

УДК 624.012.3/.4.21.095

**ВПЛИВ ПРОФІЛЮ ШПОНОК ТА ШИРИНИ ШВА НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ
З'ЄДНАНЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ У ТРАНСПОРТНОМУ
БУДІВНИЦТВІ**

Кандидати техн. наук О. О. Довженко, В. В. Погрібний, студ. Є. І. Чумак (ПолтНТУ)

**ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛЯ ШПОНОК И ШИРИНЫ ШВА НА НЕСУЩУЮ
СПОСОБНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В
ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Кандидаты техн. наук О. А. Довженко, В. В. Погребной, студ. Е. И. Чумак (ПолтНТУ)

**JOINT SHAPE AND SEAM WIDTH INFLUENCE ON THE REINFORCED CONCRETE
STRUCTURES CONNECTION BEARING CAPACITY IN TRANSPORT
CONSTRUCTION**

Phd. tehn., О. О. Dovzhenko, Ph.D., phd. tehn., V. V. Pohribnyi, stud. E. I. Chumak

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.178.2018.139001>

Наведено результати експериментальних досліджень шпонкових з'єднань залізобетонних елементів. Визначено вплив на несучу здатність стиків форми шпонкового профілю та ширини шва. Найбільшу міцність мають стики з трикутним профілем, при цьому характер руйнування шляхом зрізу за різної форми шпонок залишається незмінним. Збільшення ширини шва зменшує несучу здатність стиків та змінює характер їх руйнування. Встановлено конструктивні параметри, що забезпечують ефективну роботу з'єднань.

Ключові слова: шпонка, з'єднання, фактори впливу, форма профілю, ширина шва, несуча здатність.

Изложены результаты экспериментальных исследований шпоночных соединений. Определено влияние на несущую способность стыков формы шпоночного профиля и ширины шва. Наибольшую прочность имеют стыки с треугольным профилем, при этом характер разрушения соединений путем среза не зависит от формы шпонок. Увеличение ширины шва снижает несущую способность стыков и изменяет характер их разрушения. Установлены конструктивные параметры, обеспечивающие эффективную работу соединений.

Ключевые слова: шпонка, соединения, факторы влияния, форма профиля, ширина шва, несущая способность.

The reinforced concrete elements keyed joints three series experimental research results are presented. In the first series, one-keyed contact joints with rectangular, trapezoidal and triangular keys were investigated with key depth to the height ratio $l_k/h_k = 0,5$. The keys were reinforced in the shear plane in the height middle and in the two levels. The reinforcement yield strength was $f_{yw} = 210 \dots 260$ MPa, the reinforcement percentage was $\rho = 0 \dots 2,89\%$. The second series included single-keyed joints with rectangular keys and different seam widths $t_j = 25, 50, 100, 150, \text{ and } 200$ mm. The key size ratio was $l_k/h_k = 0,25$ and $0,5$. The keys were reinforced in the shear plane in their height middle ($2\emptyset 8$), the reinforcement yield strength was $f_{yw} = 240 \dots 260$ MPa. The third series consisted of three-keyed joints, which varied: the joints supporting surface inclination angle, the joints width $t_j = 25, 50, 100, 150, 200$ mm and 300 , the number and the placing character on the key height. The keyed profile shape (rectangular, trapezoidal, triangular) and the seam width influence on the joints bearing capacity is determination. The stress-strain state, the crack formation character and the experimental models destruction are studied. It is established that the keyed supporting surfaces slope angle does not change their destruction character, but it affects the resistance value to destruction. The joints with a triangular profile have the greatest strength, and the joints with a rectangular profile have a smallest strength (the difference is up to 15%). Increasing the seam width reduces the joints bearing capacity and changes their destruction character. For single-keyed joints, there is a destruction on the key or seam. For three-keyed joints combinational destruction variants of are also observed. The limit load for three-keyed test specimens with a trapezoidal profile with an increase t_j is reduced to 20%. The joints design parameters are established, which ensure their effective work.

Key words: Key, connection, influence factors, profile shape, seam width, bearing capacity.

Вступ. Однією із сучасних розробок у галузі мостобудування є споруди із постнапруженими сегментними коробчастими ригелями [1]. На відміну від «класичних» монолітних конструкцій, сегментний міст складається з великої кількості «малих» збірних елементів. Поведінка таких мостів в умовах експлуатації і в граничному стані в значній мірі залежить від роботи стиків між сегментами. Через дію значних зрізувальних сил найбільш ефективними є в цьому випадку шпонкові стики, що мають підвищений опір зсуву [2]. Крім створення

складених перерізів збірних і збірно-монолітних конструкцій [3], вони також застосовуються при реконструкції автодорожніх мостів. Відомий спосіб розширення останніх накладною плитою, яка об'єднується з плитою існуючої пролітної частини за допомогою анкерно-шпонкового стику. Зазначене вказує на те, що шпонкові з'єднання широко використовуються в транспортному будівництві і потребують подальшого детального вивчення.

Ефективність конструктивних рішень з'єднань значною мірою залежить від

точності обліку при їх проектуванні визначальних факторів міцності. На несучу здатність шпонкових з'єднань впливає клас і вид бетону, величина їх обтиснення та відсоток армування. Щодо питання якісного характеру впливу зазначених факторів у дослідників існує єдина точка зору, що відрізняється лише в кількісній оцінці. Що не можна сказати про залежність опору руйнуванню від ряду геометричних параметрів стиків, а саме: відношення глибини шпонки до її висоти, форми профілю (кута нахилу навантаженої грані шпонки) і ширини шва. Неповний облік геометричних характеристик часто призводить до необґрунтованих запасів несучої здатності і суттєвого підвищення матеріаломісткості з'єднань. Дана робота присвячена аналізу впливу цих факторів. Особлива увага приділяється двом останнім.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження [4–8] свідчать про вплив форми шпонкового профілю на несучу здатність з'єднань бетонних і залізобетонних елементів. Встановлено підвищення величини граничного навантаження армованих і обтиснутих трапецієподібних і трикутних шпонок у порівнянні з прямокутними. Разом з тим у [9, 10] цим фактором нехтується. Щодо залежності міцності з'єднання від ширини шва у дослідників також немає спільного бачення. Аналіз досліджень [11] не вносить однозначності у розв'язання даного питання. Так, поряд з твердженням про значне зниження несучої здатності при збільшенні ширини шва, можна почути думку про неістотність такого впливу. Зазначене зумовлює необхідність отримання нових результатів.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою даного дослідження є удосконалення конструктивних рішень шпонкових з'єднань бетонних і залізобетонних елементів на основі експериментального вивчення впливу форми шпонкового профілю і ширини шва

на несучу здатність з'єднань і аналізу результатів їх поєднання з іншими значущими факторами.

Основна частина дослідження. За останні 30 років у Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка проведено системні дослідження шпонкових з'єднань бетонних і залізобетонних елементів. Встановлено, що на роботу стиків впливає цілий ряд факторів [12].

Отримані дані підтверджують те, що характер руйнування шпонок у першу чергу залежить від співвідношення їх глибини і висоти. При $l_k/h_k = 0,1 - 0,2$ в дослідах спостерігається зминання під майданчиком навантаження з відколюванням частини елемента уздовж похилої площини (реалізується зріз за похилою площиною). Зразки з $l_k/h_k = 0,3 - 0,5$ руйнуються за цілим бетонним, наближеним до нормального, перерізом, розташованим поблизу площини зрізу. При $l_k/h_k = 0,6$ руйнування шпонок має згинальний характер і відбувається крихко за розтягнутою зоною.

Обтиснення й армування шпонок, перешкоджаючи їх зміщенню в горизонтальному напрямку, розширює межі зсувної форми руйнування до $l_k/h_k = 1$ [12]. Спостерігається суттєве підвищення граничного навантаження із зростанням обтискування, що зазначається і в роботах [1, 5, 14]. Руйнування супроводжується зміщенням окремих частин з'єднань уздовж площини зрізу при досягненні напруженнями в арматурі межі текучості. Зі збільшенням ρ до 1,5 % міцність зразків зростає вдвічі, що підтверджується в [11, 15]. Значення граничного навантаження шпонок із арматурою, розташованою у два яруси за висотою, були приблизно на 10 % більші в порівнянні зі шпонками з її центральним розміщенням.

Для оцінки впливу на несучу здатність шпонкового профілю і ширини

шва було виготовлено і випробувано три серії дослідних зразків.

У першій серії досліджувалися одношпонкові контактні стики з прямокутними, трапецієподібними і трикутними шпонками при $l_k/h_k = 0,5$ (рис. 1). Вивчався вплив кута нахилу опорних граней шпонок на

несучу здатність з'єднань [11]. Шпонки армувалися в площині зрізу посередині їх висоти (2Ø8, 2Ø14, 2Ø16, 2Ø18) і у двох рівнях (4Ø10). Межа текучості арматури становила $f_{yw} = 210 \dots 260$ МПа, відсоток армування $\rho = 0 \dots 2,89$ % .

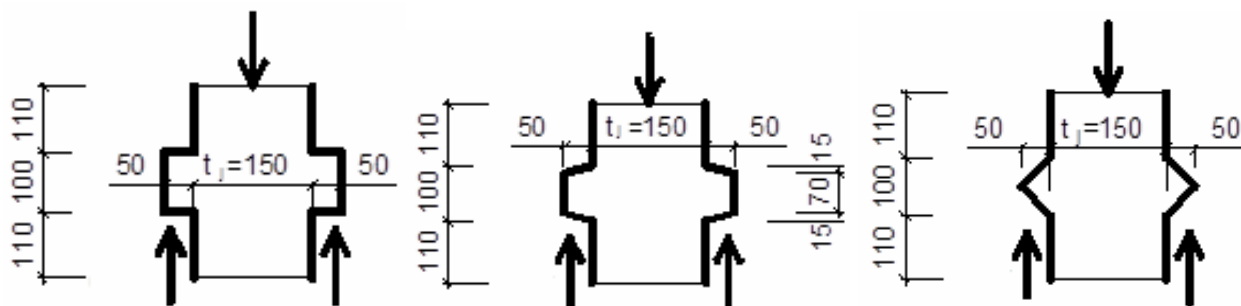


Рис. 1. Геометричні параметри одношпонкових стиків із різною формою шпонкового профілю

Друга серія включала одношпонкові з'єднання з прямокутними шпонками та різною шириною шва $t_j = 25, 50, 100, 150$ і 200 мм [12]. Тут було вивчено вплив t_j на граничне навантаження та характер руйну-

вання стиків при $l_k/h_k = 0,25$ (рис. 2) і 0,5. Шпонки армувалися в площині зрізу посередині їх висоти (2Ø8), межа текучості арматури становила $f_{yw} = 240 \dots 260$ МПа.

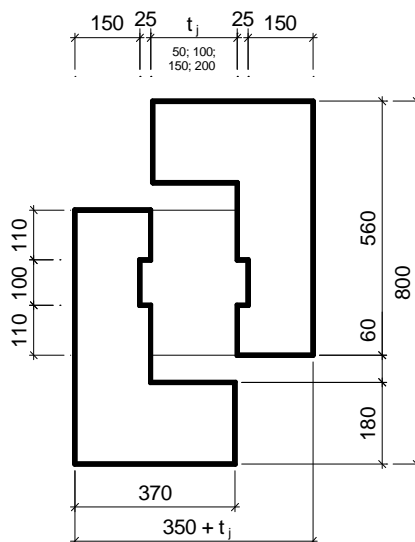


Рис. 2. Геометричні параметри одношпонкових стиків із різною шириною шва і $l_k/h_k = 0,25$

Третя серія дослідних зразків являла собою тришпонкові стики (рис. 3), в яких варіювалися такі параметри: кут нахилу опорної поверхні шпонок (прямокутна, трапецієподібна і трикутна шпонка),

ширина стику $t_j = 25, 50, 100, 150, 200$ і 300 мм, кількість і характер розміщення арматури по висоті шпонки (3x2Ø8, 3x4Ø6, 3x2Ø12). Межа текучості арматури складала $f_{yw} = 280$ МПа.

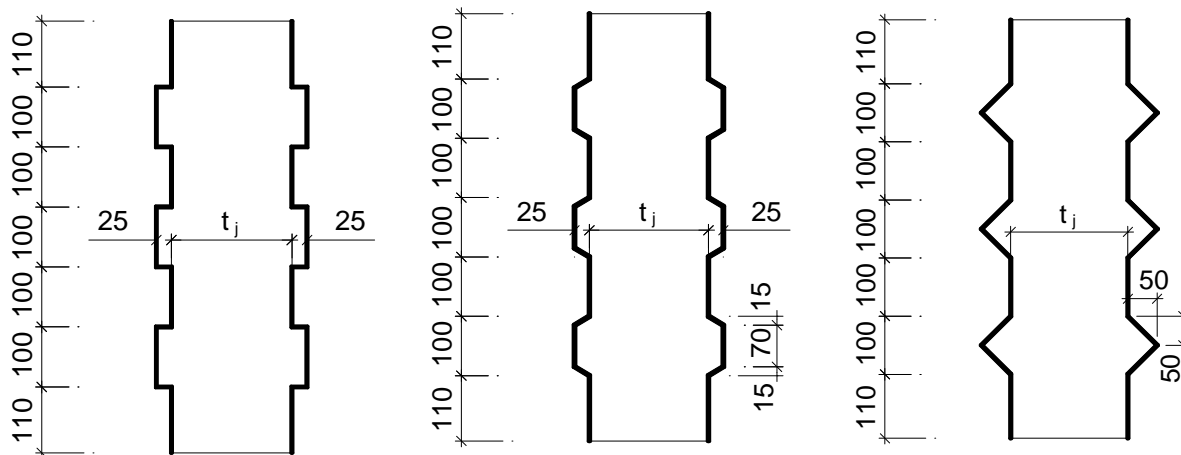


Рис. 3. Геометричні параметри тришпонкових стиків із різною шириною шва та формою шпонкового профілю

При випробуванні реалізовані як моментна, так і безмоментна схема навантаження. Технологію виготовлення зразків і схем передачі навантаження докладно описано в [13].

Випробування одношпонкових контактних стиків показали, що найбільшу

міцність мають шпонки з трикутним профілем, а найменшу – з прямокутним (різниця до 15 %). Кут нахилу опорних поверхонь шпонок не змінює характеру їх руйнування (рис. 4), але впливає на величину граничного навантаження.

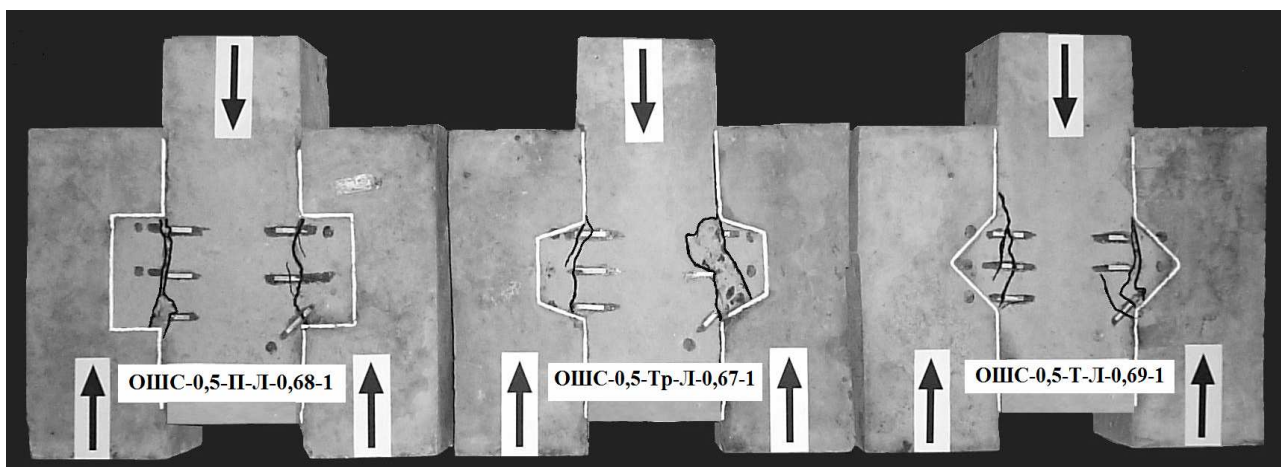


Рис. 4. Характер руйнування одношпонкових контактних стиків із різною формою шпонкового профілю

У ході випробування тришпонкових стиків з $\psi = 0 - 45^\circ$ підтвердилася найбільша міцність з'єднань з трикутними шпонками, аналогічні висновки отримані в [4, 15].

На думку авторів, це пояснюється зміною траєкторії головних нормальних стискальних напружень у результаті нахилу навантаженої грані шпонки, а також наявністю горизонтальної складової навантаження і включення в роботу арматури на більш ранніх етапах навантаження. Це призводить до ефекту обійми і домінуючого впливу зрізу в порівнянні з відривом (дії поперечної сили в порівнянні із згинальним моментом). Твердження про рівномірність трикутної і прямокутної шпонки пов'язані з включенням у вибірку для порівняльного

аналізу результатів випробувань прямокутних шпонок із різним співвідношенням розмірів, що призводить до значного розкиду міцності [2, 16] і, як наслідок обережної оцінки.

Для одношпонкових з'єднань із змінною шириною шва спостерігаються три випадки руйнування (рис. 5). При $t_j = 25$ мм реалізується зріз шпонки за вертикальним перерізом, в інтервалі $t_j = 50 \dots 100$ мм – зріз за похилою площиною шва в межах висоти шпонки; при $t_j = 150$ мм і 200 мм – похилі тріщини розповсюджуються за швом (від верхнього кута шпонки в міжшпонковий простір).

Зі збільшенням ширини шва міцність зразків знижується.

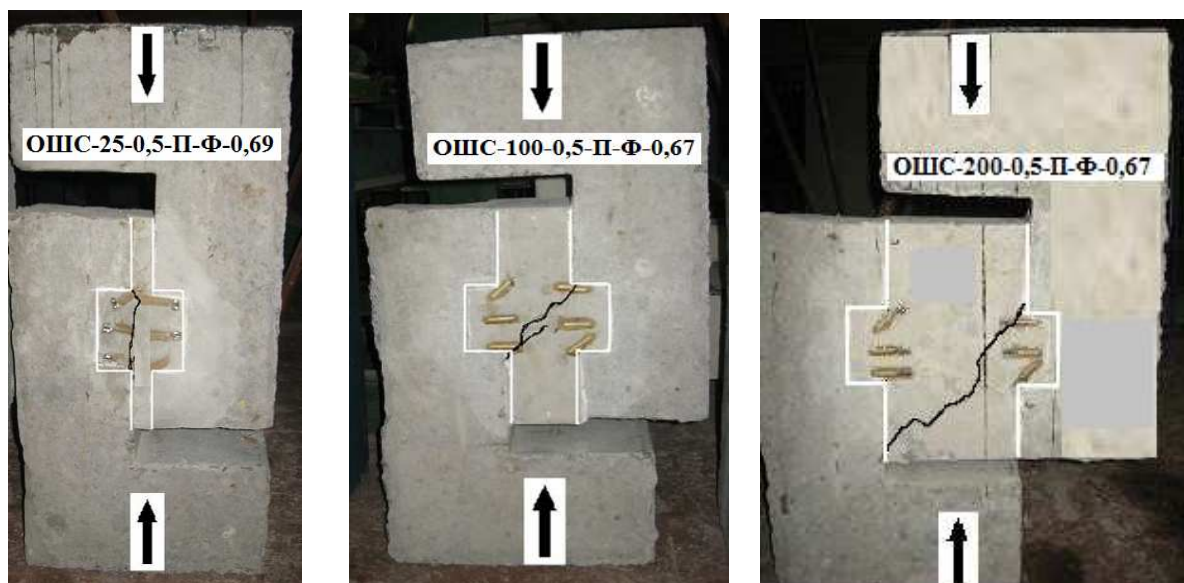


Рис. 5. Характер руйнування одношпонкових стиків із різною шириною шва при $l_k/h_k = 0,5$ і $\rho = 0,67 \dots 0,69$ %

Для тришпонкових з'єднань при $l_k/h_k = 0,25$ і відстані між шпонками, що дорівнює висоті шпонки h_k , залежно від t_j спостерігалися такі види руйнування (рис. 6):

- зріз трьох шпонок при ширині шва $t_j = 25$ мм;
- зріз двох шпонок з утворенням похилої тріщини в межах третьої при $t_j = 25, 50, 100$ мм;

- зріз крайньої шпонки з утворенням похилої тріщини в тілі стику в межах двох інших ($t_j = 150, 200$ мм);

- зріз по похилій площині в межах усієї висоти стику H_k при $t_j = 300$ мм, шпонки при цьому не руйнувалися.

Таким чином, ширина шва визначає характер руйнування і, як наслідок, суттєво впливає на граничне навантаження, яке, наприклад, для трапецієподібного профілю зі збільшенням t_j зменшується до 20 %.

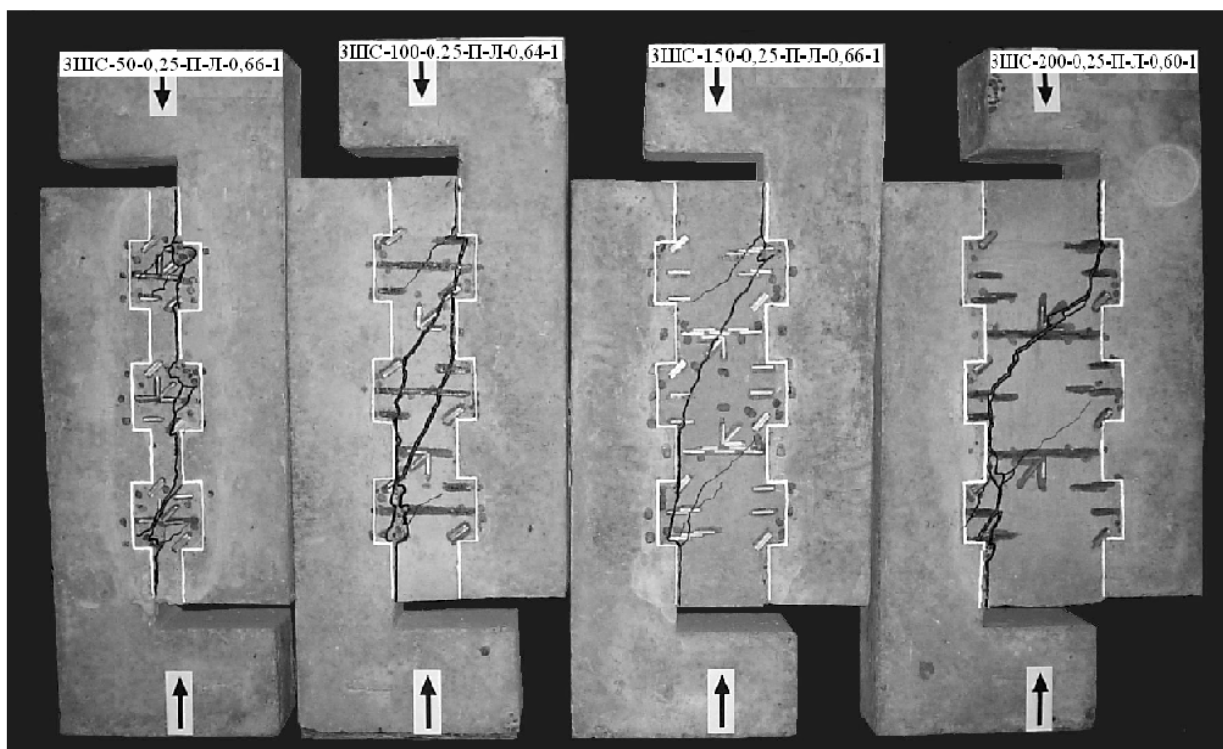


Рис. 6. Характер руйнування тришпонкових стиків із прямокутним профілем і шириною шва $t_j = 25, 50, 100, 200$ мм

Поверхні руйнування шпонок при зрізі складаються із ділянок розтягування і стиснення, розміри останніх зростають зі збільшенням величини обтискування і коефіцієнта армування.

При близьких до руйнівних навантажень, деформація бетону в зонах стиснення (біля нижніх вхідних кутів шпонок) досягала 2,5 %. При цьому максимальні їх значення спостерігалися в зразках з більш високим рівнем обтискування, при більшому відсотку армування і з рознесеною за висотою шпонки арматурою.

Аналіз різниці деформацій на діаметрально протилежних сторонах арматурного стержня дає змогу зробити висновок про наявність нагельного ефекту в нижній арматурі при її двоярусному розташуванні.

Стержні верхнього ряду включаються в роботу на більш ранніх стадіях навантаження, ніж у зразках, армованих посередині перерізу.

Використання дисперсно-армованого поліпропіленовою фіброю бетону як матеріалу для виготовлення шпонкових стиків привели до зміни характеру

тріщиноутворення і руйнування зразків. Перші тріщини утворювалися при більш високих рівнях навантаження в порівнянні зі стиками з керамзитобетону, руйнування було більш пластичним, розтягнутим у часі.

Системність виконаних у ПолтНТУ комплексних досліджень дала змогу встановити якісний і кількісний вплив на несучу здатність з'єднань окремих факторів і отримати нову інформацію при їх поєднанні.

Аналіз результатів досліджень з'єднань дав можливість пояснити ряд існуючих неоднозначностей в оцінці впливу на міцність шпонкових з'єднань співвідношення ширини шва [13] до висоти шпонок і форми профілю [4, 6].

Експериментальну оцінку міцності шпонкових з'єднань, доповнену даними інших досліджень [1, 4, 5, 11, 13, 15, 16], теоретично обґрунтовано та підтверджено у роботах [17–20]. В основу запропонованої теорії розрахунку несучої здатності при зрізі покладені варіаційний метод у теорії пластичності, концепція жорстко-пластичного тіла і принцип віртуальних швидкостей [21, 22].

Висновки:

1. Значення граничного навантаження і характер руйнування бетонних шпонок (змінання, зріз, відрив) залежать від співвідношення їх глибини l_k до висоти h_k .
2. Обтиснення й армування істотно збільшують міцність шпонкових з'єднань (до 2,5 разу), розширюють межі зсувної

форми руйнування (до $l_k/h_k = 1$) і поряд з рознесенням арматури за висотою шпонки підвищують пластичні властивості бетону. На стадії, що передує руйнуванню стику, зафіксовано різке зростання деформації бетону й арматури.

3. При відношенні $l_k/h_k = 0,5$ максимальну міцність мають стики з трикутною формою шпонкового профілю (до 15 % більше у порівнянні з прямокутним).

4. Для одношпонкових зразків залежно від ширини шва в досліджах реалізуються: зріз шпонки за вертикальним перерізом (руйнування «за шпонкою»); зріз за похилим перерізом у межах висоти шпонки; руйнування з розповсюдженням похилої тріщини в простір між шпонками (руйнування «за швом»). Зі збільшенням ширини шва міцність стиків зменшується.

5. Застосування фібробетону підвищує тріщиностійкість з'єднань, характер руйнування змінюється з зовні крихкого на квазіпластичний.

6. Бетонні шпонки рекомендується проектувати прямокутними з відношенням глибини до висоти $0,25 \leq l_k/h_k \leq 0,5$, залізобетонні й обтиснуті – трапецієподібними на зазначеному інтервалі і трикутними з $l_k/h_k = 0,5$.

7. Шов пропонується передбачати завширшки $t_j \leq 1,5h_k$, з огляду при цьому на технологічні вимоги для даного типу з'єднання.

Список використаних джерел

1. Rombach, G. Precast segmental box girder bridges with external prestressing design and construction [Text] / G. Rombach // INSA Rennes Hamburg-Harburg Technical University, Germany. – 2002. – № 2. – P. 1-15.
2. Shamass, R. Finite-Element Analysis of Shear-Off Failure of Keyed Dry Joints in Precast Concrete Segmental Bridges [Text] / R. Shamass, X. Zhou and G. Alfano // Journal of Bridge Engineering. - 2015. - Vol. 20. - Iss. 6. 04014084 (12 P). (Scopus)
3. Araujo, D.L. Strength of shear connection in composite bridges with precast decks using high performance concrete and shear-keys [Text] / D. L. Araujo, M.K. Debs // Materials and Structures. – 2005. – Vol 38. - № 3. – P. 173-181. (Scopus)

4. Naotaka, Y. Study shear behavior of shear key on joints of precast concrete structure (Part 1. Summary and result of experiments) [Text] / Y. Naotaka, T. Norimono, K. Katori, S. Hayashi // *J. Struct. Constr. Eng. – Architectural Institute of Japan.* – 1997. – № 10. – P. 441-442.
5. Rizkalla, S.H. Multiple shear key connections for precast shear wall panels [Text] / S. H. Rizkalla, R. L. Serette, J. S. Heuvel, E. K. Attiogbe // *PCI Journal.* – 1989. – № 3–4. – P. 104-120. (Scopus)
6. Izni, S.I. Ultimate shear capacity and failure of shear key [Text] / S. I. Izni, H. P. Khairul, H. Mansoor, A. Bady, A. A. Saim, N. N. Sarbini // *Malaysian Journal of Civil Engineering.* - 2014. - Vol. 26(3). - P. 414-430.
7. Issa, M. A. Structural behavior of single key joints in precast concrete segmental bridges [Text] / M. A. Issa, H. A Abdalla // *Journal of Bridge Engineering.* - 2007. - Vol. 12. - Iss. 3. - P. 315-324. (Scopus).
8. Zhou, X. Shear strength of joints in precast concrete segmental bridges [Text] / X. Zhou, N. Mickleborough, Z. Li // *ACI Structural Journal.* - 2005. - Vol. 102. - Iss. 1. - PP. 3-11. (Scopus).
9. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд [Текст] : ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. - К. : Мінрегіонбуд України, 2012. – 312 с.
10. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В.2.6-156:2010 [Чинний від 2011-07-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2011. – 118 с. (Національний стандарт України).
11. Железобетонные стены сейсмостойких зданий. Исследование и основы проектирования [Текст] / Г. Н. Ашкинадзе, М. Е. Соколов, Л. Д. Мартынова [и др.]; под ред. Г. Н. Ашкинадзе и М. Е. Соколова. – М. : Стройиздат, 1988. – 504 с.
12. Dovzhenko, O. The bearing capacity experimental determination of the keyed joints models in the transport construction [Text] / O. Dovzhenko, V. Pohribnyi, I. Yurko, I. Shostak // *Proc. of the 6th fib. International Scientific Conference «Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings» (Transbud-2017), Kharkiv, Ukraine, April 19-21, 2017.* (Scopus)
13. Прочность и жесткость стыковых соединений панельных конструкций. Опыт СССР и ЧССР [Текст] / Е. Горачек, В. И. Лишак, Д. Пуме [и др.]; под ред. В. И. Лишака. – М. : Стройиздат, 1980. – 192 с.
14. Alcalde, M. Influencia del número de llaves en la resistencia a cortante de juntas secas postensadas [Influence of the number of keys on the shear strength of post-tensioned dry joints] [Text] / M. Alcalde, H. Cifuentes, F. Medina // *Materiales de Construcción.* – 2013. – Vol. 63 (310). – P. 297-307. (Scopus)
15. Norimono, T. Analytical study on relations between form and shear behavior of shear key on joints of precast concrete structure [Text] / T. Norimono, K. Katori, S. Hayashi // *J. Struct. Constr. Eng., Architectural Institute of Japan.* – 1996. – № 9. – P. 835- 836.
16. Экспериментальные исследования вертикальных шпоночных стыков железобетонных стеновых панелей с петлевыми гибкими связями [Текст] / И. С. Дербенцев, А. А. Карякин, С. А. Сонин, И. А. Бельдейко // *Вестник ЮУрГУ. Сер. Строительство и архитектура.* – 2011. – № 35 (252). – С. 16-21.
17. Довженко, О. О. Порівняльний аналіз розрахунку міцності бетонних шпонок за існуючими методиками [Текст] / О. О. Довженко, Л. В. Карабаш, Ю. В. Чурса // *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук праць.* – Рівне : УДУВГП, 2012. – Вип. 23. – С. 201-210.

18. Довженко, О. О. Про можливість застосування теорії пластичності до розрахунку міцності елементів із високоміцного бетону [Текст] / О. О. Довженко, В. В. Погрібний, О. О. Куриленко // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – 2012. – № 105. – С. 74-82.
19. Довженко, О. А. Расчет прочности шпоночных соединений элементов перекрытия конструктивной системы «АРКОС» [Текст] / О. А. Довженко, В. В. Погребной, Ю. В. Чурса // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 2. – С. 70-74.
20. Mitrofanov, V. Strength of Concrete Elements Under Shear Action According to the Theory of Plasticity and Tests / V. Mitrofanov, V. Pogrebnoy, O. Dovzhenko // Proceeding of the 2nd fib Congress, Naples, Italy, June 5-8, 2006, paper ID3-61.
21. Митрофанов, В. П. Про можливість застосування передумови про ідеальну пластичність до бетону [Текст] / В. П. Митрофанов, О. О. Довженко, В. В. Погрібний // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса : ОДАБА, 2002. – Вип. 7. – С. 118-124.
22. Теоретичне дослідження міцності на зріз бетонних балок-стінок за допомогою варіаційного методу в теорії пластичності бетону / О. О. Довженко, В. В. Погрібний, К. І. Залужна, Т. Ю. Качан [Текст] // Вісник Кременчуцького національного університету імені Юрія Остроградського: зб. наук. праць. – Кременчук: КрНУ, 2011. – С. 120-123.
-

Довженко Оксана Олександрівна, канд. техн. наук, доцент, професор кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Тел.: (050) 982-58-54. E-mail: o.o.dovzhenko@gmail.com.

Погрібний Володимир Володимирович, канд. техн. наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Тел.: (050)982-58-53. E-mail: v.v.pogrebnoy1960@gmail.com.

Чумак Євген Іванович, студент Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. E-mail: jeka8814@ukr.net.

Довженко Оксана Александровна, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций и сопротивления материалов Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Тел.: (050) 982-58-54. E-mail: o.o.dovzhenko@gmail.com.

Погребной Владимир Владимирович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций и сопротивления материалов Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Тел.: (050) 982-58-53. E-mail: v.v.pogrebnoy1960@gmail.com.

Чумак Евгений Иванович, студент Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. E-mail: jeka8814@ukr.net.

Dovzhenko Oksana Oleksandrivna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of "Reinforced Concrete and Stone Structures and Resistance of Materials", Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Тел.: (050) 982-58-54. E-mail: o.o.dovzhenko@gmail.com.

Pohribnyi Volodymyr Volodymyrovych, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Associate Professor of the Department of "Reinforced Concrete and Stone Structures and Resistance of Materials", Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Тел.: (050) 982-58-53. E-mail: v.v.pogrebnoy1960@gmail.com.

Chumak Yevhen Ivanovych, student, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University.

Статтю прийнято 7.06.2018 р.