

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію  
**Довженко Оксани Олександрівни**

«Стикові з'єднання з підвищеним опором зрізу несучих залізобетонних конструкцій», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

**Актуальність теми.** Широке застосування у сучасному будівництві конструктивних систем із збірного, монолітного та збірно-монолітного залізобетону, за наявності контактних швів при перервах бетонування обумовлює необхідність забезпечення надійної сумісної роботи несучих елементів шляхом удосконалення стикових з'єднань. Одним із перспективних напрямків підвищення їх ефективності є застосування шпонкових стиків із підвищеним опором зрізу. Результати експериментальних досліджень свідчать про значну кількість взаємопов'язаних факторів, що впливають на величину граничного зусилля, яке сприймається такими з'єднаннями.

Доцільним є систематизація зазначених впливів та підвищення достовірності оцінювання несучої здатності на основі застосування єдиної теоретичної основи з урахуванням особливостей напружено-деформованого стану стикових з'єднань. Важливим є також встановлення меж застосовності прийнятих розрахункових моделей та їх узгодження з реальними механізмами руйнування залізобетону. Окрему увагу слід приділяти впливу конструктивних і технологічних факторів, що виникають на етапі виготовлення та монтажу елементів. Крім того, актуальним є забезпечення коректного переходу від ідеалізованих теоретичних схем до інженерних методик розрахунку, придатних для практичного проектування.

Таким чином, дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової проблеми забезпечення несучої здатності стикових з'єднань залізобетонних конструкцій з підвищеним опором зрізу на основі застосування теорії пластичності та принципу віртуальних швидкостей і має важливе теоретичне та практичне значення для забезпечення сумісної роботи елементів сучасних несучих систем будівель і споруд та створення ресурсоекономних конструктивних рішень стикових з'єднань.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота має зв'язок з темами наукових досліджень, які виконувалися Національним університетом «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»: держбюджетними темами «Збірно-монолітна конструктивна система під соціальне житло» (номер державної реєстрації 0113U000383); «Комплексні конструктивні рішення забезпечення енергоефективності громадських будівель в умовах євроінтеграції» (номер державної реєстрації 0118U001097); «Енергоефективні конструктивні рішення елементів будівель» (номер державної реєстрації 0121U109497); «Ресурсоекономні конструкції та планувальні рішення сталезалізобетонних

систем для споруд цивільного захисту в нових та реконструйованих будівлях» (номер державної реєстрації 0123U102068).

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і трьох додатків. Робота викладена на 452 сторінках машинописного тексту, у тому числі містить 308 сторінок основного тексту, 48 сторінок списку використаних джерел із 417 найменувань, 51 сторінку додатків і має 52 таблиці та 265 рисунків.

#### **Оцінка змісту дисертації.**

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, що вирішується, наведено зв'язок роботи із науковими програмами, темами, сформульовано мету, задачі дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, приведені дані про особистий внесок здобувача, публікації й апробацію та впровадження результатів дисертації, представлено її структуру та обсяг.

У першому розділі проведено огляд використаної літератури з проблематики досліджень. Розглянуті сучасні конструктивні системи будівель і споруд із залізобетону, важливими складовими яких є шпонкові з'єднання несучих конструкцій, що забезпечують їх сумісну роботу. Стики працюють за різних напружено-деформованих станів. Наголошено на неможливості суміщення явища «чистого зрізу» як форми руйнування і випадку напруженого стану та застосування принципу «суперпозиції», що обумовлює необхідність врахування специфіки роботи стиків. Проаналізовані можливі випадки втрати несучої здатності стикових з'єднань шляхом зсуву та визначальні фактори впливу на їх опір. Вказано, що емпіричний підхід до розрахунків з'єднань приводить до значних відмінностей результатів, пов'язаних з урахуванням обмеженої кількості визначальних факторів. Обґрунтована необхідність проведення комплексних експериментальних досліджень, аналізу їх результатів і створення методології розрахунку стикових з'єднань з підвищеним опором зрізу на основі варіаційного методу в теорії пластичності бетону.

У другому розділі наведена методика комплексних експериментальних досліджень шпонкових з'єднань. Програмою експерименту передбачено випробування 5-ти типів дослідних зразків: хрестоподібних; одношпонкових контактних стиків; одношпонкових стиків зі швом; тришпонкових стиків зі швом; контактних бетонних та залізобетонних стиків із різною кількістю шпонок. Випробувано 7 серій (123 зразки) і визначено вплив: відношення  $l_k/h_k$ ; рівня обтиснення; поперечного армування; форми профіля одношпонкового контактного стика; ширини шва одношпонкового з'єднання; ширини шва і профіля тришпонкового з'єднання; кількості шпонок багатшпонкового стика.

У третьому розділі наведені результати експериментальних досліджень окремих бетонних і залізобетонних шпонок та одношпонкових з'єднань.

Окремі прямокутні бетонні шпони руйнувалися шляхом зминання, зрізу за цілим перерізом та відриву. Обтиснення бетонних шпонок суттєво підвищує значення руйнівного навантаження. Поперечне армування впливає на опір шпонок аналогічно обтисненню. Рознесення арматури у два яруси за висотою шпонки призводить до підвищення опору до 10 % та більш пластичного

характеру руйнування. Форма шпонкового профілю впливає на величину граничного навантаження. Більший до 10% опір (при  $l_k/h_k = 0,5$ ) мають трикутні шпонки порівняно з прямокутними. Зі збільшенням ширини шва від 50 до 200 мм несуча здатність з'єднань зменшується до 30%. Руйнування одношпонкового стику залежно від товщини шва  $t_j$  відбувається шляхом зрізу шпонок або шва. У стиснутих областях спостерігається локалізація пластичної деформації. Граничні відносні деформації бетонних шпонок (без обтиснення) досягають  $\varepsilon_c = 1,4\%$ . за обтиснення  $\sigma/f_c = 0,3 - 0,47$  дорівнюють  $\varepsilon_c = 2,2 - 2,9\%$ , за навантаження  $\geq 0,8$  від руйнівного  $V_u$  суттєво зростає пластична складова деформації. Відносні деформації стиску керамзитобетону при армуванні посередині за  $\rho_{sw} = 0,76\%$  і  $l_k/h_k = 0,25$  досягають  $\varepsilon_c = 1,9\%$  (для фібробетону  $\varepsilon_c = 2,4\%$ ), за двоярусного розташування арматури –  $\varepsilon_c = 2,9\%$ .

**Четвертий розділ** присвячений результатам експериментальних досліджень багатошпонкових стикових з'єднань зі швом та контактних стиків.

Для трьохшпонкових стиків зі швом в експериментах зафіксовані такі форми руйнування: при ширині шва  $t_j = 25, 100, 150, 200$  мм: зріз двох найбільш навантажених шпонок за перерізом, наближеними до вертикалі, та зріз у похилому перерізі за швом у межах останньої шпонки; зріз однієї шпонки та руйнування шва за похилим перерізом у межах двох інших; за  $t_j = 200$  мм: руйнування однієї шпонки і шва у межах похилої стиснутої смуги за висотою двох шпонок при трикутному профілі; при  $t_j = 300$  мм: руйнування за швом. Залежності деформації від рівня навантаження при застосуванні керамзитобетону вказують на суттєвий приріст пластичної деформації на останніх стадіях навантаження. Встановлено вплив на несучу здатність з'єднань ширини шва. Руйнування з'єднань із фібробетону носить більш пластичний характер.

У результаті випробування контактних бетонних і залізобетонних стиків з 1, 3, 5 і 8 шпонками встановлена нерівномірність роботи шпонок за довжиною стика, про що свідчить характер тріщиноутворення та показники тензорезисторів та індикаторів, встановлених на шпонках за висотою стика. Усі 11 зразків зруйнувалися шляхом зрізу шпонок за цілим перерізом. Опір трьохшпонкового контактного стику вищий ніж одношпонкового в 2,5 рази, п'ятишпонкового – в 3,5 рази, восьмишпонкового – в 5 разів. У бетоні шпонок у зоні очікуваного руйнування при  $\geq 0,7V_u$  накопичувалася пластична деформація; відносна деформації стиску досягала  $\varepsilon_c = 2,5\%$ .

У п'ятому розділі представлені теоретичні дослідження несучої здатності шпонкових з'єднань бетонних і залізобетонних елементів варіаційним методом у теорії пластичності як загальної основи для створення методології розрахунку. Встановлені експериментально значні пластичні деформації бетону стиску й їх локалізація у зоні руйнування слугують обґрунтуванням доцільності застосування теорії пластичності та принципу віртуальних швидкостей.

Задачі визначення несучої здатності шпонкових стиків розв'язуються в такій послідовності: на основі оцінювання характеру руйнування для випадку, що розглядається формується кінематично можлива схема руйнування, котра

враховує особливості роботи з'єднання у граничному стані; знаходяться стрибки швидкостей на ділянках поверхні руйнування та площа останніх; записується функціонал варіаційного методу, котрий досліджується на стаціонарний стан і визначається величина граничного навантаження. Представлена класифікація шпонкових з'єднань. Отримані розрахункові залежності для визначення опору та несучої здатності при зрізі: окремих бетонних (без і за наявності бокового обтиснення) та залізобетонних з одноярусним та двоярусним розміщенням поперечної арматури за висотою шпонки; одношпонкових з'єднань при різних формах шпонкового профіля та поперечного перерізу і різною шириною шва; багатошпонкових контактних стиків та з'єднань зі швом для усіх можливих випадків руйнування.

Указані межі застосування розрахункових залежностей та визначені характеристики шпонкових стиків при максимальному опорі зрізу.

У шостому розділі представлені результати порівняльного аналізу теоретично визначеної несучої здатності шпонкових стиків із дослідною. Здійснено 224 порівняння. Отримана задовільна збіжність теоретичного опору із дослідним. Застосовано методіку статистичного аналізу збіжності методів розрахунку з даними експериментів, котра надає можливість комплексно оцінити як рівень надійності розрахункового методу, так і його ефективність, забезпечену мінімумом надлишкових запасів несучої здатності. Результати порівняння дозволяють рекомендувати розроблену методологію розрахунку несучої здатності шпонкових з'єднань для практичного використання.

У сьомому розділі наведені удосконалені конструктивні рішення: вузла з'єднання надколонної плити із колоною в безбалково-безкапітельно-безконсольній конструктивній системі шляхом зміни розмірів шпонок для підвищення їх опору; з'єднання плит перекриття між собою при застосуванні замість арматурних випусків із торців плит гнучких петель Ø6 мм за типом «Reiko»; стика багатопустотної плити з монолітним ригелем у збірно-монолітних перекриттях при застосуванні пустотілого циліндричного каркасу для армування шпонок, що дозволяє забезпечити однаковий опір у вертикальній і горизонтальній площинах та підвищення його надійності при сейсмічних впливах; запропоновано використання поперечної арматури каркаса ригеля як робочої арматури шпонок; контактного шпонкового стика багатопустотних плит перекриття з панельними стінами; багатошпонкового стика ригеля із колоною при збільшенні кількості шпонок. Щодо спрощення розв'язання задач несучої здатності шпонкових стиків запропонована інженерна методіка розрахунку.

У загальних висновках наведені основні результати виконання поставлених задач досліджень.

**Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій** підтверджується застосуванням у теоретичних дослідженнях екстремального принципу механіки деформівного твердого тіла й адаптованого для бетону математичного апарату теорії пластичності, використанням пластичного кінематичного механізму при розробленні

розрахункових схем, виконанням комплексного дослідження стикових з'єднань залізобетонних конструкцій та збіжністю результатів співставленням характеру руйнування з кінематичними схемами та теоретично визначеного опору з експериментальними даними на 224-ох порівняннях.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що *вперше*:

- запропоновані кінематичні схеми руйнування бетонних і залізобетонних шпонок, швів шпонкових стиків та розрахункові схеми багатошпонкових з'єднань при зрізі за цілим перерізом і діагональному розколюванні;

- варіаційним методом у теорії пластичності визначено:

- вплив на несучу здатність стикових з'єднань визначальних факторів: міцності бетону на стиск і розтяг (вид та клас бетону); розташування арматури за висотою шпонки й інтенсивності армування; величини бокового обтиснення; відношення глибини до висоти шпонки, її профіля та форми поперечного перерізу, ширини шпонкового шва; кількості шпонок у стику;

- величину опору окремих шпонок, шпонкового шва та несучу здатність стикових з'єднань збірних і збірно-монолітних залізобетонних конструкцій;

- експериментально систематизовано ознаки зрізової форми руйнування шпонкових з'єднань: локалізація пластичної деформації в зоні зрізу та одночасність руйнування стиснутої та розтягнутої областей за цілим перерізом; встановлені умови реалізації пластичного кінематичного механізму;

- запропоновано конструктивне рішення шпонкового з'єднання залізобетонних збірних багатопорожнистих плит і монолітних ригелів перекриття з рівним опором у горизонтальному та вертикальному напрямках із використанням робочої арматури шпонок при її анкеруванні в якості відігнутої арматури ригелів;

*набули подальшого розвитку:*

- критерій застосування теорії пластичності для бетонних елементів: одночасність досягнення граничних напружень на площадці локалізації пластичної деформації в стиснутій області та в зоні розтягу;

- розрахунковий апарат теорії пластичності при розривних рішеннях;

- інтервали області реалізації пластичного кінематичного механізму при визначенні граничного опору шпонок та шпонкових швів і несучої здатності шпонкових з'єднань;

- на основі теоретичних і експериментальних досліджень конструктивні рішення шпонкових стиків залізобетонних елементів несучих систем: збірних суцільних плит і колон безбалково-безконсольного перекриття; ригелів перекриттів з плитами та колонами; збірних плит між собою; панельних стін.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у:

- ефективності використання у практиці проектування, реконструкції, технічному переоснащенні та експлуатації стикових з'єднань залізобетонних несучих конструкцій об'єктів житлового, громадського та виробничого призначення, а також захисних споруд цивільного захисту в збірному, збірно-монолітному та монолітному (з перервою у бетонуванні) виконанні,

доцільність застосування яких визначена необхідністю забезпечення сумісної роботи бетонних і залізобетонних конструкцій та підвищення опору стикових з'єднань;

– встановленні конструктивних параметрів шпонкових стиків: геометричних (відношення глибини шпонки до висоти, форми шпонки, її профіля та форми поперечного перерізу, ширини шва, відстані між шпонками, коефіцієнта армування та рівня бокового обтиснення, розташування арматури за висотою шпонки, кількості шпонок у стикі) та на основі запропонованої методології розрахунку наданні рекомендацій, котрі дозволяють отримати максимальні величини несучої здатності шпонкових з'єднань й уникнути крихкого руйнування.

– вдосконаленні конструкції шпонкових стиків багатопорожнистих плит із монолітним ригелем та стіновими панелями, а також суцільних плит безбалково-безконсольного перекриття й інших з'єднань із підвищеним опором зрізу.

#### **Результати виконаних досліджень:**

– будуть використані при підготовці нової редакції національного стандарту України ДСТУ В.2.6-156:2010 «Конструкції будинків і споруд. «Бетонні та залізобетонні конструкції із важкого бетону. Правила проектування» у частині розрахунку за несучою здатністю стикових з'єднань залізобетонних конструкцій при зсуві;

– впроваджені при:

- проектуванні залізобетонних перекриттів із застосуванням стикових з'єднань з підвищеним опором зрізу для забезпечення сумісної роботи несучих конструкцій, що дозволяє оптимізувати їх конструктивне рішення, та використанні підвального приміщення в якості укриття (об'єкта подвійного призначення) із підвищенням надійності вузлів спирання плит перекриття;

- будівництві споруди цивільного захисту та цивільної будівлі після консервації за наявних перерв у бетонуванні з влаштуванням контактних шпонкових стиків між бетонами, що укладені в різний час для забезпечення монолітності та проектної несучої здатності конструкцій;

- реконструкції за необхідності підвищення несучої здатності існуючого залізобетонного перекриття із застосуванням шпонкових з'єднань плит;

- технічному переоснащенні об'єктів виробничого призначення з підвищенням несучої здатності залізобетонних ділянок перекриттів у місцях встановлення технологічного обладнання із застосуванням шпонкових з'єднань існуючих конструкцій та елементів підсилення стиснутої зони перекриттів;

- удосконаленні вузлів з'єднань багатопорожнистих плит перекриття із монолітними ригелями та несучими стіновими панелями, вертикальних стиків стінових панелей та стиків суцільних плит перекриття між собою із застосуванням гнучких петель за типом «Peiko» та інш. у межах виконання держбюджетної тематики, пов'язаної із конструктивними рішеннями стикових з'єднань з підвищеним опором зрізу.

**Особистий внесок здобувача** полягає у формулюванні наукової проблеми, обґрунтуванні можливості застосування пластичного кінематичного механізму з визначенням областей його реалізації, розробленні методики проведення комплексних випробувань шпонкових стиків, безпосередній участі в експериментальних дослідженнях, аналізі отриманих результатів, створенні методології оцінювання несучої здатності стикових з'єднань з підвищеним опором зрізу, перевірці достовірності запропонованої методології розрахунку, наданні рекомендацій з проектування та вдосконалення стиків з підвищеним опором зрізу.

Наведені в дисертаційній роботі наукові ідеї, основні положення, теоретичні розробки та практичні результати отримані автором самостійно. У проведених спільно з співавторами дослідженнях вклад здобувачки деталізовано в списку публікацій за темою дисертації.

У дисертації не використовувались матеріали кандидатської дисертації здобувача.

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали дисертаційної роботи широко апробовані та оприлюднені на 2nd fib Congress (June 5 – 8, 2006), Naples; 13th fib International PhD Symposium in Civil Engineering (August 26 – 28, 2020), Paris, Міжнародних наукових конференціях в період 2005 – 2025 рр.

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на наукових семінарах ОДАБА (29.12.2025 р., Одеса), НУБіП України (16.01.2026 р., Київ), ХНУМГ ім. О.М. Бекетова (06.02.2026 р., Харків), при спеціалізованій вченій раді Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (25.03.2026 р., Полтава).

**Публікації.** Зміст дисертації викладено в 99 наукових працях, з яких: 5 монографій, серед яких 2 одноосібні; 16 статей у виданнях іноземних держав, серед яких 14 у виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus, 3 у базі даних Web of Science Core Collection; 48 статтях у фахових виданнях України; 25 матеріалах і тезах конференцій; колективній монографії; 4-х патентах на корисну модель.

Реферат дисертації відповідає її змісту.

**Зауваження щодо змісту дисертації.**

1. Запропонований функціонал базується на жорстко-пластичній моделі, орієнтованій на граничний стан руйнування. Такий підхід не враховує стадійність роботи залізобетону, зокрема процеси тріщиноутворення, нелінійне зниження жорсткості та перерозподіл зусиль у контактній зоні. Це обмежує можливість повноцінної оцінки деформативності та оцінки напружено-деформованого стану стиків у експлуатаційній стадії роботи.

2. Запропонована автором методика ґрунтується на варіаційному підході з вибором поверхонь розриву швидкостей. Для складних просторових або багатошпонкових з'єднань реальний механізм руйнування може суттєво відрізнятися від прийнятого. Оскільки метод формує «верхню оцінку» несучої здатності, будь-яка неточність у виборі розрахункової схеми призводить до потенційного завищення результатів міцності.

3. У розрахунковій моделі робота арматури розглядається переважно як опір розтягу або чистому зрізу, тоді як специфічний для шпонкових стиків нагельний ефект відображений недостатньо. Ігнорування цього механізму викривляє реальну картину руйнування та призводить до недооцінки резерву несучої здатності на граничних стадіях деформування.

4. Попри заявлену фундаментальність, функціонал містить низку коригуючих параметрів, що потребують експериментального визначення. Це свідчить про напівемпіричний характер моделі, що знижує її ефективність та ускладнює застосування до нових класів матеріалів без попереднього калібрування.

5. У роботі охоплено широку номенклатуру стикових з'єднань, проте глибина верифікації для окремих типів конструкцій є неоднаковою. Це створює певні труднощі при оцінюванні універсальності методики та надійності її використання з іншими конструктивними схемами.

6. Розрахункові моделі переважно базуються на спрощених площинних схемах роботи стиків, що не повною мірою відображає складний просторовий характер напружено-деформованого стану в реальних залізобетонних вузлах. Локальні концентрації напружень, ефекти сумісної дії зрізу, згину та кручення, а також контактна нелінійність не можуть бути повністю описані в межах прийнятого аналітичного апарату. У зв'язку з цим результати розрахунків потребують додаткової верифікації із застосуванням сучасних програмних комплексів нелінійного скінченно-елементного аналізу (ANSYS, Abaqus, Ліра, SCAD тощо), які дозволяють моделювати контактну взаємодію, тріщиноутворення та зміну жорсткості. Вони також можуть бути використані як еталон для порівняння аналітичних залежностей.

7. Основна увага приділена статичному опору при одноразовому навантаженні. Водночас поведінка шпонкових стиків при циклічних, динамічних та сейсмічних впливах висвітлена недостатньо, що обмежує впровадження результатів для споруд, які експлуатуються в особливих умовах навантаження.

8. Запропоновані конструкції з підвищеним опором зрізу вирізняються складною геометрією та високою щільністю армування. Це створює ризики утворення дефектів при ущільненні бетонної суміші у вузьких швах та ускладнює забезпечення нормативного захисного шару арматури, що безпосередньо впливає на довговічність з'єднань.

9. Заявлена спрощена методика розрахунку містить значну кількість коефіцієнтів, що регулюють вплив форми шпонок, рівня обтиснення та параметрів армування. Така висока параметричність перетворює методику на напівемпіричну систему, універсальність якої обмежена необхідністю попередньої адаптації під нові умови проектування.

**Висновок.** Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою. У ній отримані нові науково-обґрунтовані результати, які в сукупності дозволили вирішити актуальну науково-практичну проблему забезпечення несучої здатності стикових з'єднань із підвищеним опором зрізу залізобетонних

конструкцій і має важливе теоретичне та практичне значення. Наведені зауваження не впливають на загальну схвальну оцінку роботи та можуть бути враховані при подальших дослідженнях автора.

Дисертаційна робота відповідає вимогам Наказу МОН України від 12 січня 2017 року №40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (із змінами), паспорту спеціальності 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди та кваліфікаційним вимогам пунктів 6 – 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року №1197, а її авторка Довженко Оксана Олександрівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент, завідувач кафедри міського будівництва та господарства Національного університету водного господарства та природокористування Міністерства освіти і науки України доктор технічних наук, професор

Дмитро КОЧКАРЬОВ

*Фізічне Д.Кочкарьова засвірюю.*

*Учений секретар Зоя Сасюк*

