УДК 624.073

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РОЗРАХУНКУ МІЦНОСТІ БАГАТОШПОНКОВИХ КОНТАКТНИХ СТИКІВ ЗА ІСНУЮЧИМИ МЕТОДИКАМИ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЁТА ПРОЧНОСТИ МНОГОШПОНОЧНЫХ КОНТАКТНЫХ СТЫКОВ ПО СУЩЕСТВУЮЩИМ МЕТОДИКАМ

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF STRENGTH DESIGN OF MANY CONTACT KEYED JOINTS FOR EXISTING METHODS

Довженко О.О., к.т.н., доц., Погрібний В.В., к.т.н., доц., Чурса Ю.В., аспірантка, Черненко Я.В., студентка (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава)

Довженко О.А., к.т.н., доц., Погребной В.В., к.т.н., доц., Чурса Ю.В., аспирантка, Черненко Я.В., студентка (Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава)

Dovzhenko O.A., PhD, Associate Professor, Pogrebnoy V.V., PhD, Senior Researcher, Chursa Yu.V., postgraduate, Chernenko Ya.V., student (Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava)

Проаналізовані існуючі методики розрахунку міцності багатошпонкових контактних стиків. Виконано порівняльний аналіз отриманих результатів.

Проанализированы существующие методики расчёта прочности многошпоночных контактных стыков. Выполнен сравнительный анализ полученных результатов.

The methods of strength design of many contact keyed joints have been analysed. The comparative analysis of the received results has been made.

Ключові слова:
Багатошпонковість, стик, міцність, розрахунок.
Многошпоночность, стык, прочность, расчет.
Many keyed joints, connection, strength, design.

Стан питання та задачі дослідження. Важливими конструктивними елементами будівель і споруд являються стикові з'єднання, котрі

забезпечують надійну сумісну роботу конструкцій. Широко застосовуються як при новому будівництві так і при реконструкції шпонкові стики, що характеризуються підвищеним опором зсуву.

Дослідженням роботи шпонкових з'єднань присвячені праці Г.І. Ашкинадзе, П.М. Бобришева, В.О. Бондарева, І.Л. Герасимової, Е. Горачека, В.С. Єськова, Л.В. Карабаша, В.Г. Кваші, П.М. Коваля, В.І. Коноводченка, М.М. Коровіна, В.І. Лишака, Н.Г. Мартинової, Л.С. Махвиладзе, В.П. Митрофанова, А.М. Парамзіна, С.В. Полякова, В.Н. Рожка, І.О. Рохліна, О.В. Черкащина, О.В. Яшина та інших.

Для сприйняття зусиль зрізу, як правило, влаштовуються багатошпонкові з'єднання, утворені за рахунок замонолічування бетонною сумішшю або розчином порожнин між торцями елементів.

Метою статті є порівняльний аналіз існуючих методів розрахунку міцності багатошпонкових контактних стиків.

Виклад основного матеріалу.

За даними И.Ф. Цепенюка, Ю.А. Гамбурга, В.М. Горбенка [1] дотичні напруження вздовж стику розподіляються нерівномірно, максимальні зусилля зрізу зосереджуються по краях, що викликає практичне виключення із роботи проміжних шпонок до руйнування крайніх.

Дані [2] про те, що перша тріщина в багатошпонкових з'єднаннях з'являється в найбільш напруженій шпонці, також свідчать про нерівномірність роботи стику за довжиною.

Впливу кількості шпонок n_k на опір зрізу присвячена робота [3], в якій пропонується збільшити кількість розрахункових шпонок з трьох (як це пропонується в нормативних документах) до п'яти, та пов'язати величину руйнівного навантаження з n_k логарифмічним законом. У [4] ця залежність надається в лінійному вигляді.

За результатами дослідів, виконаних П.Н. Бобришевим [5], запропоновано враховувати відносне зниження несучої здатності окремої шпонки при збільшенні їхньої кількості.

В експериментах Е.Г. Лотоєвої [6] досліджувалися шпонкові з'єднання при кількості шпонок більше трьох з метою врахування раніше невикористаних запасів міцності. В основу запропонованого розрахунку стика покладено залежність розподілу зусиль уздовж шпонкового шва у вигляді

$$V^i_{sh,c} = V^k_{sh,c} \Big/ 2\times 1/sh\ n_k\xi \left[sh\ i\xi - sh(i-1)\xi + sh(n_k - i + 1)\xi - sh(n_k - i)\xi \right], \quad (1)$$

де ξ – визначається за формулою $ch\,\xi = 1 + \alpha/2$, в якій $\alpha = 2u\lambda/E_c A$; λ – коефіцієнт зсуву, котрий характеризує роботу шпонки; E_c – модуль пружності бетону; i – шпонка, в якій визначається зусилля; A – площа перерізу шпонки.

В табл. 1 і на рис. 1 наведено найбільш відомі залежності міцності стику від кількості шпонок в ньому.

Таблиця 1

Розрахункові залежності для визначення міцності багатошпонкових контактних стиків

№	Розрахункові залежності	Джерело
1	2	3
2	$V^k_{sh,n} = V^k_{sh,1} n_k$, де $V^k_{sh,1}$ – граничне навантаження бетонної шпонки; n_k – кількість шпонок у стику, n_k	Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий [7], Горачек Є., Лишак В.І., Пуме Д. [8], ВСН 72-77 [9]
3	$V^k_{sh,n} = V^k_{sh,1}\left(1+\ln n_k\right),\ n_k \le 5$	Коровін М.М. [3]
4	$V^k_{sh,n} = V^k_{sh,1} n_k,\ n_k \le 5$	Парамзін А.М. [4]
5	$V^k_{sh,n} = V^k_{sh,1}(1+\ln 0{,}5 n_k^2), 2 \le n_k \le 5$	Бобришев П.М. [5]
6	$V^k_{sh,n} = V^k_{sh,1}(1{,}35-0{,}35\sqrt{n_k}) n_k,\ n_k \le 7$	Погрібний В.В. [9]

Графік побудовано для бетону класу С16/20 ($f_{cd} = 11{,}5$ МПа, $f_{ctd} = 0{,}9$ МПа при $\gamma_{c2} = 0{,}9$), геометричних розмірів шпонки: $l_k = 50$ мм, $b_k = 150$ мм, $h_k = 200$ мм із відношенням $\gamma = l_k / h_k = 0{,}25$.

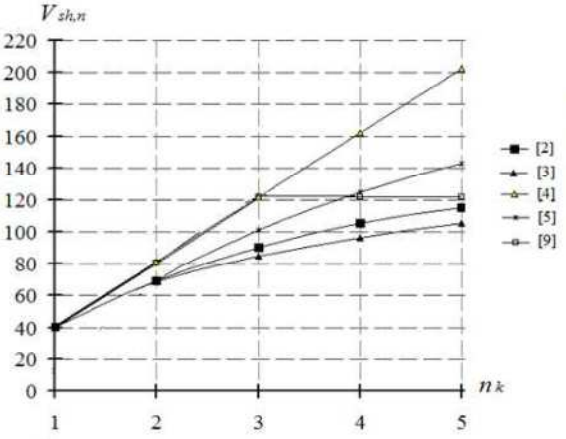

Рис. 1. Залежність міцності багатошпонкових бетонних контактних стиків $V_{sh,n}$ від кількості шпонок n_k (за умови $V^k_{sh,1} = 1{,}5 f_{ctd} A_{sh}$)

Результати порівняльного аналізу значень розрахункової міцності $f_{sh,n}^{calc} = V_{sh,n}^{calc} / A_{sh}$ (A_{sh} – площа зрізу) стику, визначеної згідно із запропонованими методиками, із дослідною $f_{sh,n}^{test}$ для 29 зразків різних авторів [2, 3, 8] наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняння теоретичної та дослідної міцності багатошпонкових стиків при різній кількості шпонок

№ з/п	Шифр зразків	$f_{c,cube}$ МПа	$\frac{l_k}{h_k}$	n_k		[9]	[3]	[4]	[5]	[2]
					$\frac{V_{sh,n}^{test}}{V_{sh,1}^{test}}$	$\frac{V_{sh,n}^{calk}}{V_{sh,n}^{test}}$	$\frac{V_{sh,n}^{calk}}{V_{sh,n}^{test}}$	$\frac{V_{sh,n}^{calk}}{V_{sh,n}^{test}}$	$\frac{V_{sh,n}^{calk}}{V_{sh,n}^{test}}$	$\frac{V_{sh,n}^{calk}}{V_{sh,n}^{test}}$
1	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коровін М.М., Єськов В.С. [3]										
1		10,4	0,5	2	1,35	1,48	1,25	1,48	1,25	1,26
2		10,4	0,5	3	1,75	1,71	1,20	1,71	1,43	1,27
3		10,4	0,5	4	2,18	1,38	1,09	1,83	1,41	1,19
4		10,4	0,5	5	2,12	1,42	1,23	2,36	1,66	1,34
5		8,4	0,5	2	1,71	1,17	0,99	1,17	0,99	1,00
6		8,4	0,5	3	2,16	1,39	0,97	1,39	1,16	1,03
7		8,4	0,5	4	2,33	1,29	1,03	1,72	1,32	1,12
8		8,4	0,5	5	2,76	1,09	0,94	1,81	1,28	1,03
9		13,0	0,5	2	1,43	1,40	1,18	1,40	1,18	1,19
10		13,0	0,5	3	2,19	1,37	0,96	1,37	1,15	1,02
11		13,0	0,5	4	2,34	1,28	1,02	1,71	1,32	1,11
12		13,0	0,5	5	2,94	1,02	0,89	1,70	1,20	0,96
13		16,5	0,5	2	1,30	1,54	1,31	1,54	1,31	1,32
14		16,5	0,5	3	1,65	1,82	1,27	1,82	1,52	1,35
15		16,5	0,5	4	1,98	1,51	1,20	2,02	1,55	1,31
16		16,5	0,5	5	1,97	1,53	1,33	2,54	1,79	1,44
17		11,6	0,5	2	1,41	1,42	1,20	1,42	1,20	1,21
18		11,6	0,5	3	2,08	1,44	1,01	1,44	1,21	1,07
19		13,7	0,5	2	1,73	1,16	0,98	1,16	0,98	0,99
20		13,7	0,5	3	2,04	1,47	1,03	1,47	1,23	1,10
21		19,0	0,5	2	1,76	1,14	0,96	1,14	0,96	0,97
22		19,0	0,5	3	2,22	1,35	0,94	1,35	1,13	1,00
Горачек Є., Лишак В.І., Пуме Д. [8]										
23		24,00	0,21	3	1,69	1,78	1,24	1,78	1,89	1,32
Погрібний В.В. [2]										
24	ШНЛ - 2	25,00	0,33	3	2,30	1,30	0,91	1,30	1,09	0,97
25	ШНЛ - 3	25,00	0,33	5	2,88	1,04	0,91	1,74	1,22	0,99
26	ШНЛ1 - 2	35,70	0,33	3	2,23	1,35	0,94	1,35	1,12	1,00
27	ШНЛ1 - 3	35,70	0,33	5	2,70	1,11	0,97	1,85	1,31	1,05
Авторів										
28	3ШС-0.3-П-В-0.67-1	16,02	0,33	3	1,72	1,74	1,22	1,74	1,45	1,29
29	5ШС-0.3-П-В-0.67-1	16,02	0,33	5	3,89	0,77	0,67	1,29	0,91	0,73
					$\overline{X}$	1,36	1,06	1,61	1,28	1,13
					σ_{n-1}	0,24	0,16	0,33	0,23	0,16
					ν	17,65	15,09	20,50	17,97	14,16

Аналіз свідчить про суттєве завищення теоретичної міцності, підрахованої за залежностями Парамзіна А.М. [4] і [7, 8, 9] в середньому на 50 %, проміжне положення займає методика Бобришева П.М. [5] до 30 %. Близькі значення дають рівняння, запропоновані для врахування впливу кількості шпонок на міцність з'єднання Коровіна М.М. [3] і Погрібним В.В. [2]. Останнє має теоретичне обґрунтування і більш точно відображає реальну роботу багатошпонкового стику.

Висновок. Розв'язання питання щодо кількості шпонок, які вводяться у розрахунок, та виду залежності для визначення міцності багатошпонкових з'єднань потребує подальших експериментальних та теоретичних досліджень.

1. Горизонтальные стыки сейсмостойких панельных зданий: обзорная информация. – М.: Гражданстрой, 1986. – Вып. XII. – 60 с.
2. Погребной В.В. Прочность бетонных и железобетонных элементов при срезе: дис. …канд. техн. наук: 05.23.01 / Погребной В.В. / Полтав. гос. техн. ун-т им. Юрия Кондратюка. – Полтава, 2000. – 236 с.
3. Коровин Н.Н. Шпоночные стыки сборных железобетонных оболочек / Н.Н. Коровин, В.С. Еськов // Промышленное строительство. – 1966. – № 8. – С. 25–29.
4. Парамзин А.М. Исследование прочности и деформативности некоторых видов стыков сборных железобетонных каркасов для сейсмостойких зданий: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук / А.М. Парамзин. – М., 1967. – 20 с.
5. Бобришев П.Н. Влияние количества шпоночных связей на несущую способность образцов при сдвиге / П.Н. Бобришев // Сейсмостойкость зданий и инженерных сооружений: труды института. – М.:ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1970. – Вып. 14. – С. 148–154.
6. Лотоева Е. Г. Прочность и жёсткость вертикальных стыков наружных керамзитобетонных стеновых панелей при статической нагрузке / Е. Г. Лотоева // Сейсмостойкость зданий и инженерных сооружений. – М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1972. – С. 206–214.
7. Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Часть 1. Методы расчета и конструирование: СП 52-117-2008. – М., 2008. – 240 с.
8. Прочность и жесткость стыковых соединений панельных конструкций. Опыт СССР и ЧССР / [Е. Горачек, В.И. Лишак, Д. Пуме и др.]; под ред. В.И. Лишака. – М.: Стройиздат, 1980. – 192 с.
9. Инструкция по проектированию конструкций панельных жилых зданий: ВСН 72-77. – М.: Стройиздат, 1978. – 177 с.