

АНОТАЦІЯ

Пенц М.В. Міцність кам'яної кладки при стискові – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія (19 «Архітектура і будівництво»). – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». – Полтава, 2026.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої науково-технічної задачі 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.

У розділі 1 «Аналітичний огляд літератури з питань міцності кам'яної кладки при стискові» проаналізовані залежності, запропоновані для підрахунку міцності кладки на осьовий стиск: формула О니щика Л.І.; добуток степеневих функцій міцності цегли і розчину за ДБН В.2.6-162:2010 і Єврокод 6, а також інших дослідників; формула Хільсдорфа. Розглянуті типи та розміри зразків, які застосовуються для експериментального визначення даної характеристики. В Україні міцність при стиску визначається за результатами випробування цегляних стовпів з квадратним поперечним перерізом різних розмірів. За кордоном випробовуються ділянки стін або призми з різною кількістю рядів кладки. Однак, єдиних вимог до їх розмірів не існує.

Крім осьового стиску велика кількість кам'яних конструкцій сприймають навантаження, котрі передаються лише на частині їх поперечного перерізу. Розрахунок кладки при місцевому стискові в нормах здійснюється за емпіричною залежністю, котра суттєво занижує її опір. Відомі випробування цегляних стін смуговим навантаженням, розташованим по середині і на куті. Запропоновано використання варіаційного методу теорії пластичності у якості розрахункового апарату оцінювання несучої здатності стін при місцевому стиску в умовах плоского напруженого стану. Однак, відсутні випробування стін при

розташуванні навантаження біля лицьової грані і зминанні в умовах об'ємного напруженого стану.

У розділі 2 «Методика проведення експериментальних досліджень» описана програма дослідження двох серій зразків, метою яких являється аналіз характеру руйнування та граничного навантаження цегляної кладки при осьовому та місцевому стиску. Перша серія передбачала випробування на осьовий стиск і включала: три стовпи із розмірами поперечного перерізу 510×510, 380×380, 250×250 мм, висотою 1 м; 3 пари призм товщиною в пів цеглини та висотою в три, п'ять і сім цеглин стандартного розміру, а також фрагмент стіни товщиною в пів цеглини та розмірами 900×440 мм. Деформований стан кладки вивчався за допомогою індикаторів годинникового типу із ціною поділки 0,01 мм. Друга серія – випробування на місцевий стиск, включала п'ять стінок із розмірами 1030×740×380 мм та площадками завантаження: 150×250; 100×150; 150×100; 100×250; 100×100 біля лицьової грані в різних місцях за довжиною. Випробування проводилося в лабораторії кафедри будівельних конструкцій на пресі ПММ-500.

Міцність цегли і розчину визначалися за результатами стандартних випробувань.

У розділі 3 «Результати та аналіз експериментальних досліджень» описано результати випробування кам'яних стовпів, стінки та призм на осьовий та стін на місцевий стиск. Проаналізовано деформації, утворення тріщин характер руйнування та граничне навантаження дослідних зразків, котрі використовуються для визначення міцності кладки на осьовий стиск. Відмічено співпадання характеру руйнування зразків з іншими дослідженнями. За показами індикаторів побудовані залежності відносних деформацій цегляної кладки від рівня навантаження, котрі засвідчують появу пластичної складової деформації на останніх стадіях навантаження та дають можливість припустити доцільність застосування теорії пластичності при розрахунках цегляних конструкцій. За результатами аналізу дослідів надані пропозиції щодо форми та розмірів дослідного зразка для визначення міцності кладки при осьовому стиску. При випробуванні стін на місцевий стиск у разі прикладанні навантаження за

довжиною стіни через штампи, ширина яких менше товщини стіни, було зафіксовано руйнування, при якому під площадкою навантаження утворювалася піраміда ущільнення, котра виступала ініціатором розколювання зразка за площиною, що виходила на обидві лицьові грані стінки. Основним параметром впливу на величину граничного навантаження виступає відношення l_{loc}/h , при його збільшенні опір зменшується.

У розділі 4 «Розв’язання задач міцності кам’яної кладки при місцевому стиску варіаційним методом» наведено кінематичні моделі руйнування фрагмента цегляної стіни при прикладанні прямокутного та смугового штампів. Розв’язані задачі опору із застосуванням варіаційного підходу в теорії пластичності вказують на суттєвий вплив на величину граничного навантаження таких факторів, як відношення висоти та ширини елемента до розмірів навантажувальної площадки, геометричні параметри зони прикладання навантаження, а також складові кам’яної кладки – марка цегли і розчину.

У розділі 5 «Чисельне моделювання цегляної кладки» для розрахунку прийнятий підхід макромодельовання з моделлю матеріалу Concrete Damaged Plasticity, реалізованою в програмному комплексі Abaqus/Standard. Розглядаються випадки місцевого стиску цегляної кладки досліджені в експерименті. Результати чисельного моделювання підтверджують типовий для місцевого стиску механізм руйнування кладки: вертикальні тріщини розколювання розвиваються по боках від штампа. Проведено порівняння несучої здатності стіни при місцевому стиску, отриманої за нормативною методикою, варіаційним методом, методом чисельного моделювання з експериментом. Надані рекомендації щодо оцінювання опору кладки.

Ключові слова: кам’яна кладка, міцність, осьовий стиск, місцевий стиск, варіаційний метод, чисельне моделювання методом скінченних елементів, несуча здатність.

ANNOTATION

Pents M.V. Compressive Strength of Masonry – Qualifying Research Paper (Manuscript).

Doctoral dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 192 – Construction and Civil Engineering (19 “Architecture and Construction”). – Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic National University. – Poltava, 2026.

The dissertation is devoted to improving the engineering methodology for calculating the strength of masonry under axial and local compression based on the variational method of plasticity theory and experimental studies.

The dissertation is devoted to proposing the shape and dimensions of a test specimen for determining the strength characteristics of masonry under axial compression, and to refining approaches for assessing the strength of brick masonry under local compression.

In section 1, «Analytical review of the literature on the strength of masonry under compression», the relationships proposed for calculating the strength of masonry under axial compression are analysed: the formula by L.I. Onyshchuk; the product of power functions for the strength of bricks and mortar according to DBN V.2.6-162:2010 and Eurocode 6, as well as those of other researchers; and Hilsdorf's formula. The types and dimensions of specimens used for the experimental determination of this characteristic are considered. In Ukraine, compressive strength is determined based on the results of tests on brick columns with square cross-sections of various sizes. Abroad, sections of walls or prisms with different numbers of masonry courses are tested. However, there are no uniform requirements regarding their dimensions.

Section 2, «Methodology for experimental studies», describes a programme of investigations involving two series of specimens, the aim of which is to analyse the failure behaviour and ultimate load of masonry under axial and local compression. The first series involved tests under axial compression and included: three columns with cross-sectional dimensions of 510×510, 380×380 and 250×250 mm, and a height of 1 m; three pairs of prisms half a brick thick and three, five and seven standard-sized bricks high, as well as a wall section half a brick thick and measuring 900×440 mm.

The strain of the masonry was studied using dial-type indicators with a graduation of 0.01 mm. The second series – local compression tests – included five walls measuring 1030×740×380 mm and loading areas: 150×250; 100×150; 150×100; 100×250; 100×100 near the face edge at various points along its length. The tests were carried out in the laboratory of the Department of Building Structures on a PMM-500 press.

The strength of the bricks and mortar was determined based on the results of standard tests.

Section 3, «Results and analysis of experimental studies», describes the results of tests on stone columns, walls and prisms under axial compression, and on walls under local compression. The strains, crack formation, failure mode and ultimate load of the test specimens, which are used to determine the strength of masonry under axial compression, are analysed. It is noted that the failure mode of the specimens is consistent with that observed in other studies. Based on the indicators, relationships between the relative strains of masonry and the load level have been established, which confirm the appearance of a plastic deformation component in the final stages of loading and suggest the feasibility of applying plasticity theory in the design of brick structures. Based on the results of the experimental analysis, recommendations are provided regarding the shape and dimensions of the test specimen for determining the strength of masonry under axial compression. During testing of walls for local compression, when a load was applied along the length of the wall via dies, the width of which is less than the wall thickness, failure was observed in which a compression pyramid formed beneath the load area, acting as the initiator of the specimen's splitting along a plane extending to both face surfaces of the wall. The main parameter influencing the magnitude of the ultimate load is the ratio l_{loc}/h as this ratio increases, the resistance decreases.

Section 4, «Solving strength problems in masonry under local compression using the variational method», presents kinematic models of the failure of a brick wall segment when subjected to rectangular and strip-shaped loads. The strength problems solved using the variational approach in plasticity theory indicate that factors such as the ratio of the element's height and width to the dimensions of the loading area, the

geometric parameters of the load application zone, as well as the components of the masonry – the grade of brick and mortar.

In section 5, «Numerical modelling of brick masonry», a macro-modelling approach is adopted for the calculations, utilising the Concrete Damaged Plasticity material model implemented in the Abaqus/Standard software package. Cases of local compression of masonry investigated experimentally are considered. The results of numerical modelling confirm the failure mechanism typical of local compression: vertical splitting cracks develop on either side of the stamp. A comparison is made between the load-bearing capacity of the wall under local compression, obtained using the standard method, the variational method, and the numerical modelling method, and the experimental results. Recommendations are provided for assessing the resistance of masonry.

Keywords: masonry, strength, axial compression, local compression, variational method, finite element numerical simulation, bearing capacity.