

1. Клименко Е.В. Анализ причин поврежденности бетонных и железобетонных колонн/ Клименко Е.В., Дуденко Т.А., Чернева Е.С. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2010 – Вип. 42. – с.169-172
2. Клименко С.В. Технічний стан будівель та споруд/ Клименко С.В. – Одеса, ОДАБА, 2010. – 284 с.
3. Клименко С.В. До питання розрахунку пошкоджених залізобетонних колон/ Клименко С.В., Дуденко Т.А. // Вісник Національного університету Львівська політехніка – Л.: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – с. 169-172.
4. Matiyu Oreshkovich Basic assumptions for the research of stress-deformation state of damaged reinforced concrete columns of circular cross-section/ Tehnički glasnik 2013 – с. 263 - 268
5. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительного-технологических задач на ЭВМ./ Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. // – К.: Высшая школа, 1989. – 328 с.

УДК 624.0.12.464.3

РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ ОДНО- І ДВОШАРОВИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ, ОПЕРТИХ ПО КОНТУРУ

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ОДНО- И ДВУХСЛОЙНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ, ОПЕРТЫХ ПО КОНТУРУ

CALCULATION OF STRENGTH ONE - AND TWO-LAYER REINFORCED CONCRETE SLABS SUPPORTED ON A CONTOUR

Барашиков А.Я., д.т.н., професор, Сморгалов Д.В., асистент (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)

Барашиков А.Я., д.т.н., професор, Сморгалов Д.В., асистент (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев)

Barashikov A.J., doctor of technical sciences, professor, Smorkalov D.V., assistant ((Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv)

Наведено результати експериментальних досліджень одно - і двошарових плит під дією поперечного короткочасного навантаження. Виконано розрахунок і співставлення міцності плит, оснований на деформаційному методі з результатами експериментальних досліджень.

Приведены результаты экспериментальных исследований одно - и двухслойных плит под действием поперечного кратковременной нагрузки. Выполнен расчет и сопоставление прочности плит, основанном на деформационном методе с результатами экспериментальных исследований.

The results of experimental researches one - and two-layer slabs under transverse short load. The calculation and comparison of the strength of slabs based on deformation method with experimental results.

Ключові слова:

Сталефібробетон, міцність, плита
 Сталефібробетон, прочність, плита
 Steel fiber concrete, strength, plate

Стан питання та мета досліджень. За останні роки набуло популярності будівництво шаруватих, здебільше двошарових, плит покриттів. Найчастіше шари складаються з важкого бетону та ефективного сталефібробетону. Такі конструктивні рішення знайшли широке впровадження у дорожніх і аеродромних покриттях, логістичних майданчиках, сильно навантажених підлогах промислових будівель тощо [1,2]. Вважається, що така конструкція підвищує міцність, тріщиностійкість та жорсткість несучої системи, а також поліпшує інші важливі експлуатаційні якості зазначених споруд: водонепроникність, морозостійкість, стиранистість тощо.

У той же час, проведених досліджень з підтвердження зазначених переваг явно недостатньо для обґрунтування очікуваних поліпшень. При цьому очевидно, що виготовлення шаруватих конструкцій суттєво збільшить вартість об'єкту. Внаслідок відсутності відповідних методик незрозумілим поки лишається розрахунок оцінювання ефективності розділення конструкції на шари.

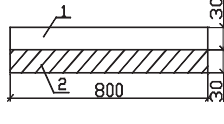
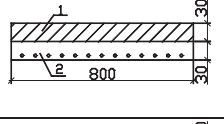
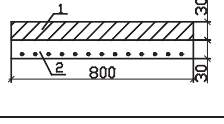
Мета даної роботи – співставлення пропонованого способу розрахунку шаруватих плит, оснований на сучасному деформаційному методі розрахунку [3] з результатами експериментальних досліджень.

Методика досліджень. Нижче наведені об'єм експериментальних досліджень (табл.1), які у рамках поставлених задач змогли відповісти на питання ефективності застосування шаруватих плит [4].

Таблиця 1

Об'єм та зміст експериментальних досліджень

Серія	Марка плити	Переріз	Склад	Мета випробувань
I	ПФ-1		1-сталефібробетон	Короткочасне навантаження одношарових плит
	ПФ-2			
II	ПЗ-1 ПЗ-2		1-залізобетон	

III	ПБФ-1		1-бетон; 2-сталефібробетон	
IV	ПБФ-2		1-сталефібробетон; 2-залізобетон	Короткочасне навантаження двохшарових плит
	ПЗФ-1			
IV	ПЗФ-2		1-сталефібробетон; 2-залізобетон	

Випробуванням плит передували визначення фізично-механічних властивостей використаних матеріалів: важкого бетону, сталефібробетону і арматури (табл. 2)

За результатами експериментальних досліджень з урахуванням характеру руйнування усі [4] плити зруйнувалися за нормальними перерізами. Зважаючи на те, що наявність тріщин у розтягнутих зонах плит суттєво зменшує вплив крутних моментів, можна розглядати плиту як балочну, вважаючи, що у кожному напрямку плита несе половину навантаження.

Таблиця 2

Фізико-механічні характеристики бетонів і арматури

Вид бетону або арматури	Міцність, МПа		Міцність на розтяг, МПа	Початковий модуль пружності, МПа	Гранична деформація стиску $\cdot 10^5$	Гранична деформація розтягу $\cdot 10^5$
	кубів	призм				
Важкий бетон	16,3	11,9	1,5	22500	157	15
Сталефібробетон	19,8	14,5	1,63	24600	165	17
Арматура Вр-1	-	-	393	192000	-	394

Таким чином, маємо конкретну задачу визначення міцності нормальних перерізів у плиті, яка розкладається по двох напрямках з однаковими граничними моментами. Несуча здатність при 16 зосереджених рівномірно розподілених вантажах, які прикладені до поверхні плити розраховували за

допомогою ПК Лира . Схема прикладання навантаження на плиту і схема опор згідно [4] див рис. 1.

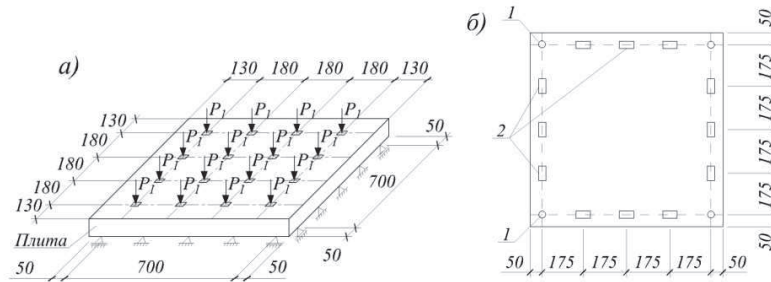


Рис.1. Схема прикладання навантаження на плиту (а), та схема опор (б):
1-шарнірно опора, 2-циліндрична опора

Результати розрахунку згинальних моментів плит, при руйнуванні за результатами експерименту наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Результати розрахунку згинальних моментів плит, при руйнуванні за результатами експерименту

Серія	Марка плити	Загальне зусилля на плиту P_{tot} , кН	Зусилля на плиту P_1 , кН	Згинальний момент M_{exp} , кНм
I	ПФ	41,5	2,59	1,53
II	ПЗ	58	3,63	2,15
III	ПБФ	42,5	2,66	1,57
IV	ПЗФ	59	3,69	2,18

У процесі виконання досліджень визначали деформації крайніх стиснутих і розтягнутих волокон плити [4]. Результати цих вимірювань наведені на рис.2.

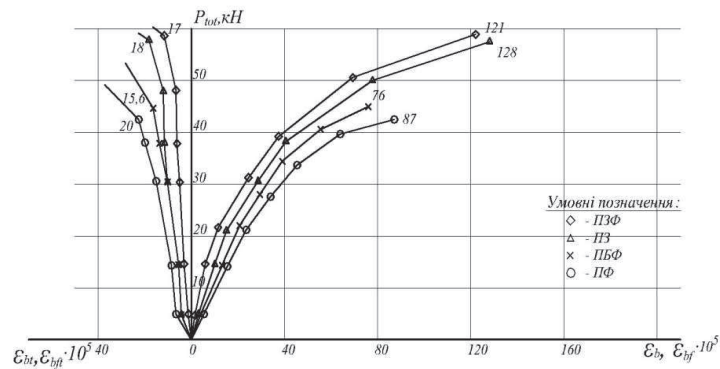


Рис. 2. Залежність “навантаження-деформації” плит на рівні крайнього стиснутого волокна плити та на рівні розтягнутої грані елемента

У процесі розрахункових визначень граничних зусиль у нормальних перерізах сформульовані такі робочі гіпотези:

- зв'язок між напруженнями і деформаціями розтягнутої арматури та стиснутого бетону приймають у вигляді діаграми Прандтля зі скороченою гілкою, отриману на основі реальних криволінійних діаграм деформування матеріалів (рис.3, 4);

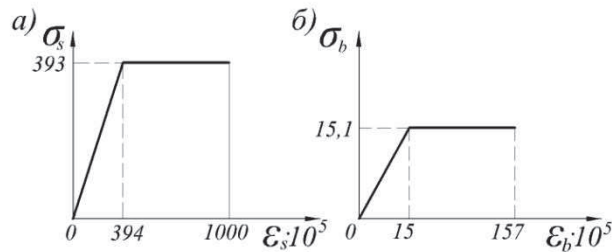


Рис.3. Діаграма деформування арматури на розтяг (а), важкого бетону на стиск (б),

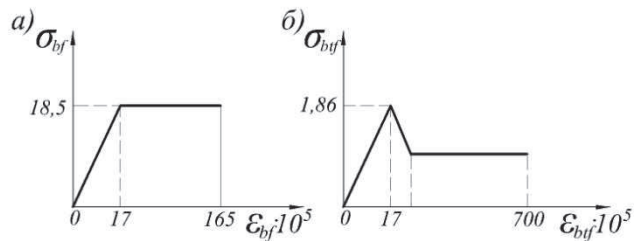


Рис.4. Діаграма деформування сталевібробетону на стиск (а) та на розтяг (б)

- для середніх деформацій стиснутого бетону і розтягнутої арматури вважається справедливою гіпотеза плоских перерізів;
- за розрахунковий приймають переріз із середньою висотою стиснутої зони, відповідної середнім деформаціям;
- опір розрахункового перерізу вважають вичерпаним, якщо деформації крайніх стиснутих волокон бетону або деформації розтягнутої арматури досягли граничних значень.

Далі, на основі отриманих експериментальних даних, виконані розрахунки величин граничних зусиль, які сприймають нормальні перерізи дослідних плит.

Спочатку розраховують одношарові плити, які представлені двома серіями.

Серія I (ПФ) уявляє собою неармовану плиту зі сталевібробетону. Згідно з сучасних уявлень про роботу згинальних сталевібробетонних конструкцій [1,3], їх треба розраховувати з урахуванням розтягнутої зони. У цьому випадку досягнення граничного стану визначається руйнуванням розтягнутої зони – утворенням тріщин (рис.5)

Розрахунок міцності згинального елемента пропонується [1] виконувати за формулою

$$M_u = \frac{1}{2} f_{cdf} \cdot b \cdot x \left(\frac{h}{2} + \frac{x}{3} \right), \quad (2)$$

де висоту стиснутої зони необхідно зважаючи на епюру деформацій визначати за формулою

$$x = \frac{\varepsilon_{bf}}{\varepsilon_{bf} + \varepsilon_{bft}} h = \xi \cdot h, \quad (3)$$

де ε_{bf} , ε_{bft} - відповідно деформації стиску і розтягу крайніх волокон перерізу.

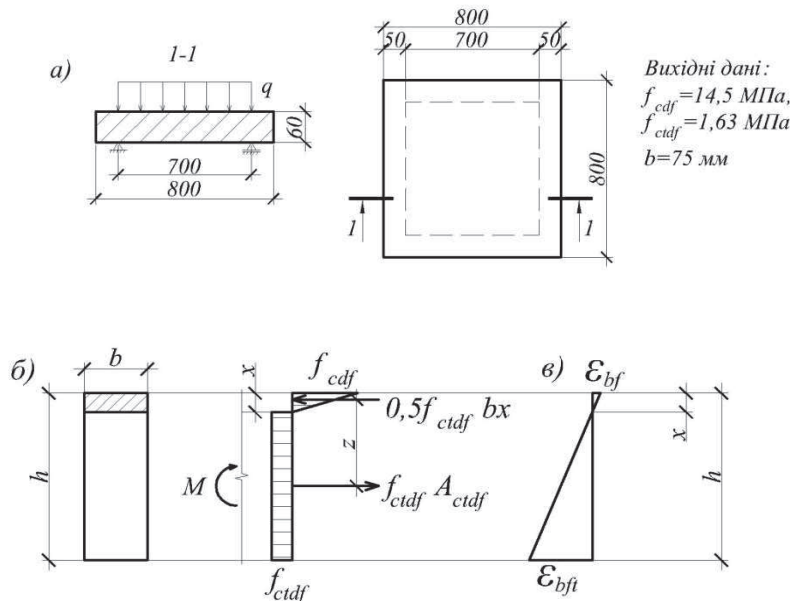


Рис. 5. Розрахункова схема плити серії I (а), схема зусиль у перерізі (б), епюра деформацій (в) перерізу одношарової плити серії ПФ (сталевібробетонної)

Для отриманих з експерименту вихідних (початкових) даних обчислюють

$$x = \frac{87}{87+700} 60 = 6,63 \text{ мм};$$

$$M_{u,b} = \frac{1}{2} \cdot 14,5 \cdot 75 \cdot 6,63 \left(\frac{60}{2} + \frac{6,63}{6} \right) = 112137 \text{ Н мм} = 0,112 \text{ кНм}$$

отже, граничний згинальний момент складає:

$$M_u = 0,112 \cdot \frac{10000}{75} = 1,50 \text{ кНм},$$

Серія II (ПЗ) уявляє собою одношарову залізобетонну плиту, армовану одиночною арматурою $\text{Ø}4$ Вр-I, укладеною унизу плити із захисним шаром бетону товщиною 10мм з кроком 75мм (рис.6). Цей крок прийнятий у розрахунках за одиничні розрахунковий розмір $b=75$ мм.

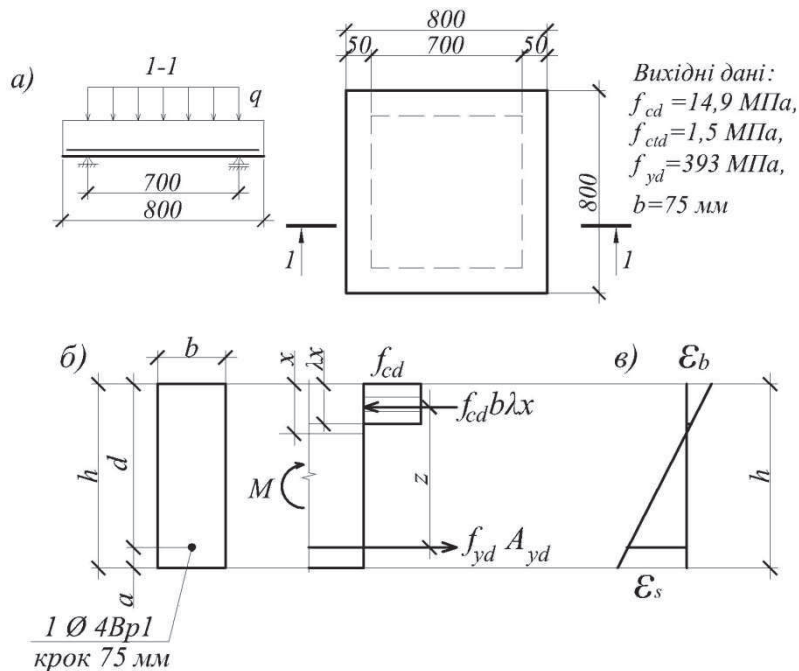


Рис. 6. Розрахункова схема плити серії II (а), схема зусиль у перерізі (б), епюра деформацій (в) перерізу одношарової плити серії ПЗ (залізобетонної)

Зважаючи на деформаційно-напружений стан, формули для залізобетонної плити слід записати таким чином

$$x = \frac{\epsilon_b}{\epsilon_b + \epsilon_s} \cdot d \quad (4)$$

$$x = \frac{128}{128 + 1000} \cdot 46 = 5,21 \text{ мм}$$

граничний розрахунковий руйнівний момент становить

$$M_{u,b} = f_{cd} \cdot b \cdot \lambda \cdot x \left(d - \lambda \frac{x}{2} \right), \quad (5)$$

де $\lambda=0,8$ згідно рекомендацій [5]

$$M_{u,b} = 11,9 \cdot 75 \cdot 0,8 \cdot 5,21 (46 - 0,8 \cdot 0,5 \cdot 5,21) = 163364 \text{ Нмм} = 0,163 \cdot \text{кНм}$$

отже, граничний згинальний момент складає:

$$M_u = 0,163 \cdot \frac{10000}{75} = 2,18 \text{ кНм,}$$

Двошарові плити теж представлені у роботі двома серіями.

Серія III (ПБФ) уявляє двошарову бетонну плиту, верхній шар якої виготовлений з неармованого важкого бетону, а нижній – з неармованого сталевібробетону. Матеріали обох шарів підібрані майже з однаковими фізико-механічними характеристиками (див.табл.2) з точки зору міцності та деформативності. Це зроблено не випадково, а для кращого забезпечення сумісної роботи шарів.

Дослідження показали, що ці сподівання виправдані. Шари працювали сумісно аж до руйнування без спеціальних заходів з їхнього зчеплення. Напружено-деформований стан плит серії ПБФ наведений на рис.7. Треба відмітити, що ці плити мали найменші величини деформацій.

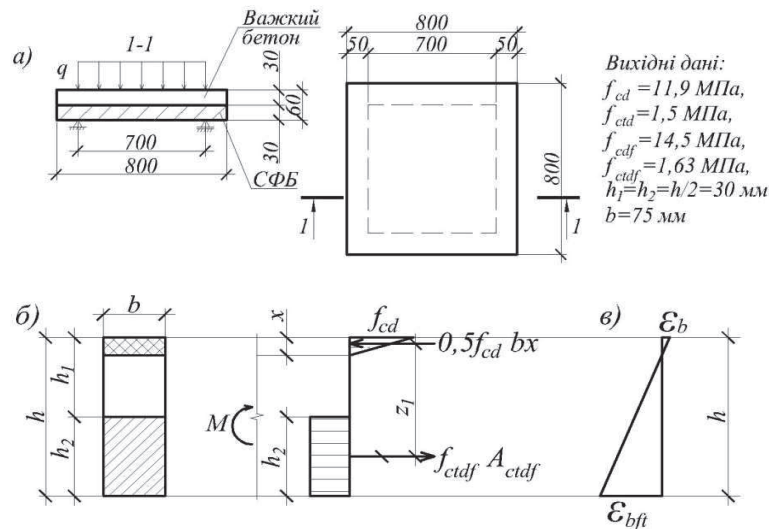


Рис. 7. Розрахункова схема плити серії III (а), схема зусиль у перерізі (б), епюра деформацій (в) перерізу двошарової плити серії ПБФ

Висоту стиснутої зони в перерізі елемента визначали за формулою, аналогічною (3)

$$x = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_b + \varepsilon_{bf}} \cdot h, \quad (6)$$

$$x = \frac{75}{75 + 700} \cdot 60 = 5,81 \text{ мм}$$

Згідно з рис. 6,б граничний руйнівний момент двошарової плити ПБФ становить

$$M_{u,b} = \frac{1}{2} f_{cd} b \cdot x \left(\frac{3}{4} h - \frac{x}{2} \right) \quad (7)$$

$$M_{u,b} = \frac{1}{2} 11,9 \cdot 75 \cdot 5,81 \left(\frac{3}{4} 60 - \frac{5,81}{2} \right) = 116677 \text{ Нмм} = 0,116 \cdot \text{кНм}$$

отже, граничний згинальний момент складає:

$$M_u = 0,116 \cdot \frac{1000}{75} = 1,55 \text{ кНм},$$

Нарешті, остання серія IV (ПЗФ) дослідних зразків представлена плитами, які складаються з верхнього шару неармованого сталевібробетону та шару важкого бетону, армованого сіткою з металевої арматури $\varnothing 4$ Вр-I, встановленої з кроком 75 мм. Напружено-деформативний стан плити наведений на рис.8. Треба зразу відмітити найефективнішу роботу таких двошарових плит.

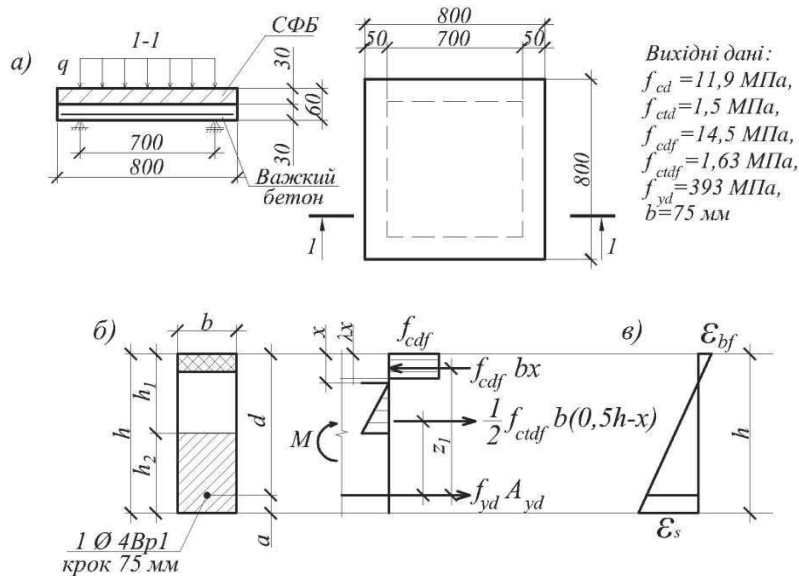


Рис. 8. Розрахункова схема плити серії IV (а), схема зусиль у перерізі (б), епора деформацій (в) перерізу двошарової плити серії ПЗФ

Висоту стиснутої зони визначають за формулою, аналогічною (4)

$$x = \frac{\varepsilon_{bf}}{\varepsilon_{bf} + \varepsilon_s} d \quad (8)$$

$$x = \frac{121}{121 + 1000} 46 = 4,96 \text{ мм}$$

Згідно з рис. 7,б приймають значення граничного руйнівного моменту за формулою

$$M_{u,b} = f_{ctdf} \cdot b \cdot \lambda \cdot x \left(d - \lambda \frac{x}{2} \right) - \frac{1}{2} f_{ctdf} b \left(\frac{h}{2} - x \right) \left(d - \frac{h}{2} - \frac{x}{2} \right), \quad (9)$$

$$M_{u,b} = 14,5 \cdot 75 \cdot 0,8 \cdot 4,96 \cdot \left(46 - \frac{4,96}{2} \right) - \frac{1}{2} \cdot 1,65 \cdot 75 \cdot \left(\frac{60}{2} - 4,96 \right) \left(46 - \frac{60}{2} - \frac{4,96}{2} \right) =$$

$$= 152710 \text{ Н мм} = 0,153 \text{ кНм}$$

отже, граничний згинальний момент складає:

$$M_u = 0,153 \cdot \frac{1000}{75} = 2,04 \text{ кНм},$$

Результати досліджень. Порівняння експериментальних і розрахункових результатів наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Порівняння експериментальних і розрахункових результатів

Серія	Марка плити	Граничний згинальний момент M_u , кНм		Відхилення експериментальних даних від розрахункових у	
		ехр	розн	відносних од.	відсотках
I	ПФ	1,53	1,50	1,020	2,0
II	ПЗ	2,15	2,18	0,986	1,4
III	ПБФ	1,57	1,55	1,013	1,3
IV	ПЗФ	2,18	2,04	1,068	6,8

Як видно з табл.3, похибки відносно невеликі та становлять не більше 10%.

Висновки:

1. За результатами досліджень меншу міцність показали одношарові плити, які не були армовані повздовжньою арматурою у розтягнутій зоні (серії I, III). Незважаючи на те, що розтягнута зона була із сталевібробетону, характер руйнування виявився подібний до бетонної плити. За міру

руйнування править гранична деформація розтягу ϵ_{df} , причому пластичні деформації не встигають проявитися.

2. У порівнянні з плитами марки ПЗ і ПЗФ (серія II, IV) міцність виявилася майже на 40 % більша. Цьому сприяла повздовжня арматура, розташована у розтягнутій зоні важкого бетону. Очевидно, важливу роль зіграли пластичні деформації у стиснутій зоні. Вони перевищували загальні деформації плит серії I, III.

3. Як підсумок – загальний висновок: з точки зору міцності недоцільно виготовляти неармовані плити. У відсутності повздовжньої арматури навіть використання сталевібробетону малоефективне. В той же час застосування сталевібробетону у стиснутій зоні шаруватих плит підвищує їхні експлуатаційні якості (тріщиностійкість, жорсткість, водонепроникність, морозостійкість, стиранийність тощо).

1. Талантова К.В. Строительные конструкции с применением сталевібробетона. Проблемы и пути их решения. // Бетон и железобетон – пути развития. Научные тр. 2-ой Всероссийской (Международной) конференции; в 5 томах, том 2. – М.: НИИЖБ., 2005. – С.229-235. 2. Барашиков А.Я. Зміцнення бетону за допомогою фібр / Барашиков А.Я., Малик М.М., Мельник В.К., Рябенко Т.А.// Ресурсо-економні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Зб. наук. праць. – Рівне, НУВГП, 2012. – Вип. 23. – С.3-10. 3. ДСТУ Б В.2.6.-156:2010. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 4. Барашиков А.Я. Експериментальні дослідження двошарових плит / Барашиков А.Я., Журавський О.Д., Сморгалов Д.В.// Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону. Зб. наук. праць. у 2-х книгах, книга 1. – К: ДНДІБК., 2003. – Вип. 59. – С.109-114. 5. Мурашко Л.А. Розрахунок за міцністю перерізів нормальних та похилих до повздовжньої осі згинальних залізобетонних елементів за ДБН В.2.6-98:2009/ Мурашко Л.А., Колякова В.М., Сморгалов Д.В.// – К: КНУБА., 2012.