

А.М. Павліков

О.В. Гарькава

КАМ'ЯНІ ТА АРМОКАМ'ЯНІ КОНСТРУКЦІЇ

ПРАКТИЧНІ ЗАДАЧІ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Міністерство освіти і науки України
Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

А.М. Павліков
О.В. Гарькава

КАМ'ЯНІ
ТА АРМОКАМ'ЯНІ
КОНСТРУКЦІЇ.
ПРАКТИЧНІ ЗАДАЧІ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

ПОЛТАВА
2024

УДК 693.827(075)

П12

Рецензенти:

Кочкаръов Д.В. – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри міського будівництва та господарства Національного університету водного господарства та природокористування.

Микитенко С.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних конструкцій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

*Затверджено науково-методичною радою
Національного університету
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
до видання як посібник для студентів закладів вищої освіти,
протокол №5 від 13 червня 2024 р.*

Павліков А.М., Гарькава О.В.

П12 Кам'яні та армокам'яні конструкції. Практичні задачі:
Навчальний посібник / А.М. Павліков, О.В. Гарькава. – Полтава:
ПП «Астрая», 2024. – 275 с.

ISBN 978-966-616-187-4

Посібник присвячено сучасним методам розрахунку та конструювання кам'яних та армокам'яних конструкцій. Принципи проектування кам'яних та армокам'яних конструкцій подано відповідно до вимог нормативних документів станом на 01.01.2024 р. Посібник призначений для студентів, які навчаються за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» для здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр» за всіма формами навчання. Також посібник буде корисним викладачам, інженерно-технічним працівникам, науковцям, аспірантам.

УДК 693.827(075)

©Павліков А.М., 2024

©Гарькава О.В., 2024

©Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», 2024

ISBN 978-966-616-187-4

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	7
УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	13
ЗАСТОСОВАНІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ	20
1 КАМ'ЯНА КЛАДКА ТА ЇЇ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.....	28
1.1 Загальні поняття, матеріали для кам'яної кладки.....	28
1.1.1 Основні характеристики та вимоги до елементів кам'яної кладки.....	31
1.1.2 Основні характеристики та вимоги до будівельного розчину.....	32
1.2 Міцнісні характеристики кам'яної кладки.....	33
1.2.1 Вплив на міцність кам'яної кладки технологічних чинників.....	35
1.2.2 Залежність міцності кладки від міцності каменів та розчину.....	37
1.2.3 Міцність кладки при стисканні.....	38
1.2.4 Міцність кладки при розтягові та зсувові.....	43
1.3 Деформаційні властивості кам'яної кладки.....	47
1.4 Повзучість, усадка і температурні деформації кладки.....	52
2 РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ГРАНИЧНИМИ СТАНАМИ ПЕРШОЇ ГРУПИ.....	54
2.1 Центрально стиснуті елементи.....	54
2.2 Позацентрово стиснуті елементи.....	60
2.2.1 Передумови розрахунку.....	60
2.2.2 Розрахункові перерізи.....	62
2.2.3 Розрахункова висота конструкції.....	65
2.2.4 Ефективна товщина стін.....	70
2.3 Елементи, які зазнають місцевого стискання (зминання).....	80

2.4	Елементи, які зазнають згинання, зрізування та розтягу.....	86
3 ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ АРМОКАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ		
ЗА ГРАНИЧНИМИ СТАНАМИ ПЕРШОЇ ГРУПИ		
		92
3.1	Загальні положення розрахунку	92
3.2	Елементи із сітчастим армуванням.....	93
3.2.1	Конструктивні особливості елементів із сітчастим армуванням	93
3.2.2	Розрахунок несучої здатності елементів із сітчастим армуванням при центральному стиску.....	96
3.2.3	Розрахунок несучої здатності елементів із сітчастим армуванням при позацентровому стиску.....	102
3.3	Елементи із поздовжнім армуванням.....	113
3.3.1	Конструктивні особливості елементів із поздовжньою арматурою.....	113
3.3.2	Розрахунок несучої здатності елементів із поздовжнім армуванням при центральному стиску.....	115
3.3.3	Розрахунок несучої здатності елементів із поздовжнім армуванням при позацентровому стиску.....	118
3.3.4	Розрахунок несучої здатності елементів із поздовжнім армуванням при згинанні.....	125
3.4	Розрахунок несучої здатності елементів, підсилених обоймою.....	129
4 РОЗРАХУНОК КАМ'ЯНИХ ТА АРМОКАМ'ЯНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА		
ГРАНИЧНИМИ СТАНАМИ ДРУГОЇ ГРУПИ (ЗА ПРИДАТНІСТЮ ДО		
НОРМАЛЬНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ).....		
		135
4.1	Розрахунок неармованих кам'яних елементів за граничними станами другої групи (за придатністю до нормальної експлуатації).....	136

4.2	Розрахунок армованих кам'яних елементів за граничними станами другої групи (за придатністю до нормальної експлуатації).....	139
5 КОНСТРУКТИВНІ СИСТЕМИ БУДІВЕЛЬ З КАМЕНЮ.....		144
5.1	Загальні поняття про конструктивні системи будівель з каменю	144
5.2	Правила попереднього призначення товщини стін.....	145
5.3	Будівлі із жорсткою конструктивною системою	146
5.3.1	Розрахунок стін будівель із жорсткою конструктивною системою.....	147
5.4	Будівлі із пружною конструктивною системою	177
5.4.1	Розрахунок поперечних рам будівель із пружною конструктивною системою.....	179
6 РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ ОКРЕМИХ ЧАСТИН КАМ'ЯНИХ БУДІВЕЛЬ.....		188
6.1	Фундаменти та стіни підвалів.....	188
6.1.1	Розрахунок міцності стін підвалів.....	191
6.2	Висячі стіни та конструкції, що їх підтримують.....	197
6.3	Вузли обпирання будівельних конструкцій на стіни.....	203
6.4	Перемички.....	213
6.5	Карнизи.....	220
6.6	Деформаційні шви.....	224
7 ОСОБЛИВОСТІ ЗВЕДЕННЯ КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВЗИМКУ... ..		232
7.1	Загальні положення	232
7.2	Кладка стін на розчинах з хімічними добавками.....	235
7.3	Кладка кам'яних конструкцій методом заморожування.....	241
7.4	Кладка кам'яних конструкцій методом заморожування із прогріванням.....	252

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	264
ДОДАТОК А	
РОЗРАХУНКОВІ ЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН.....	267

ПЕРЕДМОВА

Кам'яні та армокам'яні конструкції широко та ефективно застосовуються в практиці будівництва при зведенні будівель, споруд та їх частин.

З каменю будівельні об'єкти почали зводити понад декілька тисячоліть тому. Великі природні кам'яні брили та плити застосувались ще в кам'яному віці в простих спорудах – дольменах. Пізніше з каменю почали будувати оборонні стіни, фортифікаційні та інші споруди.

У Єгипті, Південній Америці, на Близькому Сході, в Китаї і в Європі камінь, як будівельний матеріал, почали використовувати близько 3000 років до нашої ери. Спочатку він мав вигляд необробленого каменю, а потім, з вдосконаленням знарядь праці, почали витесувати з кам'яних порід великі прямокутної форми блоки, котрі при зведенні стін вкладали один на одного. Будували з каменю будинки, храми, акведуки, мости, гробниці. Багато які з тих кам'яних будівель та споруд збереглися дотепер.

У країнах з жарким сухим кліматом широко застосовували штучні отесані до необхідних розмірів блоки із глини-сирцю, що пізніше призвело до створення сирцевої та випаленої цегли. Будівлі та споруди із таких матеріалів у Вавилоні та Єгипті почали зводити понад 4 тисячі років тому назад.

Природний камінь, цегла-сирець та випалена цегла були основним матеріалом для будівництва житла і окремих споруд у Древньому Римі, Древній Греції і в Західній Європі.

Згадка про застосування будівельного матеріалу у вигляді цегли близько 2000 р. до нашої ери наведена в Старому Заповіті (Буття 11.3) в оповіді про зведення Вавилонської вежі: «І сказали вони один одному: „Ану, наробімо цегли, і добре її випалімо!“ І сталася цегла для них замість каменю, а смола земляна була їм за вапно». Про давніше застосування цегли також свідчить біблійна Книга пророка Єзекіїля у вірші 4.1: «А ти, сину людський, візьми собі цеглину, і поклади перед собою, і накреслиш на ній місто – Єрусалим.

За свідченнями грецького історика Геродота при першому єгипетському цареві Менесі 3890 років до нашої ери із застосуванням каменю на річці Ніл, з метою зміни напрямку її русла, було побудовано іригаційну споруду – греблю. Також були побудовані гробниці єгипетських знатних вельмож та царів – піраміди, викладені з обтесаних

каменів великого розміру. Пізніше (2720 – 2560 роки до н. е.) на території Мемфісу було зведено три значних за розмірами піраміди Хеопса: їх висота сягала 140 м, довжина сторони основи становила 215 м, а загальний об'єм кам'яної кладки складав 2,6 млн. м³. У той час за будівельний матеріал у будівництві споруд та будівель переважно слугували кам'яні плити та блоки, а в окремих випадках – піщаник та сирцева цегла (наприклад, у піраміді в Дашурі).

У Вавілонії майже 2900 років тому назад були споруджені башти (зіккурати) висотою до 90 м в поселеннях народів Шумерії та Аккадії. Ці башти викладені із застосуванням сирцевої цегли (блоків). Розчином для кладки слугували зола, асфальт (гірська смола) та рідка глина. У цей історичний період, особливо в період царювання Хаммурапі (1792 – 1750 роки до н. е.), з каменю та цегли було зведено багато монументальних палаців, храмів, а також оборонних споруд та іригаційних систем. Пізніше, за правління царя Навуходоносора II (604 – 551 роки до н. е.), випалена цегла була застосована при зведенні храму бога Мардука, палацу Навуходоносора, древнього зіккурату Етеменанки, воріт богині Іштар та інших будівель і споруд.

У IV столітті до нашої ери грандіозним пам'ятником застосуванню кам'яних матеріалів стало будівництво Великої китайської стіни. Вона складається із двох зовнішніх стін, змурованих з цегли та каменю із засипанням простором між ними землею та вкладених поверх неї кам'яних плит. Протяжність стіни склала 4247 км, її ширина сягає 6,5 м, висота місцями перевищує 10 м, а уздовж стін через кожні 375 м споруджені квадратні цегляні сторожові вежі. У будівництві кам'яних будинків в Китаї майже 3000 років тому з метою економії каменю почали в стінах влаштовувати повітряні прошарки. У III – VII століттях з каменю в Китаї започаткували спорудження аркових мостів.

Є відомості застосування не випаленої цегли в Америці: в V столітті з неї в долині Мехіко (царство народності толтеків) було збудовано багато палаців та храмів, руїни яких збереглись до сьогоднішніх днів. Про масштаби тогочасного застосування цегли в будівництві свідчить збережена піраміда Сонця, яка має висоту 60 м та розміри в плані 210×210 м.

Зведення значних споруд і палаців з каменю та сирцевої цегли відноситься до початку 2-го тисячоліття до нашої ери в період розквіту острова Крита. Видатним пам'ятником у будівництві тут став великий

палац в Кносі: стіни його складені із сирцевої цегли на кам'яному цоколі. Із сирцевої цегли також зводились і житлові будинки. Поруч з глиняною цеглою в будівництві в Греції та Римі широко застосовувалися піщаник, мармур, вапняк, матеріали вулканічного походження. У кінці IV століття до нашої ери римляни побудували першу штучну дорогу з кам'яним покриттям протяжністю 45 км та шириною 8,5 м.

Прикладами широкого застосування цегляної кладки можуть служити багато унікальних конструкцій. Серед них зведений за проектом архітектора Філіппо Брунеллескі відносно легкий 8-гранний купол з цегли над кафедральним собором міста Флоренції (1420—1436 рр.) Також привертає до себе увагу шатро базилики Святого Петра у Ватикані (Рим), яке являє собою найбільшу цегляну надбудову і складається зі зв'язаних між собою двох склепінь. Прохід між його двома стінами-склепіннями має сходи, рухаючись по яким можна спостерігати всю складність цієї конструкції. Внутрішня висота шатра становить 119 м, а внутрішній його діаметр – 42 м. Цегляна кладка також застосована і в Соборі Святого Павла (1708 р.) – однієї із самих значних пам'яток Лондона. Купол цього Собору багато в чому повторює кам'яний купол базилики Святого Петра в Римі.

Видатним пам'ятником будівництву з каменю являється софійський собор у Києві, збудований в XI столітті. Стрічкові фундаменти собору викладені з бутового каменю на розчині в зовнішніх стінах і насухо у внутрішніх стінах. Кладка стін складається з 4-5 горизонтальних шарів цегли і одного шару каменю на вапняному розчині. Застосована цегла (плінфа) мала розміри 365×312×45 мм. Арки, склепіння та куполи викладені з цегли на вапняному розчині. У цей же час кам'яна кладка також була застосована в Києві в кладці стін Золотих воріт.

Масове застосування армокам'яних конструкцій бере початок з кінця XVIII століття. Що ж до поодиноких випадків застосування армокам'яних конструкцій, то металеві закладні деталі в кам'яній кладці почали використовувати ще в древніх спорудах. Так, наприклад, у Древній Грузії стіни фортеці Багінетті в IV столітті до нашої ери викладені у вигляді квадратів, з'єднаних пластинами зі свинцю для сприймання зусиль розтягу та зрізу від просідань фундаменту та землетрусів. У стінах собору Свети-Цховелі в Мцхеті в Грузії в XI столітті в поздовжніх швах кам'яної кладки виявлені залізні ковані стрічки, які з'єднували між собою групи квадратів.

У XVI столітті армокам'яні конструкції почали застосовувати в конструкціях склепінь при влаштуванні перекриттів храмів. В той час за

арматуру для сприймання зусиль розтягу в армокам'яних конструкціях слугували сталеві стержні.

У другій половині XVIII століття була розроблена армокам'яна конструкція перекриття паризького Пантеону. Будівництво цієї споруди поклало початок масового застосування армокам'яних конструкцій.

На початку XIX століття армовану цегляну кладку почали використовувати в Англії для спорудження двох шахт Лондонського метрополітену під рікою Темзою та міських димових заводських труб.

Природний камінь, цегла та армокам'яні конструкції з них були найбільш розповсюджені для всіх видів будівництва в роки перших п'ятирічок у СРСР та в роки Великої Вітчизняної війни. Пізніше тут почали застосовувати ефективніші за теплотехнічними властивостями і економічними показниками штучно створені порожнисті бетонні камені, керамічні камені, керамічну цеглу, крупні цегляні, бетонні та природного походження блоки.

До XIX століття об'єми зведення будівель та споруд з цегли зростали, але технологія її виробництва залишалася примітивною і трудомісткою: цеглу формували вручну, сушили влітку, а потім випалювали в тимчасових черевих печах, влаштованих з висушеної цегли-сирцю. В середині XIX століття було створено кільцеву випалювальну піч, а також стрічковий прес. У кінці XIX століття для прискорення виготовлення цегли почали застосовувати сушарки і механізми з обробними пристроями: глином'ялками, бігунами, вальцями. Тепер понад 80 % всієї цегли виробляється підприємства безперервно протягом усього року. Серед них є високо механізовані заводи продуктивністю понад 200 млн. шт. цегли на рік.

Досвід світової практики зведення будівельних об'єктів з каменю свідчить, що застосування в будівництві кам'яної та армокам'яної кладки має ще значний потенціал, обумовлений високими технічними та економічними її перевагами: значна довговічність, достатньо висока міцність; високий рівень вогнестійкості; можливість використовувати місцеві матеріали та надавати конструкціям різноманітних архітектурних форм; помірність експлуатаційних витрат. Разом з тим зведенню кам'яних конструкцій притаманні певні недоліки: висока трудомісткість робіт при виконанні кладки; недостатній рівень теплостійкості; деякі труднощі виконання кладки в зимовий час; поки що низький рівень запровадження індустріальних методів виконання кам'яних конструкцій.

Кам'яна та армокам'яна кладка часто застосовується при виконанні робіт з перепрофілювання, реконструкції і капітального ремонту будівель і споруд. Сучасний етап будівництва будівель характеризується розширенням застосування кам'яної кладки в індивідуальних проектах, застосування кам'яних та армокам'яних конструкцій набуває нового розвитку.

Накопичений досвід реконструювання будівельних об'єктів, а також їх проектування і нове будівництво показали, що і тепер важливим залишається науковий напрям з удосконалення методів розрахунків кам'яної та армокам'яної кладки, які б дозволяли точніше на практиці оцінювати вагомість впливу різних факторів на експлуатаційні якості кам'яних та армокам'яних конструкцій. У цьому аспекті багато чого зроблено: накопичено значний об'єм результатів експериментально-теоретичних досліджень; впроваджується в розрахунки міцності кам'яних конструкцій метод на основі діаграм деформування кладки « $\sigma_k - \varepsilon_k$ »; вітчизняна нормативна база з проектування будівельних конструкцій, будівель і споруд з кам'яної кладки адаптована до вимог Єврокодів.

Значний вклад у розвиток кам'яних та армокам'яних конструкцій внесли такі відомі вчені як М.А. Белелюбський, М.К. Лахтін, Л.Д. Проскуряков, Ф.С. Ясинський, М.М. Аістов, М.М. Попов, Н.М. Орлякін та інші. Вагомий внесок в дослідженнях кам'яних та армокам'яних конструкцій належить і українським ученим, серед яких П.Л. Єременок, І.П. Єременок, П.Ф. Вахненко, С.В. Макаров, М.М. Губій, Є.В. Клименко, Л.І. Оніщик та інші. Значні за обсягом роботи експериментально-теоретичного характеру кам'яних та армокам'яних конструкцій проведені в Державному науково-дослідному інституті будівельних конструкцій (м. Київ).

У цьому посібнику викладені питання щодо фізико-механічних характеристик кам'яної та армокам'яної кладки з урахуванням основних положень Єврокодів, наведені приклади розв'язання задач з найбільш розповсюджених питань у галузі зведення конструкцій з цього будівельного матеріалу.

У написанні посібника відображено вимоги нормативних документів [1 – 10] та пропозиції закордонного досвіду [11 – 16] з проектування кам'яних та армокам'яних конструкцій, показано, яким чином в конкретних ситуаціях (на прикладах) слід застосовувати положення сучасних державних будівельних норм, а також відображено їх схожість і

відмінність з відміненими нормами [17], особливо – в розв’язанні задач. Такий підхід викладення матеріалів у посібнику суттєво сприяє засвоєнню навичок з використання державних будівельних норм у практиці сучасного будівництва.

У посібнику наведено багато прикладів застосування методів розрахунку будівельних конструкцій із кам’яної кладки в практиці їх проектування та експлуатації.

При складанні посібника використані матеріали, які містяться в чинних нормативних документах, а також у інших опублікованих роботах, : підручниках, посібниках, монографіях, статтях [1 – 17].

Передмова, розділи 1 – 7 та приклади 1.1 – 2.3, 7.1 – 7.3 підготовлені Павліковим А.М., практичні приклади 2.4 – 6.1 розроблені Гарькавою О.В.