

**РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ МАТЕРІАЛИ ТА НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ВИГОТОВЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ**

**УДК 624.012**

**МІСЦЕВА ДІЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА БЕТОННІ КУБИ**

**МЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ НАГРУЗКИ НА БЕТОННЫЕ КУБЫ**

**LOCAL ACTION LOADING OF CONCRETE CUBES**

**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, руйнування та деформування бетонних кубів з ребрами 0,3 м при їх місцевому центральному навантаженні.**

**В работе представлен характер образования трещин, разрушения и деформирования бетонных кубов с ребрами 0,3 м при их местном центральном нагружении.**

**The work presents the character of cracks, fracture and deformation of concrete cubes with edges of 0.3 m at their local central load.**

**Ключові слова:**

Місьцеве навантаження, напруження, деформації, тріщиноутворення.

Местная нагрузка, напряжение, деформации, трещинообразование.

Local load, stress, strain, reminalise education.

**Вступ.** Місьцеве поверхнєве стиснення бетону в конструктивних елементах квадратного перерізу досить часто зустрічаються у випадках передачі навантаження через металеві центруючі прокладки різного перерізу з вище розташованих елементів на нижче розташовані.

Імовірність руйнування від зминання при місцевому навантаженні бетонних елементів практично доказана, але в різних нормативних документах цей характер руйнування описуються різними розрахунковими схемами. При розрахунку за старими норми СНиП [1] на місцеве

навантаження чисто бетонних елементів з важкого бетону, повинна виконуватися умова:

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

Норми [1, 2, 3] мають однаковий підхід до розрахунку, але не дають можливості оцінити рівень навантаження при зародженні та утворенні вертикальних мікро- та макротріщин.

Утворення вертикальних мікротріщин в бетоні слід розглядати як його проміжний характерний стан, бо практично ці навантаження є початком процесу руйнування бетону в часі і, в додаток, з урахуванням умов його експлуатації. Тому оцінювання деформативних характеристик початку стадійного мікротріщиноутворення бетону та граничного його деформування при макротріщиноутворенні бетону, при його поперечному розтягу від стискання поздовжніми силами, є досить актуальною задачею.

Безумовно слід звертати увагу і на характер кінематики тріщиноутворення та руйнування бетонних конструкцій при стисканні поздовжніми силами у випадках передачі навантаження на них через металеві центруючі прокладки різного перерізу.

**Аналіз нормативних підходів та досліджень.** Розрахунок бетонних елементів на місцеве зминання в нормативній літературі виконують при дії стискаючої сили на обмежену площу з урахуванням підвищеного опору бетону на стиск в межах площі зминання за рахунок утворення об'ємного напруженого стану в бетоні під нею. Недостатньо розглянуте фактичне деформування бетону на розтяг в об'ємі навколо площі зминання на різних рівнях її завантаження.

У старих нормах [1], розрахунок елементів на місцеве зминання виконували за залежністю (1). В ній за основний фактор впливу прийнятий, для важкого бетону класів вище В7,5, вираз  $\varphi_b = \sqrt[3]{A_{loc2} / A_{loc1}} \leq 2,5$  в якому розглядається обмежене значення кореня кубічного відношення розрахункової умовної площі зминання  $A_{loc2}$  до площі безпосереднього зминання  $A_{loc1}$ . Такий самий підхід пропонують діючі норми [2, 3].

Висоти бетонних елементів квадратного перерізу, які включаються в роботу на поперечний розтяг при дії по центру місцевого навантаження, взагалі не фіксуються, не нормуються і не обмежуються, а вони можуть коливатися в значному діапазоні. У нормах [1, 2, 3] висота або товщина бетонних елементів у розрахунках на місцевий стиск не регламентується.

У діючих нормах [4], при розрахунку на дію місцевого рівномірно розподіленого навантаження на площі  $A_{c0}$  (рис. 1), зосереджене зусилля опору  $F_{Rdu}$  визначається за формулою:

$$F_{Rdu} = A_{c0} f_{cd} \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \leq 3 f_{cd} A_{c0}. \quad (2)$$

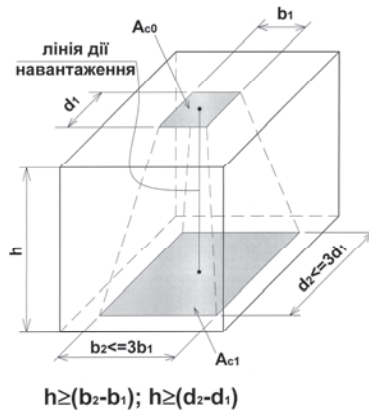


Рис. 1. Розрахунковий розподіл для частково завантажених зон

Як ми бачимо, норми [4] у формулі (2) далі використовують підхід до сили  $F_{Rdu}$  через розрахункове значення міцності бетону на стиск, як і в нормах [1, 2, 3], але враховується висота  $h$  розподілу навантажень, вводяться інші додаткові нові параметри та їх обмеження.

Принцип врахування утворення тріщин досить емпіричний. Зусилля сили розтягу  $T$ , за яким необхідно передбачити відповідне поперечне армування, приймається від значення поздовжньої сили  $F$  за геометричними параметрами  $a = b_1$  та  $b \geq b_2$  або  $d_2$  (однотипні позначення за рис. 1 та рис. 2):

а) для зон з частковим розподілом  $b \leq H/2$  (рис. 2, а) слід використовувати формулу:

$$T = 0,25 \times \left( \frac{b - a}{b} \right) \times F ; \quad (3)$$

б) для зон з частковим розподілом  $b < H/2$  (рис. 2, б) слід використовувати формулу:

$$T = 0,25 \times \left( 1 - 0,7 \frac{a}{h} \right) \times F . \quad (4)$$

**Мета роботи.** Як бачимо з огляду однотипних розрахункових схем змінання, наведених у нормативних документах [1, 2, 3] та схеми для частково завантажених зон за діючими нормама [4], вони мають питання до їх розрахункового підходу при проектуванні бетонних елементів. Особливо це стосується оцінювання при стисканні поздовжніми силами характеристик постадійного і граничного деформування, тріщиноутворення та кінематики тріщиноутворення та руйнування бетону від поперечного розтягу в обоймі навколо площі завантаження.

**Задачею дослідження** є виявити основні фактори, які відрізняють прийняті емпіричні підходи до розрахункових схем для частково

завантажених зон від експериментального характеру розподілу деформацій розтягу, мікротріщиноутворення та руйнування бетону обійми навколо площі завантаження.

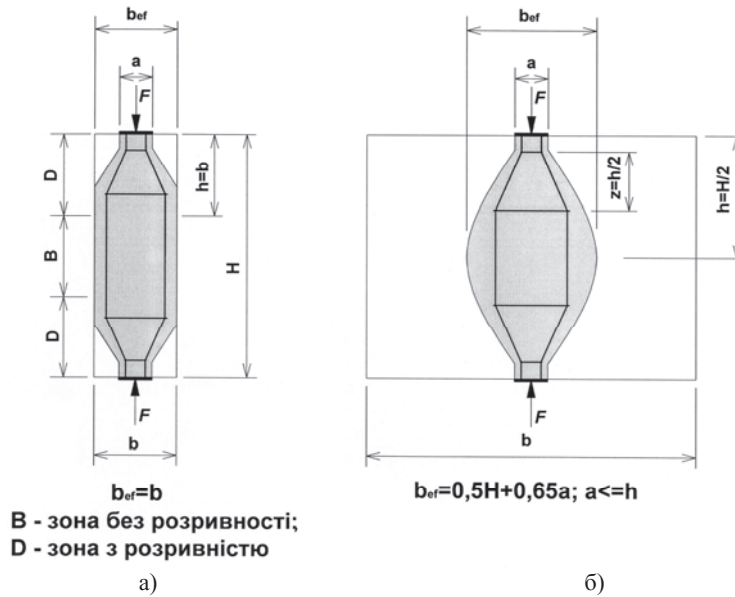


Рис. 2. Параметри для визначення поперечних зусиль розтягу  $T$  у стиснутих полях бетонних елементів для проектування розподіленої арматури:  
 а – часткова розривність; б – повна розривність

Проведення досліджень, мають на меті визначення відповідних поперечних деформацій розтягу бетону по периметру бокових граней кубів при утворенні мікро- та макротріщин до руйнування від різних рівнів навантажень на частково завантажену зону в об'ємних бетонних елементах у вигляді кубів із розмірами ребер 300 мм.

**Результати досліджень.** Згідно поставленої задачі, перевіримо особливості роботи на граничні умови прийнятої у [4] схеми розрахункового розподілу для частково завантажених зон та відповідної до неї формули (2).

Необхідно витримати розрахункові граничні умови:

- співвідношення площі основи  $A_{c1}$  та верхньої площі  $A_{c0}$  частково завантаженої зони –  $A_{c1}/A_{c0} \geq 9$ ;
- мінімальна висота  $h$  не більша за подвійний максимальний розмір ділянки з площею навантаження  $A_{c0} - h \geq 2 \times b_2$  або  $h \geq 2 \times d_2$ .

Такі умови будуть задовольняти дослідні взірці у вигляді кубів (рис. 3).

Для встановлення впливу характеру розподілу напружень розтягу по

бокових гранях об'ємних бетонних елементів на характер їх мікро- і макротріщиноутворення та руйнування виготовлені бетонні куби (К1-3×3, К2-3×3) з розмірами ребер 300 мм (рис. 3). Куби виготовлені з важкого бетону класу С18/22,5 (міцність на стиск: середня –  $f_{cm.cube}=28,5$  МПа; характеристична –  $f_{ck.cube}=22,5$  МПа; розрахункова –  $f_{cd}=13$  МПа).

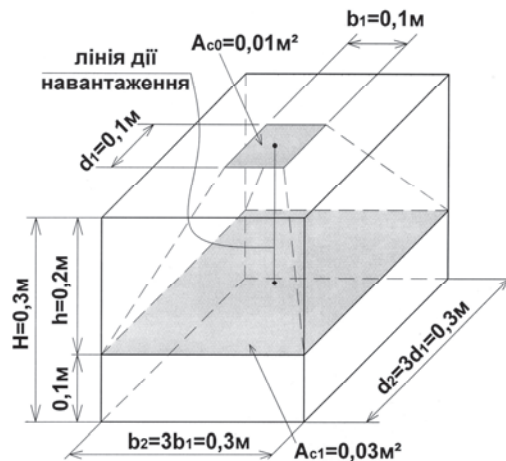


Рис. 3. Розрахунковий розподіл по висоті  $h$  для частково завантаженої зони  $A_{c0}$ , яка відповідає граничним умовам розрахункової схеми наведеної на рис. 1 та граничному обмеженню формули (2)

Куби завантажували зверху рівномірно-розподіленим навантаженням  $q_{loc}$  на обмеженій ділянці  $A_{c0}=0,1 \times 0,1=0,01$  м<sup>2</sup>. Нижня грань куба  $A_{c1}=0,3 \times 0,3=0,09$  м<sup>2</sup> щільно лягала на жорстку плиту преса.

При випробуванні кубів, деформації розтягу заміряли по їх периметру, на трьох рівнях 0,05 м, 0,15 м, 0,25 м від нижньої грані переносним компаратором з базою 100 мм між наклеєними реперами (рис. 4, 5). Всі зразки випробували при центральному прикладанні навантаження. Навантаження прикладали етапами до очікуваного руйнівного зусилля. Характер руйнування двох дослідних зразків-кубів був різний (рис. 4, 5).

Характеристики та деякий аналіз досліджуваних бетонних кубів за методиками [5] та [4] відповідно наведені в табл. 1 та 2.

За методикою розрахунку [4] не зовсім зрозуміло, як приймати гарантоване, менше за граничне, розрахункове значення складової  $\sqrt{A_{c1}/A_{c0}}$  формули (2).

Граничне значення  $\sqrt{A_{c1}/A_{c0}}$  більше середнього експериментального значення у  $3/2,08=1,442$  рази.

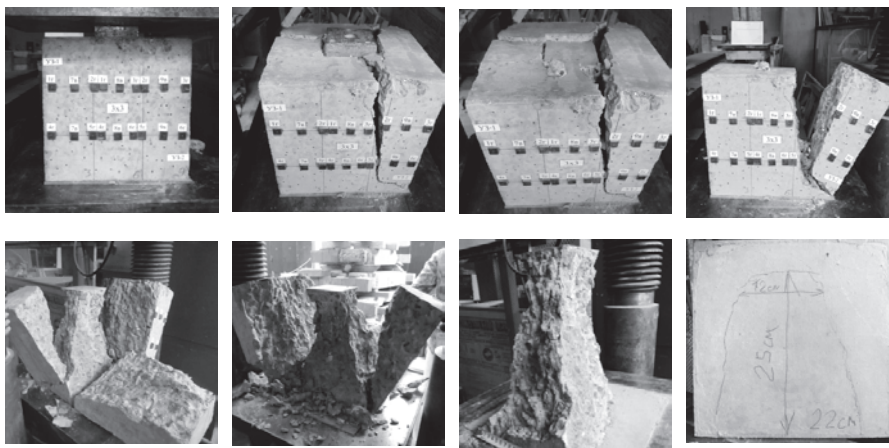


Рис. 4. Характер тріщиноутворення та руйнування при місцевому прикладанні навантаження на бетонний куб К1-3×3 ( $A_{c0}=0,01 \text{ м}^2$   $A_{c1}=0,0425 \text{ м}^2$ )

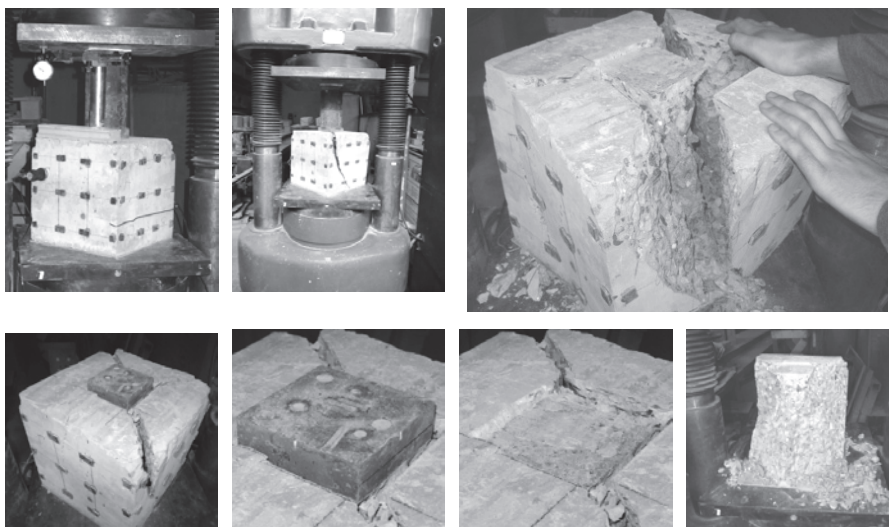


Рис. 5. Характер тріщиноутворення та руйнування при місцевому прикладанні навантаження на бетонний куб К2-3×3 ( $A_{c0}=0,01 \text{ м}^2$   $A_{c1}=0,0441 \text{ м}^2$ )

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

при руйнуванні дослідних зразків (рис. 4, 5).

Таблиця 1

Характерні дані по бетонних кубах за методикою [5]

Марка взірця	$l = b = h, \text{ м}$	$A_{loc.1}, \text{ м}^2$	$A_{loc.2}, \text{ м}^2$	$\sqrt[3]{A_{loc.2} / A_{loc.1}}$		$F_u, \text{ кН}$	$R_{m.cube}, \text{ МПа}$	Розрахункове		$N_{m.cub}, \text{ кН}$	$N_{b,ultum}, \text{ кН}$	$N/F_u$
				$\varphi_{b,f}$	$\varphi_{b,ultum}$			$N_{b,f}, \text{ кН}$	$N_{b,ultum}, \text{ кН}$			
К1- 3×3	0,3	0,01	0,09	2,08<	2,5	800	28,5	270,4	325	592	713	0,338
К2- 3×3	0,3	0,01	0,09	2,08<	2,5	900	28,5	270,4	325	592	713	0,338

Клас важкого бетону В22,5 [5] (міцності на стиск: середня –  $R_{m.cube}=28,5$  МПа; нормативна призми  $R_{b.ser}=16,75$  МПа; розрах. –  $R_b=13$  МПа; розтяг –  $R_{bt.ser}=1,5$  МПа;  $R_{bt}=0,975$  МПа).

Таблиця 2

Характерні дані по бетонних кубах за методикою [4]

Марка взірця	$l = b = h, \text{ м}$	$A_{c0}, \text{ м}^2$	$A_{c1}, \text{ м}^2$	$\sqrt{A_{c1} / A_{c0}}$		$F_{is}, \text{ кН}$	$f_{cm.cube}, \text{ МПа}$	Експлуатаційне		$F_{Rdu.c,f}, \text{ кН}$	$F_{Rdu.ult}, \text{ кН}$	$F_{Rdu,f} / F_u$
				$fact$	$ultum$			$F_{Rdu,f}, \text{ кН}$	$F_{Rdu(3)}, \text{ кН}$			
К1- 3×3	0,3	0,01	0,0425	2,06<	3	800	28,5	268	390	588	855	0,335
К2- 3×3	0,3	0,01	0,0441	2,10<	3	900	28,5	273	390	598	855	0,303

Клас важкого бетону С18/22,5 [4] (міцності на стиск: середня –  $f_{cm.cube}=28,5$  МПа; характеристична –  $f_{ck.cube}=22,5$  МПа; розрахункова –  $f_{cd}=13$  МПа).

Фактичний характер розподілу деформацій розтягу по трьох рівнях по висоті  $h$  та по периметру бокових граней кубів від частково завантаженої зони наведені на рис. 6, 7, 8.

Слід зазначити, що при випробуванні зразків на центральне прикладання сили на фіксовану площу спостерігається нерівномірність розподілу горизонтальних деформацій розтягу  $\pm \varepsilon_{bt} \times 10^{-5}$  за периметрами на трьох рівнях по висоті  $h$  (рис. 6, 7, 8).

Деформації розтягу на верхньому - першому рівні бокових граней у всіх дослідних зразках були більшими ніж на другому та третьому рівнях, ближче до їх нижньої опорної грані (рис. 10, 11).

З графіків відносних деформації бетону під штампом залежно від напружень під ним (рис. 11) видно, що крива залежності має три ділянки зміни напружень  $\sigma$  під штампом від відповідних сил  $F_{Rdu,i} (N_i)$ : перша – від 0 МПа до 30 МПа; друга – від 30 МПа до 80 МПа; третя – від 80 МПа до  $F_u$  МПа, які характеризують перехідні поетапні етапи напружено-деформованого стану бетону.

Порівняння двох кривих залежностей (рис. 11) напружень під штампом від відносних деформацій пірамід продавлювання рівної висоти (перша залежність при  $h=H=0,3$  м та друга залежність при умовній висоті  $h=2b_f=0,2$  м) показало, що у порівнянні з повною діаграмою стиску бетону перша крива залежності краще за характерними параметрами відповідає повній діаграмі стиску бетону побудованої за методикою [5].

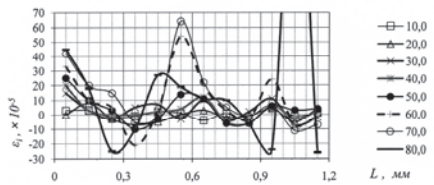


Рис. 6. Відносні деформації по периметру куба на рівні 0,25 м від його основи

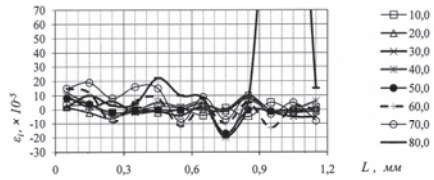


Рис. 7. Відносні деформації по периметру куба на рівні 0,15 м від його основи

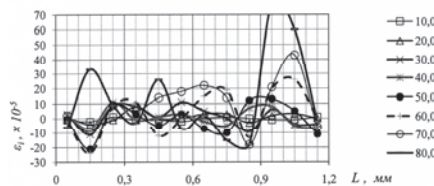


Рис. 8. Відносні деформації по периметру куба на рівні 0,05 м від його основи

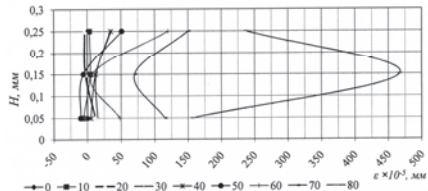


Рис. 9. Сумарні деформації по периметру куба на трьох рівнях від його основи (0,25 м, 0,15 м, 0,05 м)



Рис. 10. Залежність сумарних деформацій по периметру куба на трьох рівнях від його основи (0,25 м, 0,15 м, 0,05 м) від напружень під штампом

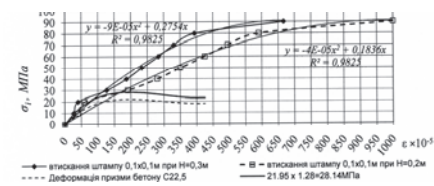


Рис. 11. Залежність напружень під штампом від відносних деформацій піраміди продавлювання з висотою куба  $H=0,3$  м та умовною висотою  $h=2b_f=0,2$  м у порівнянні з повною діаграмою стиску бетону



Значення напружень  $\sigma \approx 30$  МПа у характерній точці переходу між першою та другою ділянками характеризує початок мікротріщиноутворення в бетоні кубів і характеризується відносними деформаціями  $\varepsilon_{bt} = 10 \times 10^{-5}$ , (рис. 6). При цьому, значення напружень  $\sigma \approx 30$  МПа практично співпадає з середнім розрахунковими значеннями напружень за даними [5]  $\sigma_1 = N/A_{loc.1} = 270,4/0,01 = 27,04$  МПа (табл. 1) та обробкою експериментальних даних за формулою (2) норм [4]  $\sigma_2 = \sigma_1 = F_{Rdu}/A_{c0} = (268+273)/2/0,01 = 27,05$  МПа (табл. 2).

Значення напружень  $\sigma \approx 80$  МПа у характерній точці переходу між другою та третьою ділянками характеризує початок макротріщиноутворення в бетоні кубів і характеризується відносними деформаціями  $\varepsilon_{bt} = 400 \times 10^{-5}$  (рис. 6) [5]. При цьому, значення напружень  $\sigma \approx 80$  МПа практично наближається до граничних значень напружень, як за даними норм [1]  $\sigma_{1,u} = N_{b,ultim}/A_{loc.1} = 713/0,01 = 71,3$  МПа (табл. 1), так і за даними норм [4]  $\sigma_2 = \sigma_{1,u} = F_{Rdu,ult}/A_{c0} = 855/0,01 = 85,5$  МПа (табл. 2).

Рівномірна передача навантаження змінання на верхню грань бетонних зразків безумовно підвищує їх фактичну несучу здатність, але можна вважати отримані в дослідях величини руйнівного навантаження дещо більшими у порівнянні з тими, які можуть бути в натурних конструкціях. Це пов'язано в першу чергу з тим, що при дослідженні прийнята досить висока жорсткість основи (нижня сталева плита пресу) під нижньою гранню кубів, яку в реальних умовах будівництва важко досягнути.

**Висновки.** Щодо характеру руйнування експериментальних бетонних кубів при дії місцевого вертикального навантаження по їх геометричній осі, виявлено наступне:

- обробка дослідних даних по бетонних зразках-кубах, випробуваних на дію місцевого навантаження, за оцінкою напружено-деформованого стану бетону через фіксовані рівні деформацій розтягу, дає стійке значення розрахункових зосереджених сил рівнів тріщиноутворення та руйнування зразків-кубів;

- характер руйнування проходить внаслідок змінання-розколювання бетону, починаючи з верхньої грані під фіксованою площею частково навантаженої зони де від вертикальних та поперечних деформацій збільшується об'єм не повної піраміди продавлювання від якої йде поздовжнє тріщиноутворення і розколювання тіла куба;

- нижня грань утвореної на всю висоту куба не повної піраміди продавлювання займає на нижній опорній грані куба ділянку меншу за площу грані куба;

- аналіз кривих залежностей напружень під штампом від відносних деформацій пірамід продавлювання рівною висоті куба з повною діаграмою деформацій бетону на стиск, дало можливість визначити, що перехід бетону куба до мікротріщиноутворення здійснюється при значеннях відносних деформацій  $\varepsilon_{bt} = 10 \times 10^{-5}$ , а до макротріщиноутворення і поступового фізичного

руйнування здійснюється при значеннях відносних граничних деформацій  $\varepsilon_{bt}=400 \times 10^{-5}$ , за характерними параметрами повної діаграми стиску бетону;

- результати порівняння дослідних даних з даними розрахунку за методикою старого СНиП [1] та діючого ДСТУ [4] показали, що отримані в табл. 1 і 2 розрахункові та експлуатаційні значення зосереджених зусиль практично однакові  $N=F_{Rdu}=270$  кН;

- за методикою розрахунку [4] не зовсім зрозуміло, як приймати гарантоване, менше за граничне, розрахункове значення складової  $\sqrt{A_{c1}/A_{c0}}$  формули (2), чи треба приймати зразу граничне значення. Тоді, при отриманих даних при випробуванні кубів, відношення зосереджених зусиль  $N/F_{Rdu}=270/390=0,69$  (розрахункових [1] до експлуатаційних [4]). Інші дані наведені в табл. 1 і 2.

- слід врахувати в [4] підхід до розрахунків на дію місцевого вертикального навантаження для зразків розглянутого типу з урахуванням характеру їх руйнування та жорсткості основи під нижньою їх гранню понижуючим коефіцієнтом умов їх роботи.

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 наведено в роботі [7].

1. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. – М: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 2. СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2003г. 3. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М.: Госстрой России, 2004. 4. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – Київ: Мінрегіонбуд, 2011. 5. Бамбура А.Н., Бачинский В.Я. Методические указания по уточненному расчету железобетонных элементов с учётом полной диаграммы сжатия бетона. – К.: НИИСК Госстроя СРСР, 1987. – 24 с. 6. Пособие по проектированию фундаментов на естественном основании под колонны зданий и сооружений (к СНиП 2.03.01-84 и СНиП 2.02.01-83) Ленпромстройпроект Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. 7. Гладишев Д.Г. Місцева дія навантаження на бетонні елементи // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наукових праць – Рівне: НУВГП, 2014. Випуск 29. – С. 94 –101.