

УДК 624.046.3:624.078.34

**МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СТИКІВ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ЗМІННОЮ КІЛЬКІСТЮ
ШПОНОК**

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СТЫКОВ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПЕРЕМЕННЫМ
КОЛИЧЕСТВОМ ШПОНОК**

**THE TECHNIQUE OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF JOINTS OF
REINFORCE-CONCRETE ELEMENTS IS WITH VARIABLE AMOUNT
OF KEYS**

**Довженко О.О., к.т.н., доц., Погрібний В.В., к.т.н., доц., Чурса Ю.В.,
магістр (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.,
магістр (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, Chursa Yu.V., graduate (Poltava
National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava)**

**Наведено методику експериментальних досліджень шпонкових з'єднань
із змінною кількістю шпонок.**

**Представлена методика експериментальних досліджень шпоночних
стыков с переменным количеством шпонок.**

**The technique of experimental researches of joints of the key with the variable
amount of the keys is presented.**

Ключові слова:

Шпонка, багатошпонковий стик, міцність, фактори впливу.

Шпонка, многошпоночный стык, прочность, факторы влияния.

Joint, multikey, strength, factors of influence.

Стан питання та задачі дослідження. Метою даних експериментальних досліджень є вивчення роботи шпонкового з'єднання зі змінною кількістю шпонок, а також оцінювання нерівномірності розподілу деформацій і напружень за його довжиною, впливу кількості шпонок та їх армування на міцність контактних швів.

Обґрунтування основних положень програми експериментальних досліджень. Програма досліджень складена на основі детального аналізу експериментальних матеріалів вітчизняних і закордонних авторів [1 – 6], а також комплексних досліджень, проведених у Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка на протязі 1985 – 2013 рр. [7, 8].

При розробленні основних положень програми досліджень до уваги приймалися:

- геометричні параметри натурних залізобетонних конструкцій, з'єднаних між собою за допомогою шпонкових стиків, роботу котрих моделюють дослідні зразки;

- існуючі в нормативних документах та авторських методиках оцінювання міцності стиків обмеження щодо кількості шпонок, які вводяться в розрахунок (три, п'ять шпонок);

- характеристики силового обладнання лабораторії кафедри ЗБ і КК та ОМ ПолтНТУ, наявні вимірювальні прилади й апаратура, параметри опалубки, об'єм і технічні дані бетонозмішувального обладнання та вібраторів;

та створювалися умови:

- забезпечення руйнування з'єднань за шпонками, особливості роботи котрих вивчалися у даній роботі: приймалася моментна схема передачі навантаження, що дало можливість уникнути руйнування з'єднань за швом і дослідити роботу шпонкових стиків на усіх ступенях навантаження;

- забезпечення стійкості стиків при випробуваннях: дослідний зразок складався з трьох частин (центральної та двох бокових) і навантаження передавалося симетрично відносно вертикальної осі, котра проходить через центр ваги зразка;

- виключення можливості зміщення бокових частин зразка відносно центральної (зміщення елементів, що з'єднуються) без руйнування шпонок, неармованих у площині зрізу: приймався прямокутний профіль шпонки;

- досягнення на наявному силовому обладнанні руйнування саме в зоні зсуву (біля площини защемлення шпонок) шляхом передбачення відповідних розмірів бокових та центрального елементів і габаритних розмірів зразків. Для зменшення гнучкості восьмишпонковий зразок мав більші розміри порівняно з іншими зразками серії, але відстань між центрами шпонок та їх розміри у всіх зразків були однаковими;

- несприйняття навантаження ділянками між шпонками: зчеплення між боковими та центральною частинами виключалися шляхом змашування, при цьому міжшпонковий простір не сприймає зусилля зсуву;
- надійної передачі навантаження: шпонки мали глибину 30 мм;
- реалізації зсувній форми руйнування: співвідношення глибини шпонки до її висоти складало 1/3;
- попередження руйнування елементів, що з'єднуються, поза областю шпонкових стиків: передбачене їх армування із встановленням у місці передачі навантаження та в опорних зонах арматурних сіток; крім того центральна – найбільш навантажена частина зразків, підсилюється шляхом взяття в сталеву обойму.

Прийнято рівномірне розташування шпонок за довжиною стику, відстань у просвіті між шпонками дорівнює їх висоті (збільшення цієї відстані приводить до зменшення кількості шпонок при заданій довжині стику та зниження його ефективності, а зменшення міжшпонкового простору веде до концентрації напруження при наближенні до кутів, які утворюють сусідні шпонки).

Дослідні зразки виготовлялися із важкого бетону: очікувальний клас міцності бетону центральної частини C12/15 (B15), бокових – C25/30 (B25).

Залізобетонні стики армувалися гладкою горизонтальною арматурою. Її розміщення тільки в середині висоти шпонки прийнято, беручи до уваги наявність великої кількості експериментального матеріалу для одношпонкових стиків з зазначеною схемою армування, що дає можливість співставлення отриманих результатів з даними інших авторів та оцінювання нерівномірності роботи шпонок за довжиною стику. Відсоток армування площини зсуву (поперечного перерізу шпонки) склав $\rho_w = 0,7\%$, що знаходиться в межах найбільш поширених відсотків армування шпонкових з'єднань.

Предбачалося встановлення у стиснутій зоні шпонок біля вхідного кута тензорезисторів базою 20 мм для фіксування деформацій бетону й оцінювання їх непружної складової (база тензорезистора порівнювана з розміром стиснутої зони). З метою визначення картини деформування та порівняння її з деформованим станом, характерним для зсуву та згину, датчики орієнтовані як у горизонтальному напрямку так і під кутом 45° та зміщені від вхідного кута на 5 – 7 мм у тіло шпонки в зону руйнування. Відомо, що при згині біля стиснутої грані переважають деформації стиснення в горизонтальному напрямку, а при зсуві – нормальні деформації стиску, направлені поперек тонкого шару пластичності, котрий локалізується на поверхні руйнування. Тому напрямок більшої інтенсивності деформацій встановлює домінування згину або зсуву.

Для контролю зміщення бокових частин відносно центральної було передбачено встановлення індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,002 мм.

Для оцінювання впливу армування на роботу шпонок за допомогою тензорезисторів базою 5 мм фіксувалися деформації арматури, котра перетинає площину зсуву. Датчики зміщені на 5 мм від площини зсуву в зону руйнування. З метою вивчення нагельного ефекту тензорезистори розміщувалися з протилежних за висотою боків арматурного стрижня.

Вимірвальні прилади були розташовані за всією довжиною стику, що дає можливість оцінити нерівномірність роботи шпонок.

Технологія виготовлення та конструкція дослідних зразків. Серія, що виготовлялася, включала 5 дослідних зразків, кожний з яких складено із трьох частин: бокових і центральної. Усі елементи, що з'єднуються, армувалися просторовими каркасами. Три зразки (одношпонковий, трьохшпонковий та п'ятишпонковий) армувалися у площині зсуву в середині висоти кожної шпонки гладкою арматурою 2 Ø 8 ($\rho_w = 0,7\%$).

Зразки виготовлялися в лабораторії кафедри ЗБ і КК та ОМ в інвентарній металевій опалубці. Для створення стиків використовувалися бокові елементи опалубки шпонкового профілю з прорізами для пропуску горизонтальної арматури в середині шпонок за висотою (рис. 1).

Спочатку бетонувалися бокові частини зразків (рис. 2), а потім центральні. Бокові частини планувалося виконати із більш міцного важкого бетону (склад 1, табл. 1), ніж бетон центральної частини (склад 2, табл. 1), в межах якої очікувалося руйнування зразків за шпонками.

Таблиця 1

Вихід матеріалів на куб бетону бокових та центральної частини дослідних зразків, кг/м³

Компонент	Склад 1	Склад 2
Цемент марки М500	480	340
Щебінь фракції 3-10 мм	1150	1250
Пісок річний сухий	630	603
Вода	160	200
Суперпластифікатор «ДокПласт»	0,06	0,06
В/Ц	0,33	0,59

На початку другого етапу виготовлення на бетонну поверхню шпонкового профілю наносився шар солідолу. Розпалублення зразків виконувалося через 14 діб після їх виготовлення. Подальше зберігання проводилося в умовах лабораторії.

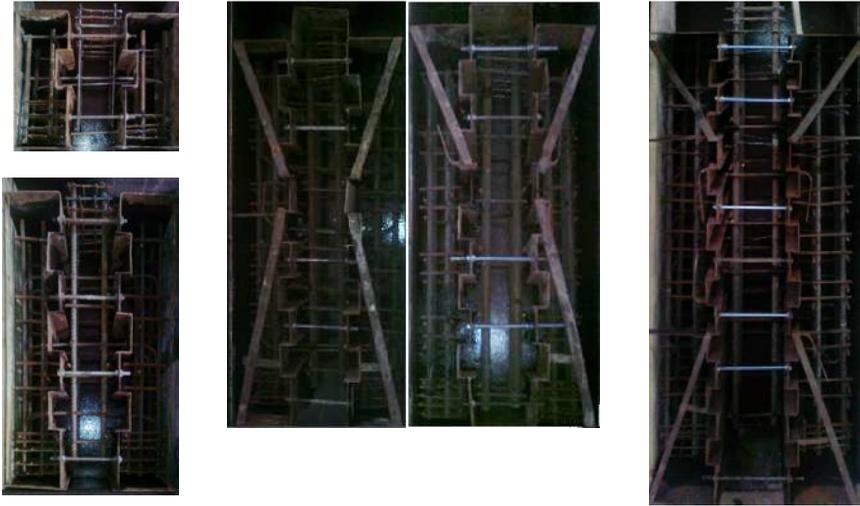


Рис. 1. Арматурні каркаси зразків у опалубці перед бетонування



Рис. 2. Зразки після першого етапу бетонування

Шпонки усіх зразків мали наступні розміри: глибина $l_k = 30$ мм, висота $h_k = 90$ мм. Товщина одно-, трьох- та п'ятишпонкових зразків складала 150 мм, восьмишпонкового дорівнювала 224 мм (рис. 3).

Прийняте наступне маркування зразків: 1ШС-0,3-П-В-0,7-1; 3ШС-0,3-П-В-0,7-1; 5ШС-0,3-П-В; 5ШС-0,3-П-В-0,7-1; 8ШС-0,3-П-В (тут перша цифра – кількість шпонок; ШС – шпоноквих стик; 0,3 – відношення глибини шпонки до її висоти; П – прямокутний профіль; В – важкий бетон; 0,7 – коефіцієнт армування шпонки в площині зсуву; 1 – одностороннє розташування арматури за висотою шпонки; в разі якщо площадка зсуву не армована дві останні цифри не проставляються).

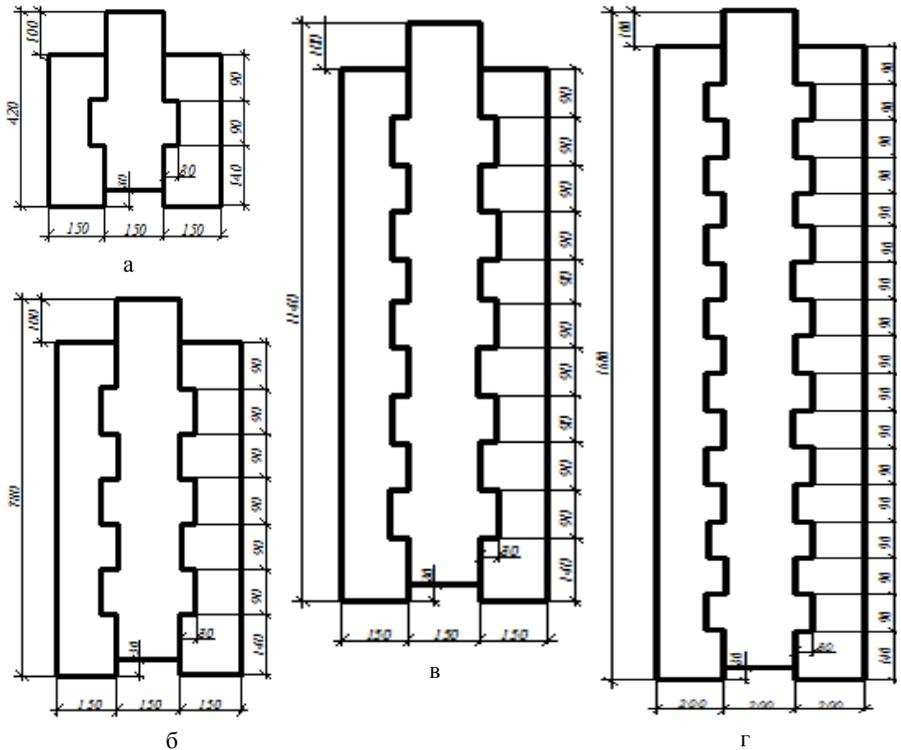


Рис. 3. Типи дослідних зразків: 1ШС–0,3–П–В (а); 3ШС–0,3–П–В–0,7–1 (б); 5ШС–0,3–П–В, 5ШС–0,3–П–В–0,7–1 (в); 8ШС–0,3–П–В (г)

Схема розташування тензорезисторів та індикаторів. Схеми розташування тензорезисторів на бетоні та арматурі представлені відповідно на рис. 4 і 5, а індикаторів годинникового типу 2МНГ з ціною поділки 2×10^{-3} мм на рис. 6. Індикатори розташовані на всіх шпонках одно- та трьохшпоноквих з'єднань, на 1, 3, 5-ій шпонках п'ятишпоноквих стиків та на 1, 3, 6 і 8-ій шпонках восьмишпоноквого зразка.



Рис. 4. Схема розташування тензорезисторів на бетоні дослідних зразків

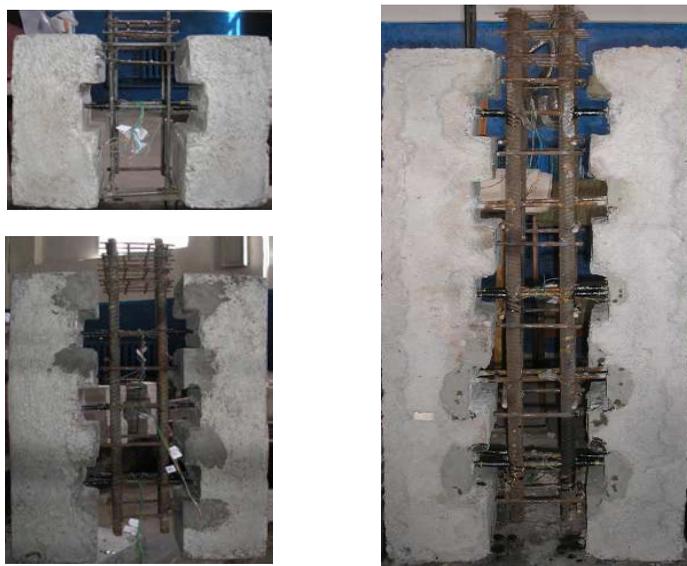


Рис. 5. Схема розташування тензорезисторів на арматурі

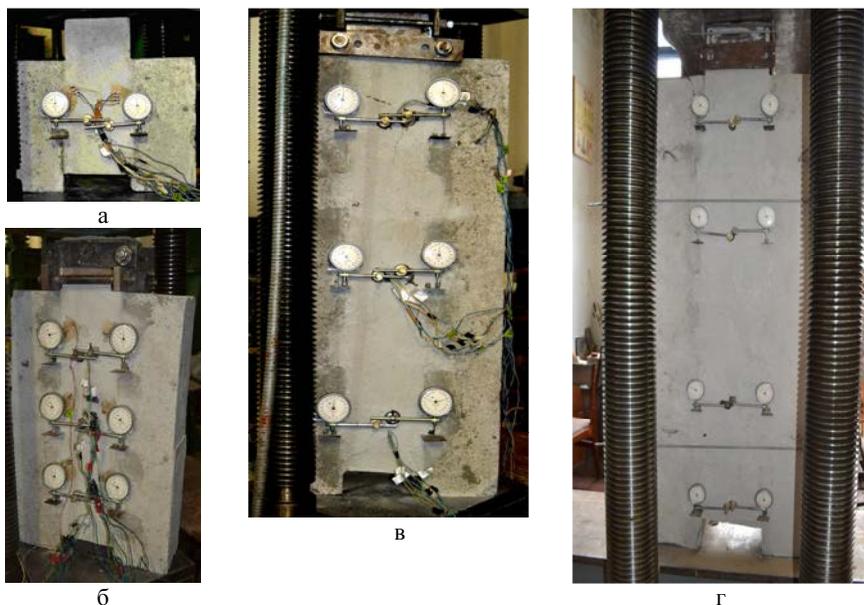


Рис. 6. Одно-, трьох- і пятишпокові зразки у пресі ПГ-125 (а, б, в) та восьмишпоковий зразок (г) у пресі ПГ-500

Випробування дослідних зразків. Стикові з'єднання залізобетонних конструкцій з однією, трьома та п'ятьма шпонками за довжиною стику випробувалися у пресі гідравлічному ПГ-125, а зразок з вісьмома шпонками – у пресі ПГ-500 (рис. 6). Навантаження прикладалося ступенями, рівними 1/10 від очікуваного руйнівного значення з 10..15-ти хвилинною витримкою на кожній ступені. Під бокові грані, на котрі передавалося навантаження, та опорну грань центральної частини підкладалися повстяні прокладки для виключення нерівномірного концентрованого прикладання навантаження.

При витримці під навантаженням на кожній ступені здійснювався огляд зразка, знімалися показники тензорезисторів за допомогою автоматичного вимірювача деформацій АИД-4 та покази за індикаторами.

Поява тріщин фіксувалася шляхом нанесення ацетону на поверхню бетону на кожній ступені навантаження, а ширина їх розкриття вимірювалася мікроскопом МПБ-2 з ціною поділки 0,1 мм.

Зразки виставлялися в пресі за фізичним центром ваги.

Міцності характеристики бетону визначалися шляхом випробування стандартних кубиків і призм, котрі виготовлялися із того ж самого замісу, що і дослідні зразки. Контроль міцності бетону на стиск проводився також неруйнівним методом пластичної деформації за допомогою молотка Кашкарова та приладу ИПС · МГ4.03.

Висновки

1. Серія, що досліджувалася, складалася з п'яти зразків з різною кількістю шпонок: одно-, трьох-, п'яти- та восьмишпонкові з'єднання. Три зразка виконані з залізобетонним шпонками (відсоток армування $\rho_w = 0,7\%$), два – з бетонними шпонками.

2. З метою уникнення руйнування зразків поза областю шпонкового стику, елементи з'єднань армувалися та підсилювалися в зоні передачі навантаження та в опорній зоні. Для забезпечення стійкості кожен зразок складається із трьох частин, які виготовлялися за 2 етапи (бокові частини виконуються із більш міцного бетону, ніж центральна).

3. Для виключення сприйняття навантаження міжшпонковими ділянками на поверхню шпонкового профілю наносився шар антифрикційного змащення, що унеможливило зчеплення старого та нового бетону.

4. Застосована схема прикладання навантаження усуває можливість руйнування зразків “за швом” та створює умови вивчення роботи шпонкового стику на усіх ступенях навантаження.

5. Кількість і схеми розташування вимірювальних приладів, на нашу думку, дозволяють встановити деформований стан бетону й арматури в зоні руйнування, отримати достовірні дані про нерівномірність розподілу деформацій і напружень за довжиною стиків та визначити значення руйнівного навантаження шпонкових з'єднань.

1. 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. 2. Герасимова И. А. Испытание шпоночных замоноличенных вертикальных стыков на здвиг / И. А. Герасимова // Конструкции жилых зданий. – М.: ЦНИИЭПжилища, 1987. – С. 72–76. 3. Железобетонные стены сейсмостойких зданий. Исследование и основы проектирования / [Г. И. Ашкинадзе, М. Е. Соколов, Л. Д. Мартынова и др.]; под ред. Г. И. Ашкинадзе и М. Е. Соколова. – М.: Стройиздат, 1988. – 504 с. 4. Исследование работы стыков сборных железобетонных оболочек / И. А. Рохлин, В. А. Бондарев, Л. Я. Альтштейн, И. В. Доренбаум // Строительные конструкции: межвед. сб. – М., 1967. – Вып. 8. – С. 22–28. 5. Коровин Н.Н. Шпоночные стыки сборных железобетонных оболочек / Н. Н. Коровин, В. С. Еськов // Промышленное строительство. – 1966. – № 8. – С. 25–2. 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 комплексних експериментальних досліджень шпонкових стиків бетонних і залізобетонних елементів / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць. – Полтава: ПНТУ, 2012. – Вып. 5 (35). – С. 72–83. 8. Довженко О.О. Результати експериментальних досліджень шпонкових з'єднань: характер тріщиноутворення, міцність бетонних і залізобетонних шпонок / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2013. – Вып. 25. – С. 276–286.