

УДК 624.012

МІСЦЕВА ДІЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА БЕТОННІ ЕЛЕМЕНТИ

МЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ НАГРУЗКИ НА БЕТОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

LOCAL ACTION LOADING OF CONCRETE ELEMENTS

Гладишев Д.Г., к.т.н., доцент (Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів)

Гладышев Д.Г., к.т.н., доцент (Национальный университет “Львовская политехника”, г. Львов)

Hladyshev D.H., candidat of technical sciences (Lviv Polytechnic National University, Lviv)

В роботі представлений характер утворення тріщин при зміні напружено-деформованого стану в плоских бетонних елементах при симетричному місцевому навантаженні з умов зміни їх висоти при інших сталих показниках.

В работе представленный характер возникновения трещин при изменении напряженно-деформированного состояния в плоских бетонных элементах при симметрической местной нагрузке при условии изменения их высоты при остальных постоянных показателях.

The work presents the character of formation of cracks at change of the stress-strain states in the flat concrete elements of the symmetric local load from changing their height when other solid performance.

Ключові слова:

Місьцеве навантаження, напруження, деформації, тріщиноутворення.
Местная нагрузка, напряжение, деформации, трещинообразование.
Local load, stress, strain, remimeralise education.

Вступ. У практиці будівництва досить часто зустрічаються випадки передачі на плоскі бетонні стінові або фундаментні елементи великих зосереджених навантажень. В якості прикладу можна навести передачу навантаження від залізобетонних колон нахиленої колонади на оболонку та стіну басейну гіперболічної градирні, цегляних стовпів багатоповерхових будинків або опор висячих стін на бетонні елементи різної висоти або товщини та розмірів в плані, що входять у склад цокольної, підвальної або

інших конструктивних частин будинків чи споруд. При цьому виникає місцеве поверхневе стиснення бетону в конструктивних елементах та ймовірність їх руйнування від зминання або продавлювання залежно від геометричних розмірів, які підпадають під прийняті у нормативних документах відповідні розрахункові схеми.

Одним із резервів підвищення експлуатаційної надійності бетонних елементів, є удосконалення методів їх розрахунку. Слід перейти від емпіричних залежностей при розрахунках за схемами зминання притаманних старим [1] та діючим [2, 3, 4] нормам на інші альтернативні їм схеми, наближені до результатів експериментальних досліджень з урахуванням рівнів тріщиноутворень при різних напружених станах та характерній кінематиці їх руйнування. Бетонні елементи слід розглядати як окремі випадок залізобетонних елементів при нульовому ($\mu=0$) або конструктивному (μ_{min}) проценті поздовжнього або непрямого армування. При цьому слід фіксувати їх поперечні деформації на різних рівнях напружених станів для переходу від них на раціональний рівень їх непрямого армування.

Аналіз нормативних підходів та досліджень. Розрахунок бетонних елементів на місцевий стиск (зминання) виконують при дії стискаючої сили, яка прикладена нормально на обмежену площу на поверхні бетонного елемента. При цьому враховується підвищений опір бетону на стиск в межах вантажної площі (площі зминання) за рахунок об'ємного напруженого стану бетону під нею. Опір бетону на стиск залежить від місця розташування вантажної площі на поверхні елемента.

Відповідно до старого СНиП [1], розрахунок елементів на місцеве стиснення (зминання) виконується по емпіричній залежності, в якій за визначний фактор приймається відношення розрахункової площі зминання A_{loc2} до фактичної площі зминання A_{loc1} . Такий самий підхід пропонують діючі норми [3, 4].

Висоти або товщини бетонних стінових елементів або вставок на які передаються місцеві навантаження, можуть коливатися в значному діапазоні. У нормах [1, 3, 4] висота або товщина таких елементів у розрахунках на місцевий стиск не регламентується і конструктивно не розглядається.

Так, наприклад, у нормах [1], для важкого бетону розрахунок на місцеве зминання елементів без поперечного армування виконується з умови:

$$F_{loc} \leq \psi R_{b,loc} A_{loc,1}, \quad (1)$$

де: F_{loc} – зосереджена стискаюча сила, яка створює місцеве рівномірно-розподілене розрахункове навантаження на площі зминання A_{loc1} (рис. 1);

$\psi=1$ – при рівномірному розподілі навантаження по площі зминання;

$R_{b,loc}$ – розрахунковий опір бетону зминанню, визначали за формулою:

$$R_{b,loc} = \alpha \varphi_b \gamma_{b9} R_b, \quad (2)$$

де: $\alpha=1,0$ для важкого бетону класу нижче В25;

$\alpha = 13,5 \frac{R_{bt}}{R_b}$ для важкого бетону класу В25 і вище;

$\varphi_b \geq 1,0$; $\varphi_b = \sqrt[3]{A_{loc2} / A_{loc1}} \leq 2,5$ для схем на рис. 1,а, та бетону класу >В7,5;

R_b, R_{bt} – прийнятий для бетонних конструкцій з врахуванням поз. 9 табл. 15 [1], яка обумовлює введення коефіцієнта умов роботи бетону $\gamma_{b0}=0,90$;

A_{loc2} – розрахункова площа зминання згідно п. 3.40 [1] в яку включається ділянка, симетрична по відношенню до площі зминання (рис. 1,а).

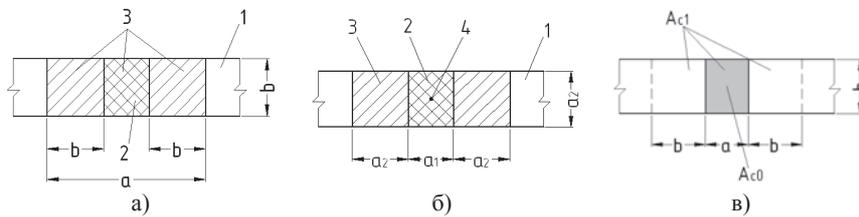


Рис. 1. Подібні симетричні схеми розрахунку бетонних елементів на місцевий стиск при місцевому навантаженні по всій ширині елемента за різними нормативними документами: а – [1]; б – [3]; в – [4]; 1 – елемент на який діє місцеве навантаження, 2 – площа зминання $A_{b,loc}$, 3 – максимальна розрахункова площа $A_{b,max}$, 4 – центр площі $A_{b,loc}$ та $A_{b,max}$; $A_{c,0}$ – площа зминання, $A_{c,1}$ – розрахункова площа

При місцевому навантаженні по всій ширині b елемента у розрахункову площу включається ділянка довжиною не більше b в кожную сторону від границі місцевого навантаження (рис. 1,а).

У діючих зараз вітчизняних нормах [2], при розрахунку на дію місцевого рівномірно розподіленого навантаження на площі A_{c0} (рис. 2) [2], зосереджене зусилля опору F_{Rdu} визначається за формулою:

$$F_{Rdu} = A_{c0} f_{cd} \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \leq 3 f_{cd} A_{c0}, \quad (3)$$

де: A_{c0} – площа навантаження;

A_{c1} – максимальна розрахункова площа розподілу, подібна до A_{c0} .

Розрахункова площа розподілу A_{c1} , яка необхідна для визначення зусиль опору F_{Rdu} , повинна задовольняти наступні вимоги:

– висота для розподілу навантажень у напрямі прикладання навантаження повинна задовольняти умови, показані на рис. 2;

– центр розрахункової площі розподілу A_{c1} повинен знаходитись на лінії, впливу, яка проходить через центр площі навантаження A_{c0} .

Розрахункова схема має право для користування при умові, коли висота h мусить бути у два рази більша за максимальний розмір ділянки з площею навантаження A_{c0} .

Величина F_{Rdu} повинна зменшуватись, якщо навантаження нерівномірно розподілене по площі A_{c0} або наявна висока інтенсивність зусиль зсуву.

У діючих нормах [2] при розрахунку на дію місцевого навантаження повинно враховуватись за параграфом 4.9 місцеве тріщиноутворення та поперечні зусилля розтягу, але принципи їх врахування досить не конкретні для проектувальника. Для сприйняття зусиль розтягу необхідно передбачити армування, яке залежить від впливу навантаження.

Мета роботи. Як бачимо з огляду трьох однотипних розрахункових схем на зминання (рис. 1), наведених у старому СНиП [1], схеми на зминання з продавлюванням у діючих нормах [2] (рис. 2), всі ці схеми мають суттєві розбіжності у розрахунковому підході до плоских бетонних елементів на які діє місце рівномірно розподілене навантаження на площі A_{c0} (рис. 3).

Схеми на рис. 3 за геометричними параметрами не підпадає під прийняті у нормативних документах розрахункові схеми призначені для розрахунків на зминання (рис. 1), а симетрична схема на рис. 3 відповідає одному з найбільш розповсюджених випадків будівельної практики.

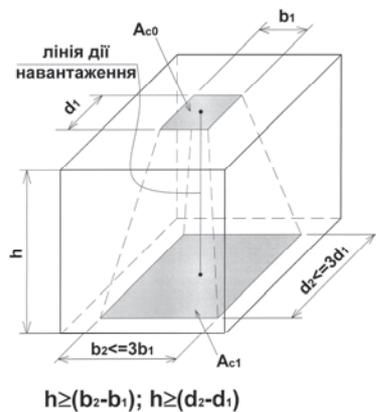


Рис. 2. Розрахунковий розподіл для частково завантажених зон

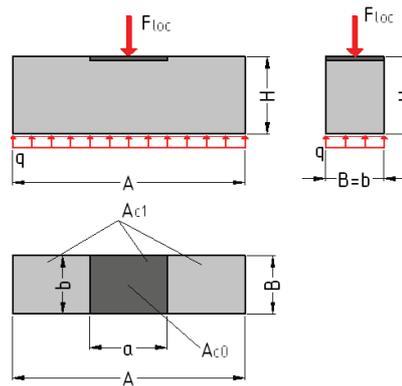


Рис. 3. Симетрична розрахункова схема плоских бетонних елементів на зминання з умовним рівномірнорозподіленим навантаженням на нижній його грані

У зв'язку з цим, виникла **задача проведення досліджень**, яка має на меті визначення послідовності характеру утворення картин тріщин при різних напружено-деформованих станах в плоских бетонних елементах.

За врівноваженою схемою на рис. 3 такі плоскі бетонні елементи завантажені: зверху - рівномірно-розподіленим навантаженням q_{loc} на обмеженій ділянці A_{loc} ; по площі нижньої грані - умовно середніми напруженнями q_{midl} , які на абсолютно жорсткій основі змінюються за якоюсь

залежністю від q_{min} до q_{max} на ділянці з площею шириною B та умовною (робочою) довжиною A^* .

Задача дослідження - виявити основні фактори, які впливають на напружений стан плоских бетонних елементів та характер розподілу напружень по їх нижній грані. При цьому, повинна зберігатися умова:

$$F_{loc} = q_{loc} A_{c0} = q_{midll} A^* B. \quad (4)$$

Результати досліджень. Для встановлення впливу висоти плоских бетонних елементів на характер їх тріщиноутворення та руйнування використовували бетонні плити запроектовані таким чином, щоб їх товщина була постійна – 100 мм, довжина 600 мм, а висоти експериментальних зразків прийняли 100 мм, 200 мм, 400 мм, 600 мм (рис. 4). Клас важкого бетону C18/22,5 (міцності на стиск: середня – $f_{cm.cube}=28,5$ МПа; характеристична – $f_{ck.cube}=22,5$ МПа; розрахункова – $f_{cd}=13$ МПа). Плоскі бетонні елементи завантажували зверху рівномірно-розподіленим навантаженням q_{loc} на ділянці $A_{c0}=0,1 \times 0,1$ м. Нижня грань елемента щільно лягала на плиту преса.

При випробуванні зразків заміряли деформації бетонної плити у вертикальному та горизонтальному напрямках переносним компаратором з базою 100 мм між наклеєними реперами (рис. 5).

Всі зразки випробували при центральному прикладанні навантаження (рис. 5). Навантаження прикладали етапами залежно від очікуваного руйнівного зусилля. Характеристики досліджуваних бетонних елементів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики досліджуваних бетонних елементів

Серія	Марка взірця	$L, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$h, \text{ м}$	$a=l_{sup}, \text{ м}$	$A_{c0}, \text{ м}^2$	h/l_{sup}	$F_{u.mi/10}, \text{ кН}$	$F_{u.mi/5}, \text{ кН}$	$F_{u.mi/15}/$ $F_{cm.cube}$	$F_{u.mi/15}/$ $h \times b, \text{ МПа}$
змінання бетонних плит	1×1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01	1,0	301,7	287,3	1,000	-
	6×1	0,6	0,1	0,1	0,1	0,01	1,0<2	350,0	333,3	1,160	33,33
	6×2	0,6	0,1	0,2	0,1	0,01	2,0	340,0	323,8	1,127	16,90
	6×4	0,6	0,1	0,4	0,1	0,01	4,0	450,0	428,6	1,492	10,72
	6×6	0,6	0,1	0,6	0,1	0,01	6,0	500,0	476,2	1,657	7,94

Про те, що руйнування дослідних зразків сталося не тільки від змінання, а при комбінації напружень (деформацій) стиску та розтягу від змінання, згину та розколювання, свідчать не тільки заміряні в процесі випробування горизонтальні та вертикальні деформації розтягу та стиску бетону, але і характер тріщиноутворень при руйнуванні дослідних зразків (рис. 4).

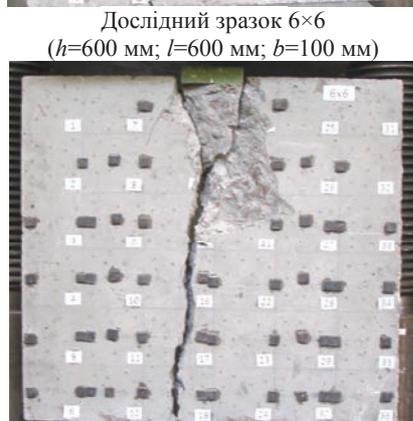
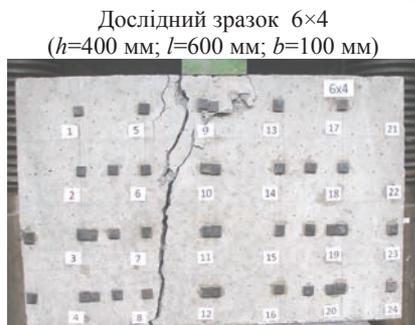
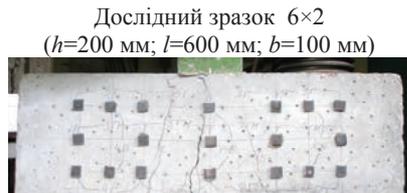
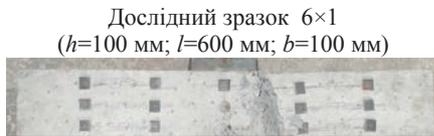


Рис. 4. Характер руйнування дослідних зразків залежно від їх висот: 100, 200, 400, 600 мм

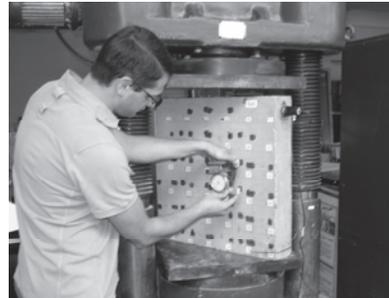


Рис. 5. В процесі випробування дослідного зразка 6×6

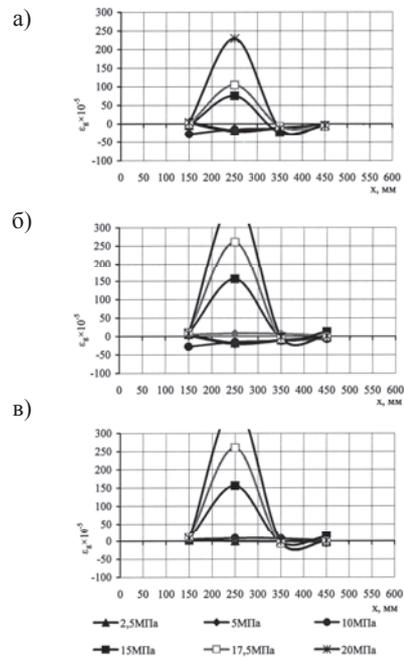


Рис. 6. Графіки розподілу горизонтальних деформацій розтягу $\epsilon_g \times 10^{-5}$ від напруження змінання в дослідному зрізці „6×2” в площинах віддалених від нижньої грані на: а – 150 мм; б – 100 мм; в – 50 мм

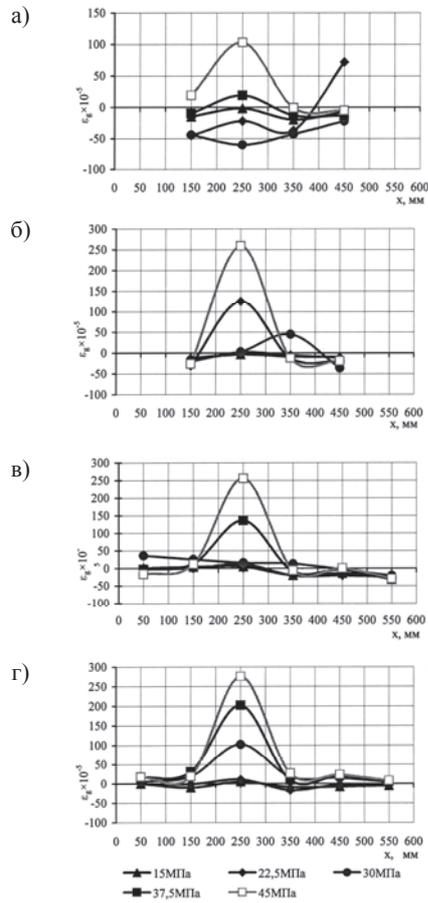


Рис. 7. Графіки розподілу деформацій розтягу $\varepsilon_x \times 10^{-5}$ від напруження зминання в дослідному зразці „6×4” на рівнях від нижньої грані: а – 350 мм; б – 250 мм; в – 150 мм; г – 50 мм

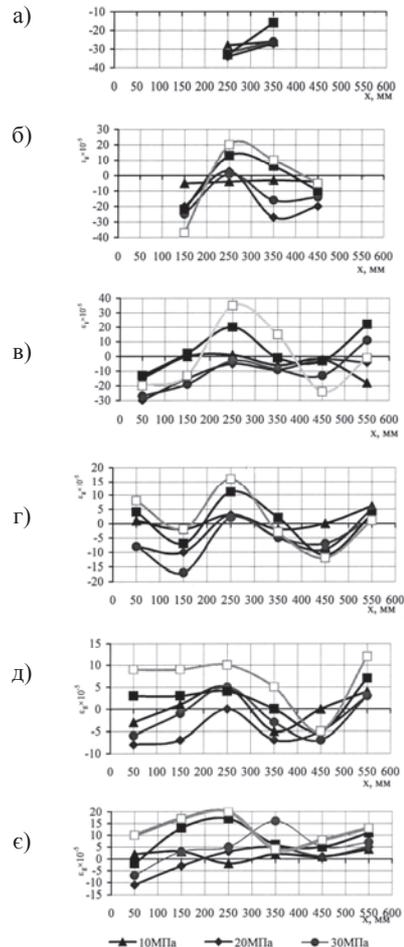


Рис. 8. Графіки розподілу деформацій розтягу $\varepsilon_x \times 10^{-5}$ у зразці „6×6” на рівнях від нижньої грані: а – 550 мм; б – 450 мм; в – 350 мм; г – 250 мм; д – 150 мм; е – 50 мм

Слід зазначити, що при випробуванні всіх зразків на центральне прикладання сили продавлювання, відзначалася постійна і цілком певна нерівномірність розподілу $\pm \varepsilon_b \times 10^{-5}$ горизонтальних деформацій та відповідно напружень $\pm q$ по їх нижній грані. Деформації розтягу у середній частині нижньої грані всіх дослідних зразків були більшими ніж ближче до їх торців

(рис. 6, 7, 8). Зі збільшенням висоти плоских бетонних елементів ця нерівномірність поступово згладжувалася (рис. 8).

З графіків деформації розтягу бетону (рис. 6, 7, 8) видно, що в процесі випробування проявляються нерівномірності розподілу деформацій розтягу між умовними опорами плити, які проявляються на нижній її грані від перерозподілу стискаючих напружень по висоті дослідних зразків. Аналіз отриманих даних дає підставу стверджувати, що згинаючий момент між умовними опорами в меншій мірі погіршує умови роботи більш високих плит у порівнянні з низькими.

При збільшенні висоти бетонних зразків від 0,1 м до 0,6 м, при фіксованих інших параметрах, характер їх руйнування змінюється, так:

– зразки 6×1 ($h=0,1$ м) руйнувалися від згину-зминання з утворенням піраміди продавлювання з кутом нахилу $\varphi=14^\circ$ до вертикалі;

– зразки 6×2 ($h=0,2$ м) руйнувалися від згину-зминання з утворенням піраміди продавлювання з кутом нахилу $\varphi=9 \div 11^\circ$ до вертикалі;

– зразки 6×4 ($h=0,4$ м) руйнувалися внаслідок згину-зминання з утворенням неповної піраміди продавлювання з кутом нахилу $\varphi=6^\circ$ до вертикалі;

– зразки 6×6 ($h=0,6$ м) руйнувалися від згину-зминання-розколювання з утворенням від вертикальних деформацій клина під частково навантаженою зоною, який розколов зразок у напрямку нормального трішиноутворення, яке проявилось між умовними опорами на нижній його грані.

Висновки. Вплив висоти розглянутих бетонних елементів на значення руйнуючих навантажень при дії місцевого стиску присутній (табл. 1). Так, при збільшенні висоти зразків від $h=0,1$ м до $h=0,6$ м, співвідношення $F_{u,m/15}/(h \times b)$ зменшується у 4,2 рази.

Можна вважати отримані в досліді величини руйнівного навантаження дещо більшими у порівнянні з тими, які можуть бути в реальних натурних конструкціях. Це пов'язано з тим, що прийняту при дослідженні досить високу жорсткість основи (нижня сталева плита пресу) під нижньою гранню елементів, в реальних умовах будівництва не можливо або важко досягнути.

Бетонні зразки висотою більших за $h>0,6$ м і при $h/l>1$ будуть руйнуватись внаслідок зминання-розколювання.

Слід врахувати у нормативах [2] підхід до розрахунку на дію місцевого вертикального навантаження для зразків розглянутого типу з урахуванням характеру руйнування та жорсткості основи під нижньою їх гранню.

1. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования – М: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 80с. 2. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування – Мінрегіонбуд України, К., 2011. – 118с. 3. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры – М., 2004. – 59с. 4. СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции – Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, М., 2003. – 177 с.