різницю між теоретичним значенням, визначеним за формулою Л.І. Оніщика, та практично-експериментальним значенням, то ця різниця буде запасом міцності. Саме цю різницю не включають у розрахунок при обчислюванні залишкової міцності пошкоджених кам'яних стовпів.

$$\frac{|R_u^{\text{практ}} - R_u^{\text{теор}}|}{R_u^{\text{практ}}} \cdot 100\% = \frac{|7,0 - 3,849|}{7,0} \cdot 100\% = 45\% \quad (4)$$

Номенклатура зразків прийнята згідно комбінації вхідних параметрів. Фізичні величини варіюваних факторів систематизовані у таблиці 3.

Висновки. Найбільший вплив на залишкову несучу здатність має неврахування запасу міцності, який заздалегідь закладається при проектуванні. Згідно з практичних випробувань найбільш небезпечний вид пошкодження, який має вплив на несучу здатність є глибина пошкоджень та кут нахилу пошкоджень.

Таблиця 3 – Зведені дані руйнівних навантажень в залежності від пошкодження

Марка	Ескіз	R_u	Марка	Ескіз	R_u
1	2	3	4	5	6
C-1-1-1		70,035	C-1-1-1		2
C00-1		45,356	C1-1-1		70,035
C11-1		45,356	C-100		34
C0-10		76,71	C000		46,69
C010		44,689	C100		30,682
C-1-1-1		56,695	C-111		1,334
C001		46,023	C1-1-1		56,695
C111		9,338			

Література

1. Костенко А.Н. Прочность и деформативность центрально и внецентренно сжатых кирпичных железобетонных колонн, усиленных угле- и стекловолокном: автореф. дис на соискание научной степени канд. техн. наук: спец. 05.23.01 “Строительные конструкции, здания и сооружения” / А.Н. Костенко. – Москва, 2010. – 29 с.
2. Бубис А.А. Оценка возможности применение кладки стен из керамических изделий завода “Славянский кирпич” в сейсмических районах Российской Федерации, ОАО “Славянский кирпич” / А.А. Бубис, Славянск-на-Кубани, 2012. – 5 с.
3. Шааршмидт Урзула Несущая способность элементов кирпичной кладки при коррозии: автореф. дис на соискание научной степени канд. техн. наук: спец. 05.23.01 “Строительные конструкции, здания и сооружения” / Урзула Шааршмидт. – Санкт-Петербург, 2002. – 15 с.
4. Баклушев Е.В. Влияние гибкости и эксцентриситета приложения нагрузки на надежность внецентренно сжатых элементов / Е.В. Баклушев // Бетон и железобетон. – 1992. – №4. – С. 16-17.
5. Гвоздев А.А. К вопросу о несущей способности гибких внецентренно сжатых стержней / А.А. Гвоздев, Е.А. Чистяков // Бетон и железобетон. – 1981. – №4. – С. 45.
6. Руденко В.В. Работа внецентренно-сжатых элементов / В.В. Руденко // Бетон и железобетон. – 1981. – №10. – С. 5-6.
7. Клименко Є.В. Стадії роботи та технічний стан кам'яних конструкцій: зб. ”Галузеве машинобудування, будівництво” / Є.В. Клименко. – Полтава: ПДТУ ім. Юрія Кондратюка, 2002. – Вип.8. – С.42 – 44.
8. Клименко Є.В. Експериментальні дослідження кам'яної кладки при її місцевому стиску: зб. ”Галузеве машинобудування, будівництво”/ Є.В. Клименко, С.Л. Шаповал. – Полтава: ПДТУ ім. Юрія Кондратюка, 2001. – Вип.7. – С. 58 – 64.
9. Клименко Є.В. Робота цегляної кладки при її місцевому стиску / Є.В. Клименко, С.Л. Шаповал: матеріали міжнар. конф. // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2003. – Вип. 23. – С. 136-139.
10. Клименко Є.В. Оцінювання технічного стану кам'яних будівель та споруд / Є.В. Клименко, С.А. Шепітько // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. – Днепропетровск: Приднепров. гос. акад. стр-ва и архитектуры, 2003. – Вып.25. – С. 141 – 145.

Стаття надійшла 26.06.2017