

О.О. Довженко, к. т. н., доцент, В.В. Погрібний, к. т. н., доцент, Ю.В. Чурса, магістрантка
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНИХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ШПОНКОВИХ СТИКІВ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Наведено методику комплексних експериментальних досліджень шпонкових стиків бетонних і залізобетонних елементів.

Ключові слова: шпонка, стик, визначальні фактори, міцність.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями. Для передачі зусиль зсуву на поверхні сполучення окремих залізобетонних (бетонних) елементів улаштовують пази, котрі після замонолічування утворюють бетонні шпонки. Такий стик є найбільш розповсюдженим варіантом вертикальних з'єднань стінових панелей, його застосування доцільне у безконсольних стиках ригелів із колонами, плит перекриття (покриття) (рис. 1, а – в, д) [1, 2, 3]. Так, утворення шпонкових з'єднань між останніми дозволяє враховувати їх сумісну роботу та розглядати диск перекриття як суцільну плиту, обперту за контуром або трьома сторонами. У громадських будівлях розповсюджене спирання багатопорожнистих плит на несучі ригелі за допомогою бетонних шпонок (рис. 1, а) [4]. У стиках двогілкових колон з фундаментом (рис. 1, г) за необхідності вздовж більших сторін перерізу гілок улаштовують шпонки.

Шпонкові з'єднання застосовуються при утворенні складених перерізів збірних і збірно-монолітних конструкцій (тут, як правило, використовують контактний шов із $t_j = 0$) [5, 6]. При реконструкції відомий спосіб розширення залізобетонних автодорожніх мостів накладною плитою, коли для об'єднання її з плитою існуючої пролітної споруди виконується анкерно-шпонковий стик (рис. 1, е, ж) [2, 7, 8]. При зведенні просторових конструкцій застосовуються стики з бетонними шпонками та арматурними випусками (рис. 1, з). Шпонкові з'єднання цокольних панелей будівель у складних геологічних умовах [9, 10] і збірно-монолітних фундаментів під технологічне обладнання сприймають значні зсувні зусилля [11].

У монолітному будівництві при влаштуванні технологічних швів сприйняття таких зусиль за недостатності сил тертя може забезпечуватися шпонками [12]. Отже, шпонкові з'єднання, котрі мають високий опір зрізу, є широко застосовуваними у сучасному будівництві конструктивними елементами будівель та споруд, які потребують детального вивчення.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання проблеми. Згідно з дослідженнями Г.І. Ашкинадзе, П.М. Бобришева, В.О. Бондарева, І.Л. Герасимової, Е. Горачека, В.С. Єськова, В.Г. Кваші, П.М. Ковалю, В.І. Коноводченка, М.М. Коровіна, В.І. Лишака, Н.Г. Мартинової, Л.С. Махвиладзе, В.П. Митрофанова, В.В. Погрібного, С.В. Полякова, М. Поммере, Д. Пуме, І.О. Рохліна,



Рисунок 1 – Приклади застосування шпонкових з'єднань

Б.С. Соколова, О.В. Черкашина, О.В. Яшина, D.L. Araujo, S.C. Chakrabarti, J. Cristofferson, S.H. Megally, S.H. Rizkalla, Y. Naotaka, E. Makitani, A. Muzikami, R.L. Serette й інших [1 – 12] визначальними факторами міцності окремих шпонок (рис. 2) є: геометричні розміри та їх співвідношення; кут нахилу опорних поверхонь; форма робочого перерізу; вид і клас бетону; ступінь обтиснення (розтягнення); армування (кількість та розташування арматури за висотою). Крім цього, на міцність з'єднань впливає зчеплення нового бетону зі старим, ширина шва та кількість шпонок у ньому.

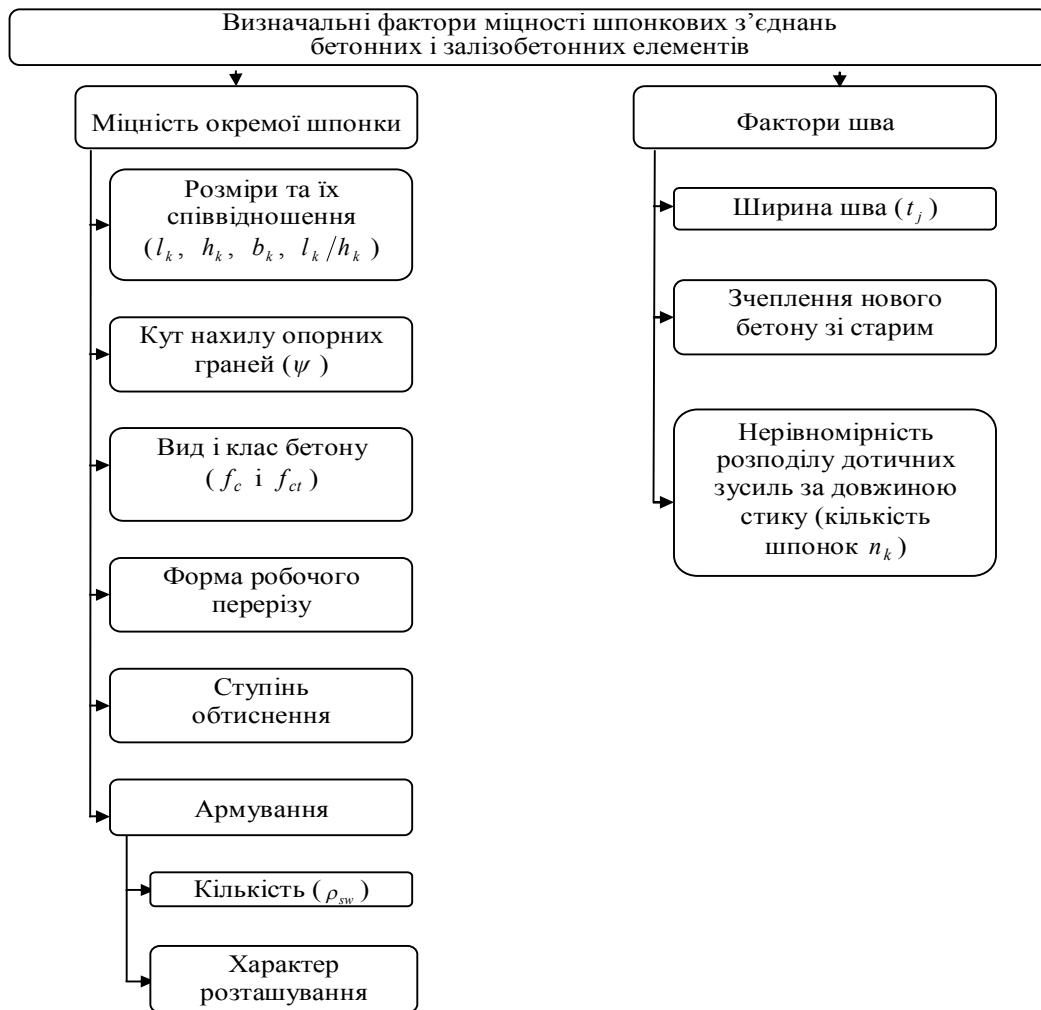


Рисунок 2 – *Визначальні фактори міцності шпонкових з'єднань бетонних і залізобетонних елементів*

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Як правило, в окремих експериментальних дослідженнях розглядається обмежена кількість зазначених факторів. Загальна ж картина впливу повної їх сукупності дотепер відсутня. Крім того, деякі з факторів міцності (l_k/h_k , ψ , t_j , n_k) оцінюються неоднозначно.

Метою роботи є викладення методики експериментальних досліджень шпонкових стиків бетонних і залізобетонних елементів, котрі системно проводяться в ПолтНТУ з 1985 р.

Виклад основного матеріалу. У межах роботи виготовлено 7 серій дослідних зразків. Їх випробування здійснювалося з метою вивчення характеру руйнування та поведінки бетону й арматури шпонкових стиків на різних стадіях навантаження.

Кожна серія була присвячена вивченню одного з факторів (або їх сукупності), котрі впливають на міцність шпонкових з'єднань, при цьому використовувалися 5 груп дослідних зразків.

До першої належать хрестоподібні зразки, котрі моделювали роботу окремих шпонок (рис. 3).

Перша серія виконана для визначення областей реалізації *можливих випадків руйнування* окремих прямокутних бетонних шпонок (рис. 4, а) залежно від *співвідношення їх розмірів* l_k/h_k у межах 0,1 – 0,6. Випробувано 19 зразків із важкого та керамзитобетону.

Для вивчення впливу *величини обтиснення σ* на міцність шпонок *при зрізі* (рис. 4, б) виготовлена друга серія зразків (29 шт.). Тут висота шпонок варіювалася у межах $h_k = 50 - 165 \text{ мм}$, а довжина була постійною $l_k = 50 \text{ мм}$, що приводило до зміни співвідношення l_k/h_k в експерименті від 0,3 до 1. Рівень обтиснення становив $\sigma/f_c = 0 - 0,47$.

У рамках третьої серії досліджувався вплив *армування на міцність шпонок, які руйнуються шляхом зрізу*. Зразки у кількості 21 шт. (рис. 5)

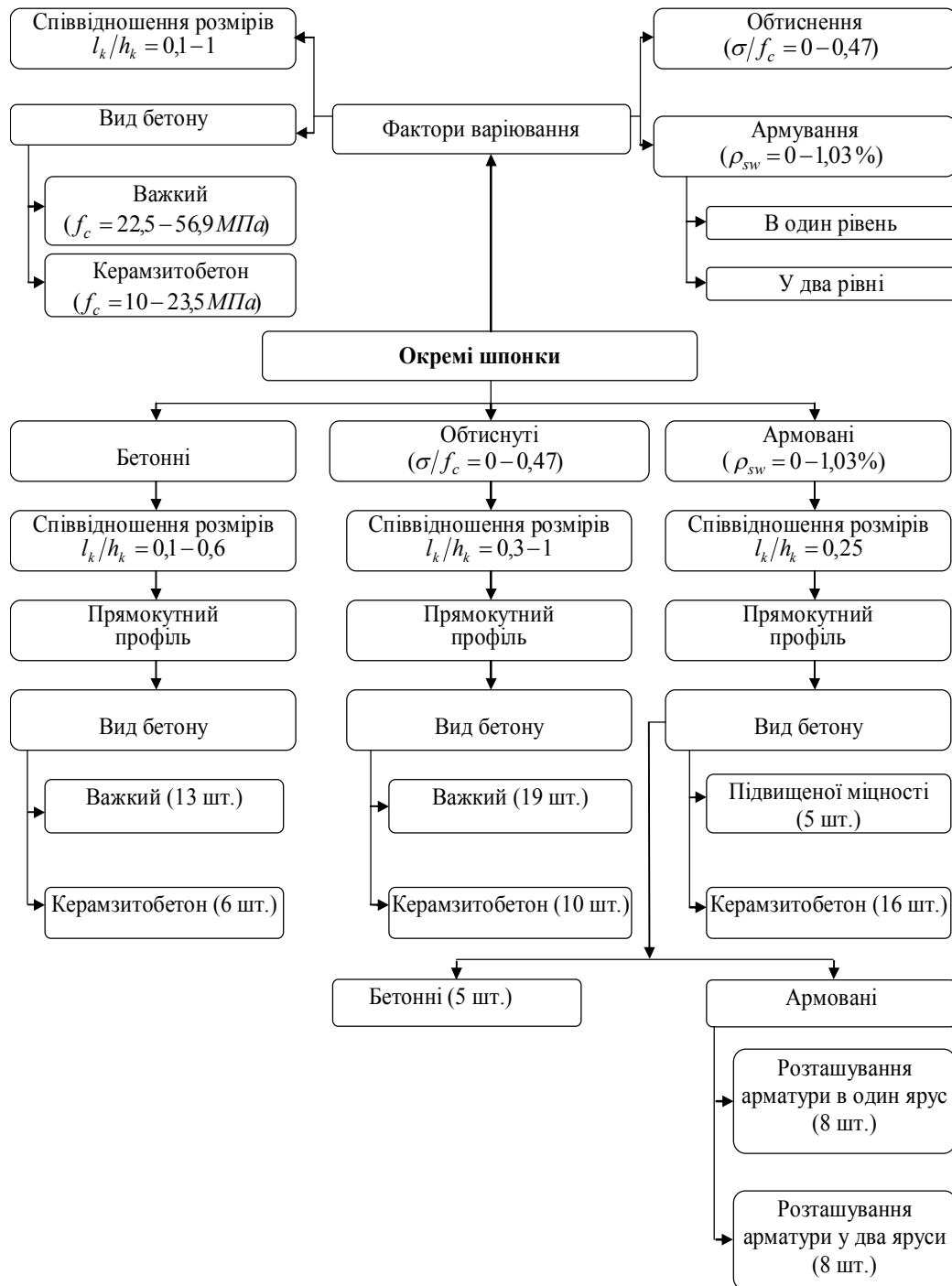
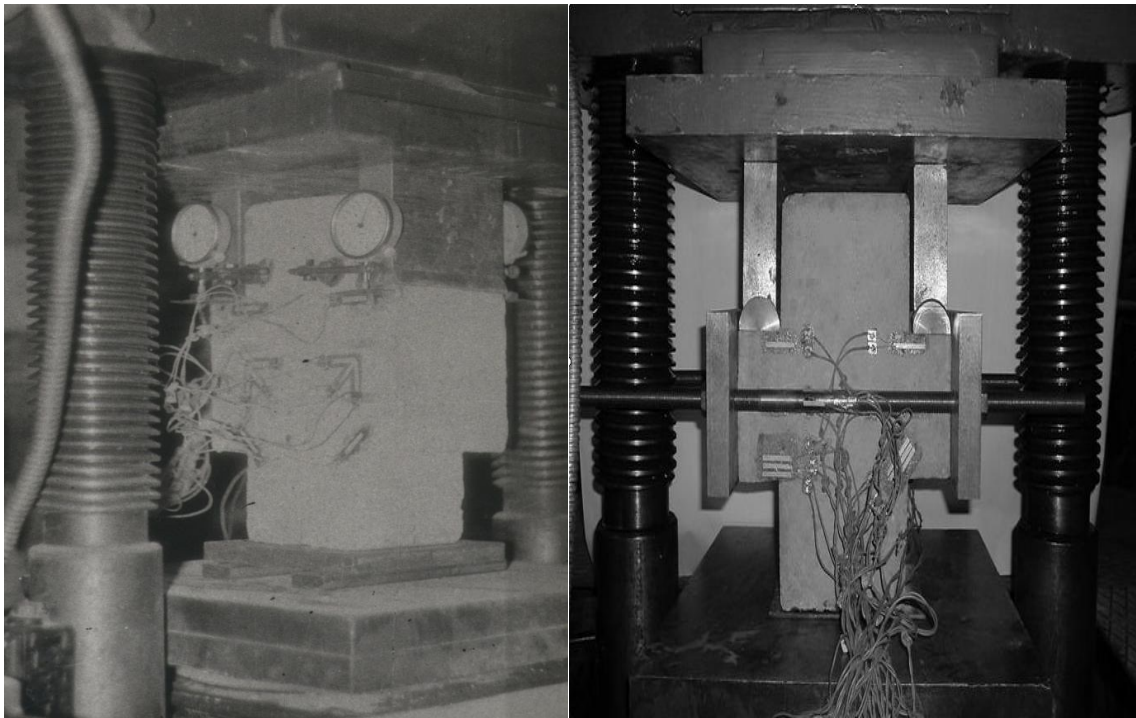


Рисунок 3 – Програма експериментів з окремими шпонками



а

б

Рисунок 4 – Випробування окремих бетонних (а) і обтиснутих (б) шпонок прямокутного профілю у пресі ПГ-125

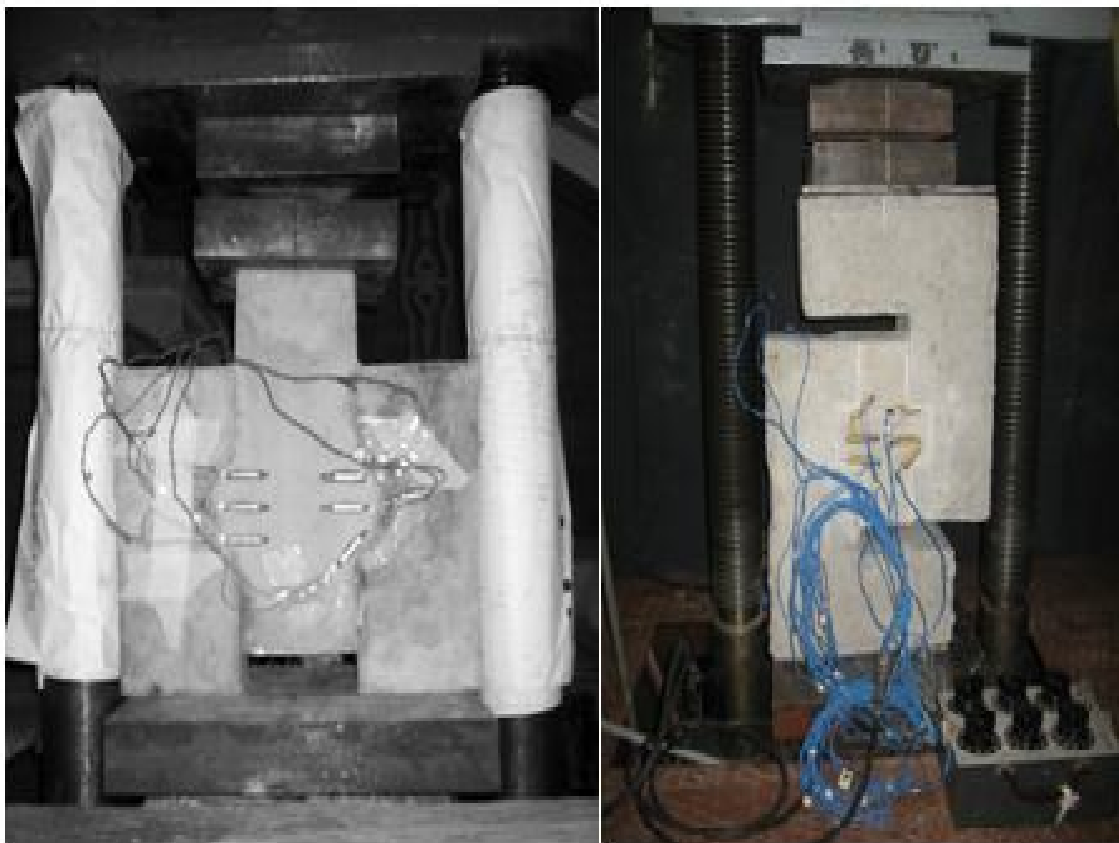


Рисунок 5 – Зразок залізобетонної шпонки у пресі ПГ-125 під час випробування

виготовлялися висотою $h_k = 200\text{ мм}$ та товщиною $b_k = 150\text{ мм}$ (як і в перших двох серіях). Навантажувальні пристрої мали ширину 50 мм (l_k), що відповідало співвідношенню розмірів шпонок $l_k/h_k = 0,25$. У площині зрізу шпонки армувалися поперечними стержнями класу А240С (використовувалися каркаси двох типів: із розміщенням арматури в один ярус посередині висоти шпонки й у два яруси). Відсоток армування змінювався в межах $\rho_{sw} = 0,34 - 1,03\%$. Використовувався важкий бетон звичайної та підвищеної міцності, а також керамзитобетон.

До другої групи зразків (рис. 6, а) належать одношпонкові контактні стики (всього 17 шт.), на яких у межах першого етапу з прямокутними, трапецієподібними та трикутними шпонками за $l_k/h_k = 0,5$ вивчався вплив кута нахилу опорних поверхонь на несучу здатність стикового з'єднання (рис. 7). Фактором варіювання виступала також наявність тертя на опорних поверхнях. У площині зрізу шпонки всіх зразків армувалися поперечними стержнями $2 \text{ } \varnothing 8 \text{ А240С}$, що відповідає $\rho_{sw} = 0,67\%$.

Після виявлення впливу форми шпонкового профілю на міцність стиків на зразках з трапецієподібними шпонками досліджувався вплив відсотка армування $\rho_{sw} = 0 - 3,4\%$ та характеру розміщення поперечної арматури за висотою шпонки (в один і два рівні) на міцність зразків. Для бетонування тут використовувався фібробетон з поліпропіленовою фіброю (рис. 7).



а
б
Рисунок 6 – Випробування одношпонкових з'єднань у пресі ПГ-125:
а – контактний стик; б – стик із змінною шириною шва

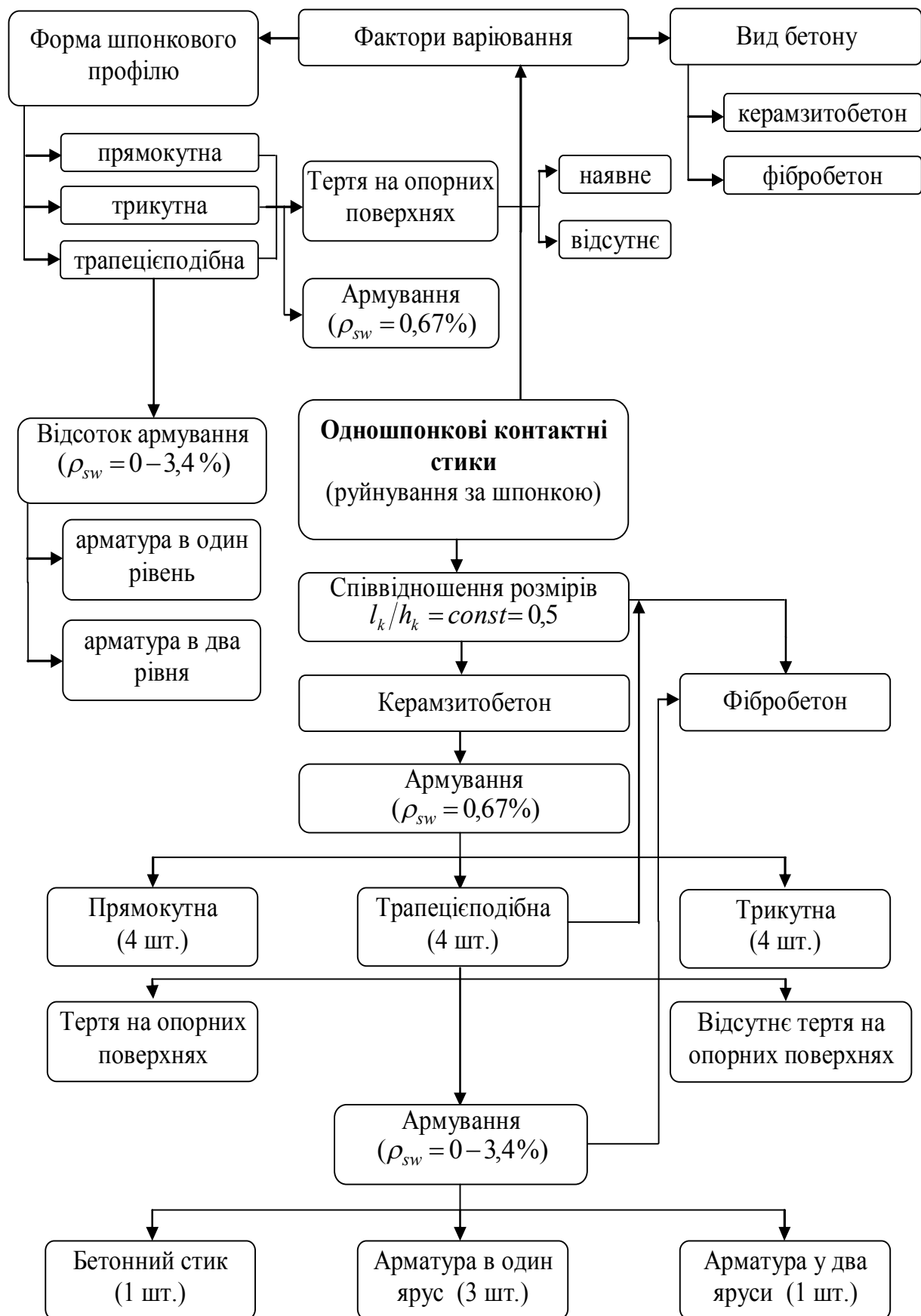


Рисунок 7 – Програма експериментальних досліджень одношпонкових контактних стиків

Третя група містила одношпонкові з'єднання з прямокутними шпонками та змінною шириною шва $t_j = 50, 100, 150, 200 \text{ мм}$. Тут вивчався вплив t_j на граничне навантаження та характер руйнування стиків, при цьому співвідношення розмірів шпонок складало $l_k/h_k = 0,25$. Спочатку було випробувано 4 зразки з керамзитобетону (рис. 8). Вони були армовані однаково 2 $\varnothing 8 \text{ A240C}$. У межах додаткової серії при зміненому $l_k/h_k = 0,5$, що зменшувало опір шпонки зрізу, досліджувалися фібробетонні стики із $t_j = 25 - 200 \text{ мм}$ (рис. 6, б) загальною кількістю 7 шт. (рис. 8).

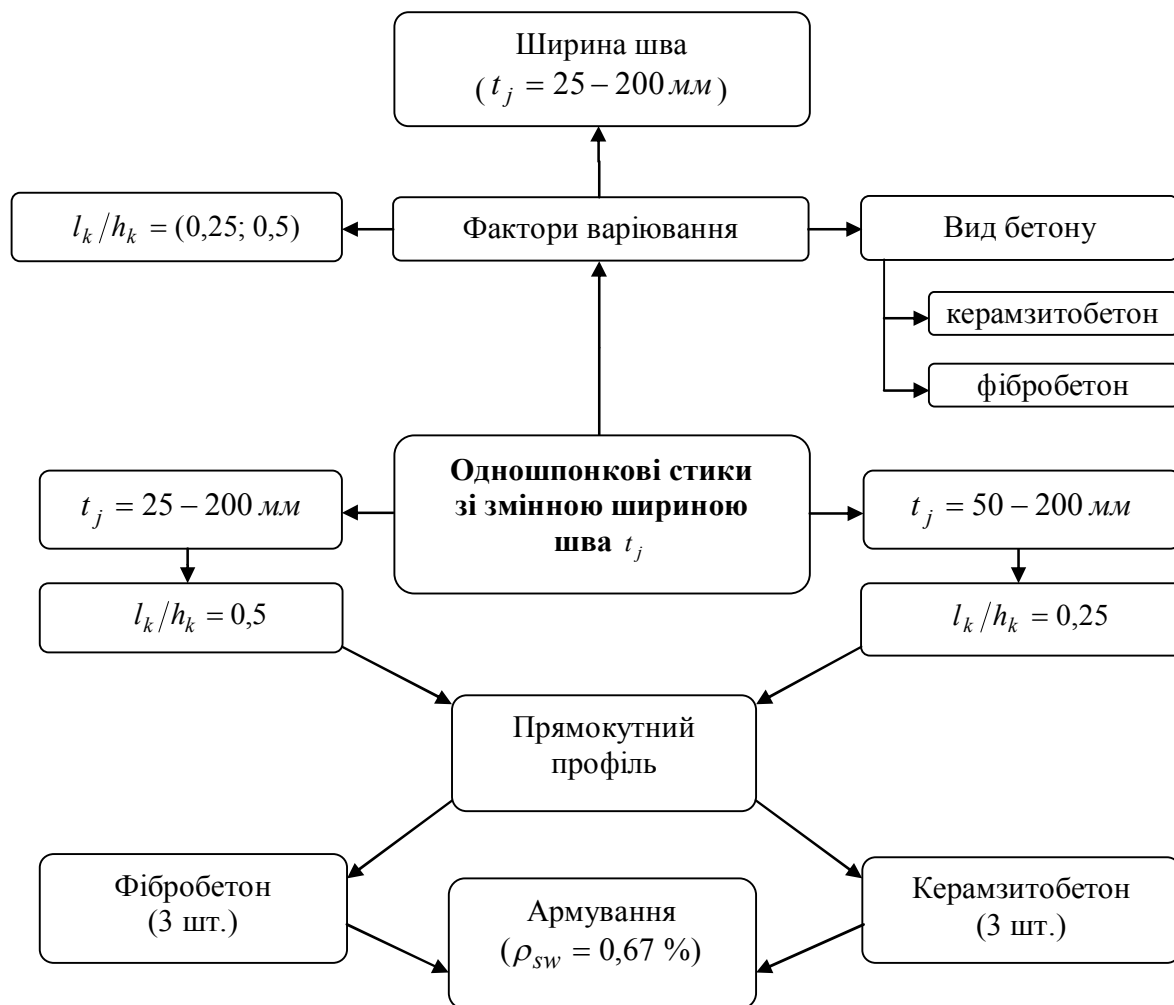


Рисунок 8 – Програма експериментальних досліджень одношпонкових стиків із змінною шириною шва

Четверта група являла собою тришпонкові стики (19 шт.). У них варіювалися такі параметри: кут нахилу опорної поверхні шпонок ψ (прямокутні, трапецієподібні, трикутні) та ширина стику t_j (50, 100, 150, 200 мм) із метою вивчення впливу цих факторів на міцність дослідних зразків.

Було випробувано 12 з'єднань у серії з керамзитобетону. Співвідношення розмірів шпонок l_k/h_k становило 0,25 – 0,5, що забезпечувало їх руйнування від зрізу. За висотою шпонки всіх зразків армувалися поперечними стержнями 2 $\varnothing 8 \text{ A240C}$ ($\rho_{sw} = 0,67 \%$).

Додаткова серія складалася зі стиків з трапецієподібними шпонками. Співвідношення розмірів шпонок l_k/h_k тут становило 0,25. Досліджувалися зразки як з арматурою, розташованою посередині висоти шпонки, так із рознесеною у два яруси (рис. 9).

Метою експериментальних дослідів 7-ї серії (зразків 5-ї групи) є вивчення роботи шпонкового з'єднання під час навантаження, оцінювання нерівномірності розподілу напружень за його довжиною, впливу кількості шпонок і їх армування на міцність. Досліджувалися контактні керамзитобетонні стикові з'єднання з однією, трьома та п'ятьма шпонками без поперечної арматури й армовані (по 2) відповідно (рис. 10, б).

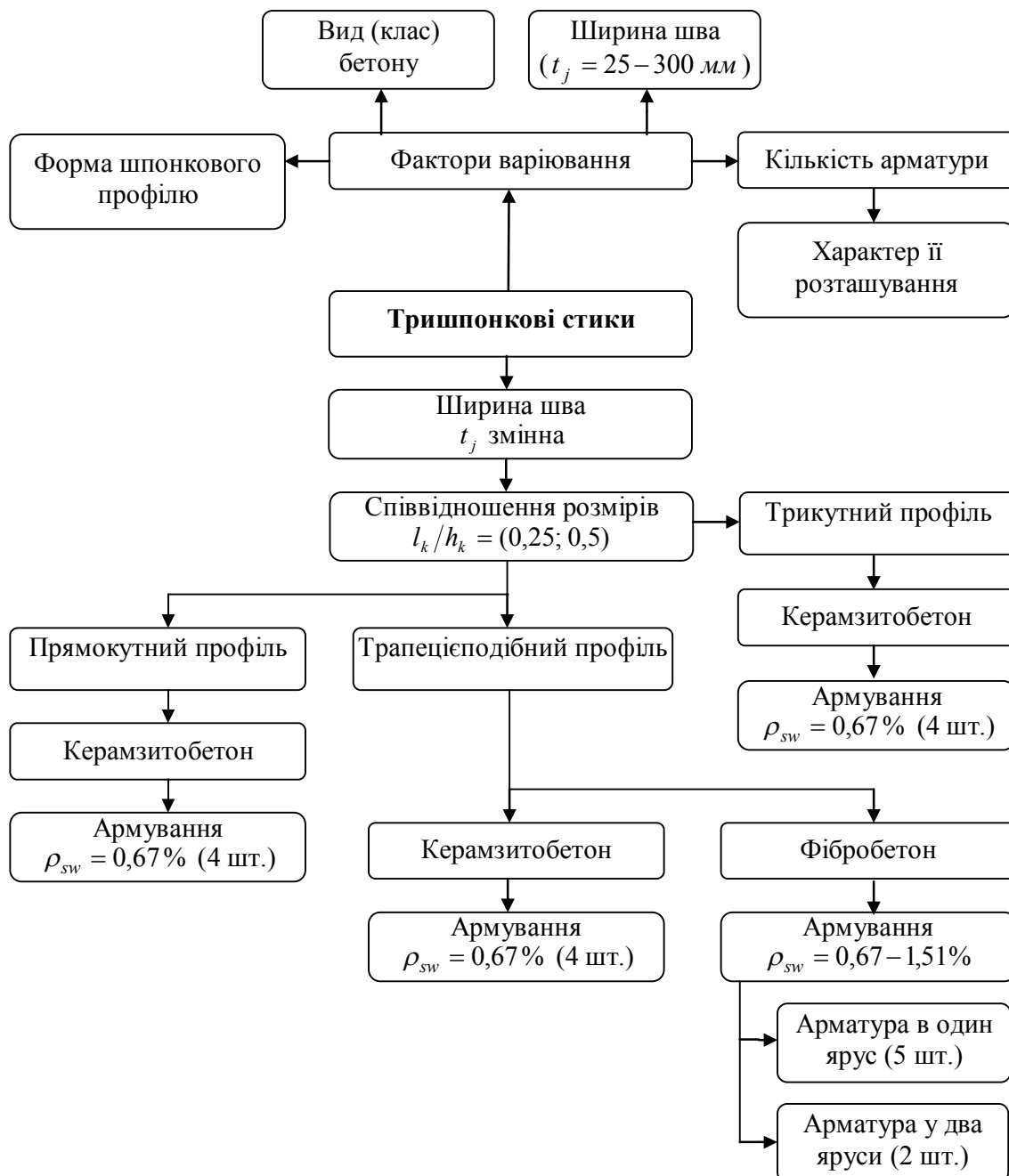


Рисунок 9 – Програма експериментальних досліджень тришпонкових стиків із змінною шириною шва



Рисунок 10 – Випробування тришпонкових зразків у пресі ПП-125:
 а – із змінною шириною шва; б – контактний стик

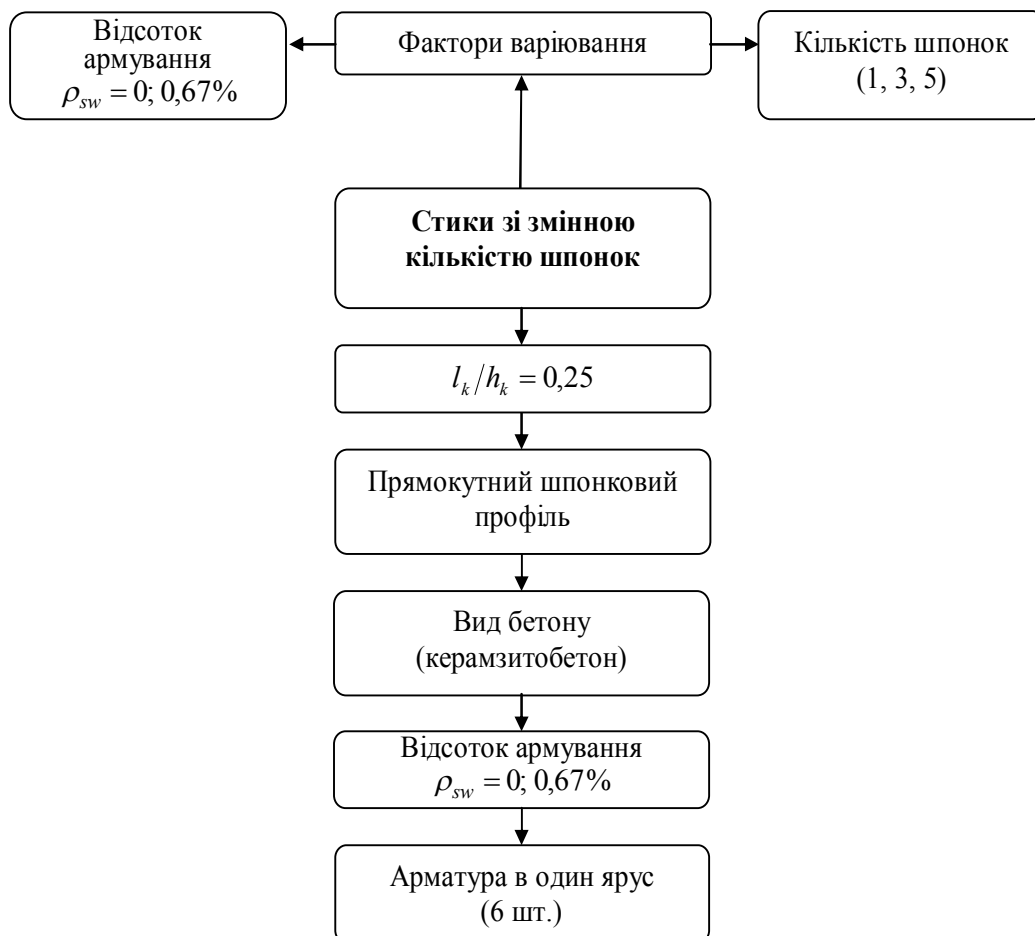


Рисунок 11 – Програма експериментальних досліджень стикових з'єднань із змінною кількістю шпонок

Виготовлення стиків виконувалося у два етапи з бетону двох різних класів (видів). На першому етапі бетонувалися дві бокові частини бетоном більш високого класу з метою запобігання можливості їх руйнування при випробуваннях. Перед другим етапом (бетонуванням центральної частини зразка бетоном нижчого класу) стикові поверхні змащувалися солідолом для виключення зчеплення старого бетону з новим і сприйняття навантаження тільки шпонками.

Деформації бетону в передбачуваних зонах руйнування вимірювалися за допомогою тензорезисторів типу ПКБ базою 20 мм (у зоні зрізу) і 50 мм (у зоні зминання). Як реєструючий прилад використовувався ЦТМ-5.

Крім того, для визначення переміщень зсуву на верхній горизонтальній грані консолей зразків в окремих випадках установлювалися індикатори годинникового типу 2МНГ.

Для вимірювання деформацій поперечної арматури залізобетонних зразків на стержнях були наклеєні ланцюжком тензодатчики базою 5 мм (10 мм) з двох діаметрально протилежних боків з метою експериментальної фіксації можливого нагельного ефекту, котрий може виникати в арматурі.

Стикові з'єднання й окремі шпонки випробовувалися у пресі ПГ-125 (ПГ-500). Навантаження здійснювалося ступенями, їх кількість коливалася від 10 до 15. При витримці під навантаженням на кожному ступені здійснювався огляд зразка, знімалися показання за ЦТМ-5 та індикаторами.

Висновок. Усього в межах дослідження було виготовлено та випробувано 111 зразків (69, 17, 6, 19 і 6 кожної групи відповідно). Фактори варіювання при цьому змінювалися в широких межах:

- співвідношення довжини шпонки до висоти $l_k/h_k = 0,1-1$;
- рівень обтиснення $\sigma_b/f_c = 0-0,47$;
- кут нахилу опорної поверхні $\psi = 0-45^\circ$;
- вид бетону (важкий $f_c = 22,5-56,9$ МПа, керамзитобетон $f_c = 10-23,5$ МПа, фібробетон на поліпропіленових волокнах);
- відсоток армування $\rho_{sw} = 0-3,4\%$;
- арматура була розміщена в один і два рівні за висотою шпонки;
- на опорних поверхнях наявне та відсутнє тертя;
- кількість шпонок у стикі становила 1, 3, 5 шт.

Виконані дослідження, на нашу думку, дозволяють достовірно оцінити вплив визначальних факторів на характер руйнування та граничне навантаження шпонкових стиків бетонних і залізобетонних елементів.

Література

1. Карабанов, Б. В. Практическая методика расчета совместной работы сборных железобетонных плит в перекрытии / Б. В. Карабанов // Бетон и железобетон. – 2000. – № 3. – С. 11–15.
2. Кваша, В. Г. Эффективные конструктивно-технологические решения расширения и усиления автодорожных мостов железобетонной накладной плитой / В. Г. Кваша, П. М. Коваль, Ю. М. Собко // Проблемы теории та практики будівництва: зб. наук. пр. – Полтава, 1994. – С. 119–130.
3. Проектирование железобетонных сборно-монолитных конструкций: справочное пособие / А.Б. Гольшев, И.Н. Ткаченко; под. ред. А.Б. Гольшева.– М. : Стройиздат, 1991. – 68 с.
4. Исследования сборно-монолитного каркаса 18-этажного жилого дома серии Б1.020.1-7 на воздействие вертикальных и горизонтальных нагрузок / [А. И. Мордич, В. Н. Белевич, В. Н. Симбиркин, А. А. Николаев] // Сб. тр. междунар. науч.-техн. конф.

«Пространственные конструктивные системы зданий и сооружений, методы расчета, конструирования и технологии возведения». – М. : НПООО «Стринко», 2002. – С. 123 – 150.

5. 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.

6. Гольшев, А. Б. Проектирование усиления несущих железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений / А.Б. Гольшев, И.Н. Ткаченко; под ред. А.Б. Гольшева. – К. : Логос, 2001. – 172 с.

7. Araujo, D. L. Strength of shear connection in composite bridges with precast decks using high performance concrete and shear-keys. / D.L. Araujo, M.K. El Debs // *Materials and Structures*. – 2005. – Vol 38. – № 3. – P. 173 – 181.

8. Zhou, X. Shear strength of joints in precast concrete segmental bridges / X. Zhou, N. Mickleborough, Z. Li // *Structural Journal*. – 2005. – Vol. 102. – № 1. – P. 3 – 11.

9. Герасимова, И. А. Испытание шпоночных замоноличенных вертикальных стыков на сдвиг / И. А. Герасимова // *Конструкции жилых зданий*. – М. : ЦНИИЭПЖилища, 1987. – С. 72 – 76.

10. Керимов, Н. Работа вертикальных шпоночных стыков цокольных панелей крупнопанельных зданий, эксплуатируемых в сложных грунтовых условиях: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук / Н. Керимов. – К., 1991. – 15 с.

11. Каранфилов, Т. С. К вопросу о расчёте шпоночных соединений на выносливость / Т. С. Каранфилов // *Бетон и железобетон*. – 1976. – № 9. – С. 9 – 11.

12. Попов, В. Г. Несущая способность на сдвиг вертикальных стыков стен из монолитного бетона разных видов (тяжелого и керамзитобетона) с асбестоцементными отсекателями: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.23.01 / В. Г. Попов; Вильнюсский ИСИ. – Вильнюс, 1990. – 25 с.

Надійшла до редакції 15.11.12

© О.О. Довженко, В.В. Погрыбний, Ю.В. Чурса

О.А. Довженко, к.т.н., доцент, В.В. Погребной, к.т.н., доцент, Ю.В. Чурса, магистрантка
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ШПОНОЧНЫХ СТЫКОВ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Представлена методика комплексных экспериментальных исследований шпоночных стыков бетонных и железобетонных элементов.

Ключевые слова: шпонка, стык, определяющие факторы, прочность.

O.A. Dovzhenko, Ph.D., Associate Profesor, V.V. Pogribnoy, Ph.D., Associate Profesor, Yu.V. Chursa, Master

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

TECHNIQUE OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF JOINTS OF THE KEY OF CONCRETE AND REINFORCECONCRETE ELEMENTS

The technique of experimental researches of joints of the key of concrete and reinforce-concrete elements is presented.

Keywords: joint, connection, determinatives, durability.