

УДК 624.046.3:624.078.34

**РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ЗМІННОЮ КІЛЬКІСТЮ
ШПОНОК**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПЕРЕМЕННЫМ
КОЛИЧЕСТВОМ ШПОНОК**

**RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF REINFORCED
CONCRETE ELEMENTS WITH VARIABLE NUMBER OF JOINTS**

**Довженко О.О., к.т.н., доц., Погрібний В.В., к.т.н., доц., Карабаш Л.В.,
к.т.н., ст. викл., Чурса Ю.В., аспірантка (Полтавський національний
технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава)**

**Довженко О.А., к.т.н., доц., Погребной В.В., к.т.н., доц., Карабаш Л.В.,
к.т.н., ст. преп., Чурса Ю.В., аспирантка (Полтавский национальный
технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава)**

**Dovzhenko O.A., candidate of technical sciences, docent, Pogribnoy V.V.,
candidate of technical sciences, docent, Karabash L.V., candidate of technical
sciences, senior lector, Chursa Yu.V., post-graduate student (Poltava National
Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava)**

**Викладені результати експериментальних досліджень шпонкових
з'єднань, оцінено вплив кількості шпонок на міцність стиків.**

**Изложены результаты экспериментальных исследований шпоночных
соединений, оценено влияние количества шпонок на прочность стыков.**

**The article deals with results of experimental researches of joints of the key.
Influence of joints number on strength of connection has been rated.**

Ключові слова:

Шпонка, стик, міцність, фактори впливу.

Шпонка, стык, прочность, факторы влияния.

Joint, connection, strength, factors of influence.

Стан питання та задачі дослідження. Багатошпонкові стики залізобетонних конструкцій мають більшу міцність і надійність порівняно із одношпонковими. Однак, стосовно кількості шпонок, які слід уводити в

розрахункові залежності, у дослідників немає єдиної думки. Існуючі нормативні документи [1, 2] обмежуються врахуванням трьох, а в деяких рідких випадках п'яти шпонок. Це часто приводить до заниження несучої здатності стиків і як наслідок перевитрати матеріалів.

Для обґрунтованого вирішення вказаного питання необхідно вивчити специфіку роботи багатошпонкових з'єднань, а саме: встановити розподіл деформацій і напружень за довжиною стиків, оцінити його нерівномірність при різній кількості шпонок.

У цьому напрямку на першу роль виходять експериментальні дослідження, матеріали яких покладаються в основу розрахункових залежностей та підтверджують їх достовірність [3 – 6].

Метою статті є викладення результатів експериментальних досліджень залізобетонних елементів зі змінною кількістю шпонок.

Виклад основного матеріалу. Дослідні зразки склалися з центральної та двох бокових частин більш високої міцності. Програма експерименту [7] передбачала створення умов, котрі виключали б можливість зміщення окремих частин елементів без руйнування шпонок (приймалися прямокутні шпонки) та руйнування з'єднань за швом (застосовувалася моментна схема прикладання навантаження). Тим самим очікувалося руйнування стиків саме за шпонками шляхом зрізу. При цьому опір бетонних шпонок зрізу за співвідношенням глибини шпонки до її висоти 1/3 був наближений до максимального [8].

Дослідна серія складалася із 5-и зразків: одношпонкового, трьох-, п'яти- (2 зразка) та восьмишпонкового зразків. Одно-, трьох- та п'ятишпонковий зразки армувалися в площині зрізу 2-ма арматурними стрижнями гладкого профілю діаметром 8 мм у середині висоти кожної шпонки, другий п'ятишпонковий і восьмишпонковий зразок у площині зрізу не армувалися.

Для визначення міцносних характеристик бетону й арматури на обладнанні лабораторії кафедри ЗБ і КК та ОМ ПолтНТУ випробовувалися кубики, призми й арматурі стрижні.

За результатами цих випробувань середнє значення призмової міцності опору розтягу важкого бетону центральних частин зразків 1ШС-0,3-П-В-0,7-1, 3ШС-0,3-П-В-0,7-1, 5ШС-0,3-П-В-0,7-1: $\bar{f}_{c,prizm} = 21,2$ МПа і $\bar{f}_{ctm} = 1,99$ МПа; зразків 5ШС-0,3-П-В, 8ШС-0,3-П-В – $\bar{f}_{c,prizm} = 26,1$ МПа, $\bar{f}_{ctm} = 2,31$ МПа. Межа текучості арматури, використаної для армування шпонок тришпонкового з'єднання, склала $\bar{f}_{yk} = 247$ МПа, одно- та п'ятишпонкового – $\bar{f}_{yk} = 801$ МПа.

Усі дослідні стикові з'єднання зруйнувалися шляхом зрізу (рис. 1) у площині, яка проходить через основу шпонок центральної частини.

В процесі випробування спостерігалася наступна поведінка одно-, трьох- та п'ятишпонових з'єднань із армованими шпонками:

- при рівні навантаження $(0,5 - 0,7)V_u$ утворювалася волосяна тріщина біля нижнього вхідного кута найбільш навантаженої (нижньої) шпонки в одній із площин зрізу (в одному із двох стиків з'єднання) із кутом нахилу до вертикалі $20 - 30^\circ$;
- при досягненні навантаженням величини $(0,7 - 0,8)V_u$ вона зростала та розкривалася до ширини $0,3 \dots 0,5$ мм; у другій (для тришпонкового стику) та другій і третій (для п'ятишпонкового) шпонках з'являлися нові тріщини аналогічні тій, котра утворювалася в першій шпонці;
- при $(0,8 - 0,9)V_u$ тріщини, котрі з'явилися на попередніх етапах, стабілізувалися й утворювалася тріщина біля вхідного нижнього кута в останній шпонці (або двох останніх); спостерігалася руйнування першої шпонки за цілим перерізом, близьким до вертикалі;
- при навантаженні $0,9V_u$ та максимальному його значенні руйнувалися спочатку середні, а потім і верхні шпонки.

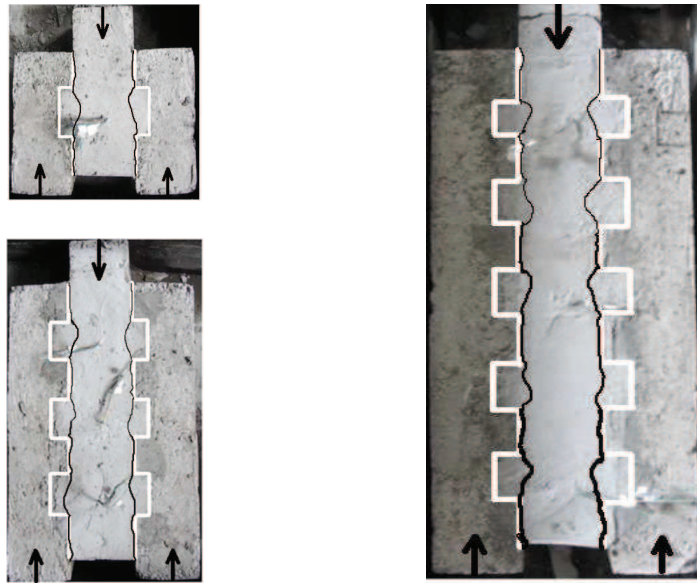


Рис. 1. Картина руйнування дослідних зразків
(похилі тріщини біля нижніх кутів шпонок не визначають поверхню руйнування)

- Для п'яти- й восьмишпонкових з'єднань із неармованими шпонками:
- при рівні навантаження $(0,7 - 0,8)V_u$ утворювалися волосяні тріщини біля нижнього вхідного кута найбільш навантажених (першої та другої із

низу за висотою стику) шпонках в одній із площин зрізу із кутом нахилу до вертикалі $17 - 25^\circ$;

- при рівні навантаження $(0,8 - 0,9)V_u$ перші тріщини зростали та розкривалися до ширині 0,3 мм; з'являлися тріщини у середніх шпонках, аналогічні тим, котрі утворювалися на попередніх рівнях навантаження;

- при $(0,9 - 0,95)V_u$ тріщини, котрі виникли раніше, стабілізувалися й з'являлася тріщина біля вхідного нижнього кута в останній (останніх) шпонці; спостерігалось руйнування першої та другої шпонок за цілим перерізом близьким до площини зсуву;

- при досягненні навантаженням $0,95 V_u$ та його максимальному значенні руйнувалися послідовно середні й остання (останні) шпонка в одному стику з'єднання.

Аналогічна картина спостерігається для другого стику дослідних зразків, але із запізненням на одну (для армованих одну – дві) ступень навантаження або одночасно.

Картина руйнування вказує на нерівномірність роботи шпонок за довжиною (висотою) стику. Спочатку руйнуються найбільш навантажені нижні шпонки, потім розташовані в середній частині, і тільки після цього верхні – на останній стадії роботи стику при максимальному значенні навантаження.

Величина граничного навантаження дослідних зразків наведена в табл. 1. Міцність багатошпонкових стиків суттєво більша порівняно із одношпонковим. Зокрема, п'ятишпонковий армований стик сприймає навантаження в 3,9 рази більше ніж одношпонковий. Армування також підвищує міцність з'єднання: значення граничного навантаження п'ятишпонкового армованого стику із відсотком армування $\rho_{sw} = 0,7\%$ у 2,3 рази більше ніж неармованого.

Таблиця 1

Граничне навантаження дослідних зразків

Зразок	Значення граничного навантаження, кН
1ШС-0,3-П-В-0,7-1	210*
	362**
5ШС-0,3-П-В-0,7-1	817**
5ШС-0,3-П-В	360***
	849***

* – армовані стрижнями А240С; ** – армовані стрижнями із межею текучості 801 МПа; *** – неармовані зразки

Загальна тенденція розвитку деформацій наступна: до появи першої тріщини /приблизно при рівні навантаження $(0,5 - 0,7)V_u$ для армованих шпонок та $(0,7 - 0,8)V_u$ для неармованих/ дослідні зразки працюють як

малодеформовані конструкції. Після появи перших тріщин має місце суттєвий приріст деформацій, початок текучості, непружна складова деформацій бетону. При цьому рівень деформацій стиску в нижніх (найбільш навантажених) шпонках випереджає рівень деформацій у середній та верхніх шпонках до 50 %. Так деформації бетону в стиснутій зоні шпонок досягають для найбільш навантажених (нижніх шпонок) $\varepsilon_c = 200 \times 10^{-5}$, а деформації найменш навантаженої (верхньої) шпонки складають лише $\varepsilon_c = 80 \dots 110 \times 10^{-5}$. На передостанніх та останній ступенях прикладання навантаження відбувається суттєве зростання деформацій як бетону так і арматури (рис. 2 – 5). Напруження в арматурі досягають межі текучості. Відбувається перерозподіл напружень між шпонками (особливо в зразках з армованими шпонками).

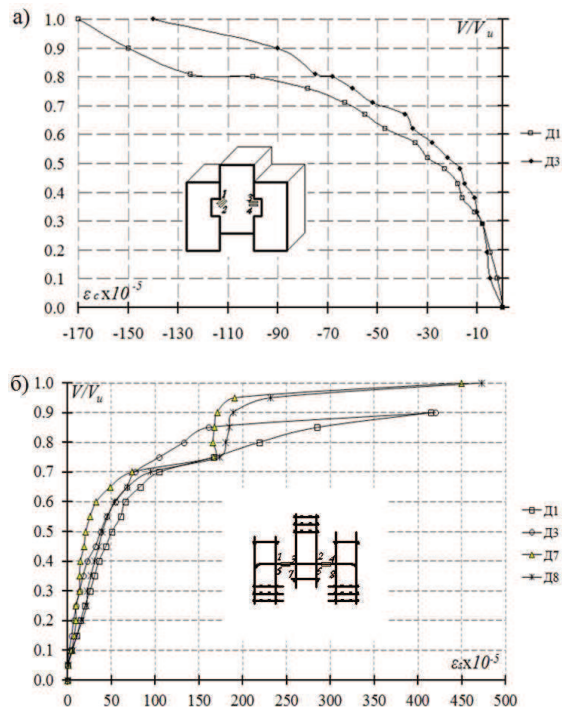


Рис. 2. Залежності деформацій бетону (а) й арматури (б) від рівня навантаження для дослідного зразка 1ШС-0,3-П-В-0,7-1

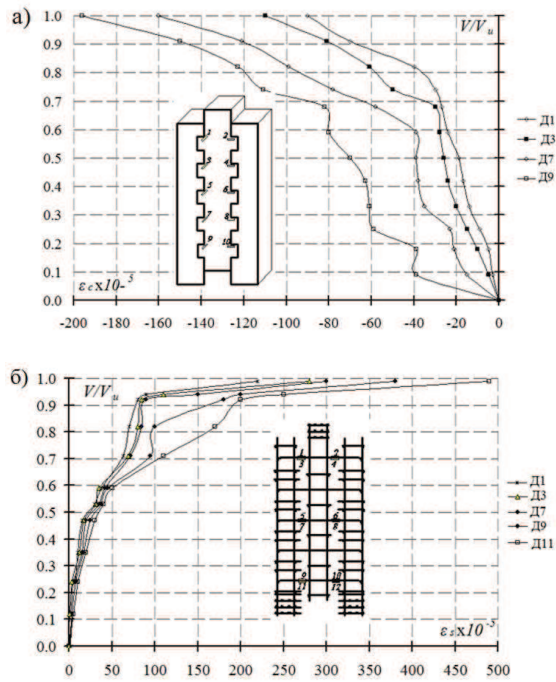


Рис. 3. Залежності деформацій бетону (а) й арматури (б) від рівня навантаження для дослідного зразка 5ШС-0,3-П-В-0,7-1

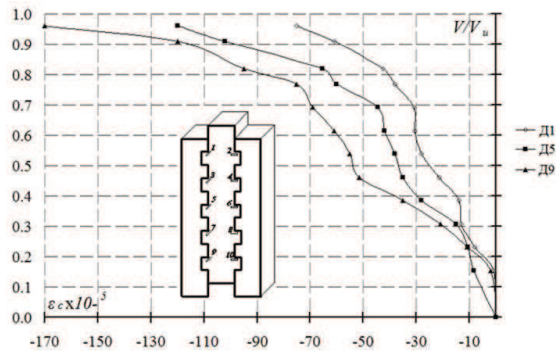


Рис. 4. Залежності деформацій бетону від рівня навантаження для дослідного зразка 5ШС-0,3-П-В

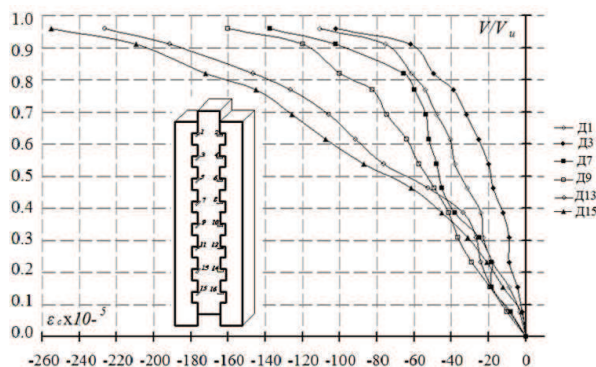


Рис. 5. Залежності деформацій бетону від рівня навантаження для дослідного зразка 8ШС-0,3-П-В

Аналогічна картина спостерігається з параметром зміщення шпонок. При максимальному навантаженні зміщення шпонок відносно їх основи за даними індикаторів, розташованих на навантажених гранях шпонок, досягало значень 0,2 мм і 0,35 мм відповідно для бетонних та армованих шпонок. Слід відмітити збільшення переміщень шпонки відносно стовбура на низхідній гілці залежності «навантаження – переміщення зсуву» при падіння навантаження на 20 % – переміщення досягають 1 – 1,5 мм.

Висновки. 1. Узагальнення результатів оброблення показників тензорезисторів, встановлених на бетоні й арматурі, що перетинають площину зсуву, та індикаторів указує на суттєву нерівномірність деформацій бетону та зміщення шпонок відносно основи за довжиною (висотою) стику.

2. Значення деформації бетону при стиску, зафіксовані датчиками орієнтованими під кутом 45° до площини защемлення шпонок у стовбурі центральної частини, на 30 – 50 % більші ніж виміряні горизонтальними датчиками деформації бетону, що свідчить про домінування впливу дотичних напружень та зсувної форми руйнування. При цьому для верхніх шпонок спостерігається лавиноподібний ріст деформацій на передостанній та останній ступенях. Значення деформацій арматури визначало наближення напружень у ній до межі текучості в крайніх верхніх найменш напружених шпонках, в інших – напруження досягають межі текучості.

3. Аналогічна картина зміщення шпонок відносно стовбура. При рівнях навантаження $(0,1 - 0,7)V_u$ зміщення складало менше ніж 20 % від зафіксованого на момент руйнування. Слід відмітити, що для бетонних шпонок лавиноподібний характер росту зміщення на передостанній, а особливо останній ступені навантаження, більш виражений ніж для армованих шпонок. Однак, найбільше значення зміщення було зафіксовано

при контрольному падінні навантаження (до 20% від V_u) для зразків, шпонки яких були армовані, що свідчить про пластичність армованих шпонкових з'єднань.

4. На нерівномірність роботи шпонок за довжиною стику вказує різниця в показниках тензорезисторів, встановлених на нижній та верхній шпонках, яка досягає 50 %.

5. При навантаження близьких до руйнівних має місце перерозподіл зусиль між шпонками за довжиною стиків як в'язами, що сприймають навантаження зсуву.

1. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01.84). – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 192 с. 2. Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Часть 1. Методы расчета и конструирование: СП 52-117-2008. – М., 2008. – 240 с. 3. Бобришев П.Н. Влияние количества шпоночных связей на несущую способность образцов при сдвиге / П.Н. Бобришев // Сейсмостойкость зданий и инженерных сооружений. тр. ин-та. – М.:ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1970. – Вып. 14. – С. 148–154. 4. Коровин Н. Н. Экспериментальное исследование шпоночных сопряжений ригелей с колонной / Н. Н. Коровин, В. С. Еськов // Бетон и железобетон. – 1965. – №3. – С. 40–43. 5. Лотова Е. Г. Прочность и жёсткость вертикальных стыков наружных керамзитобетонных стеновых панелей при статической нагрузке / Е. Г. Лотова // Сейсмостойкость зданий и инженерных сооружений. – М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1972. – С. 206 – 214. 6. 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. 7. Довженко О.О. Методика експериментальних досліджень стиків залізобетонних елементів із змінною кількістю шпонок / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2013. – Вип. 27. – С. 87 – 97. 8. Довженко О.О. Вплив згинального моменту на міцність бетонних шпонок // О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса // Сборник научных докладов «Вопросы. Ответы. Гипотезы: наука XXI век (Гданьск, 30.05.2014 – 31.05.2014). – Гданьск, 2014. – С. 11 – 16.