

А. П. Крамарчук, Б. М. Ільницький, М. Е. Волинець, Т. В. Бобало
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельних конструкцій та мостів

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ТА ДЕФОРМАТИВНОСТІ АРМОКАМ'ЯНИХ ЗГИНАНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

© Крамарчук А. П., Ільницький Б. М., Волинець М. Е., Бобало Т. В., 2015

Наведені результати експериментальних досліджень міцності та деформативності нормальних перерізів армокам'яних балок, армованих безкаркасным армуванням стержневою арматурою класу А400С без попереднього напруження. Ці експерименти та порівняння їх з розрахунками за чинними нормами дають змогу оцінити збіжність результатів та зробити висновки щодо можливості раціонального конструювання керамоблокових згинних елементів із подвійним армуванням у зоні дії нормальних сил. Ця робота є частиною досліджень керамоблокових конструкцій з різними типами армування та різними типами розташування керамічних елементів у балці, які проводять у науково-дослідній лабораторії кафедри будівельних конструкцій і мостів Інституту будівництва та інженерії докільця Національного університету “Львівська політехніка”. Практичне значення роботи полягає в визначенні доцільності використання цих типів балок у будівництві, характеру поведінки керамоблокової конструкції із різними типами армування. Для розроблення пропозицій потрібні також інші експериментальні дані, які будуть проводитися у майбутньому. Всі дослідження експериментальних зрізів балок виконали в ГНДВЛ-105 кафедри будівельних конструкцій та мостів Національного університету “Львівська політехніка” автори статті.

Ключові слова: цегла, розчин, арматура, безкаркасні керамоблочні балки, несуча здатність, жорсткість, тріщиностійкість, згинальні елементи, стиснута зона, розтягнута зона, експериментальні зразки.

The results are given on the basis of an experimental research on firmness and deformability of normal sections of concrete beams reinforced with frameless reinforcement and rod reinforcement class A400C without prestressing. These experiments and comparing them with calculations according to current regulations give an opportunity to assess the convergence of the results and draw conclusions about the possibility of rational design of ceramic block bending elements with double reinforcement in the area of the normal forces. This work is a part of research in the field of ceramic block constructions with different types of reinforcement and location of different types of ceramic elements in the beam, which are conducted by a research laboratory of the department “Building Constructions and Bridges” of Civil and Environmental Engineering Institute and National University “Lviv Polytechnic”. The practical significance of the work is determined by the advisability of using these types of beams in the building and the character of ceramic block behaviour with different types of reinforcement. To make further suggestions there are needed other experimental data, which will be held in the future. All researches of experimental prototypes of beams were performed in HNDVL-105 of department “Building Constructions and Bridges” National University “Lviv Polytechnic” by the authors of this article.

Key words: bricks, mortar, reinforcement, frameless ceramic block beams, bearing capacity, stiffness, fracture toughness, bent elements, compressed zone, stretched zone, experimental samples.

Постановка проблеми

З кам'яних матеріалів – цегли, керамічних і бетонних каменів, великих блоків – з бетону і природного каменя зводять велику кількість будівель і споруд різного призначення. У житловому будівництві, наприклад, понад 40 % будівель будують з дрібно-штучних кам'яних матеріалів (цегли, каменів, блоків). У зв'язку з цим на будівництвах нині велика кількість робітників зайняті

виконанням кам'яних робіт. Старіння будівель та споруд, або невідповідність їх до нового функціонального призначення, зумовлена технічним прогресом, призводить до потреби проведення великої кількості реконструкцій споруд. Сучасний стан економіки висуває нові вимоги до будівельної продукції, де в умовах жорсткої конкуренції, на перше місце виходять такі показники, як: економічність, довговічність, надійність та естетичність.

Якість кладки – це не тільки її естетичний зовнішній вигляд, а передусім здатність сприймати навантаження від дії зовнішніх сил, забезпечувати надійність і довговічність під час її експлуатації. Тому муляр, ще до того, як він почне як професіонал зводити кам'яні конструкції на будівництві, повинен навчитися якісно виконувати всі операції кладки.

Не тільки від майстерності муляра, але і всіх працівників на будівництвах безпосередньо залежить також, наскільки економно будуть витрачатися матеріально-технічні і трудові ресурси, що виділені на будівництво об'єктів. За величезних обсягів капітального будівництва, здійснюваного в країні, економне використання засобів і матеріалів на будівництвах – одне з найактуальніших завдань. Тому важливо безперервно удосконалювати технологію і організацію виробництва і праці робітників на будівництвах і за рахунок цього добиватися скорочення тривалості і поліпшення якості будівництва, зниження витрат праці і матеріалів. Ця вимога безпосередньо стосується всіх видів робіт, зокрема до виробництва кам'яних робіт, де за рахунок умілого застосування раціональних пристосувань і інвентаря, а також засобів механізації можна повністю усунути втрати розчину, цегли, каміння і інших матеріалів.

Армокам'яні конструкції — кам'яні конструкції, армовані за допомогою сталі (арматури) з метою підвищення їхньої міцності. Армування сприймає внутрішні розтягуювальні зусилля, які виникають у конструкціях, що зазнають згину — в перекриттях, перемичках, балках (поздовжнє армування), а також підвищує міцність конструкцій, що працюють на стиск, наприклад простінків, стовпів (поперечне армування). Арматуру у вигляді окремих стрижнів чи сіток укладають у швах або в спеціальних пазах та каналах кам'яної кладки. До армокам'яних конструкцій також належать керамоблокові балки.

Саме тому збірні несучі керамоблокові балки є актуальними з погляду економічного використання засобів та матеріалів на будівництві, адже їх можна виготовляти безпосередньо на будівельних об'єктах без використання опалубки та віброущільнювачів, які потрібні для виготовлення залізобетонних елементів. Для цих конструкцій також можна використовувати керамічну цеглу чи керамічні блоки, які є доволі поширеним і порівняно недорогим матеріалом на будівництві. Відповідно за рахунок того, що такі конструкції виготовляють на об'єкті будівництва, відповідає потреба їх транспортування з місць виготовлення.

Важливим та важким інженерно-будівельним завданням є підвищення експлуатаційних властивостей армокам'яних згинальних елементів. У перекриттях це часто проводять за рахунок збільшення їх висоти перерізу (збільшення стиснутої зони елемента) або за рахунок збільшення армування цих конструкцій. Тому дослідження згинальних елементів, армованих різними типами армування, мають широке практичне значення для розроблення рекомендацій з використання цих армокам'яних елементів. Результати поведінки стиснутої і розтягнутої зон, деформативність та тріщиностійкість за різного армування мають практичне і теоретичне значення для прогнозованої оцінки напружено-деформованого стану за граничними станами.

Короткий історичний огляд розвитку армокам'яних конструкцій

Археологічні розкопки свідчать про використання цегли ще 5–6 тисяч років тому. Проте ніхто не може точно сказати, хто, де і коли винайшов цей будівельний матеріал. Загалом, історія цегли започаткована в південних країнах. Першу випалену цеглу почали виробляти в Месопотамії ще в середині IV тисячоліття до н. е. Через 1 000 років цегляне будівництво тут досягло свого розквіту. Саме тоді були побудовані перші монументальні споруди, наприклад, храми в місті Урук. У II тисячолітті до н. е. була споруджена відома Вавілонська вежа, що упродовж історії не раз була зруйнована, а потім відбудована. Ще й до сьогодні залишилися в цьому регіоні будинки, споруджені з багатовікової цегли Вавілонської вежі.

Випалена глиняна цегла, один з найстаріших штучних матеріалів. До нас дійшли пам'ятки архітектури, збудовані з керамічної цегли в Китаї та Єгипті багато століть тому. В Європі спочатку

глиняну цеглу використовували без випалу. Та вже в IV ст. до н. е. в Україні й Росії, як визначали археологи, існували печі для випалу керамічної цегли, але до XIX ст. технологія виготовлення керамічної цегли була примітивною, застосовували багато ручної праці. З XIX ст. почали застосовувати глинообробні машини, які приводили в дію за допомогою кінської тяги. Трохи пізніше з'явилися стрічкові преси та інша глинооброблювальна техніка. У 1858 р. в Україні й Росії почалось будівництво кільцевих гофманівських печей, почали будувати перші підприємства, де застосовували штучне сушіння сирової цегли, що дало змогу виготовляти цеглу протягом усього року (раніше цеглу взимку не виготовляли). У Харківській та інших областях кільцеві печі на підприємствах малої потужності використовують до цього часу. З глини також з давніх часів формували і випалювали черепицю. І була вона поширена по всій Європі й світу. Наприклад, до 1917 р. всі пароплави вивозили з Одеси черепицю і всі покрівлі в місті були збудовані з черепиці.

Ера штучних в'язучих речовин починається з відкриття в Давньому Єгипті біля міста Алібістран каменя, який назвали алебастровий камінь (за назвою міста). Єгиптяни вперше визначили, що цей камінь після змелення в порошок і сушіння на сонці, після змішування з водою швидко втрачає пластичність, починає тужавіти і переходить у каменеподібний стан. Його почали використовувати як кладковий розчин для зчеплення природного каменю. Так сірковий кальцій започаткував виробництво гіпсових в'язучих речовин. Мистецтво виробництва цегли в країнах Європи поширилось разом з військовими походами римлян. З XII ст. найбільшими центрами цегляного будівництва стають Ломбардія, Франція та Німеччина. Цегла набула застосування в усі часи архітектурних стилів: від романіки до готики та ренесансу. Про середньовічне будівництво з цегли, виготовленої вручну, свідчать численні споруди, що залишилися до наших часів насамперед в північно-європейських країнах, особливо, в північній Німеччині, Бельгії, Нідерландах, Англії та Скандинавських країнах. В Україну цегляне будівництво поширилось з Візантії разом з Християнством і архітектурною школою зведення культових споруд. У X–XIII ст. цеглу широко застосовують у будівництві в Київській Русі. Поступово дерев'яні міста України перетворюються на цегляні.

Технологічне виробництво цегли продовжувало залишатися примітивним і трудомістким до XIX ст. Формуванням цегли займалися вручну, сушили його тільки в літню пору, випалювали в підлогових печах-тимчасових будівлях, викладені які були з висушеної цегли-сирцю. У середині XIX ст. активно почала розвиватись цегляна промисловість. З'являються сучасні заводи, які виробляють сучасну цеглу. Сьогодні з упевненістю можна відзначити, що випуск цегли є широкий і різноманітний: випускають понад п'ятнадцять тисяч різних сполучень, форм, розмірів, фактур поверхонь і кольорів. А також цегла може бути повнотілою і порожнистою, поризованою, керамічною, з теплозахисними властивостями, рядовою, фасонною, личкувальною, камінною, одинарною, подвійною, потовщеною та іншою. І побудувати відповідно з неї можна все, що завгодно: від простого стовпа до висотного будинку незвичайної форми. З нею зручно працювати, її вважають міцним матеріалом, довговічним, красивим і екологічним. Промислове виробництво цегли почали англійці. Проте могутнього розвитку набуло виробництво цегли в Німеччині – саме тут штранг-прес винайшов берлінський фабрикант Шлікейзен в 1854 р. та в 1858 р. запатентована кільцева піч архітектора Фрідріха Хоффманна. З тих часів мистецтво випалювання цегли поступово удосконалювалось до рівня сучасного високотехнологічного виробництва, що дає змогу отримувати ту високоякісну та міцну цеглу, яку нині ми маємо.

Сьогодні також використовують різноманітні керамічні конструкції, такі, як армовані цегляні балки-перемички, прогони та перекриття із керамічних блоків (див. рис. 1).

Міцність кладки залежить від властивостей цегли (каменю) і розчину, з яких кладка складена. Межа міцності при стисненні, наприклад, цегляної кладки, виконаної навіть на високомарочному розчині, при звичайних методах зведення становить не більше ніж 40–50 % межі міцності цегли. Пояснюється це тим, що поверхні цегли і шва кладки не ідеально плоскі, щільність і товщина шару розчину в горизонтальних швах не скрізь однакова і внаслідок цього тиск у кладці нерівномірно розподіляється по поверхні цегли і викликає у ній крім напружень стиску напруження згину і зрізу. Тому кам'яні матеріали слабко чинять опір згину, руйнуються в кладці раніше, ніж стискаючі напруження в них досягнуть межі міцності під час стискування. Наприклад, цегла має в 4–6 разів меншу межу міцності при згині, ніж при стисканні.



Рис. 1. Керамоблокове перекриття "Abadi Ceiling Brick"

Якщо поступово збільшувати навантаження на кладку до величини, що перевищує межу її міцності, то спочатку в окремих цеглинах з'являться вертикальні тріщини переважно під вертикальними швами, там, де концентруються напруження розтягу і згину. У разі зростання навантаження тріщини будуть збільшуватись, розділяючи кладку на стовпчики. Напружений стан при осьовому стисненні кладок з інших кам'яних матеріалів аналогічний напруженому стану цегляної кладки.

Що нижче марка розчину в кладці, то легше він стискується й, отже, то більші загальні деформації кладки, а в кожній цеглі – напруження згину й зрізу. Тому, щоб одержати міцнішу кладку, застосовують відповідно розчин вищої марки. Однак підвищення міцності розчину незначно збільшує міцність кладки. Набагато більше значення має пластичність розчину. Пластичні розчини краще розстеляються по постелі цегли, забезпечуючи рівномірну товщину й щільність шва. Це підвищує міцність кладки за рахунок зменшення напруги вигину й зрізу в окремих цеглинах.

Зі збільшенням висоти каменю зменшується кількість горизонтальних швів у кладці й збільшується пропорційно до квадрата висоти каменю опір його згину. У зв'язку із цим за однакової міцності каменів міцнішою виявляється кладка, виконана з каменів більшої висоти. У разі правильної форми каменів, шви в кладці заповнюються розчином рівномірніше, порівняно з неправильною кладкою. Краще передається навантаження від каменю до каменю, краще перев'язується кладка й міцність її вища. На зниження міцності бутової кладки впливає переважно те, що неправильна форма каменів забезпечує їхнє зіткнення лише через окремі ділянки, не створює гарної перев'язки кладки, значну частину якої доводиться заповнювати розчином.

Гарне заповнення горизонтальних і вертикальних швів розчином, рівномірне ущільнення й однакова товщина швів, правильна перев'язка забезпечують високу міцність кладки. Низька якість кладки, застосування розчинів, не відповідних до вимог проекту, можуть привести до руйнування кладки. Що товстіший шов, то важче досягти його рівномірної щільності і то більшою мірою цегла працює в кладці на згин і зріз. При товстих швах збільшується деформація й знижується міцність кладки. Тому для кожного виду кладки встановлена певна товщина швів, збільшення якої знижує міцність конструкцій. Наскільки якість кладки характеризується рівномірністю заповнення розчином і ущільнення горизонтальних швів, можна бачити на прикладі одного з випробувань. Одночасно з тією самою цеглою й розчину виконували кладку висококваліфіковані муляри й муляри низької кваліфікації. Межа міцності кладки, виконаної висококваліфікованими мулярами, становила 5 МПа, мулярами низької кваліфікації – 2,8 МПа, тобто в 1,8 рази менше.

Щільність кладки обумовлює такі якості кам'яних конструкцій, як високу вогнестійкість, більшу порівняно з іншими матеріалами хімічну стійкість, опірність атмосферним впливам і, як наслідок цього, більшу довговічність. У той же час більша щільність збільшує теплопровідність кладки, тому нерідко зовнішні цегельні стіни будинків доводиться робити набагато товстішими, ніж це вимагається для забезпечення міцності й стійкості. При зменшенні щільності кам'яних матеріалів з 1800кг/м^3 (кладка з керамічної цегли) до 800кг/м^3 товщина стін і потреба в матеріалах

зменшуються на 55 %, а маса стін – на 80 %. Це означає, що для кладки вигідно застосовувати матеріали нижчої щільності (пустотілі, пористі), які мають відповідні теплотехнічні властивості. На теплотехнічні властивості кам'яних конструкцій також впливає якість кладки: стіни з швами, які погано заповнені розчином легко продуваються й промерзають узимку.

Мета та задачі досліджень

Метою та задачею досліджень було: 1) виготовити дослідні зразки балок з повздовжньою арматурою А400С та арматурою А240С у виробничих умовах з дотриманням конструктивних вимог; 2) експериментально дослідити міцність та деформативність керамоблочних безкаркасних балок без поперечного армування; 3) експериментально виявити особливості роботи та характер руйнування керамічних балок, різних типів армування; 4) визначити вплив зміщення керамічних елементів в балці шляхом утворення перев'язки швів на тріщиностійкість таких конструкцій; 5) порівняти аналітичні та експериментальні результати деформативності керамоблочних балок; 6) порівняти теоретичні та експериментально отримані дані для оцінки поведінки згинальних елементів, виявлення закономірностей роботи та прогнозування можливої поведінки елементів зі схожим армуванням; 7) експериментально визначити максимальну несучу здатність керамоблочних елементів безпосередньо перед їх руйнуванням.

Експериментальні дослідження

Для реалізації мети досліджень було запроєктовано і експериментально досліджено три зразки перерізами 120×250 мм та 145×250 мм довжиною 2300 мм з розрахунковим прольотом 2000 мм. Дослідні зразки виготовлялись із керамічної цегли М-125 відповідно до ДСТУ Б В.2.7-61, та цементно-піщаного розчину. Розчин дослідних зразків був виготовлений на основі портланд-цементу Миколаївського цементного заводу марки М400 і мав щільну структуру. Дрібним заповнювачем слугував кварцовий пісок середньої зернистості Миколаївського кар'єру. Вода – водопровідна, питної якості. Склад цементно-піщаного розчину М150 на 1 м³: цемент М400 – 340,0 кг; пісок – 1170,0 кг; вода – 165 л, суперпластифікатор НК-1(ВМ) – 2,47кг (2,12л). Суміш готували за допомогою бетонозмішувача об'ємом діжки 0,1м³. Ущільнення не проводили. Зразки виготовляли методом мурування цегляного стовпа із наскрізною арматурою. По торцях закріплювалися вирівнюючі рейки із металевих профілів для вирівнювання конструкції.

У розтягнутій зоні використана стержнева арматура періодичного профілю Ø 8 та Ø10 мм класу А-400 (А-III) (див. табл. 1). Арматура у стиснутій зоні балок запроєктована періодичного профілю Ø8 мм класу А-400 (А-III) та Ø6 мм класу А-240 (А-I). Поперечна стержнева арматура не використовувалась у цих дослідних балках. Виготовлені балки відрізнялись різним співвідношенням стержневої арматури та конструкцією розміщення керамічних блоків.

Характеристична (нормативна) міцність кладки на стиск повинна бути визначена з результатів випробувань зразків кладки. Такі випробування можна проводити для певного проекту або ж результати можуть бути взяті з випробувань, проведених раніше, наприклад, бази даних, результати яких наведені у таблиці (додаток Р) або у рівнянні:

$$f_k = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta,$$

де f_k – характеристична (нормативна) міцність кладки на стиск, Н/мм²; K – константа, значення якої у відповідних випадках відкориговане відповідно до 8.6.1.2.3i/ або 8.6.1.2.6; α , β – константи; f_b – нормована середня міцність елементів кладки на стиск у напрямі дії зусилля, Н/мм²; f_m – міцність на стиск будівельного розчину, Н/мм².

Фізико-механічні характеристики сталі стержневої і стрічкової арматури визначали на стандартних зразках згідно з нормами. Випробування зразків сталі проводилось на розривній машині ТМС-50 з одночасним записуванням діаграми розтягу; крім того, для вимірювання деформацій застосовували тензодатчики, що дало можливість точніше побудувати реальну діаграму розтягу сталі, виключивши переміщення, викликані проковзуванням у затискачах машини.

Балки Б-1 та Б-2 виготовляли у вертикальному положенні, мурувався цегляний стовп в одну цеглу. Кожна цегла накладалася через арматурні стержні на цементно-піщаний розчин. В пустоти, через які проходить арматура, ін'єктували цементно-піщаний розчин для кращого зчеплення арматури з керамічними елементами. Укладали елементи конструкції під рівень, щоб уникнути

викривлення конструкції. Також для стійкості вертикальної конструкції використовували тимчасові підпори. Для запобігання можливому висмикуванню робочої арматури із кладки при напруженні стержнів під час навантаження, в балці Б-2 арматурні стержні закріплювались у торцях шляхом зварювання металевих пластин розміром 50×100×5 мм до кінців арматури. Балку Б-3 виконували в два етапи. Ця конструкція складається із двох горизонтальних рядів цегли і виконувалась методом мурування повздовжньої конструкції. На першому етапі виставляли перший ряд цегли, із швом 10 мм, по якому влаштовували стержневу арматуру класу А400С Наступний етап – укладання другого ряду цегли на цементно-піщаний розчин. Вертикальні шви між цеглою заповнювали розчином.

Таблиця 1

Характеристика матеріалів дослідних зразків

Позначення балок	Б-1	Б-2	Б-3
Геометричні параметри перерізу			
b, мм	120	120	145
h, мм	250	250	250
A, см ²	300	300	362,5
Керамічні блоки			
f _k , МПа	9,06	9,06	7,15
f _{vk0} , МПа	0,3	0,3	0,3
E _{cm} ×10 ³ , МПа	3,0	3,0	3,0
Стержнева арматура розтягнутої зони			
d _s , мм	2ø8	2ø8	Ø10
f _{yk} , МПа	510	510	510
A _s , см ²	1,006	1,006	0,785
E _s ×10 ⁵ , МПа	2	2	2
Клас	A400C (A-III)	A400C (A-III)	A400C (A-III)
Стержнева арматура стисненої зони			
d _s ['] , мм	2ø6	2ø8	ø8
f _{yk} ['] , МПа	296	510	510
A _s ['] , см ²	0,668	1,006	0,503
E _s ['] ×10 ⁵ , МПа	2,1	2	2
Клас	A240C (A-I)	A400C (A-III)	A400C (A-III)

Випробування дослідних балок проводили на дослідному стенді. Навантаження здійснювали за допомогою гідравлічного домкрату потужністю 1000 кН. Через розподільчу траверсу зусилля прикладали до верхньої грані балки у вигляді двох зосереджених сил, прикладених симетрично відносно середини балки на відстані 1/3 від розрахункового прольоту.

У місцях прикладення зосередженої сили та дії опорних реакцій підкладали металеві пластини, які вкладали на шар цементно-піщаного розчину. Положення фіксувалось незначним привантаженням, яке витримувалось до повного твердіння розчину під металевими пластинами. Для забезпечення чіткої передачі зосереджених сил на балку, між виставленими пластинами та траверсою ставили гладкі стержні з катаного прокату ø32. Детальне виставлення балок дозволило практично повністю виключити будь-яке відхилення балкового зразка в процесі завантаження і руйнування, і така операція є важливою для отримання достовірних експериментальних даних.

Навантаження балок під час випробувань здійснювали поетапно ступенями, близькими 0,1 від руйнівного, з витримкою 15 хв на кожному ступені. Після витримки навантаження, знімали покази усіх приладів, а також фіксувалось утворення, ширина розкриття та розвиток тріщин. Величина навантаження контролювалась зразковим манометром, протарованим разом з насосною станцією і домкратом, а також за величиною опорних реакцій, які вимірювались двома кільцевими динамометрами. Ці кільцеві динамометри слугували одночасно рухомою і нерухомою опорами. У шарнірно нерухомій опорі, опорні частини кільцевого динамометра виконувались у вигляді циліндричних поверхонь з радіусом кільця динамометра. У шарнірно рухомій опорі, опорні частини виконані плоскими. Деформації в бетоні вимірювались за допомогою мікроіндикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм та базою 200 мм. Усі деформації замірялись у зоні

чистого згину. У розтягнутій зоні балки для точнішого результату встановлювали по два мікроіндикатори (дублюючі мікроіндикатори) на одній висоті, у стиснутій зоні через брак місця дублюючі мікроіндикатори встановити не було можливим.



Рис. 2. Процес виготовлення балок Б-1, Б-2, Б-3

Прогини балок вимірювали за допомогою трьох індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм, два з яких встановлювались на відстані 60 см від опори, а третій – по середині прольоту. Індикатори кріпились до спеціальної фермочки, яка зберігала у процесі деформацій балки свою геометричну вісь незмінною і була базою відліку прогинів балки. Незмінність базової осі забезпечувалась “точковим” кріпленням фермочки до балки в опорних перерізах на рівні нейтральної осі. Ширину розкриття тріщин, а також їх висоту відзначали на кожній сходинці завантаження і заміряли за допомогою мікроскопа марки МПБ-2М з ціною поділки 0,005 мм.

Робота дослідних зразків під навантаженням до моменту утворення тріщин характеризується пружними деформаціями, що виникають і в робочій арматурі, і в цегляній кладці стиснутої та розтягнутої зони. Переріз балки являє собою суцільне пружно-пластичне тіло, в якому розчин та цегла працює на розтяг разом з арматурою. Тут необхідно відзначити, що деформації стиску і розтягу кладки в нормальних перерізах розподіляються по висоті елемента у відповідності до гіпотези плоских перерізів по довжині прольоту зрізу – відповідно до епюри згинальних моментів. З результатів експерименту видно, що на цій стадії роботи найефективнішою за результатами є балка Б-3. Істотно відрізняються результати практично аналогічних по параметрах балок Б-1 та Б-2. Важливе значення має закріплення арматури на торцях балки, що збільшує жорсткість балки.

Утворення в прольоті балки нормальних тріщин визначає перехід до другої стадії напружено-деформативного стану. На перших етапах всі тріщини утворюються поблизу найбільш розтягнутої грані балки. Тобто, визначальним для їх утворення є саме деформації розтягу керамічних блоків та швів, викликані дією згинальних моментів. У балках стержнева арматура деформується рівномірно

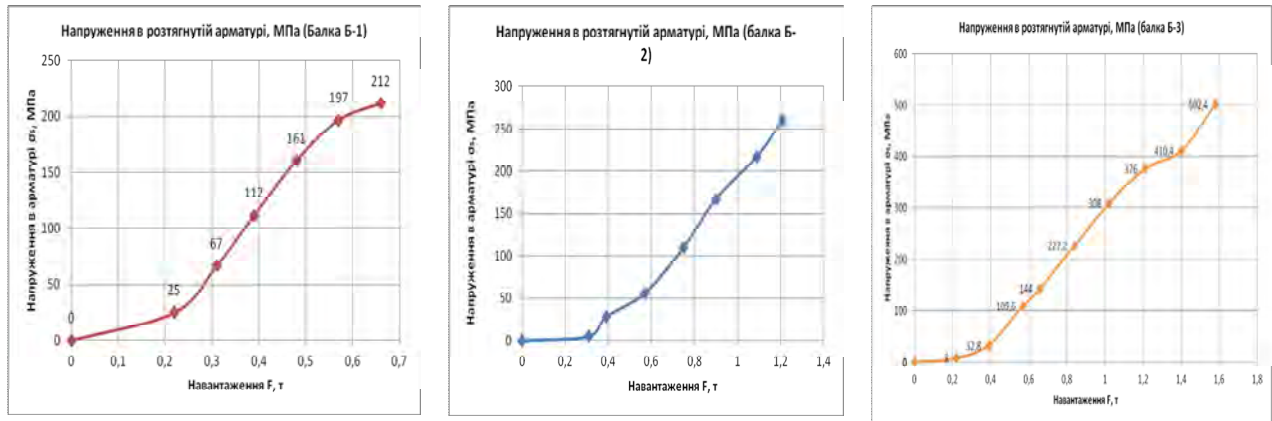


Рис. 4. Напруження в робочій арматурі балок Б-1, Б-2, Б-3 від навантаження

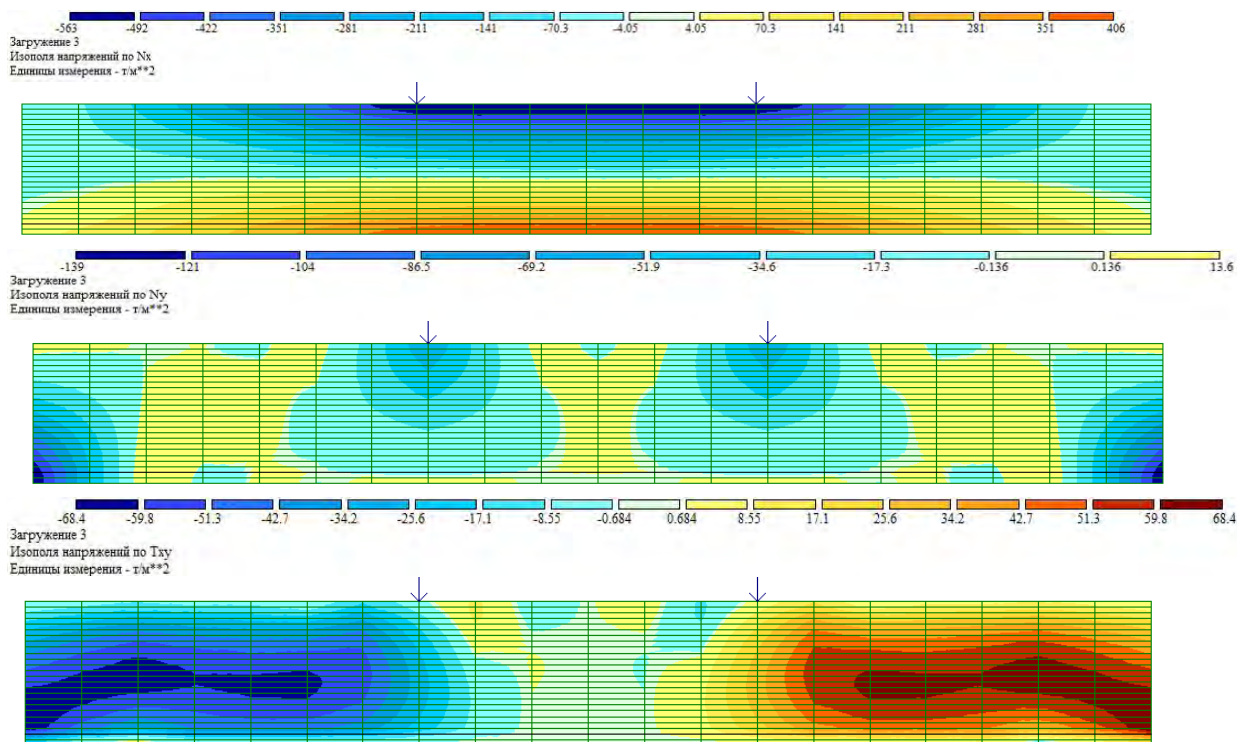


Рис. 5. Розрахункові напруження в балці Б-2 при руйнівному навантаженні

Таблиця 3

Експериментальні та теоретичні значення несучої здатності балок та дослідні навантаження їх фізичного руйнування

Позначення балок	Несуча здатність керамоблочних безкаркасних балок	
	Дослідні значення M_{d2} при фізичному руйнуванні, кНм	За ДБН В.2.6-98:2009 M_n , кНм
Б – 1	5,15	9,55
Б – 2	8,65	9,55
Б – 3	10,85	10,57

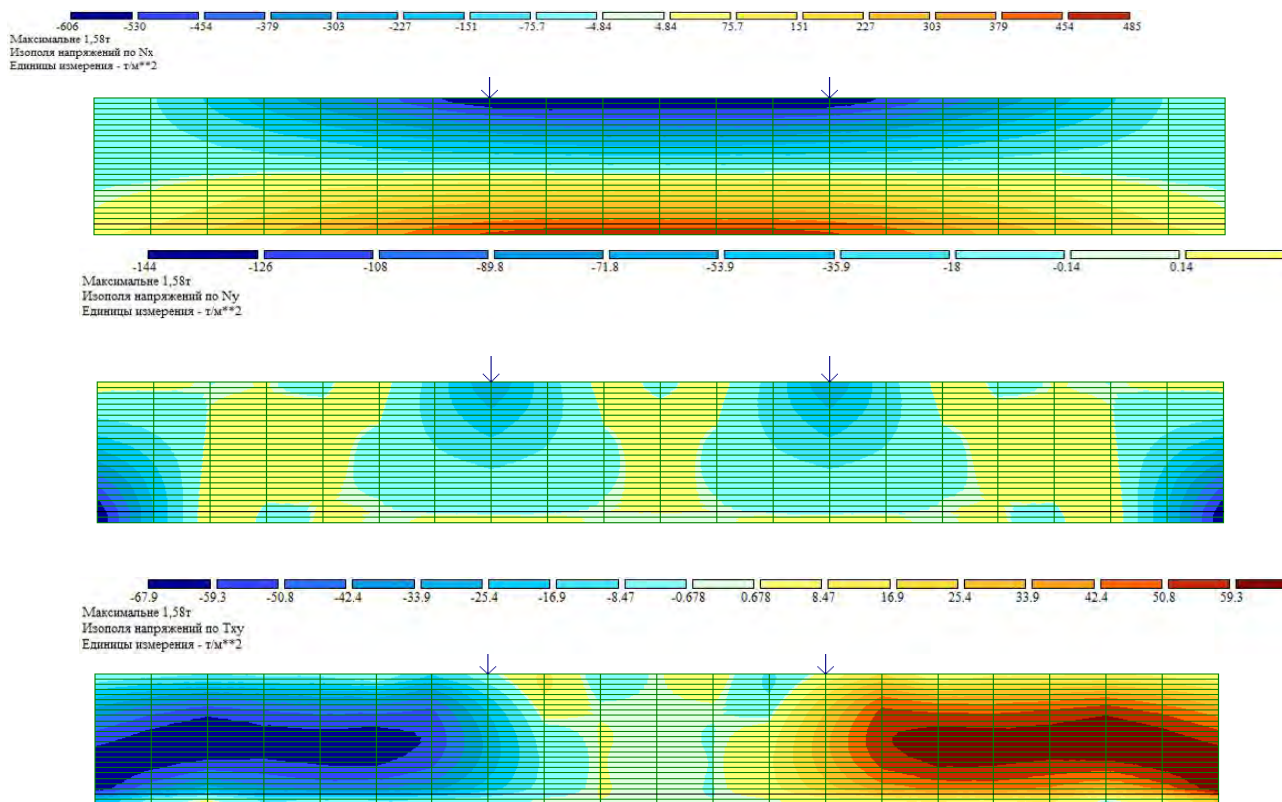


Рис. 6. Розрахункові напруження в балці Б-3 при руйнівному навантаженні

Тріщини в середній частині балок Б – 1 та Б – 2 появились під час завантаження, яке становило 0,22 та 0,3 M_{max} а в балці Б-3 при 0,37 M_{max} , ці тріщини відразу поширились на висоту 0,2–0,3 від загальної висоти балки. У разі збільшення навантаження тріщини збільшуються по висоті балки та зростає їх ширина розкриття. Ближче до опор з’являються похилі тріщини. У балках Б-2 та Б-3, перед досягненням текучості в арматурі, спостерігається утворення похилих тріщин на опорах.

Руйнування балки Б-1 відбулось за завантаження, яке становило 0,54 M_{max} . Цей згинальний момент (M_{max}) був визначений теоретично згідно з методикою розрахунку за ДБН В.2.6-162:2010. “Кам’яні та армокам’яні конструкції”. Причиною руйнування цієї балки стала недостатня довжина анкерування стержнів арматури в керамоблочній балці. У разі збільшення навантаження, напруження в арматурі розтягнутої зони збільшилось, що за недостатньої довжини анкерування призвело до її висмикування та миттєвої втрати несучої здатності, оскільки цементний розчин із керамічною цеглою не сприймали розтягуючі зусилля від згинального моменту. Тому відбулось руйнування стиснутої зони балки в місці найбільшого згинального моменту (див. рис. 3).

Для забезпечення міцності анкерування арматури у горизонтальних швах кладки балок Б-2 та Б-3 дотримувались умов згідно з табл. 9.1 ДБН В.2.6-162:2010. Також для наступних балок було передбачене закріплення арматури розтягнутої зони по торцях балки – приварювання металевих пластин товщиною 5мм. Балки Б-2 та Б-3 зруйнувались від поперечної сили, яка виникнула на опорах балок. Залежність напружень у робочій арматурі від навантаження в дослідних балках Б-1, Б-2, Б-3 подано на графіках рис. 4. Напруження в керамоблокових балках при руйнівному навантаженні, отримані в результаті теоретичного розрахунку, показані для балок Б-2 та Б-3 на рис. 5 та 6.

Визначали розрахункові значення несучої здатності дослідних зразків за формулами ДБН В.2.6-162:2010. “Кам’яні та армокам’яні конструкції”. Дослідні і розрахункові значення граничних моментів наведені в табл. 3. Балка Б – 1, Б – 2 міцність кладки на стиск 9,06 МПа, Б – 3: 7,15 МПа. Відсоток армування становить: для балок Б – 1 та Б – 2 – 0,671 %, для балки Б – 3 – 0,356 %. Балки Б-2, Б-3 зруйнувались від поперечної сили, яка становила для Б-2 ~11,87кН, для Б-3 ~15,5 кН. Фізичне руйнування настаило при досягненні зосередженою силою значення для Б-1 – 7,36 кНм,

для Б-2 – 12,35 кНм, для Б-3 – 15,5 кН. Теоретичним розрахунком передбачали величину руйнуючої зосередженої сили Б-1, Б-2 $F_{\max}^{\text{ДБН}} = 13,64$ кН, Б-3 $F_{\max}^{\text{ДБН}} = 15,1$

Висновки

1. Два із трьох зразків зруйнувались від поперечної сили. Тому для ефективнішого використання конструкцій із керамічних блоків, будівельного розчину та сталеві арматури доцільно використовувати поперечне армування. Поперечне армування дасть змогу повністю використовувати міцність стержневої арматури на розтяг, що набагато підвищить несучу здатність таких балок. 2. У балках типу Б-3 в якості поперечного армування можна використовувати зварні каркаси або сітки. Це неможливо технологічно застосувати для балок типу Б-1 та Б-2. Тому одним із варіантів для попередження похилих тріщин у балках є використання спеціальних металевих шпильок, які встановлюються в шви керамоблочної балки. 3. У балках типу Б-1 необхідно забезпечити достатню довжину анкерування. Розрахунок довжини анкерування за ДБН В.2.6-162:2010 “Кам’яні та армокам’яні конструкції” дає можливість правильно визначити її величину. За потреби необхідно вживати заходи для збільшення зчеплення арматури із кладкою або закріплення арматури в конструкції. 4. Невелику різницю значень між дослідними та розрахунковими величинами можна пояснити тим, що ДБН В.2.6-98:2009 передбачає розрахунок прогинів із певним запасом міцності і у такий спосіб отримані результати є недооцінені цим нормативним документом та дещо відрізняються від розрахункових. 5. Нормативний документ ДБН В.2.6-162:2010 задовольняє вимоги з розрахунку міцності керамоблокових балок за I та II групою граничних станів.

1. ДСТУ Б В.2.7-23-95. Розчини будівельні. Загальні технічні умови. 2. Кам’яні та армокам’яні конструкції: ДБН В.2.6-162:2010. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 97 с. 3. Ремонт і підсилення несучих та огорожуючих будівельних конструкцій і основ промислових будинків і споруд. ДБН В.1.-1-2002. Держкомітет України з будівництва і архітектури. К, 2003, -с. 1–22. 4. ДСТУ Б EN 1052-1:2011 МЕТОДИ ВИПРОБУВАННЯ КАМ’ЯНОЇ КЛАДКИ. Частина 1. Визначення міцності при стиску. 5. Вахненко П.Ф. Каменные и армокаменные конструкции. – К.: Будівельник, 1990. – 184 с. 6. Крамарчук А.П. Влияние излишнего напряженного состояния перед постановкою дополнительной арматуры на прочность сталебетонных изгибаемых элементов. // Зб. Будівельні конструкції, будівлі та споруди. Вісник ДонДАБА, 2004(2) 44. – С. 90–98. 7. Стороженко, Л. І. Експериментальні дослідження міцності кам’яних конструкцій, армованих прокатними профілями // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Л. І.Стороженко, О. О. Заславець // Полтав. держ. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава: ПДТУ, 2002. – Вип. 8. – С. 38 – 41. 8. Бабич В. Є. Проектування кам’яних і армокам’яних конструкцій : навч. посіб. / В. Є. Бабич, В. В. Караван, М. С. Зінчук; Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування. – Рівне, 2010. – 196 с. – Бібліогр.: с. 163. 9. Державні будівельні норми України. ДБН В.3.1-1-2002. Ремонт і підсилення несучих та огорожувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків і споруд. Держкомітет України з будівництва та архітектури. – К., 2003. – С. 1–22. 10. Державні будівельні норми України. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України 2011. – С. 9–70. 11. Ротко С. В. Розрахунок кам’яних і армокам’яних конструкцій : навч. посіб. / С. В. Ротко, О. А. Ужєгова, І. В. Задорожнікова. – Луцьк : РВВ ЛНТУ, 2010. – 355 с. 12. Чернева О. С. Напружено-деформований стан та міцність кам’яних конструкцій при зрізі : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / О. С. Чернева; Одес. держ. акад. буд-ва та архіт. – О., 2010. – 20 с. – укр. 13. Pershakov V. Reinforced Concrete and Stone Structures = Залізобетонні та кам’яні конструкції : textbook / V. Pershakov. – К. : NAU-druk, 2009. – 304 p. с. – Библиогр.: 33 назв. – англ. 14. Рябинин, А. Л. Прочность и деформативность кирпичной кладки, армированной перфорированными стальными лентами, при центральном сжатии: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.23.01 “Строительные конструкции, здания и сооружения” / А. Л. Рябинин. – СПб.: ГОУ ВПО “Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет”, 2009. – 19 с.