

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук,
доцента Одеської державної академії будівництва та архітектури

Карпюк Ірини Анатоліївни

на дисертаційну роботу Пенц Марини Володимирівни

на тему «Міцність кам'яної кладки при стискові»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія

Актуальність теми дисертаційної роботи. Підвищення надійності та достовірності розрахунків кам'яних конструкцій є одним із актуальних напрямів сучасної будівельної науки. Незважаючи на широке застосування кам'яної кладки в будівництві, чинні нормативні методики її розрахунку значною мірою базуються на емпіричних залежностях, які не завжди точно відображають реальну роботу матеріалу. Особливого значення набуває питання визначення міцності кладки при осьовому стиску, оскільки саме ця характеристика є визначальною при оцінюванні несучої здатності конструкцій. Аналіз вітчизняних і зарубіжних нормативних документів свідчить про відсутність уніфікованих вимог щодо геометричних параметрів випробувальних зразків, а також про існування різних підходів до інтерпретації результатів експериментальних досліджень. Це обумовлює необхідність удосконалення методики експериментального визначення міцності кладки. Водночас значний практичний інтерес становить проблема місцевого стиску кам'яної кладки, що виникає при передаванні зосереджених навантажень у місцях обпирання конструкцій. Розрахункові залежності, що використовуються, не завжди враховують особливості формування просторового напруженого стану та характер руйнування кладки, що обмежує точність інженерних розрахунків. Отже, дослідження, спрямовані на вдосконалення методів визначення міцності кам'яної кладки при осьовому стискові та розвиток теоретично обґрунтованих моделей її роботи при місцевому, є своєчасними, актуальними та мають істотне

значення для подальшого розвитку теорії і практики проєктування кам'яних конструкцій.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Дисертація виконана в рамках науково-дослідницької програми кафедри будівельних конструкцій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» «Дослідження і розроблення інженерних методів розрахунку опору руйнуванню й деформуванню бетонних і залізобетонних, кам'яних та армокам'яних елементів, що зазнають неоднорідний напружено-деформований стан при різному характері навантаження і впливів» (номер державної реєстрації 0117U003248) та в рамках науково-технічної роботи «Ресурсоощадні технології прискореного відновлення пошкоджених будівель із влаштуванням захисних споруд цивільного захисту», яка фінансується за рахунок коштів державного бюджету України (№109/25; 0125U000895).

Аналіз змісту дисертації. Представлена дисертація викладена на 148 сторінках, у т.ч. на 118 сторінках основного тексту, список використаних джерел включає 134 найменування, містить 96 рисунків і 24 таблиці.

Дисертація складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків, одного додатку.

У **вступі** (5 сторінок) обґрунтовується актуальність теми, сформоване науково-технічне завдання удосконалення методу експериментального визначення міцності кам'яної кладки при осьовому стиску з верифікацією запропонованих зразків та розроблення методики визначення опору кладки при місцевому стиску в умовах об'ємного напруженого стану. Сформульовані мета, задачі, об'єкт, предмет, методи досліджень, їх наукова новизна та практична значимість, визначено особистий внесок здобувачки й описана апробація результатів роботи.

У **розділі 1** «Аналітичний огляд літератури з питань міцності кам'яної кладки при стискові» (30 сторінок) розглянуто основні фактори, що визначають міцність кладки, зокрема міцність каменю та розчину, геометричні параметри конструктивних елементів, умови прикладання навантаження й особливості роботи складових компонентів кладки.

Приділено увагу аналізу методів експериментального визначення міцності кам'яної кладки при осьовому стиску.

Розглянуто класичні та нормативні залежності для підрахунку міцності кладки при стиску, а також формули, запропоновані різними дослідниками.

Проаналізовано методики оцінювання міцності цегляної кладки при місцевому стиску та результати експериментів. Наголошено на необхідність подальшого дослідження роботи кладки при місцевому стиску, зокрема при прикладанні навантаження біля грані стіни.

Розділ 2 «Методика проведення експериментальних досліджень» (13 сторінок) присвячено програмі експериментальних досліджень, яка охоплює дві серії випробувань, спрямованих на встановлення закономірностей роботи цегляної кладки при осьовому та місцевому стиску. Перша серія включала випробування на осьовий стиск трьох кам'яних стовпів із поперечними перерізами 250×250 , 380×380 та 510×510 мм висотою 1,0 м, трьох пар цегляних призм товщиною в півцеглини і висотою 3, 5 та 7 рядів кладки, а також фрагмента стіни товщиною в півцеглини розмірами 900×440 мм. Друга серія передбачала випробування двох цегляних стінок розмірами $1030 \times 740 \times 380$ мм при місцевому стиску із застосуванням навантажувальних площадок 150×250 , 100×250 , 150×100 , 100×150 та 100×100 мм, розташованих біля лицьової грані стіни в різних положеннях за її довжиною.

Для визначення фізико-механічних характеристик матеріалів передбачено стандартні випробування цегли та будівельного розчину.

Деформований стан кам'яної кладки при осьовому стиску досліджувався за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм, а експериментальні дослідження проводилися в лабораторії кафедри будівельних конструкцій із використанням преса ПММ-500. Запропонована методика забезпечила отримання експериментальних даних щодо характеру руйнування, розвитку деформацій та величини граничного навантаження кам'яної кладки при різних схемах стискального навантаження, які надалі були використані для теоретичних і чисельних досліджень.

У розділі 3 «Результати та аналіз експериментальних досліджень» (19 сторінок) наведено результати проведених випробувань цегляних дослідних зразків при осьовому та місцевому стиску. За результатами випробувань кам'яних стовпів, призм і фрагмента стіни виявлено закономірності впливу геометричних параметрів дослідних зразків на величину міцності кладки при осьовому стиску. Запропоновано еталонним зразком вважати стінку розмірами 900×440 мм товщиною в півцеглини, яка за своєю геометричною формою найбільшою мірою відповідає реальним конструкціям, що експлуатуються. На підставі зіставлення результатів випробувань із еталонним зразком автором доведено, що для експериментального визначення міцності кладки можуть бути рекомендовані кам'яні стовпи з поперечним перерізом 250×250 мм і висотою 1000 мм, а як альтернативний варіант — цегляні призми висотою п'ять рядів кладки, які забезпечують найбільш близькі до еталонного зразка результати.

При місцевому стиску стін зафіксовано, що руйнування починається з формування локальної ущільненої зони під навантажувальною площадкою, після чого відбувається розвиток вертикальних тріщин розколювання. Автором досліджено вплив розмірів навантажувальної площадки, а також її розташування відносно лицьової поверхні стіни на величину граничного навантаження та характер руйнування конструкції.

В розділі 4 «Розв'язання задач міцності кам'яної кладки при місцевому стиску варіаційним методом» (27 сторінок) розроблено теоретичний підхід до визначення опору кам'яної кладки при місцевому стиску із застосуванням варіаційного методу в межах теорії пластичності. Розрахунок граничного навантаження виконано на основі умови міцності Баландіна–Генієва з використанням кінематично можливих механізмів руйнування кладки, що дозволило врахувати особливості напруженого стану конструкції при локальній передачі стискального навантаження.

Теоретичні розрахунки виконано для всіх експериментально досліджених зразків стін при місцевому стиску. Для кожного випадку визначено граничне навантаження та проведено його порівняння із результатами дослідів.

У табличній формі представлені значення несучої здатності кам'яної кладки, визначені за запропонованим методом, в залежності від міцності цегли і розчину та співвідношення розмірів зразка до розмірів штампа.

Розділ 5 «Чисельне моделювання дослідних зразків зі кам'яної кладки» (21 сторінка) присвячено чисельному дослідженню роботи кам'яної кладки при місцевому стиску методом скінченних елементів. У розділі обґрунтовано вибір макромодельовання для розв'язання поставленої задачі. Наведено прийняті граничні умови та параметри чисельної моделі, для описання нелінійної роботи кладки використано Concrete Damaged Plasticity.

Виконано аналіз картини руйнування дослідних зразків та порівняння несучої здатності стіни при місцевому стиску, визначеної за нормативною методикою, варіаційним методом і методом скінченних елементів, з результатами експериментальних досліджень. Проведене зіставлення дозволило оцінити відповідність розрахункових підходів експериментальним даним і сформулювати рекомендації щодо оцінювання опору кам'яної кладки при місцевому стиску. Розрахунок опору кам'яної кладки варіаційним методом доцільний в тих випадках, коли довжина штампа, через який передається навантаження є не меншою за 0,27 товщини стіни. В інших випадках необхідна розробка відповідного кінематичного механізму руйнування кладки. На підставі порівняння експериментальних, теоретичних і чисельних результатів автором доведена можливість використання для оцінювання опору кладки як методу скінченних елементів, так і варіаційного методу. Запропоновані рекомендації мають практичне значення та можуть бути використані під час розрахунку несучої здатності існуючих і проєктованих конструкцій із кам'яної кладки.

У **загальних висновках** (3 сторінки) автор приводить підсумки роботи.

У **додатку** розміщені довідки про впровадження результатів дисертаційної роботи.

Побудова роботи логічна, всі розділи дисертації пов'язані між собою.

Авторка продемонструвала здатність ставити задачі дослідження, вибирати методи їх розв'язання, доводити дослідження до конкретної практичної розробки.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи не викликає сумнівів та підтверджується комплексним характером проведених досліджень. Для досягнення поставленої мети авторкою використано взаємопов'язаний комплекс теоретичних, експериментальних і аналітичних методів, що забезпечило належний рівень достовірності отриманих результатів.

Наукова новизна полягає у тому, що:

тримано нові експериментальні дані щодо характеру руйнування та значень граничних навантажень:

- а) цегляних стовпів, призм та стінки при осьовому стиску;
- б) кам'яної кладки в умовах об'ємного напруженого стану при локальному стиску стін біля їх грані;

перше розв'язано задачу визначення міцності кам'яної кладки за умов місцевого стиску із застосуванням варіаційного підходу в межах теорії пластичності та моделювання методом скінчених елементів.

Повнота відображення результатів дослідження в опублікованих наукових працях. Основні положення дисертаційної роботи викладені в 16 публікаціях, серед яких: 2 статті у виданнях, які індексуються у наукометричній базі даних Scopus, 5 статей у фахових виданнях України, 9 матеріалів і тез конференцій.

Значущість результатів дисертаційного дослідження для науки і практики. Результати теоретичних та експериментальних досліджень можна використовувати в будівельній галузі при проектуванні нових та оцінюванні несучої здатності існуючих конструкцій будівель (споруд).

Практична цінність отриманих результатів пов'язана з можливістю використання отриманих результатів для вдосконалення експериментального визначення міцності кам'яної кладки при осьовому стиску. На підставі виконаних досліджень сформульовано рекомендації щодо форми та розмірів дослідних зразків, що сприяє більш коректному визначенню міцнісної характеристики кладки.

Окремий напрям практичного застосування результатів становить оцінювання роботи кладки при місцевому стиску. Удосконалена методика визначення опору кладки може бути використана при оцінюванні несучої здатності конструкцій у зонах передачі зосереджених навантажень.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. Аналіз дисертаційної роботи та опублікованих за її результатами наукових праць свідчить про дотримання здобувачкою принципів академічної доброчесності. Авторкою коректно використано наукові джерела, а відповідні посилання на праці інших дослідників наведено в установленому порядку.

Дисертаційна робота містить результати власних досліджень здобувачки, отримані в процесі виконання експериментальних, теоретичних і чисельних досліджень. Відомості щодо особистого внеску авторки у спільні наукові публікації наведено належним чином. Під час ознайомлення з дисертацією не встановлено фактів порушення академічної доброчесності, зокрема академічного плагіату, самоплагіату, фабрикації або фальсифікації даних. Підстав для сумніву щодо дотримання здобувачкою принципів академічної доброчесності не встановлено.

Відповідність дисертації встановленим вимогам. Дисертація Пенц Марини Володимирівни є завершеною науковою працею. Робота виконана державною мовою із дотриманням наукового стилю. Дисертація за вимогами щодо структури, змісту, загального обсягу та кількості наукових публікацій, що висуваються до здобувача наукового ступеня доктора філософії, відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України, та є результатом науково-дослідної роботи, що характеризується належним науково-методичним рівнем її виконання.

Зауваження та побажання за роботою:

1. Дискусійним залишається питання щодо можливості безпосереднього поширення отриманих результатів на інші види кам'яної кладки, що відрізняються типом і геометрією каменю, товщиною швів, видом розчину та технологією виконання кладки.

2. У роботі досліджено вплив геометричних параметрів навантажувальної площадки та її розташування на міцність кладки при

місцевому стиску. Разом із тим, на мою думку, подальшого уточнення потребує питання впливу можливого нерівномірного розподілу контактних напружень у зоні передачі навантаження.

3. При теоретичному розв'язанні задач міцності кам'яної кладки при місцевому стиску використано варіаційний підхід у межах теорії пластичності та прийняті кінематичні схеми руйнування. Дискусійним залишається питання меж застосування запропонованих схем руйнування для випадків, що відрізняються від досліджених у роботі геометричними параметрами елементів, розмірами та розташуванням навантажувальної площадки.

є зрозуміло, які обмеження існують щодо практичного застосування запропонованої методики оцінювання опору кам'яної кладки при місцевому стиску для існуючих конструкцій із пошкодженнями?

5. У чисельному моделюванні використано макромодель кам'яної кладки з матеріальною моделлю Concrete Damaged Plasticity. З огляду на складну неоднорідну структуру кладки виникає питання щодо впливу прийнятого рівня ідеалізації матеріалу на точність прогнозування локальних зон руйнування та параметрів тріщиноутворення.

6. У роботі значну увагу приділено визначенню граничного навантаження та характеру руйнування дослідних зразків. Водночас подальшого розвитку можуть потребувати питання прогнозування деформативності кладки та її роботи на докритичних стадіях навантаження, що є важливим для оцінювання фактичного технічного стану існуючих конструкцій.

7. Якою мірою на результати визначення міцності кам'яної кладки при осьовому стиску можуть впливати технологічні особливості виготовлення дослідних зразків (товщина горизонтальних швів, якість заповнення вертикальних швів, умови твердіння розчину), та чи оцінювався їх вплив у межах проведених досліджень?

Наведені зауваження мають переважно рекомендаційний характер і не знижують загальної наукової цінності дисертаційної роботи, її теоретичного та практичного значення. Вони визначають напрями подальшого розвитку досліджень міцності кам'яної кладки при осьовому та місцевому стиску.

Загальний висновок. Тематичне спрямування матеріалів дисертаційної роботи, її науково-прикладні результати та висновки відповідають галузі знань 19 Архітектура та будівництво за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія. Вони є достатньо науково обґрунтованими. Дисертація Пенц Марини Володимирівни є завершеним дослідженням, в якому розв'язане науково-технічне завдання удосконалення методу експериментального визначення міцності кам'яної кладки при осьовому стиску з верифікацією запропонованих зразків та розроблення методики визначення опору кладки при місцевому стиску в умовах об'ємного напруженого стану. За змістом та оформленням дисертаційна робота відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року, а її авторка, Пенц Марина Володимирівна, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, доцент,

доцент кафедри основ і фундаментів

Одеської державної академії будівництва

та архітектури

Ірина КАРПЮК