

РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ ЦЕНТРАЛЬНО ЗАВАНТАЖЕНИХ СТОВПІВ ІЗ ЦЕГЛЯНОЇ КЛАДКИ З УРАХУВАННЯМ ЇЇ НЕЛІНІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Наведено методику розрахунку міцності центрально завантажених елементів цегляної кладки з урахуванням її пружно-пластичних властивостей.

Ключові слова: *центрально завантажені елементи цегляної кладки, пружно-пластичні властивості.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Численні результати досліджень багатьох учених [1–6] доводять, що стиснуті цегляні елементи в передграничному та граничному станах зазнають перерозподілу напружень. Таке явище – результат нелінійного деформування цегляної кладки, яке в сучасних нормах проектування цегляних елементів поки що не враховується. Тобто існує проблема врахування в розрахунках міцності цегляних елементів нелінійних властивостей цегляної кладки в закритичній стадії. Особливо це стосується елементів, що працюють на косий стиск. Суть проблеми в першу чергу полягає у способі обчислення значень ε_u .

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання поставленої проблеми, й виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. У нині діючих закордонних [7] та вітчизняних нормах, що знаходяться в стадії проекту [8], звертається увага на криволінійний характер діаграми деформування цегляної кладки. У більшості літературних джерел для визначення відносних деформацій кладки використовується формула, запропонована Л.І. Оніщиком [1, 2]. У ній урахована умовна межа плинності, котра досягається при нескінченно великих деформаціях. Насправді це неможливо, оскільки завжди має місце конкретне граничне значення деформації, функціонально пов'язане з межею міцності матеріалу. Тому визначення граничних значень деформацій ε_u , а відповідно і розв'язання поставленої задачі на основі використання запропонованих залежностей неможливе.

Подібна задача вирішувалася для залізобетонних елементів у роботі [9]. Що ж стосується розрахунку міцності центрально завантажених елементів цегляної кладки з урахуванням нелінійних властивостей, то в жодній із відомих нам наукових праць [1–8, 11–14] це питання не розглядалось. Поставлену задачу можливо вирішити, використавши методику та фізичну залежність стану матеріалу, запропоновану в роботі [9].

Формулювання цілей статті. Метою статті є розроблення методики й отримання розрахункових формул у загальному випадку розрахунку центрально завантажених стовпів із цегляної кладки з урахуванням її нелінійних властивостей.

Виклад основного матеріалу з обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Для розв'язання поставленого завдання використовуємо фізичну залежність стану цегляної кладки при стиску, приймаючи за основу залежність ЄКБ-ФП, яка використовується для бетону. Причому вважатимемо, що розподіл напружень у кам'яних елементах – бутобетонівій чи цегляній кладці – відбувається за одним і тим самим законом. Для цегляної кладки, функціональна залежність, що описує залежність зміни напружень від рівня відносних деформацій, набуває вигляду

$$\begin{cases} \sigma_c = R[K\eta - \eta^2]/[1 + (K - 2)\eta] \\ K = E_0 \varepsilon_R / R \end{cases}, \quad (1)$$

де $\eta = \varepsilon / \varepsilon_R$ – поточне значення рівня відносних деформацій (ε – поточне значення відносних деформацій, ε_R – відносні деформації в момент $\sigma_c = R$);

R – розрахунковий опір стиску кладки, що визначається залежно від марки розчину та марки цегли (каменю) [10, табл. 2–9];

E_0 – початковий модуль пружності цегляної кладки.

Для розв’язання задачі розрахунку міцності центрально завантажених цегляних елементів з урахуванням нелінійних властивостей і визначення параметра (η_u) напружено-деформованого стану елемента, що відповідає (ϵ_u) відносним деформаціям при стисканні в закритичному стані, застосовується рівняння у вигляді

$$N(\eta) - \sigma_c(\eta)A, \quad (2)$$

де $N(\eta)$ – поздовжня сила, що функціонально пов’язана з рівнем відносних деформацій;

$A=h \times b$ – площа поперечного перерізу цегляного елемента, рис.1.

Можна зробити висновок, що загальне рівняння для визначення шуканого параметра η_u напружено-деформованого стану цегляної кладки в закритичному стані при стисканні можна отримати за умови, що параметр η_u повинний відповідати максимальному значенню міцності цегляного елемента в закритичній стадії деформування. Тому для обчислення значень η_u необхідно спочатку мати функціональне рівняння міцності з явно вираженим екстремумом. Якщо таке рівняння для кожного виду силового деформування цегляного елемента буде описувати зміну несучої здатності залежно від рівня фібрових деформацій кладки η_m , то його екстремум відповідатиме η_u . Рівняння (2) при підстановці в нього формули (1) задовольняє вищевказані вимоги. Ґрунтуючись на цих міркуваннях, можна стверджувати, що рівняння для обчислення параметра η_u можна отримати за виразом

$$dN(\eta_m)/d\eta_m = 0. \quad (3)$$

При такому підході, як це видно з рівняння (2), задача зводиться до визначення трьох невідомих: граничного значення поздовжньої сили N_u , граничного рівня відносних деформацій цегляної кладки η_u і відповідних їм напружень σ_u .

З урахуванням виразу (1) та $\eta = \eta_m y / X$ (див. рис. 1) залежність (2) набуває вигляду

$$N(\eta_m) = RA[K\eta_m y / X - (\eta_m y / X)^2] / [1 + (K - 2)\eta_m y / X]. \quad (4)$$

Зважаючи на те, що при центральному стиску $e_0 \rightarrow 0$, залежність (4) виражається у вигляді

$$N(\eta_m) = RA[K\eta_m - \eta_m^2] / [1 + (K - 2)\eta_m], \quad (5)$$

де η_m – поточне значення рівня деформацій цегляної кладки на стиск від зусилля N ; K – рівень пружно-пластичного стану стиснутої цегляної кладки при критичних значеннях деформацій $\epsilon = \epsilon_R$.

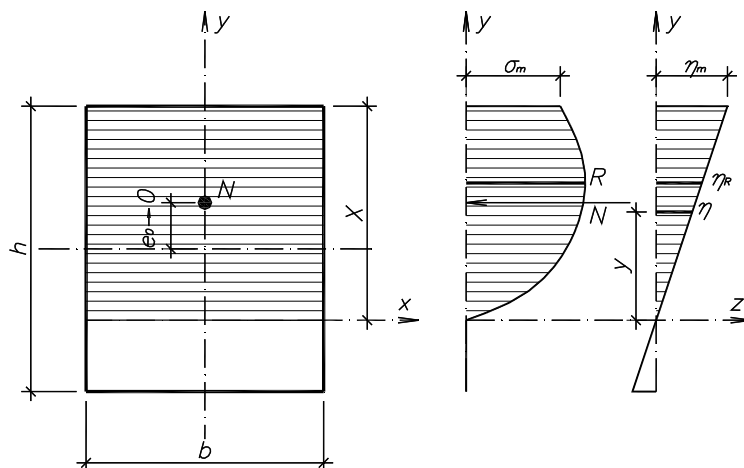


Рисунок 1 – Розрахункова схема стовпів із цегляної кладки з урахуванням її нелінійних властивостей

Зіставлення прийнятих до використання умов показує, що для розв’язання поставленої задачі не вистачає ще однієї залежності, а саме залежності для визначення характерного параметра граничного рівня відносних деформацій у цегляній кладці η_u .

З виразу (5) видно, що отримана залежність функціонально пов'язує зусилля N із рівнем фібрових деформацій η_m у цегляній кладці, який являє собою шукане граничне значення невідомого параметра η_u напружено-деформованого стану для закритичної стадії при $N = N_u$. Щоб визначити значення η_u , необхідно мати додаткову залежність, котрої не вистачає серед перелічених вище. Для виведення такої залежності можна використати ідею існування максимуму навантаження $N(\eta_u)$ як функції рівня деформацій η_u , що матиме вигляд

$$N(\eta_u) = \max N(\eta_m), \quad (6)$$

з формули (5) отримаємо вираз

$$\frac{dN(\eta_m)}{d\eta_m} = RA \frac{[K - 2\eta_m][1 + (K - 2)\eta_m] - (K\eta_m - \eta_m^2)(K - 2)}{[1 + (K - 2)\eta_m]^2}, \quad (7)$$

котрий приводиться до відсутньої залежності – квадратного рівняння відносно параметра η_u , що задовольняє умову (6) і є параметром напружено-деформованого стану цегляної кладки у закритичному стані,

$$[K - 2\eta_u][1 + (K - 2)\eta_u] - (K\eta_u - \eta_u^2)(K - 2) = 0. \quad (8)$$

Вираз (8) після виконання необхідних скорочень спрощується до вигляду

$$\eta_u^2 + 2\eta_u/(K - 2) - K/(K - 2) = 0. \quad (9)$$

Розв'язавши рівняння (9), отримаємо формулу обчислення параметра η_u для застосування в задачах перевірки міцності, що має вигляд

$$\eta_u = 0,5[-2/(K - 2) + 2\sqrt{1/(K - 2) + K/(K - 2)}]. \quad (10)$$

З виразу (10) випливає, що $\eta_u = 1$.

Визначений параметр η_u напружено-деформованого стану цегляного елемента в закритичній стадії залежно від фізико-механічних властивостей цегляної кладки при підстановці його в рівняння (5) дає можливість обчислити граничне значення руйнівного зусилля N_u цегляного елемента. У загальному вигляді вираз для розрахунку міцності центрально завантажених стовпів із цегляної кладки з урахуванням її нелінійних властивостей набуває вигляду

$$N(\eta_u) = RA[K\eta_u - \eta_u^2]/[1 + (K - 2)\eta_u]. \quad (11)$$

Для порівняння можна представити розрахунок згідно з діючими нормами [10], в яких міцність неармованих елементів кам'яних (цегляних) конструкцій при центральному стиску в граничному стані першої групи, приймаючи, що напруження рівномірно розподілені по всьому перерізу, а їхнє значення дорівнює розрахунковому опору кам'яної кладки при стиску, оцінюють за залежністю

$$N \leq RA\varphi m_g, \quad (12)$$

де m_g , φ – коефіцієнт, котрий ураховує вплив тривалого навантаження та коефіцієнт поздовжнього згину відповідно, умовно прийнявши їх рівними одиниці, отримуємо залежність (12), що збігається із залежністю (11) при $\eta_u = 1$.

Висновки. Наведена методика й отримані залежності демонструють, що діаграму стану бетону, яка описується залежністю (1), можна використовувати в розрахунках цегляної кладки на стиск, і вона може бути покладена в основу експериментальних досліджень міцності за деформаційною моделлю.

Література

1. О니щик, Л.И. Прочность и устойчивость каменных конструкций. Т. 1 / Л.И. Онищик. – М. – Л.: Госстройиздат, 1937. – 291 с.
2. Онищик, Л.И. Теория прочности кирпичной кладки на экспериментальной основе / Л.И. Онищик // Экспериментальные исследования каменных конструкций: труды ЦНИИПС. – М., 1939. – С. 6 – 15.
3. Семенов, С.А. Каменные и армокаменные конструкции: справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий / С.А. Семенов, В.А. Камейко. – М.: «Издательство литературы по строительству», 1968. – 172 с.
4. Еременок, П.Л. Каменные и армокаменные конструкции / П.Л. Еременок. – К.: Высшая школа, 1981. – 224 с.

5. Розенблюмас, А.М. Каменные конструкции / А.М. Розенблюмас. – М.: Высшая школа, 1964. – 302 с.
6. Вахненко, П.Ф. Каменные и армокаменные конструкции / П.Ф. Вахненко. – К.: Будівельник, 1990. – 184 с.
7. EN 1996-1: (Final draft, October 2001). Eurocode 6 : Design of Masonry Structures Part 1-1 : Common rules for reinforced and unreinforced masonry structures. – Brussels, 2002. – 123 p.
8. ДБН В.2.6-хх-200х (перша редакція). Конструкції будинків та споруд. Кам'яні та армокам'яні конструкції / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – К., 2002.
9. Павліков, А.М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косоавантажених залізобетонних елементів у закритичній стадії: монографія / А.М. Павліков. – Полтава: ПолтНТУ, 2007. – 259 с.
10. СНиП II-22-81. Каменные и армокаменные конструкции. – М.: Стройиздат, 1983. – 39 с.
11. Шаповал, С.Л. Напружено-деформований стан та міцність цегляної кладки при місцевому її стисненні: дис. канд.техн.наук: спец. 05.23.01 / С.Л. Шаповал. – Полтава: ПолтНТУ, 2005. – 170 с.
12. Пінчук, Н.М. Міцність армоцегляної кладки при місцевому прикладанні стискаючого навантаження: дис. канд.техн.наук: спец. 05.23.01 / Н.М. Пінчук. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – 168 с.
13. Міщенко, Р.А. Напружено-деформований стан багатошарової кам'яної стіни та розрахунок її несучої здатності: дис. канд.техн.наук: спец. 05.23.01 / Р.А. Міщенко. – Полтава: ПДТУ, 2001. – 119 с.
14. Роговой, С.И. О некоторых особенностях оценки предельных деформаций каменной кладки / С.И. Роговой, В.В. Пипенко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наукових праць. – Вип. 14. – Рівне: НУВГП, 2006. – С. 302 – 309.

Надійшла до редакції 07.04. 2011

© А.М. Павліков, О.Г. Лаврінець

РАСЧЁТ ПРОЧНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНО ЗАГРУЖЕННЫХ СТОЛБОВ ИЗ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ С УЧЁТОМ ЕЁ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ

Приведена методика расчёта прочности центрально нагруженных элементов кирпичной кладки с учётом её упруго-пластических свойств.

Ключевые слова: *центрально нагруженные элементы кирпичной кладки, упруго-пластические свойства.*

CALCULATION OF STRENGTH OF THE CENTRAL LOADED COLUMNS FROM A BRICKLAYING TAKING INTO ACCOUNT ITS NONLINEAR PROPERTIES

The design procedure of strength of the central loaded elements of a bricklaying taking into account its elasto-plastic properties is resulted.

Keywords: *the central loaded elements of a bricklaying, elasto-plastic properties.*