

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА МІСЦЕВИЙ СТИСК ЗА РІЗНИМИ НОРМАМИ

Мішуренко К.С., студент КПЦБ 503-м. Керівники: Клименко Є.В.,
д-р техн. наук, проф., Чернєва О.С., к.т.н., доц.

У статті представлені результати чисельних розрахунків кам'яних конструкцій на місцевий стиск за різними нормами (вітчизняними та закордонними) та їх порівняння з експериментальними даними.

Нині в Україні спостерігається стійка тенденція до збільшення використання цегли в будівництві, що зумовлено багатьма цінними властивостями кам'яних конструкцій. У практиці будівництва досить широко розповсюджені конструкції із цегли та їх елементи, які зазнають дії місцевого стискування (зминання). Одним із резервів зниження матеріалоємності, енергоємності, трудовитрат і вартості вищезазначених елементів є удосконалення методів їх розрахунку.

Існуючий в нинішній час емпіричний підхід [1, 2, 3] до отримання залежностей для розрахунку міцності при складних напружено-деформованих станах (НДС) не завжди дозволяє виявити усі фактори, які впливають на міцність цегляних конструкцій при місцевому стискуванні. Отримані таким чином формули не є універсальними, бо розроблені на підставі обмежених експериментальних даних для окремих (до того ж недостатньо класифікованих) варіантів місцевого зминання.

Закордонні дослідники [3, 4, 5] не мають розробленої в достатній мірі теорії міцності кам'яної кладки навіть в умовах одноосного напруженого стану.

На основі сказаного вище можна зробити висновок, що задача розрахунку міцності кам'яної кладки при плоскому напруженому стані за вітчизняними та закордонними нормами, їх порівняння між собою, а також з експериментальними даними [7] є актуальною.

Метою роботи є аналіз відмінностей у розрахунку міцності цегляної кладки на місцевий стиск за вітчизняними та закордонними нормами.

Авторами даної статті був здійснений огляд літературних джерел, у яких викладені теоретичні й експериментальні дослідження роботи

кам'яної кладки при місцевому прикладанні навантаження [8,9,10,11....].

Нижче наведені розрахункові формули для отримання міцності кладки при місцевому прикладанні навантаження за цими нормами.

СНиП II-22-81 [8]

$$N_c \leq \varphi d R_c A_c \quad (1)$$

де R_c – розрахунковий опір кладки на зминання;

A_c – площа зминання, на яку передається навантаження;

φ – коефіцієнт повноти епюри тиску від місцевого навантаження;

d – 1,5...0,5

ДБН 2.6-162:2010 [9]

$$N_{edc} \leq N_{rdc} \quad (2)$$

де N_{edc} – локальне навантаження;

N_{rdc} – розрахункове значення міцності стіни:

$$N_{rdc} = \beta A_b f_d \quad (3)$$

де β – підвищувальний коефіцієнт збільшення при навантаженнях на частину поверхні.

$$\beta = \left(1 + 0,3 \frac{a_1}{h_c}\right) \cdot \left(1,5 - 1,1 \frac{A_b}{A_{ef}}\right) \quad (4)$$

де $1,0 \leq \beta \leq 1,5$ застосовують менше значення;

a_1 – відстань від краю стіни до найближчого краю навантаженої поверхні (рис. 1);

h_c – висота стіни до площини програми навантаження;

A_b – площа стіни, на яку передається навантаження;

A_{ef} – ефективна площа поперечного перерізу опори (вводиться в розрахунок), в цілому

$$A_{ef} = l_{efm} t \quad (5)$$

l_{efm} – ефективна довжина площі розподілу навантаження під опорою, яка вимірюється в основі трапеції на половині висоти стіни або пілястри (рис. 1);

t – товщина стіни з врахуванням не повністю заповнених швів

глибиною більше ніж 5 мм;

A – застосовують не більше ніж 0,45.

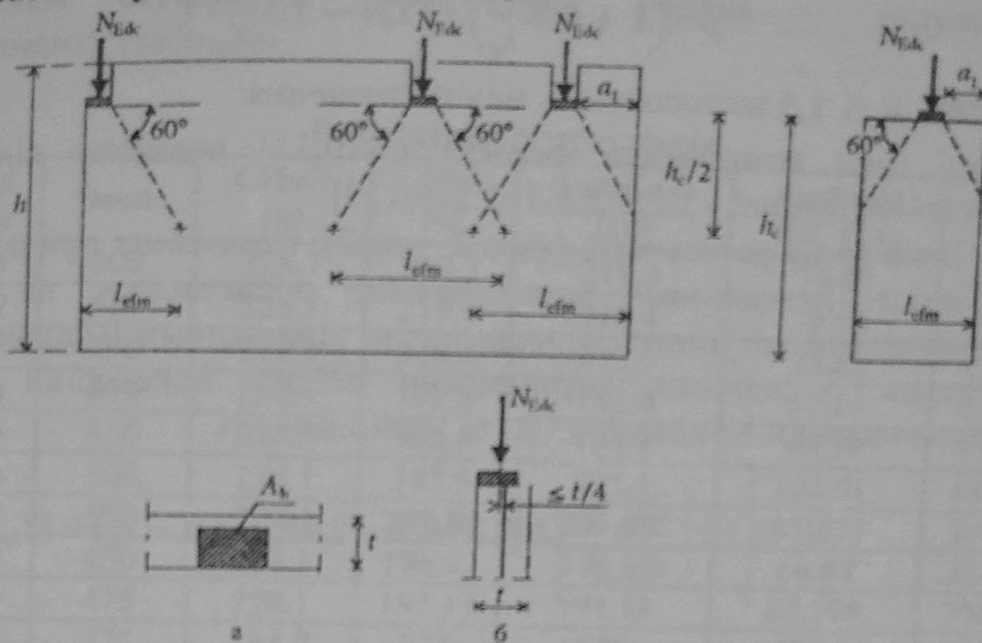


Рис. 1. До розрахунку за ДБН 2.6-162:2010.

Австралійські норми. Design of Clay Masonry for Compression. Australia's clay brick and paver manufacturers. Building EB. [10]

$$F_d = k_b \cdot F_0 \quad (6)$$

$$k_b = 0,55 \frac{(1 + 0,5 \frac{a_1}{L})}{(\frac{A_{ds}}{A_{de}})^{0,33}}, \quad (7)$$

де a_1 – відстань від площі несучої з кінця стіни;

L – довжина стіни;

A_{ds} – площа навантаження;

A_{de} – площа розсіювання в середині висоти.

$$F_0 = \Phi \cdot f_m^I \cdot A_b, \quad (8)$$

де F_0 – базова міцність на стиск;

Φ – коефіцієнт, що дорівнює 0,45.

СТБ EN 1996-1-1-2008 Єврокод 6. Проектування кам'яних конструкцій [11]

$$N_{edk} \leq N_{rdk} \quad (9)$$

де N_{edk} – локальне навантаження;

N_{rdk} – розрахункове значення міцності стіни

$$N_{Rdk} = \beta A_b f_d \quad (10)$$

де β – підвищувальний коефіцієнт збільшення при навантаженнях на частину поверхні

$$\beta = \left(1 + 0,3 \frac{a_1}{h_c}\right) \cdot \left(1,5 - 1,1 \frac{A_b}{A_{ef}}\right) \quad (11)$$

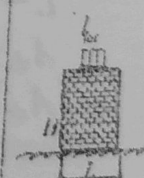
де $1,0 \leq \beta \leq 1,5$ застосовують менше значення;

усі інші компоненти формул (9,10,11) повністю відповідають наведеним раніше у ДБН 2.6-162:2010 [9].

Порівняння результатів (табл.2, рис.2), отриманих при розрахунках за вище наведеними нормативами, проводилось не тільки з результатами натурних експериментів, виконаними Шаповал С.Л. [7], а також з даними, отриманими згідно інженерної методики, запропонованої Клименко Є.В. та Шаповал С.Л.

$$N_1 = \left[1 + \left(\frac{2x_1}{l_{loc}}\right)^2\right] b \left[0,85R_1 L + 0,9R_{sq} (2H - x_1) + Rl_{loc}\right]. \quad (12)$$

Таблиця 1
Характеристика експериментальних цегляних стінок

| № з/п | Шифр зразка | Розміри зразка, м | | | l_{loc} , м | A_{loc} , м ² | $\frac{L}{H}$ | $\frac{l_{loc}}{L}$ | $\frac{l_{loc}}{H}$ | $\frac{l_{loc}}{b}$ | Розрахунковий опір кладки, МПа | Марка розчину | Марка цегли | Схема завантаження |
|-------|-------------|-------------------|------------|-----------|---------------|----------------------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|---------------|-------------|---|
| | | ширина, b | довжина, L | висота, H | | | | | | | | | | |
| 1 | С1.3-1 | 0,25 | 1,03 | 1,3 | 0,25 | 0,063 | 0,79 | 0,24 | 0,19 | 1,0 | 2,53 | 25 | 100 |  |
| 2 | С1.3-2 | 0,25 | 1,03 | 1,295 | 0,25 | 0,063 | 0,79 | 0,24 | 0,19 | 1,0 | | | | |
| 3 | С1.3-3 | 0,25 | 1,03 | 1,295 | 0,25 | 0,063 | 0,79 | 0,24 | 0,19 | 1,0 | | | | |
| 4 | С1.3-4 | 0,25 | 0,64 | 1,30 | 0,25 | 0,063 | 0,49 | 0,39 | 0,19 | 1,0 | | | | |
| 5 | С1.3-5 | 0,25 | 0,25 | 1,295 | 0,25 | 0,063 | 0,19 | 1,0 | 0,19 | 1,0 | | | | |
| 6 | С1.3-6 | 0,25 | 2,33 | 1,23 | 0,25 | 0,063 | 1,89 | 0,11 | 0,2 | 1,0 | | | | |
| 7 | С1.3-7 | 0,25 | 1,13 | 0,68 | 0,25 | 0,063 | 1,67 | 0,22 | 0,37 | 1,0 | | | | |
| 8 | С1.3-8 | 0,25 | 0,63 | 0,57 | 0,25 | 0,063 | 1,11 | 0,4 | 0,44 | 1,0 | | | | |
| 9 | С1.3-9 | 0,25 | 0,645 | 0,645 | 0,25 | 0,063 | 1,0 | 0,39 | 0,39 | 0,96 | | | | |
| 10 | С1.3-10 | 0,25 | 0,653 | 0,645 | 0,15 | 0,038 | 1,01 | 0,23 | 0,23 | 0,59 | | | | |
| 11 | С1.3-11 | 0,25 | 0,655 | 0,63 | 0,04 | 0,01 | 1,04 | 0,06 | 0,06 | 0,16 | | | | |
| 12 | С1.3-12 | 0,25 | 0,652 | 0,625 | 0,08 | 0,02 | 1,04 | 0,12 | 0,13 | 0,31 | | | | |

В даній методиці реалізовано варіаційний метод розрахунку кам'яних конструкцій на місцевий стиск (зминання), який детально описано в [7].

В таблиці 1 наведені основні характеристики дослідних зразків, за результатами випробувань яких порівнювалися розрахунки за різними нормами.

В таблиці 2 указані (в кН) значення експериментальних та теоретичних руйнуючих навантажень.

На основі вище зроблених розрахунків був проведений аналіз збіжностей отриманих теоретичних рішень з результатами експерименту (табл. 3).

Результати розрахунків

Таблиця 2

| Шифр зразка | Експ. | СНиП [8] | ДБН [9] | EuroCode [10] | Australia B/C [11] | Temp. [7] |
|-------------|-------|----------|---------|---------------|--------------------|-----------|
| C1.3-1 | 600 | 228.1 | 219.3 | 219.3 | 78.62 | 492.7 |
| C1.3-2 | 500 | 228.1 | 219.4 | 219.4 | 78.62 | 492.7 |
| C1.3-3 | 550 | 228.1 | 219.4 | 219.4 | 78.62 | 492.7 |
| C1.3-4 | 430 | 228.1 | 182.6 | 182.6 | 67.16 | 492.7 |
| C1.3-5 | 450 | 228.1 | 164.8 | 164.8 | 46.29 | 492.7 |
| C1.3-6 | 500 | 228.1 | 285.5 | 285.5 | 102.91 | 487.3 |
| C1.3-7 | 550 | 228.1 | 249.89 | 249.89 | 81.075 | 397.8 |
| C1.3-8 | 450 | 228.1 | 196.96 | 196.96 | 66.88 | 334.3 |
| C1.3-9 | 475 | 228.1 | 191.13 | 191.13 | 67.398 | 358.8 |
| C1.3-10 | 275 | 154.7 | 228 | 228 | 48.36 | 285.8 |
| C1.3-11 | 200 | 50.6 | 164 | 164 | 19.72 | 119.4 |
| C1.3-12 | 220 | 97.9 | 251.6 | 251.6 | 31.25 | 176.1 |

На рис. 2 показана графічна інтерпретація результатів співпадання.

Загальні висновки

Згідно аналізу результатів, отриманих теоретично, з результатами експерименту, було виявлено, що запропонована Клименком Є.В. та Шаповал С.Л. [7] методика визначення міцності цегляних конструкцій при місцевому стисненні є найбільш близькою до експериментальних значень. Інші методики дають запас міцності приблизно у 2...2,5 рази, за винятком австралійських норм, відмінність між розрахунками згідно яких є дуже суттєвою.

В подальшому планується виконати дослідження інших видів місцевого стискання (зминання) для більш достовірного оцінювання несучої здатності кам'яних конструкцій. В результаті на основі проведених експериментально-теоретичних досліджень буде розроблено узагальнюючий метод розрахунку кам'яних конструкцій на місцеве стискання, що дозволить використовувати характеристики міцності матеріалу в повній мірі і, разом з тим, забезпечити їх надійну експлуатацію.

1. Вахненко П.Ф. Кам'яні та армокам'яні конструкції // П.Ф. Вахненко / – К.: ІСДО, 1993. – 260 с.

2. Брусенцов Г.Н. Расчет кирпичных зданий на ЕС ЭВМ // Г.Н. Брусенцов, А.В. Першин / Исследования по теории и методам расчета строительных конструкций: Тр. ЦНИИСК им. Кучеренко. – М., 1983. – С. 87 – 94.

Таблиця 3

| Шифр зразка | СНиП эксп. [8] % | ДБН эксп. [9] % | EU CODE эксп. [10] % | $\frac{B}{AuC}$ эксп. [11] % | Теор. эксп. [7] % |
|------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| С1.3-1 | 38 | 36 | 36 | 13 | 82 |
| С1.3-2 | 46 | 44 | 44 | 16 | 98 |
| С1.3-3 | 42 | 40 | 40 | 14 | 90 |
| С1.3-4 | 53 | 42 | 42 | 17 | 115 |
| С1.3-5 | 51 | 37 | 37 | 10 | 110 |
| С1.3-6 | 46 | 57 | 57 | 21 | 98 |
| С1.3-7 | 42 | 45 | 45 | 15 | 72 |
| С1.3-8 | 51 | 44 | 44 | 15 | 74 |
| С1.3-9 | 48 | 40 | 40 | 14 | 76 |
| С1.3-10 | 56 | 83 | 83 | 18 | 104 |
| С1.3-11 | 25 | 82 | 82 | 10 | 60 |
| С1.3-12 | 44 | 114 | 114 | 14 | 80 |
| Серед. арифм. | 45,06 | 55,3 | 55,3 | 14,75 | 88,15 |
| Серед. геом. | 44,23 | 51,41 | 51,41 | 14,44 | 86,7 |

Порівняння значень руйнуючих зусиль

3. Вахненко П.Ф. Про міцність масивної кам'яної кладки при її місцевому навантаженні // П.Ф. Вахненко, Є.В. Клименко, С.Л. Шаповал / Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 2001. – Вып.30. – С. 75–80.

4. Saw C. Linear elastic finite element analysis of masonry walls on beam. – Building Science, 1974, vol. 9, № 4, p. 299 – 307.

5. Page A. W. A non – linear analysis of the composite action of masonry walls on beams. Proc. Inst. Civ. Eng., 1979, part 2, 67, Mar., p. 93 – 110.

6. Page A. W. Finite element model for masonry. J. of the Structural Division, Proc. of ASCE, 1978, vol. 104, № ST8, p. 1267 – 1268.

7. Клименко Є.В. Кам'яні конструкції: дослідження місцевих навантажень / Є.В. Клименко, С.Л. Шаповал. – К.: Київ.

8. СНиП II-22-81. Каменные и армокаменные конструкции / Госстрой, 1981. – 95 с.

9. ДБН 2.6-162:2010. Кам'яні та армокам'яні конструкції. Основні положення / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України / – К., – 97 с.

10. СТБ EN 1996-1-1-2008 Єврокод 6. Проектування кам'яних конструкцій.
– 85 с.

11. Design of Clay Masonry for Compression. Australia's clay brick and paver manufacturers. Building EB.

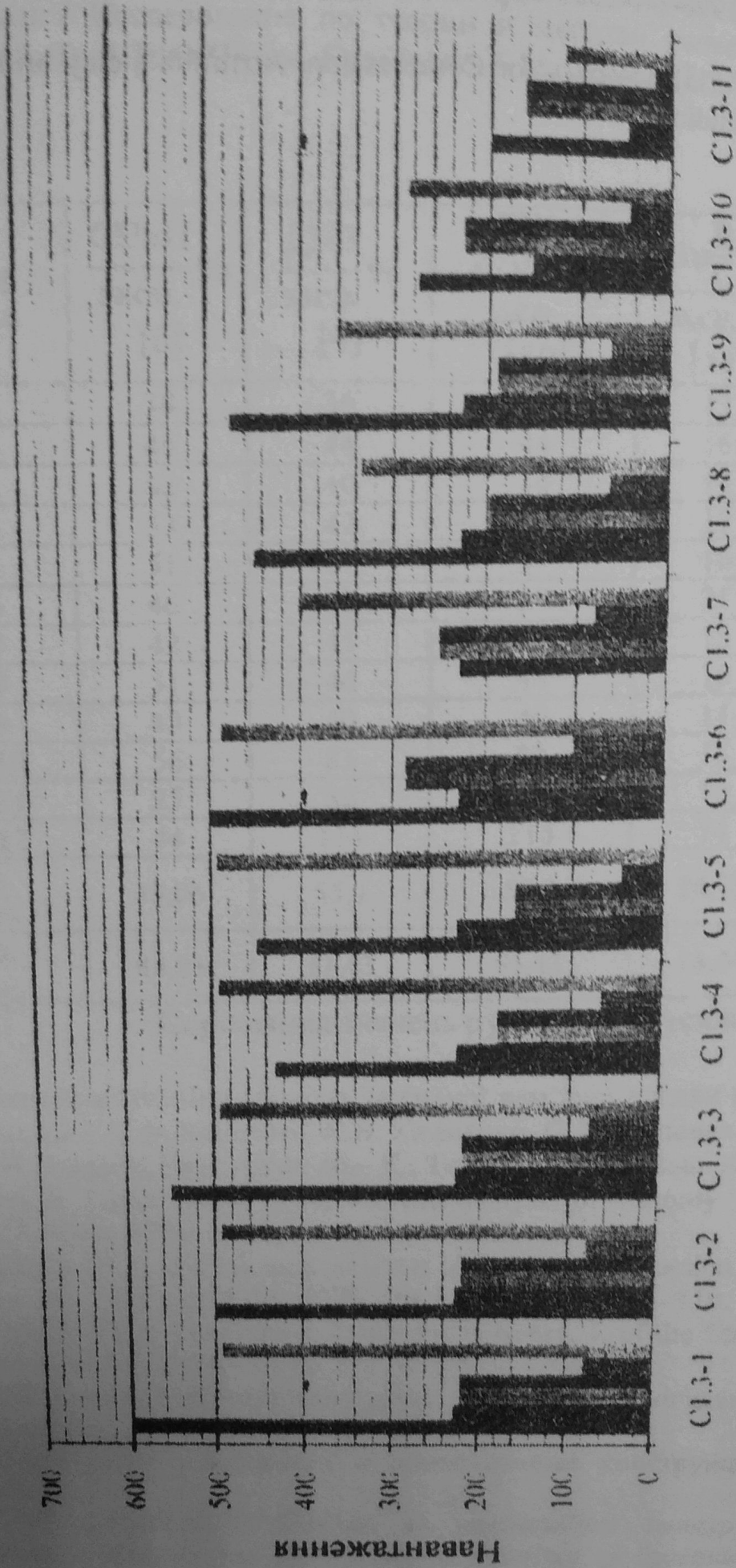


Рис. 2. Порівняльні гістограми результатів розрахунку мішності кам'яної кладки при місцевому прикладанні навантаження.