

УДК 624.04.4

**ЕКОНОМІЧІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ КАМ'ЯНИХ МУРУВАНЬ**

*Дехтяр А.С., професор факультету архітектури*

*Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури (НАОМА)*

Об'єктами транспортного будівництва є не тільки дороги, мости, шляхопроводи і тунелі. Важливою складовою галузі є також спорудження автовокзалів, автопарків, зупинок на автодорогах, підпірних стінок, огорожень тощо. Для цих об'єктів основним матеріалом є цегла, тому відшукування економічних кам'яних мурувань – достатньо актуальна задача.

1. Вітчизняна промисловість будівельних матеріалів – цегельні заводи окрім стандартної цегли з розмірами 250X120X65 мм наразі випускають півторачну цеглу висотою 88 мм і подвійну висотою 103 мм. Розглянемо особливості використання такої цегли.

Півторачна цегла має об'єм  $0,25 \times 0,12 \times 0,088 = 0,00264$  куб.м. Шар цементного розчину завтовшки 0,011 м на трьох бічних поверхнях цеглини має об'єм 0,00069 куб. Якщо 1 куб.м мурування поділити на суму цих об'ємів, отримаємо кількість  $n_1$  цеглин півторачного розміру

$$n_1 = 1 / (0,00264 + 0,00069) = 300. \tag{1}$$

Такі ж розрахунки для подвійної цеглини дають відповідну кількість  $n_2$

$$n_2 = 1 / (0,00309 + 0,00075) = 260. \tag{2}$$

Ці результати разом з відомостями про стандартну цеглу вміщено в табл.1

**Таблиця 1** – Варіанти цегли

Цегла	шт./ куб.м	Частина в обсязі	
		цегли	цементного розчину
стандартна	400	0,774	0,226
півторачна	300	0,792	0,208
подвійна	260	0,805	0,195

Далі, виходячи з актуальних цін на будівельні матеріали (вересень 2017 року), підрахуємо вартість 1 куб. м мурування з цегли різних розмірів. Цеглина М150 стандартних розмірів коштує 2,1 грн., півторачна – 2,5 грн., подвійна – 3,1 грн. Вартість 1 куб. м цементного розчину М100 становить 699 грн. За такими цінами і даними табл.1 отримуємо вартості 1 куб. м мурування з використанням цегли різних розмірів (табл.2)

**Таблиця 2** – Порівняння вартості мурувань

Цегла	стандартна	півторачна	подвійна
Вартість грн./ куб м	1000,7	895	946

Отже, за існуючими цінами мурування з півторачної цегли на 5-11% дешевше від стандартної та подвійної цегли. Якщо ціни на будівельні матеріали зміняться, висновок може бути іншим, проте описану тут властивість півторачної цегли варто пам'ятати.

2. Наступну задачу пов'язано з оптимізацією компонентів мурування із застосування стандартної цегли. Протягом останніх 80 років для визначення міцності мурування використовують емпіричну формулу Л.І.Онїщика [1]

$$R = AR_1(1 - a/(b + R_2/(2R_1)))^\gamma. \quad (3)$$

Тут  $R$  - міцність мурування,  $R_1$  - міцність (марка) цегли,  $R_2$  - кубікова міцність цементного розчину,

$$A = (100 + R_1)/(100m + nR_1),$$

величини  $a, b, m, n$  - константи, що залежать від типу мурування, особливостей розчину і т. ін. В стандартному випадку  $a = 0,2; b = 0,3; m = 1,25; n = 3$ .

Для цементного розчину середньої міцності  $\gamma = 1$ .

Розрахунки за формулою Онїщика показують, що міцність мурування ніколи не перевищує 35-40% від міцності цегли.

Оскільки формула (3) емпірична, тобто не має теоретичного обґрунтування, цілком можливо її замінити іншим співвідношенням. Нижче зроблено таку спробу.

Можна розглядати цегляне мурування як двокомпонентну систему «цегла – цементний розчин» і поглянути на неї з точки зору теорії композитів (теорії сумішей).

Існує величезна кількість моделей і, відповідно, співвідношень, які за властивостями і кількісним вмістом складових дозволяють обчислювати і прогнозувати відповідну властивість композита. Найпростішою і найпоширенішою є модель Кельвіна – Фойгта, яка для двокомпонентної системи має вигляд

$$X = \alpha X_1 + (1 - \alpha) X_2 \quad (4)$$

Тут  $X, X_1, X_2$  - певна властивість (міцність, густина, тепло- або електропровідність тощо) суміші і окремих компонентів,  $\alpha$  – об'ємний вміст першого компонента в суміші.

З'ясувалось, що якщо ввести в праву частину виразу (4) множник 0,32, то обчислення за (4) досить близько збігаються з обчисленнями за Онїщиком (3). В табл. 3 наведено частку від ділення оцінок за Онїщиком на оцінку (4) з коефіцієнтом 0,32 для різних марок цегли і цементного розчину.

**Таблиця 3.-** Порівняння методів розрахунку міцності мурування

Міцність цегли	Міцність розчину			
	150	200	250	300
100	1,06	1,01	0,96	0,90
150	1,01	1,01	0,97	0,93
200	0,96	0,96	0,95	0,94

Наведені результати свідчать про те, що розбіжність між оцінками за обома формулами (3) і (4) в розглядуваній області не перевищує декількох відсотків.

Оскільки в муруванні з цегли обидва компоненти – цегла і розчин – є незалежними змінними, теоретично можна припустити, що одну й ту ж остаточну міцність мурування можна отримати різними сполученнями міцностей самої цегли і цементного розчину. З практичної точки зору найбільший інтерес становить таке їхнє сполучення, яке призводить до найменшої вартості мурування в цілому.

Обидві змінні - міцності цегли і розчину (марки) змінюються дискретно, тобто існує, наприклад, марка цегли М100 або М150, проте немає цегли М140. Для побудови оптимізаційної задачі було би зручніше мати формульний опис безперервного змінювання вартостей обох компонентів.

Нижче за актуальними цінами побудовано лінеаризовані залежності для цегли і для розчину різних марок

$$C_1 = 0,0057R_1 + 1,864, \quad (5)$$

$$C_2 = 4,03R_2 + 398, \quad (6)$$

тут  $C_1, C_2$  - вартості цегли і розчину,  $R_1, R_2$  - їхні міцності відповідно. Наприклад, для цегли М100 з (6) отримуємо  $C_1 = 2,43$ , в той час як насправді має бути  $C_2 = 2,40$ .

Далі наводимо оптимізаційну задачу: в просторі проектування  $R_1, R_2$  треба відшукати таку точку, щоби за умови заданої міцності  $R > R^*$  отримати мурування найменшої вартості. Для кожного сполучення  $R_1, R_2$  міцностей цегли і розчину перевіряється умова  $R > R^*$ . Якщо вона виконується, проект вважається допустимим.

Для вираховування міцності мурування залуцаємо формулу (3) або практично тотожну до неї формулу (4), вартості обох компонентів обчислюємо за співвідношеннями (5) і (6). В просторі проектування  $R_1, R_2$  залежність (3) має вигляд опуклої поверхні. а вимога  $R > R^*$  є площина, паралельна до координатної площини  $R, R_2$  (рис.1, а). Лінія їхнього перетину є дуга  $def$ .

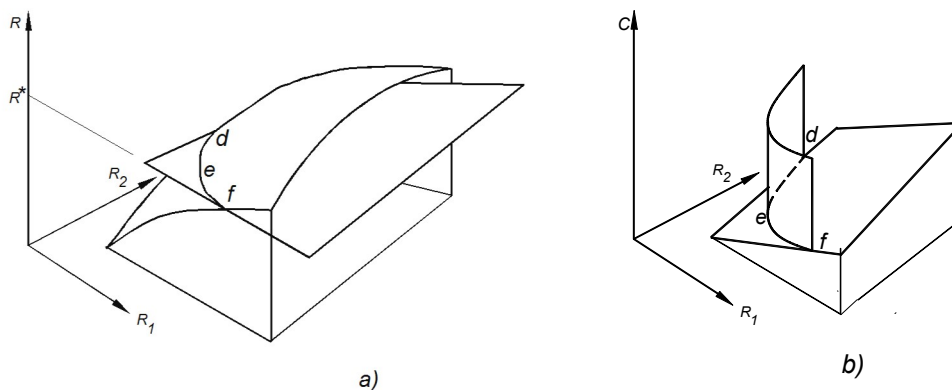


Рисунок 1- Графічне представлення розв'язку .

На рис.1, б представлено залежність  $C(R_1, R_2)$  вартості проекту. Через введenu вище лінеаризацію (5), (6) залежність  $C(R_1, R_2)$  є нахиленою площиною, а вимогу  $R = R^*$  представлено циліндричною поверхнею, що відокремлює область допустимих проектів (праворуч від дуги  $def$ . на рис.1, б).

З поданих тут геометричних інтерпретацій випливає, що оптимальному проекту відповідатиме точка  $d$  або точка  $f$  залежно від умов проектування.

Для прикладу розглянемо простір проектування  $50 < R_1 < 200; 50 < R_2 < 200$  з фіксованою міцністю мурування  $R^8 = 35$ . Оптимальним виявився проект  $R_1 = 100; R_2 = 100$  вартістю  $C = 1173$  гр./куб.м з фактичною міцністю  $R = 35,3$ .

Якщо підвищити вимогу щодо міцності від  $R^s = 35$  до  $R^s = 45$ , то оптимальним стає проект  $R_1 = 80; R_2 = 150$  з вартістю  $C = 1331$  гр./куб.м, а фактична міцність становить  $R = 47,9$ . Отже, вказане збільшення заданої міцності мурування на 28% підвищує вартість проекту на 14%.

### Висновок

Подано формулювання і розв'язки двох оптимізаційних задач для кам'яних мурувань – про вибір найкращого розміру стандартної цегли і про найкращу комбінацію міцностей цегли і цементного розчину. Наведено приклади таких розрахунків і показано можливу економію від впровадження отриманих результатів.

### Література

1. СНиП П-22 81. Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования. - М.-ВДПП, Госстрой СССР-1989