

## **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РОЗРАХУНКУ МІЦНОСТІ ОБТИСНУТИХ БЕТОННИХ ШПОНОК ЗА ІСНУЮЧИМИ МЕТОДИКАМИ**

Довженко О.О., Карабаш Л.В., Ржаних Є.О.

Полтавський національний технічний університет  
імені Юрія Кондратюка  
м. Полтава, Україна

**АНОТАЦІЯ:** Проаналізовані існуючі методики розрахунку міцності обтиснутих бетонних шпонок. Виконаний порівняльний аналіз отриманих результатів.

**АННОТАЦИЯ:** Проанализированы существующие методики расчёта прочности обжатых бетонных шпонок. Выполнен сравнительный анализ полученных результатов.

**ABSTRACT:** Existing design procedures of durability compression concrete joints have been analysed. The comparative analysis of the received results has been made.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** шпонка, зріз, обтиснення, методика розрахунку.

### **СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Широке застосування у сучасному будівництві шпонкових з'єднань (насамперед при зведенні збірно-монолітних конструктивних систем під соціальне житло), обумовлює увагу науковців до них. Однак існуючий стан розрахунку стиків, як правило, базується на емпіричній основі, не враховує повної сукупності визначальних факторів і приводить до суттєвої розбіжності з експериментами. Ступінь обтиснення суттєво впливає на міцність шпонок, що враховується залежностями в табл. 1.

У [11] були співставлені формули для визначення міцності бетонних шпонок  $V_{sh,c}^k$ , тому розглядається лише складова, в якій фігурує фактор обтиснення.

**Метою статті** є порівняльний аналіз існуючих методів розрахунку міцності обтиснутих бетонних шпонок при зрізі.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В більшості залежностей табл. 1, обтиснення входить окремим доданком у формулу для визначення  $V_{sh,\sigma}^k$ . Його величина, як правило, дорівнює  $N$ , помноженій на знижувальний коефіцієнт (коефіцієнт тертя), значення котрого коливається від 0,5 у [5] до 0,9 в [8, 9], міцність ділянок стику між шпонками при цьому не враховується (крім [6]).

Таблиця 1

Розрахункові залежності, запропоновані для визначення міцності обтиснутих бетонних шпонок при зрізі

№	Розрахункові залежності	Джерело
1	2	3
1	$V_{sh,\sigma}^k = V_{sh,c}^k + 0,7N$	ВСН 72-77 [1]
2	$V_{sh,\sigma}^k = N + 0,9V_{sh,c}^k$	Пособие (к СНиП 2.08.01-85) [2]
3	$V_{sh,\sigma}^k = V_{sh,c}^k \left[ 1 + \frac{6,1k}{1 + l_k/h_k} \frac{\sigma}{R_b} \left( 1 - 0,49 \frac{\sigma}{R_b} \right) \right],$ $k = 1$ – для важкого бетону, $k = 1,2$ – для керамзитобетону	В.В. Погрібний [3]
4	$V_{sh,\sigma}^k = V_{sh,c}^k + \frac{7}{\sqrt{R}} \sigma A_{sh},$ де $R$ у кгс/см <sup>2</sup> , $A_{sh} = h_k b_k$ – площа зрізу шпонки	І.А. Рохлін [4]
5	$V_{sh,\sigma}^k = V_{sh,c}^k + 0,5 \sigma A_{sh}$	S.H. Rizkalla [5]
6	$V_{sh,\sigma}^k = V_{sh,c}^k + \sqrt{6,792 \times 10^{-3} R_b} \times$ $\times 2,466 \sigma A_{sh} + 0,6 A_{sm} \sigma$ $A_{sm}$ – площа між шпонкових ділянок	AASHTO 89 [6]
7	$V_{sh,\sigma}^k = V_{sh,c}^k + \mu_{sw} \sigma A_{sh},$ $\mu_{sw} = 0,65$ – коефіцієнт тертя	Rombach G. [7]
8	$V_{Rdi} = (c f_{ctd} + \mu \sigma_n) A_{sh},$ $c = 0,5$ і $\mu = 0,9$ – коефіцієнти, що залежать від виду поверхні	Eurocode 2 [8], ДСТУ Б В.2.6. [9]

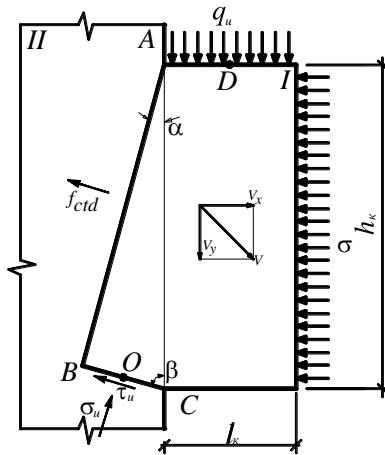


Рис. 1. Кінематично можлива схема руйнування окремих прямокутних обтиснутих бетонних шпонок при зрізі

Погрібний В.В. [3] пропонує підраховувати опір обтиснутої шпонки зрізу  $f_{sh,\sigma}^k = V_{sh,\sigma}^k / A_{sh}$  як функцію опору бетонної шпонки та рівня обтиснення  $\sigma / f_{cd}$ . Автори [4, 6] вважають, що збільшення міцності обтиснутих шпонок обумовлюється крім  $\sigma$  і класом бетону ( $f_{c,cube}$  або  $f_{c,prism}$ ).

В ПолТНТУ розроблена загальна методика розрахунку міцності шпонкових стиків, яка враховує характер руйнування з'єднань і повну сукупність факторів впливу.

Кінематично можлива схема руйнування, котра лежить у основі розрахунку, представлена на рис. 1, а формула для визначення граничного навантаження має вигляд

$$q_u = \left( m \left[ 2B \sqrt{(k - tg\beta)^2 + 0,25(ktg\beta + 1)^2} - (k - tg\beta) \right] \times \frac{tg\alpha}{(tg\alpha + tg\beta)} + \right) \frac{1}{\gamma}, \quad (1)$$

$$+ f_{ctd} (k + tg\alpha) \times \frac{tg\beta}{(tg\alpha + tg\beta)} + \sigma k$$

$$\text{де } q_u = f_{sh,\sigma}^k / \gamma;$$

$$\gamma = l_k / h_k;$$

$$m = f_{cd} - f_{ctd};$$

$$B = \sqrt{\left(1 + \chi / (1 - \chi)^2\right) / 3}, \quad \chi = f_{ctd} / f_{cd}.$$

Руйнівне навантаження  $q_u$ , а також невідомі параметри (кути  $\alpha$  і  $\beta$ , котрі визначають геометрію поверхні руйнування, та співвідношення швидкостей руху дисків на кінематичній схемі  $k = V_x / V_y$ ) знаходяться шляхом пошуку екстремуму функції (1) за виконання умов  $\sum M_B = 0$ ,  $\sum M_o = 0$ ,  $\sum M_D = 0$  методом Ньютона. Залежність відносної теоретичної міцності обтиснутої бетонної шпонки від рівня обтиснення представлено на рис. 2 (при  $l_k / h_k = 1$  зріз реалізується при  $\sigma / f_{cd} \geq 0.25$ ).

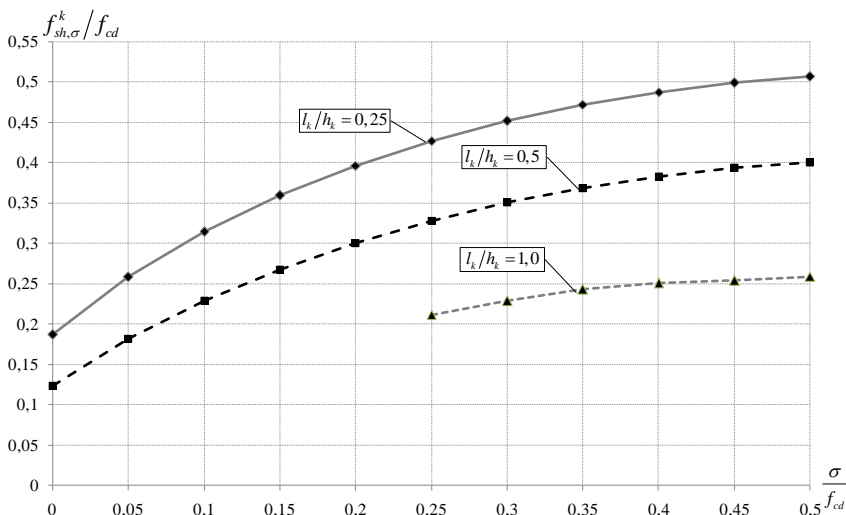


Рис. 2. Залежність відносної теоретичної міцності обтиснутої бетонної шпонки  $f_{sh,\sigma}^k / f_{cd}$  від параметру  $\sigma / f_{cd}$  (для бетону C16/20) [10]

Аналіз рис. 3, 4 показує, що мінімальні значення міцності отримані за методикою S.H. Rizkalla [5], максимальні – AASHTO 89 [6] (при цьому вони відрізняються більше ніж у 2 рази). Всі методики передбачають суттєве зростання  $V_{sh,\sigma}^k$  із збільшенням обтиснення  $\sigma$  за лінійною залежністю, окрім [3, 10]. Найбільш стрімке зростання дає [8, 9].

Щодо впливу співвідношення розмірів шпонки, то більшість авторів, окрім [3, 10], цей фактор нехтують, хоча дослідні дані [3, 10, 12, 13] свідчать, що із збільшенням  $l_k / h_k$  міцність зменшується, змінюється і характер руйнування шпонок (змінання, зріз, відрив).

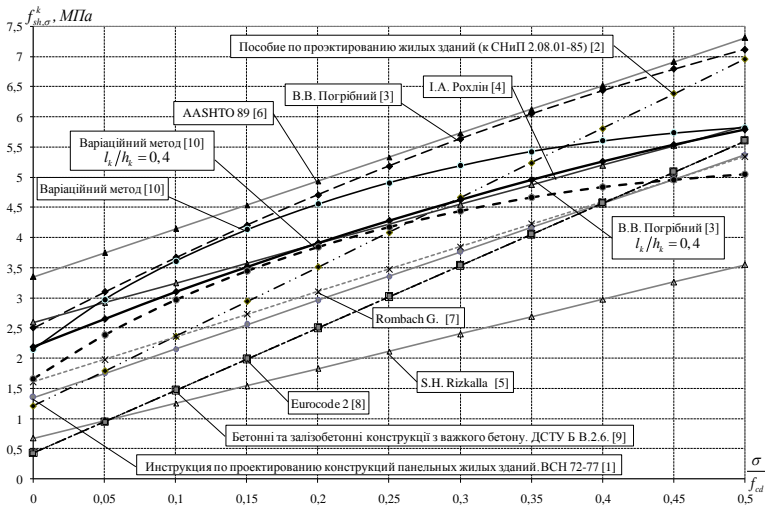


Рис. 3. Залежність «  $f_{sh,\sigma}^k - \sigma / f_{cd}$  » за різними методиками (для бетону С16/20 при  $l_k/h_k = 0,25$ )

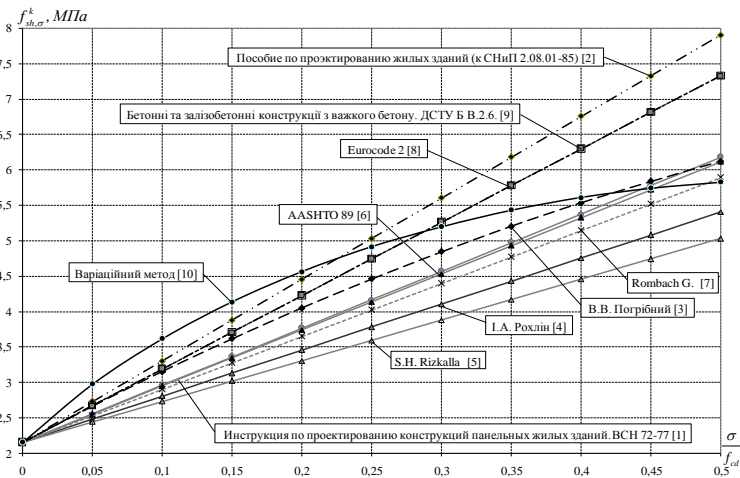


Рис. 4. Залежність теоретичної міцності обтиснутої бетонної шпонки  $f_{sh,\sigma}^k$  від  $\sigma / f_{cd}$  для важкого бетону: при  $l_k/h_k = 0,25$  та однакової початкової міцності бетонної шпонки

Порівняння методик виконано за величиною відношення теоретичної міцності до дослідної  $f_{sh,\sigma}^{k,calc} / f_{sh,\sigma}^{k,test}$  для 52 зразків [10, 12, 13],

фактори варіювання при цьому змінювалися в широких межах:  $\chi = f_{cd}/f_{cd} = 0,09...0,13$ ;  $\gamma = l_k/h_k = 0,25...1$ ;  $\sigma/f_{cd} = 0,012...0,5$ . Для кожної із методик визначалося середнє арифметичне  $\bar{x}$ , середнє квадратичне  $\sigma_{n-1}$  та коефіцієнт варіації  $\nu$ . Аналіз результатів (табл. 2) виявив систематичне завищення теоретичної міцності за методиками AASHTO 89 [6] до 50% (найгірша збіжність) і [2] до 30%, за методикою S.H. Rizkalla [5] навпаки отримуємо заниження до 45%. Формули ВСН [1], В.В. Погрібного [3] та Rombach G. [7] показують коливання величин  $f_{sh,\sigma}^{k,calc}/f_{sh,\sigma}^{k,test}$  в межах 1,00...1,09, однак  $\sigma_{n-1}$  і  $\nu$  кращі для [3]. Методики І.А. Рохліна [4] та варіаційний метод [10] дають приблизно однакові статистичні показники.

Таблиця 2

Статистичні показники  $f_{sh,\sigma}^{k,calc}/f_{sh,\sigma}^{k,test}$

Методика Показники	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8, 9]	[10]
$\bar{X} =$	1,084	1,265	1,026	0,934	0,547	1,490	1,004	0,883	0,924
$\sigma_{n-1} =$	0,255	0,371	0,184	0,171	0,194	0,359	0,547	0,705	0,173
$\nu =$	23,50%	29,33%	17,96%	18,28%	35,39%	24,09%	54,49%	79,78%	18,68%

Отже найкращу збіжність з експериментом показують методики [3, 4, 10], однак [4] менш точна при визначенні міцності бетонних шпонок [11].

Таблиця 3

До визначення  $f_{sh,\sigma}^k$  при  $l_k/h_k = 0,25$

$\sigma/f_{cd}$	$f_{sh,\sigma}^k/f_{cd}$ ( $V_{sh,\sigma}^k = f_{sh,\sigma}^k A_{sh}$ )								
	C12/15	C16/20	C20/25	C30/35	C32/40	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
0,1	0,322	0,311	0,305	0,307	0,304	0,3	0,294	0,296	0,296
0,2	0,401	0,395	0,39	0,391	0,39	0,387	0,384	0,385	0,384
0,3	0,455	0,451	0,448	0,449	0,448	0,446	0,444	0,445	0,444
0,4	0,489	0,487	0,486	0,486	0,486	0,485	0,484	0,484	0,484
0,5	0,507	0,507	0,507	0,507	0,507	0,506	0,506	0,506	0,506

Для спрощення використання варіаційного методу в інженерних розрахунках пропонується табл. 3, за допомогою якою можна визначити міцність обтиснутих бетонних шпонок залежно від рівня обтиснення  $\sigma/f_{cd}$ , класу бетону за монолічування та співвідношення розмірів шпонки.

## ВИСНОВОК

Отримані результати можуть слугувати підтвердженням можливості та доцільності застосування варіаційного методу в теорії пластичності бетону при розв'язанні задач міцності шпоноквих з'єднань.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Инструкция по проектированию конструкций панельных жилых зданий: ВСН 72-77. – М.: Стройиздат, 1978. – 177 с.
2. Пособие по проектированию жилых зданий / ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры. - Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). – М.: Стройиздат, 1989. – 304 с.
3. Погребной В.В. Прочность бетонных и железобетонных элементов при срезе: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / В.В. Погребной // Полтав. гос. техн. ун-т им. Юрия Кондратюка. – Полтава, 2000. – 236 с.
4. Рохлин И.А. Исследование и расчет бессварочных шпоночных стыков тонкостенных железобетонных конструкций/ И.А. Рохлин, В.А. Бондарев. – К.: НИИСК Госстроя СССР, 1968. – 34 с.
5. Multiple shear key connections for precast shear wall panels / [S.H. Rizkalla, R.L. Serette, J.S. Heuvel, E.K. Attiogbe] // PCI Journal. – 1989. – № 3-4. – P.104–120.
6. AASHTO 89 (American Association of State Highway and Transportation Officials): Guide Specifications for Design and Construction of Segmental Concrete Bridges. – 1989, Interim Specifications 1990 – 1999.
7. Rombach G. Precast segmental box girder bridges with external prestressing design and construction / G. Rombach // Technical University, Hamburg, Germany. INSA Rennes. – 2002. – №2. – P. 56–60.
8. Eurocode 2, Part 1. Design of concrete structures. 1992. – 230 с.
9. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону: ДСТУ Б В.2.6. – К.: НДІБК, 2010. – 156 с.
10. Карабаш Л.В. Міцність прямокутних залізобетонних шпонок з урахуванням особливостей армування і обтиснення: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Л.В. Карабаш // Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава, 2010. – 186 с.
11. Довженко О.О. Порівняльний аналіз розрахунку міцності бетонних шпонок за існуючими методиками / О.О. Довженко, Л.В. Карабаш, Ю.В. Чурса // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2012. – Вип. 23. – С. 201–210.
12. Коровин Н.Н. Экспериментальное исследование шпоночных сопряжений ригелей с колонной / Н.Н. Коровин, В.С. Еськов // Бетон и железобетон. – 1965. - №3. – С. 40-43.
13. Рохлин И.А. Исследование и расчет бессварочных шпоночных стыков тонкостенных железобетонных конструкций / И.А. Рохлин, В.А. Бондарев. – К.: НИИСК Госстроя СССР, 1968. – 34 с.

Стаття надійшла до редакції 17.03.2013 р.