

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»



ДОВЖЕНКО ОКСАНА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 624.012.4.046.078:621.886.6

**«СТИКОВІ З'ЄДНАННЯ З ПІДВИЩЕНИМ ОПОРОМ ЗРІЗУ
НЕСУЧИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ»**

Спеціальність 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди
Галузь знань 19 – Архітектура та будівництво

Реферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Полтава – 2026

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Семко Олександр Володимирович,
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», завідувач кафедри будівництва та цивільної інженерії.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кочкаръов Дмитро Вікторович,
Національний університет водного господарства та природокористування Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри міського будівництва та господарства;

доктор технічних наук, професор
Нікіфорова Тетяна Дмитрівна,
Український державний університет науки і технологій Міністерства освіти і науки України, декан будівельного факультету Навчально-наукового інституту «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»;

доктор технічних наук, доцент
Карпюк Ірина Анатоліївна,
Одеська державна академія будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України, доцент кафедри основ і фундаментів.

Захист дисертації відбудеться «09» червня 2026 року, о 11³⁰, на засіданні спеціалізованої вченої ради Д44.052.02 при Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» за адресою: 36011, м. Полтава, проспект Віталія Грицаєнка, 24, ауд. 218.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» за адресою: 36011, м. Полтава, проспект Віталія Грицаєнка, 24, ауд. 218.

<https://nupp.edu.ua/page/spetsializovani-vcheni-radi-po-zakhistu-disertatsij.html>

Реферат розісланий: «07» травня 2026 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Т.А. Галінська

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На теперішній час у цивільному будівництві набувають розповсюдження сучасні збірно-монолітні каркасні конструктивні системи: як балкові так і безбалкова. Однак, багаторічний досвід країн Європи засвідчує, що інтенсивне нарощування обсягів будівництва неможливе і без модернізованого панельного домобудування. При реалізації збірно-монолітних будівель специфічною вимогою є забезпечення несучої здатності контактної стики збірного елемента й монолітного бетону, що потребує виконання його розрахунку. Особливу увагу при проектуванні збірних і збірно-монолітних конструктивних систем із залізобетону необхідно приділяти стикам несучих елементів, які забезпечують їхню спільну роботу під навантаженням. Серед них істотну роль відіграють шпонкові з'єднання із підвищеним опором зрізу.

Однак, вплив на їх несучу здатність великої кількості факторів, встановлених експериментально, не систематизовано. Відсутні узагальнені рекомендації щодо умов досягнення елементами з'єднань найбільшого опору. Тому, проведення комплексних експериментальних досліджень шпонкових з'єднань є актуальним та важливим завданням. Аналіз характеру їх руйнування сприяє розробленню розрахункових схем для обґрунтованого визначення несучої здатності на єдиній теоретичній основі із врахуванням найбільш повної кількості визначальних факторів.

В існуючих методах розрахунку стиків домінує емпіричний підхід і запропоновані залежності мають обмежені конструктивними рішеннями окремих з'єднань області застосування.

В якості загальної теоретичної основи для створення методології оцінювання несучої здатності шпонкових з'єднань залізобетонних конструкцій перспективним є використання теорії пластичності бетону, що приводить до простих розрахунків при складних неоднорідних напружено-деформованих станах. Визначення граничного навантаження із урахуванням пластичних деформацій ґрунтується на статичному або кінематичному методах оцінки величини несучої здатності.

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 гарантування сумісної роботи елементів сучасних конструктивних систем будівель і споруд. При цьому існує необхідність вивчення специфіки напружено-деформованого стану стиків, систематизації впливу на несучу здатність сукупності визначальних факторів, надання рекомендацій щодо значень їх показників, за яких несуча здатність з'єднань максимальна, визначення інтервалів унеможливлення крихкого руйнування шпонкових стиків та обґрунтування на основі отриманих результатів дослідження можливості удосконалення конструктивних рішень і підвищення експлуатаційної придатності стикових з'єднань.

Структурно-логічна схема проведених досліджень наведена на рис. 1.

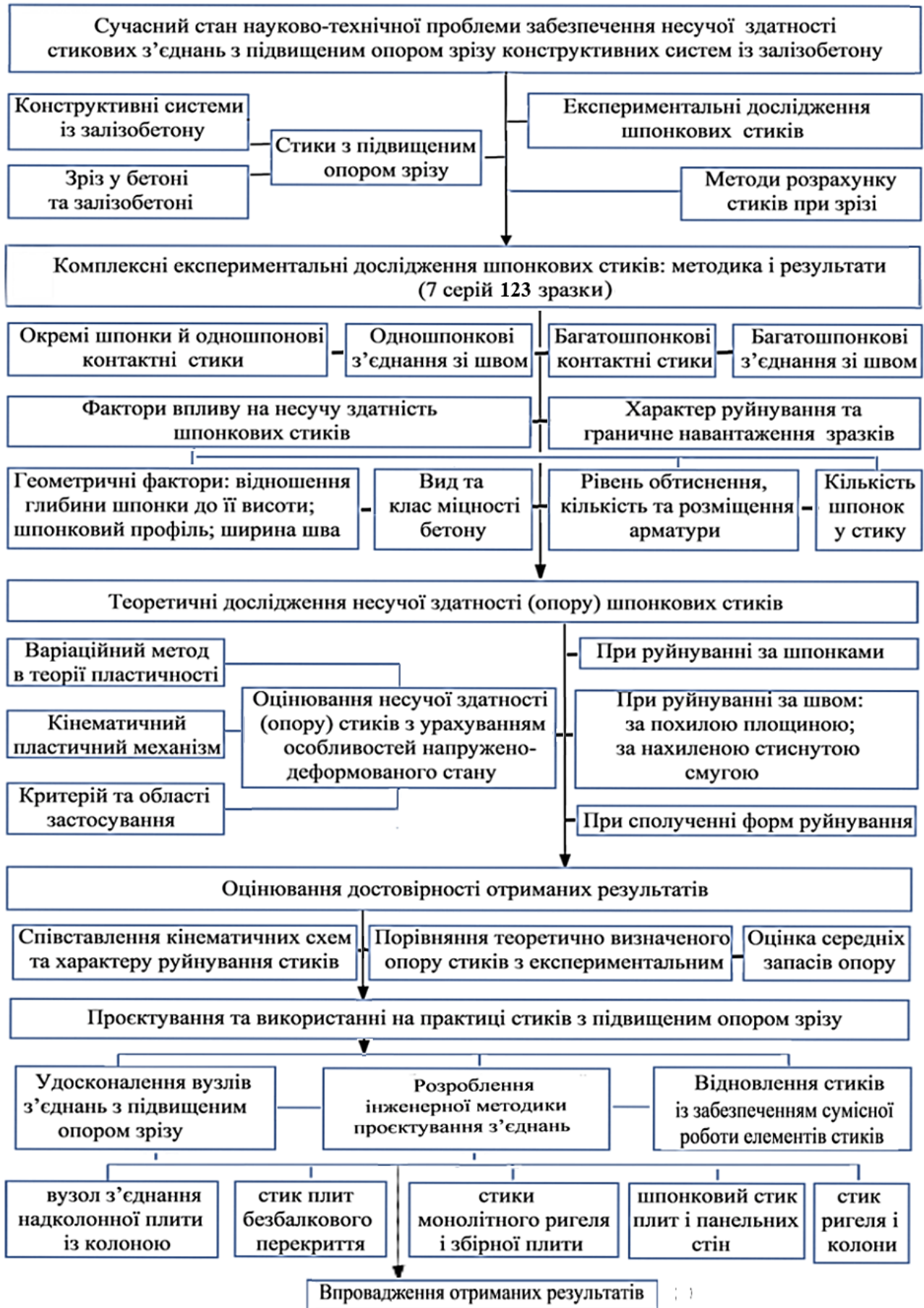


Рисунок 1 – Структурно-логічна схема досліджень

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи й отримані результати відповідають науково-технічній політиці держави щодо енергетичної ефективності та ресурсозбереження, в тому числі у сфері будівництві, згідно Закону України від 11.07.2001 р. № 2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» із змінами від 13.01.2024 р. № 3534-IX, постанови КМУ від 23.05.2011 р. № 547 «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу» та постанови КМУ від 19.04.2022 р. № 473 із змінами № 806 від 09.07.2024 р. про затвердження «Порядку виконання невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків збройної агресії Російської Федерації, пов'язаних із пошкодженням будівель та споруд» із змінами від 22.10.2025 р. № 1347.

Проведені дослідження відповідають пріоритетному напрямку науково-дослідних робіт кафедри будівельних конструкцій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» на тему: «Дослідження і розроблення інженерних методів розрахунку опору руйнуванню й деформуванню бетонних і залізобетонних, кам'яних та армокам'яних елементів, що зазнають неоднорідний напружено-деформований стан при різному характері впливів і середовища» (номер державної реєстрації 0117U003248), за якою здобувачка є науковим керівником, та виконувалися у межах держбюджетних тем університету: «Збірно-монолітна конструктивна система під соціальне житло» (номер державної реєстрації 0113U000383); «Комплексні конструктивні рішення забезпечення енергоефективності громадських будівель в умовах євроінтеграції» (номер державної реєстрації 0118U 001097); «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).

Метою роботи є вирішення важливої науково-технічної проблеми забезпечення несучої здатності стикових з'єднань із підвищеним опором зрізу збірних і збірно-монолітних залізобетонних несучих конструкцій шляхом розроблення методології їх розрахунку з використанням варіаційного методу в теорії пластичності бетону і врахування специфіки напружено-деформованого стану для підвищення достовірності й ефективності проектування, удосконалення конструктивних рішень, відновлення експлуатаційної придатності.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні **задачі дослідження**:

– виконати аналіз досліджень явища зрізу як форми руйнування бетону та залізобетону, граничного напружено-деформованого стану й опору стикових з'єднань несучих залізобетонних елементів сучасних конструктивних систем будівель і споруд;

– розробити й обґрунтувати методику комплексних експериментальних досліджень шпонкових з'єднань;

– провести експериментальні дослідження окремих шпонок та одношпонкових стиків, проаналізувати деформований стан бетону й арматури та визначити опір дослідних зразків залежно від їх геометричних параметрів та міцності бетону;

– оцінити вплив обтиснення й армування на опір окремих шпонок та одношпонкових стиків;

– провести експериментальні дослідження багатошпонкових з'єднань, проаналізувати напружено-деформований стан та визначити граничний опір дослідних зразків;

– визначити показники факторів впливу, за яких опір елементів шпонкових з'єднань є максимальним, та їх інтервали, коли крихке руйнування неможливе;

– на основі отриманих результатів експериментальних досліджень запропонувати кінематичні схеми руйнування шпонкових з'єднань;

– розробити методологію розрахунку несучої здатності шпонкових з'єднань із застосуванням варіаційного методу в теорії пластичності бетону та врахуванням специфіки їх напружено-деформованого стану, характеру руйнування та сукупності факторів впливу;

– оцінити достовірність отриманих теоретичних результатів несучої здатності стикових з'єднань;

– запропонувати інженерну методику розрахунку шпонкових з'єднань з рекомендаціями щодо областей їх ефективного використання;

– вдосконалити конструктивні рішення стиків із підвищеним опором зрізу.

Об'єкт дослідження: зрізання стикових з'єднань несучих залізобетонних конструкцій.

Предмет дослідження: несуча здатність стикових з'єднань із підвищеним опором зрізу.

Методи дослідження: аналітичний огляд літературних джерел; варіаційний метод у теорії пластичності бетону з використанням концепції жорстко-пластичного тіла і розривних полів швидкостей; експериментальні дослідження; оброблення й аналіз даних порівняння результатів експериментальних і теоретичних досліджень.

Наукова новизна 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 систематизовані 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 грачних 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.

Достовірність отриманих наукових результатів забезпечується застосуванням сучасних методів досліджень стикових з'єднань залізобетонних конструкцій з використанням силового обладнання та виміррювальної апаратури лабораторії кафедри будівельних конструкцій, екстремального принципу механіки деформівного твердого тіла, збіжністю розрахункових моделей із фактичним характером руйнування та визначених теоретичних і експериментальних значень несучої здатності (опору) за різних конструктивних рішень 224-ох стиків.

Практичне значення отриманих результатів полягає у:

– розробленні інженерної методики розрахунку несучої здатності шпонкових з'єднань з пропозиціями щодо їх застосування;

– ефективності використання шпонкових з'єднань залізобетонних несучих конструкцій у практиці проектування, реконструкції, технічного переоснащення й експлуатації стикових з'єднань об'єктів житлового, громадського та виробничого призначення, а також захисних споруд цивільного захисту в збірному, збірно-монолітному та монолітному (з перервою у бетонуванні) виконанні, застосування яких обумовлено 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, 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, суцільних плит безбалково-безконсольного перекриття й інших з'єднань із підвищеним опором зрізу.

Отримані 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 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 улаштуванням 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;
 - підсиленні несучих стін та стрічкових фундаментів для подальшої надійної експлуатації будівель шляхом влаштування шпонкових стиків бетонного підсилення й існуючих стіни та фундаментів;
 - відновленні експлуатаційної придатності плит перекриття в місцях їх спирання на стіни та поперечних і поздовжніх стін на їх перетині із забезпеченням сумісної роботи при влаштуванні залізобетонних шпонок у порожнинах багатопорожнистих плит на опорних ділянках та на перетині стін;
 - удосконаленні вузлів з'єднань несучих багатопорожнистих плит перекриття з монолітними ригелями та несучими стіновими панелями, вертикальних стиків стінових панелей та стиків суцільних плит перекриття між собою із застосуванням гнучких петель за типом «Реіко» та інших в межах виконання держбюджетної тематики, пов'язаної із конструктивними рішеннями стикових з'єднань з підвищеним опором зрізу;
 - підготовці бакалаврів, магістрів і аспірантів за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» у Національному університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».
- Впровадження результатів досліджень підтверджені довідками.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні наукової проблеми, встановленні можливості та визначенні областей реалізації пластичного кінематичного механізму, обґрунтуванні методики проведення комплексних випробувань шпонкових стиків, безпосередній участі в експериментальних дослідженнях і аналізі отриманих результатів, створенні з використанням варіаційного методом у теорії пластичності та принципу віртуальних швидкостей методології оцінювання несучої здатності стикових з'єднань з підвищеним опором зрізу із урахуванням впливу визначальних факторів, перевірці достовірності запропонованої методології розрахунку, наданні рекомендацій з проектування та вдосконалення стиків з підвищеним опором зрізу.

Викладені у дисертаційній роботі наукові ідеї, основні положення, теоретичні розробки та практичні результати отримані автором самостійно.

Вклад здобувачки у проведених спільно з співавторами дослідженнях деталізовано в списку публікацій за темою дисертації.

У дисертації не використовувались матеріали кандидатської дисертації здобувачки.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи оприлюднені на: 2nd fib Congress (June 5 – 8, 2006), Naples; 13th fib International PhD Symposium in Civil Engineering (August 26–28, 2020), Paris; II Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні наукові дослідження-2006» (20–28 лютого 2006 р.), Дніпро; Міжнародній конференції «Питання. Відповіді. Гіпотези: наука XXI століття» (30–31 травня 2014 р.), Гданськ; Міжнародній науково-практичній конференції «Modern scientific researches and developments: theoretical value and practical results» (15–18 березня 2016 р.), Братислава; Міжнародній науково-технічній конференції, присвяченій 90-річчю з дня народження професора В.К. Єгупова «Проблеми теорії і практики сейсмостійкого будівництва» (25–29 жовтня 2016 р.), Одеса: ОДАБА; 6-й–9-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (19–21 квітня 2017 р.), (14–16 листопада 2018 р.), (20–22 листопада 2019 р.), (17–19 листопада 2021 р.), Харків: УкрДУЗТ; Міжнародній науково-практичній конференції «Жаңа құрылыс тенденциялары 21 ғасырда», 2017, Алмати: АТ «КазНДІБА»; Міжнародній конференції «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону» (жовтень 2017 р.), Полтава – Київ: ДП НДІБК; III Міжнародній науково-технічній конференції «Ефективні технології в будівництві» (28–29 березня 2018 р.), Київ: КНУБА; I і III Міжнародних азербайджансько-українських конференціях «Building innovations – 2018» (24–25 травня 2018 р.) і «Building innovations – 2020» (1–2 червня 2020 р.), Баку–Полтава; II і IV Міжнародних українсько-азербайджанських конференціях «Building innovations – 2019» (23–24 травня 2019 р.) і «Building innovations – 2021» (20–21 травня 2021 р.), Полтава – Баку; XII Міжнародній науково-практичній конференції «Академічна й університетська наука: результати та перспективи» (6 грудня 2019 р.), Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»; XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Академічна й університетська наука: результати та

перспективи», присвяченій 90-річчю Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» та пам'яті президента Національної академії наук України, академіка НАН України Бориса Євгеновича Патона (10–11 грудня 2020 р.), Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»; Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність на транспорті» (18–20 листопада 2020 р.), Харків: УкрДУЗД; 9-й Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (17–19 листопада 2021 р.), Харків: УкрДУЗТ; XIX Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології у будівництві, цивільній інженерії та архітектурі» (19–22 вересня 2021 р.), Чернігів; IV Міжнародній конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд» (09–11 вересня 2021 р.), Одеса: ОДАБА; XIV Міжнародній науково-технічній конференції «Комплексні композитні конструкції будівель та споруд в умовах воєнного стану (CSCS – 2022)» (20–22 червня 2022 р.), Полтава; Міжнародній науково-технічній on-line конференції «Проблеми будівельного та транспортного комплексів» (23–24 травня 2023 р.), Кропивницький: ЦНТУ; 10-й Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (20–22 листопада 2024 р.), Харків: УкрДУЗТ; Міжнародних науково-технічних конференціях «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди» в період 2005–2024 рр., Рівне: УДУВГП; Міжнародній науково-технічній конференції «Сталий розвиток та відновлення об'єктів міської інфраструктури» (MistoBUD-2025), (30 січня – 01 лютого 2025 р.), Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова; наукових конференціях професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» в період 2011 – 2025 роки.

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

Публікації. Результати дисертації опубліковані в 99 наукових працях: 5 монографіях, серед яких дві одноосібні; 16 статях у виданнях іноземних держав, серед яких 14 у виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus, 3 у базі даних Web of Science Core Collection; 48 статях у фахових виданнях України; 25 матеріалах і тезах конференцій; колективній монографії; 4-х патентах на корисну модель.

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 сторінок додатків і має 52 таблиць та 265 рисунки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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 публікації й особистий внесок здобувача, апробацію та впровадження матеріалів дисертації, представлено її структура й обсяг.

У **першому розділі** розглянуті сучасні конструктивні системи будівель і споруд із залізобетону, зокрема: збірно-монолітні каркаси з класичною рамно-в'язевою системою колон, ригелів і плит перекриттів та безбалковими перекриттями, а також модернізоване панельне домобудування, важливими складовими яких є стикові з'єднання несучих конструкцій, що гарантують їх сумісну роботу. При реалізації збірно-монолітного будівництва специфічною вимогою є забезпечення несучої здатності контактного стику збірного елемента й монолітного бетону. Стики, що працюють на сприйняття поперечних сил, передбачають конструктивні рішення із підвищеним опором зрізу. У цьому напрямку перспективним є застосування шпонкових з'єднань.

Зрізова форма руйнування бетону і залізобетону різноманітна та реалізується в елементах із різним напружено-деформованим станом, які відрізняються геометричними формами та схемами передачі навантаження, зокрема в стикових з'єднаннях ригелів із колонами, колон із фундаментами, горизонтальних і вертикальних стиках стінових панелей, контактних стиках збірно-монолітних конструкцій, стиках плит перекриттів і покриттів між собою, з ригелями, стіновими панелями та колонами.

Вдосконаленню стикових з'єднань несучих залізобетонних елементів конструктивних систем присвячені роботи: Aninthaneni P.K., Dijk K., Josel V., Mironova Ju., Pessiki S., Prior R.C., Wu B., Бабича Є.М., Бамбури А.М., Буцької О.Л., Клімова Ю.А., Кривельова Л.І., Нікіфорової Т.Д., Павлікова А.М., Помазана М.Д., Савицького М.В., Семка О.В., Шмуклера В.С. та інших.

У зв'язку із необхідністю вирішення широкого кола практичних завдань несучої здатності стикових з'єднань вивчення явища зрізу в бетоні має важливе значення. Здійснювалися спроби встановити характеристику міцності бетону при так званому «чистому зрізі» f_{sh} із подальшим застосуванням принципу «суперпозицій», накладаючи вплив бокового стиску або розтягу. З метою її отримання проводилися пошуки зразка, в якому «чистий зріз» як частинний випадок напруженого стану та форма руйнування суміщаються. Даним питанням займалися: Bach F., Bazant Z.P., Benhassine M., Boulifa R., Boulifa R., Bresler B., Chau K.T., Dutron, Gadve S., Grassan N., Hager K., Jajodia R., Josel V., Kaliyavaradhan S.K., Kumar G.R., Kurup A., Ma S.K.Y., Mersh E., Pfeiffer P.A., Pister S., Samai M., Rajesh C., Resan S.F., Wong R., Гвоздев О.О., Калнайс А.А., Куннос Г.Я., Мягков М.П., Петров О.М., Пірадов О.Б., Рохлін І.О. та інші. Однак, при напруженому стані «чистий зріз» зразки руйнувалися від відриву, а при зрізі на поверхні руйнування діють як дотичні, так і нормальні напруження і характеристика міцності бетону суттєво відрізняється. Тому опір зрізу необхідно визначати з урахуванням особливостей напружено-деформованого стану елементів у кожному випадку окремо.

Згідно експериментальних досліджень руйнування шпонкових з'єднань відбувається шляхом зсуву: без руйнування шпонок; за нахиленою або наближеною до вертикалі площиною шпонок та за швом. Залежно від геометричних параметрів шпонки, шва, армування, рівня обтиснення із перерахованих реалізується випадок, який характеризується мінімальним значенням граничного навантаження.

Аналіз наявних дослідних даних дозволяє класифікувати перелік факторів, котрі визначають несучу здатність шпонкових стиків: зчеплення бетону, укладеного в різний час; нерівномірність розподілу дотичних зусиль за довжиною стику (кількість шпонок) та ширина шва (фактори шва); а також параметри, котрі обумовлюють опір окремої шпонки (геометричні розміри та їх співвідношення, кут нахилу опорних поверхонь, форма робочого перерізу, обтиснення (розтягання) у площині, перпендикулярній навантаженню, армування (кількість арматури та характер її розташування). У цьому напрямку слід відмітити наукові праці: Ahmed G.H., Andersen H.B., Alcalde M., Araujo D.L., Biswal A., Bu Z.-Y., Buyukozturk O., Chen L., Cristofferson J., Fauchart J., Feng F., Fischer G., Ge P., Guan D., Hamadi Y.D., Hoang L.C., Holly I., Hou W., Houborg J., Hu Y., Hussein H.H., Ibrahim I.S., Jensen B.C., Jiang H., Jin-Ping Z., Jørgensen H.B., Kare K.B., Kaya S., Kumar P.R., Liu T., Naotaka Y., Nicula I., Norimono T., Olesen J.F., Poulsen D.G., Prasad A.M., Sengupta A.K., Shamass R., Shehata I.A.E.M., Song S., Sørensen J.H., Traver-Abella C., Turmo J., Rizkalla S.H., Rombach G., Saibabu S., Wu B., Yan X., Ye M., Zech U.I., Zhang X., Zhi Q., Zhou X., Ашкінадзе Г.І., Бобришева П.М., Герасімової І.Л., Горачека Е., Єськова В.С., Каранфілова Т.С., Кваші В.Г., Коноводченка В.І., Коваля П.М., Коровіна М.М., Лишака В.І., Лотоевої Є.Г., Мартинової Н.Г., Парамзіна А.М., Пуме Д., Рохліна І.О., Семченкова А.С., Соколова Б.С., Черкашина О.В. та інші. Але вплив факторів оцінюється неоднозначно. У дослідників відсутня єдина точка зору стосовно наявності на поверхні зрізу пластичної деформації. Отже, існує необхідність поглибленого комплексного експериментального дослідження впливу визначальних факторів та їх сполучення на опір з'єднань.

Методи розрахунку стикових з'єднань, як правило, базуються на емпіричній основі, їх найсуттєвішим недоліком є частинний характер отриманих формул, пов'язаний із умовами виконаних експериментів, що не дозволяє використовувати їх із достатнім ступенем достовірності.

Застосування методу скінченних елементів (МСЕ) при моделюванні поведінки стикових з'єднань дозволяє описувати складні моделі, враховувати нелінійність роботи матеріалів, процес тріщиноутворення та розвитку тріщин; зважати на взаємодію елементів з'єднань. У цьому напрямку слід відмітити роботи Alfano G., Chen Z., Fang Z.C., Feng J., Herfel M.A., Hoang L.C., Jensen J.F., Jiang H.B., Jørgensen H.B., Li J.H., Li Z., Ma J., Matsumoto K., Mehrpay S., Poulsen P.N., Sha Z., Shamass R., Shao Ju., Ueda T., Di Wang S., Wang Z., Xiao J., Yue F., Zhan U., Zhou X., Zhao Sh. й інші. Однак, МСЕ потребує суттєвого коригування для розв'язання кожної конкретної задачі, що значно ускладнює оцінювання несучої здатності стиків.

Тому доцільним є розроблення достатньо загальної методології розрахунку несучої здатності стикових з'єднань на загальній теоретичній основі, в якості якої може виступати теорія пластичності бетону. В цьому напрямку відомі дослідження Baker A.L.L., Braestrup M.W., Cavagnis F., Chen W-F., Collins M.P., Drucker D.C., Heyman J.J., Hill R., Hoang L.C., Hodge P.G., Hsu T.T.C., Ibell T.J., Johansen K.W., Koiter W.T., Marti P., Morley C.T., Mueller P., Muttoni A., Nielsen M.P., Paul B., Prager W.A., Schlaich J., Vecchio F.J., Гвоздева О.О., Генієва Г.О, Клименка Є.В., Митрофанова В.П., Погрібного В.В, Соколова Б.С. та інших. Розрахунок за домінування пластичної деформації ґрунтується на верхній та нижній оцінці граничного навантаження, при цьому кінематичний підхід менш розвинутий ніж статичний.

Пропонується у якості теоретичної основи розрахунку використовувати варіаційний метод у теорії пластичності, котрий розглядає кінематично можливі схеми руйнування стиків. Функціонал методу має вигляд:

$$J = \int_{S_l} W_c dS - \int_{S_f} f_i^* V_i dS - \int_{S_V} f_i V_i^* dS, \quad (1)$$

де W_c – питома потужність пластичного деформування бетону; S_l – площа поверхні локалізації пластичної деформації, f_i^* , V_i^* – задані сили і швидкості на ділянках S_f і S_V поверхні твердого тіла $S = S_f \cup S_V$.

Для плоских напружених станів перший член виразу (1) виглядає як:

$$J = \int_{S_l} m \left\{ 2B + \left[1 + 0,25 \left(\frac{\Delta V_t}{\Delta V_n} \right)^{0,5} \right] - 1 \right\} \Delta V_n dS, \quad (2)$$

тут $m = f_c - f_{ct}$, $B^2 = [1 + \chi / (1 - \chi)^2 / 3]$, $\chi = f_{ct} / f_c$, ΔV_t , ΔV_n – розриви дотичної та нормальної до S_l складових швидкості.

Приймаючи до уваги обмежені пластичні властивості бетону, за наявності зон стиску і розтягу на поверхні руйнування одночасність існування граничного стану за всією цією областю можна вважати характерною рисою пластичного кінематичного механізму тіл та якісним критерієм можливості застосування теорії пластичності до розрахунку несучої здатності (опору) стиків бетонних і залізобетонних конструкцій (елементів).

У другому розділі обґрунтована методика комплексних експериментальних досліджень шпонкових стиків, у межах якої випробовувалися 5 типів дослідних зразків: хрестоподібні (рис. 2, а), котрі моделювали роботу окремої шпонки; одношпонкові контактні (рис. 2, б) та з'єднання зі швом (рис. 2, в); тришпонкові стики зі швом (рис. 2, г); контактні бетонні та залізобетонні стики із різною кількістю шпонок (1, 3, 5 і 8) (рис. 2, д).

Програмою дослідження передбачалося випробування 7 серій зразків (усього 123 зразки), в яких вивчався вплив на опір таких факторів як: відношення глибини шпонки до її висоти (1-а серія, 19 зразків, рис. 3); рівня обтиснення σ / f_c (2-а серія, 29 зразків, рис. 4); поперечного армування (3 серія, 21 зразок, рис. 5); форми профілю, тертя на опорних поверхнях і армування

одношпонкового контактної стику (4-а серія, 17 зразків, рис. 6); ширини шва одношпонкового з'єднання (5-а серія, 7 зразків, рис. 7); ширини шва, профілю тришпонкового з'єднання, а також кількості та характеру розташування арматури (6-а серія, 19 зразків, рис. 8); кількості шпонок багатшпонкового контактної стику (7-а серія, 11 зразків, рис. 9). Додатковим фактором впливу в усіх серіях був вид (важкий, керамзитобетон і фібробетон) і клас бетону.

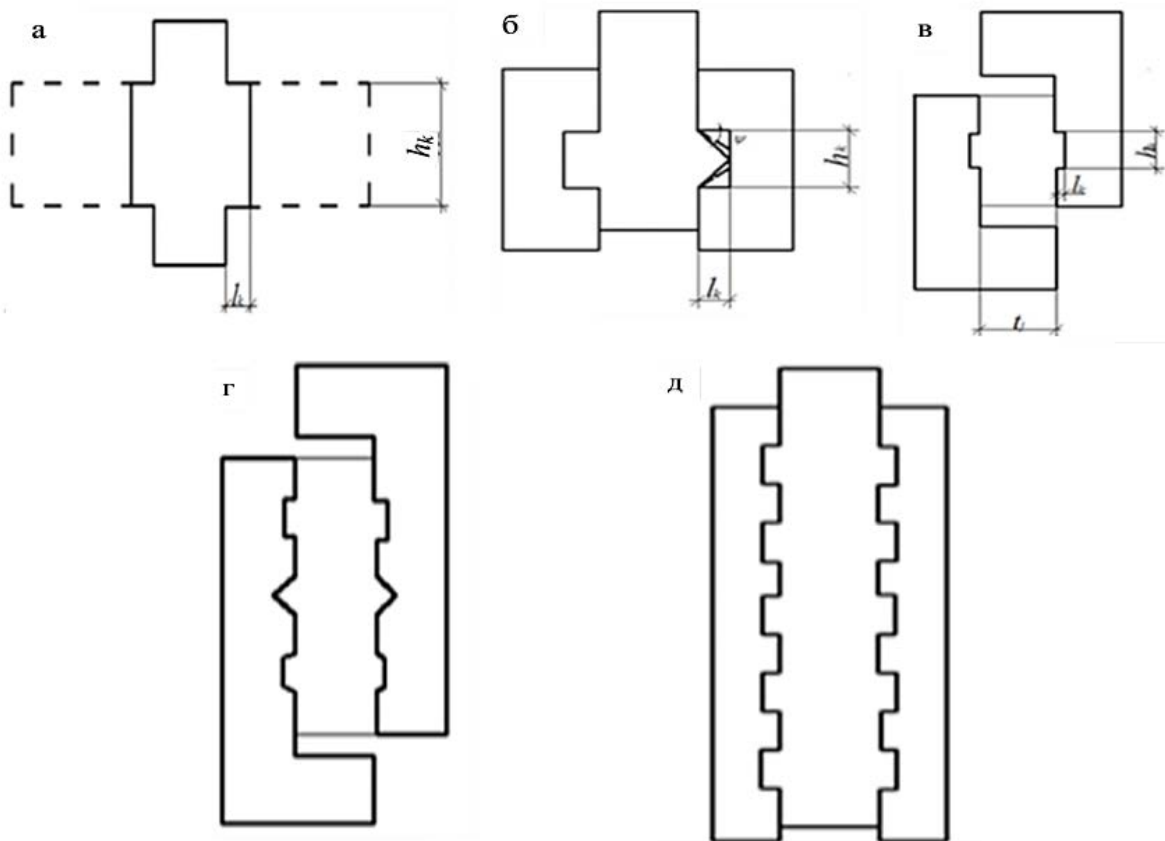


Рисунок 2 – Типи дослідних зразків при оцінюванні впливу: а – l_k / h_k , σ / f_c , ρ_{sw} ; б – ψ , ρ_{sw} ; в – t_j ; г – форми профіля і ρ_{sw} ; д – кількості шпонок і ρ_{sw}

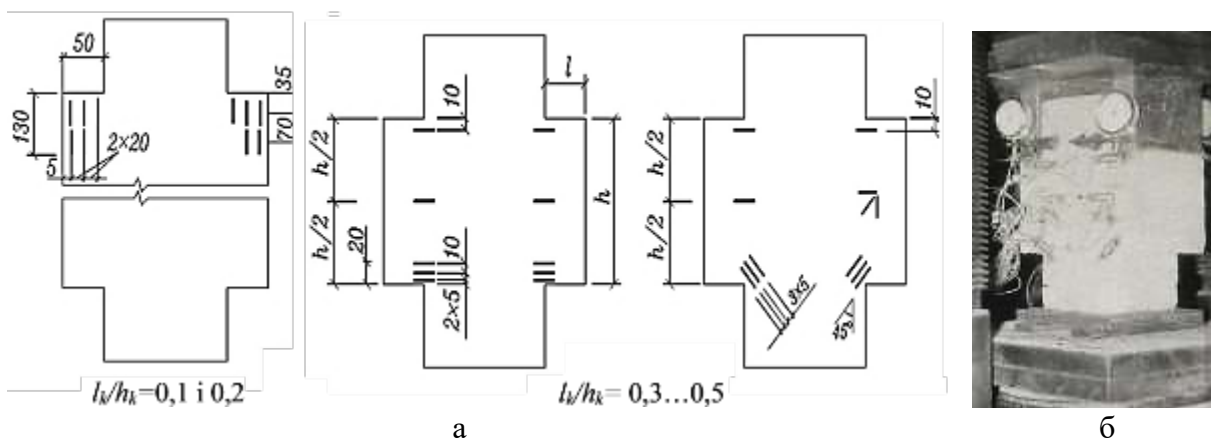


Рисунок 3 – Розташування тензорезисторів (а) та індикаторів, випробування окремих шпонок у пресі при зміні l_k / h_k (б)

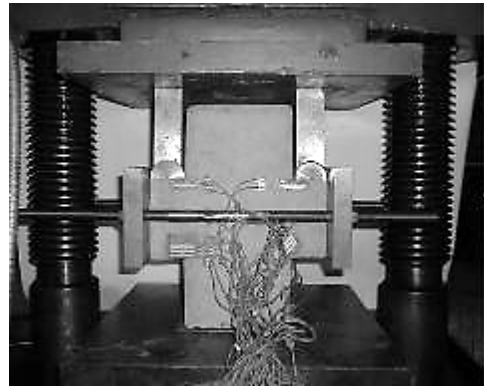
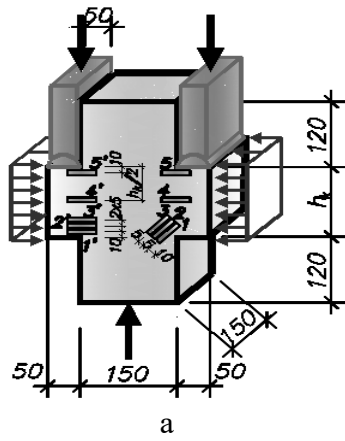
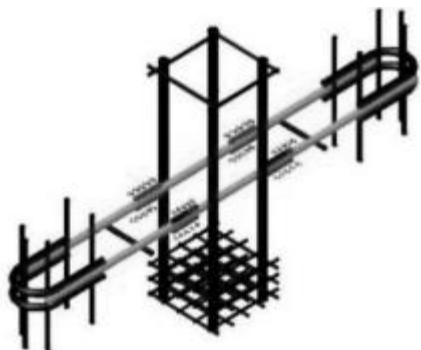
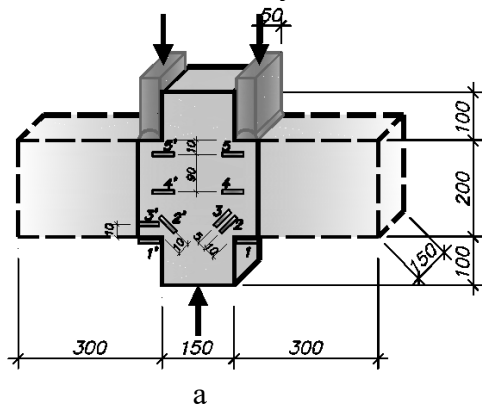
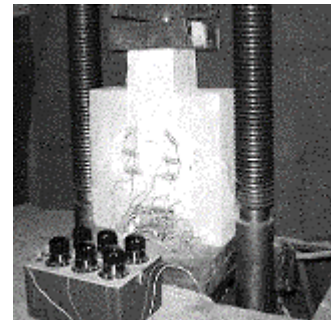
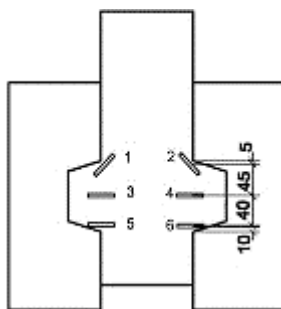


Рисунок 4 – Розташування тензорезисторів і схема випробування бетонних обтиснутих шпонок (а), зразок у пресі (б)



в

Рисунок 5 – Залізобетонні шпонки: а – розташування тензорезисторів і схема випробування; б – зразок у пресі; в – арматурні каркаси



а

б

в

Рисунок 6 – Контактні одношпонкові стики: а – арматурні каркаси з тензорезисторами (а); схеми тензорезисторів на бетоні (б); зразок у пресі (в)

Обтиснення бетонних шпонок суттєво підвищує значення руйнівного навантаження: при зростанні рівня обтиснення σ/f_c від 0 до 0,32 відносний опір $f_{sh,\sigma}^k / f_c$ за $l_k/h_k = 0,5$ збільшується до 2,5 разів, при зміні обтиснення від 0,3 до 0,47 за $l_k/h_k = 1$ в 1,4 рази (рис. 11).

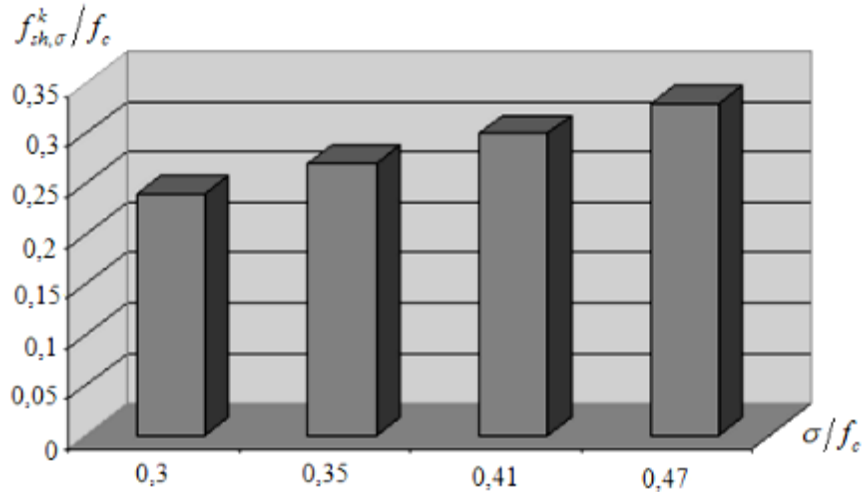


Рисунок 11 – Відносний опір бетонних шпонок залежно від рівня обтиснення

При обтисненні характер руйнування шпонок принципово не змінюється (всі дослідні зразки зруйнувалися від зрізу), однак стиснута зона збільшується та руйнівна поверхня віддаляється від вертикальної площини (рис. 12, а). Обтиснення розширює межі зрізової форми руйнування для бетонних шпонок до $l_k/h_k = 1$ (рис. 12, б).

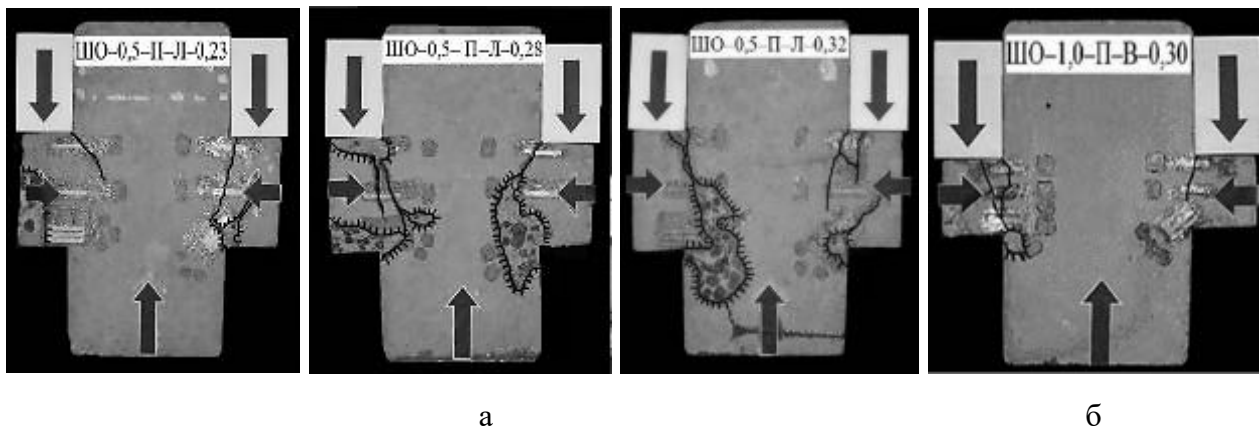


Рисунок 12 – Характер руйнування обтиснутих шпонок: а – при $l_k/h_k = 0,5$ за обтиснення $\sigma/f_c = 0,23-0,32$; б – при $l_k/h_k = 1$ за $\sigma/f_c = 0,3$

Поперечне армування впливає на опір шпонок аналогічно обтисненню. При $\rho_{sw} = 1,03\%$ за $l_k/h_k = 0,25$ і $\rho_{sw} = 1,99\%$ за $l_k/h_k = 0,5$ опір відповідно керамзитобетонних і фібробетонних шпонок зростає в 2 рази. За ефективний пропонується рахувати відсоток армування $\rho_{sw} = 1\%$.

Рознесення арматури у два яруси за висотою шпонки призводить до збільшення опору до 10 % та більш пластичного характеру руйнування (рис. 13).

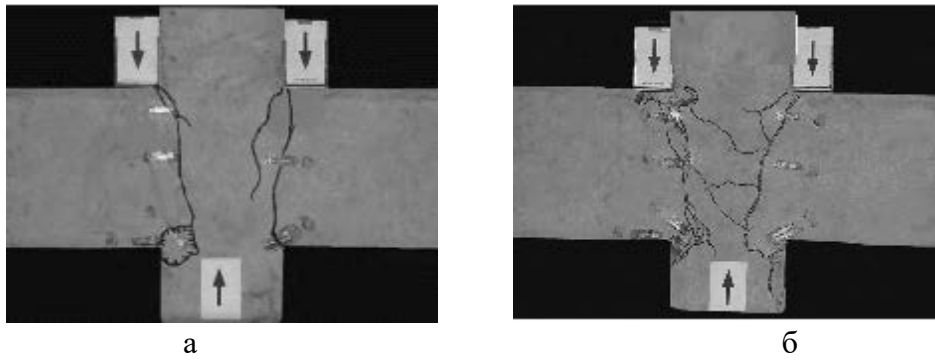


Рисунок 13 – Характер руйнування залізобетонних шпонок: при одноярусному (а) та двоярусному (б) розташуванні арматури

При зрізі шпонок на поверхні руйнування наявні стиснуті та розтягнуті ділянки. 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 $\varepsilon_c=2,2-2,9\%$, при $V/V_u \geq 0,8$ суттєво зростає пластична складова деформації (рис. 14). Відносні деформації стиску керамзитобетону досягають при армуванні шпонки посередині висоти за $\rho_w=0,76\%$ і $l_k/h_k=0,25$ $\varepsilon_c=1,9\%$ (для фібробетону $\varepsilon_c=2,4\%$), за двоярусного розташування арматури – $\varepsilon_c=2,9\%$.

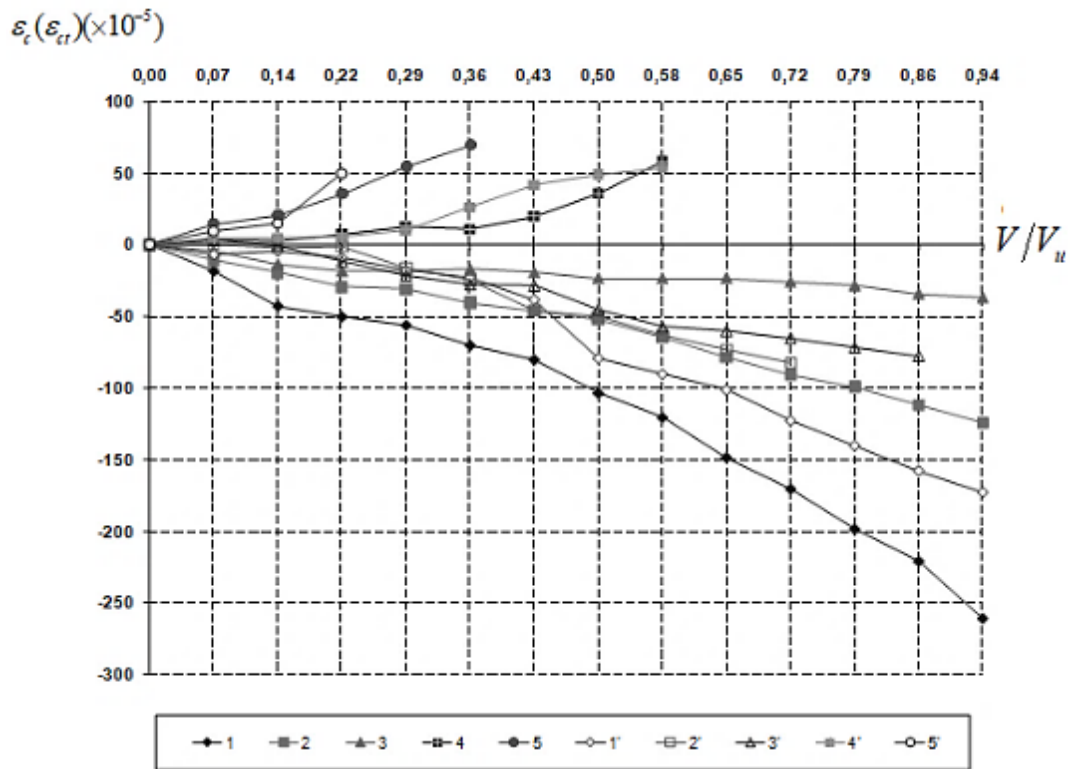


Рисунок 14 – Залежність « ε_c (ε_{ct}) – V/V_u » при обтисненні бетонної шпонки ШО-1,0-П-В-0,35 (за $l_k/h_k=1$ і $\sigma/f_c=0,35$)

У зразках при двоярусному розташуванні арматури значення відносних деформацій бетону при руйнуванні були на (20 – 40)% більшими, ніж у аналогічних зразків за одноярусного армування (рис. 15).

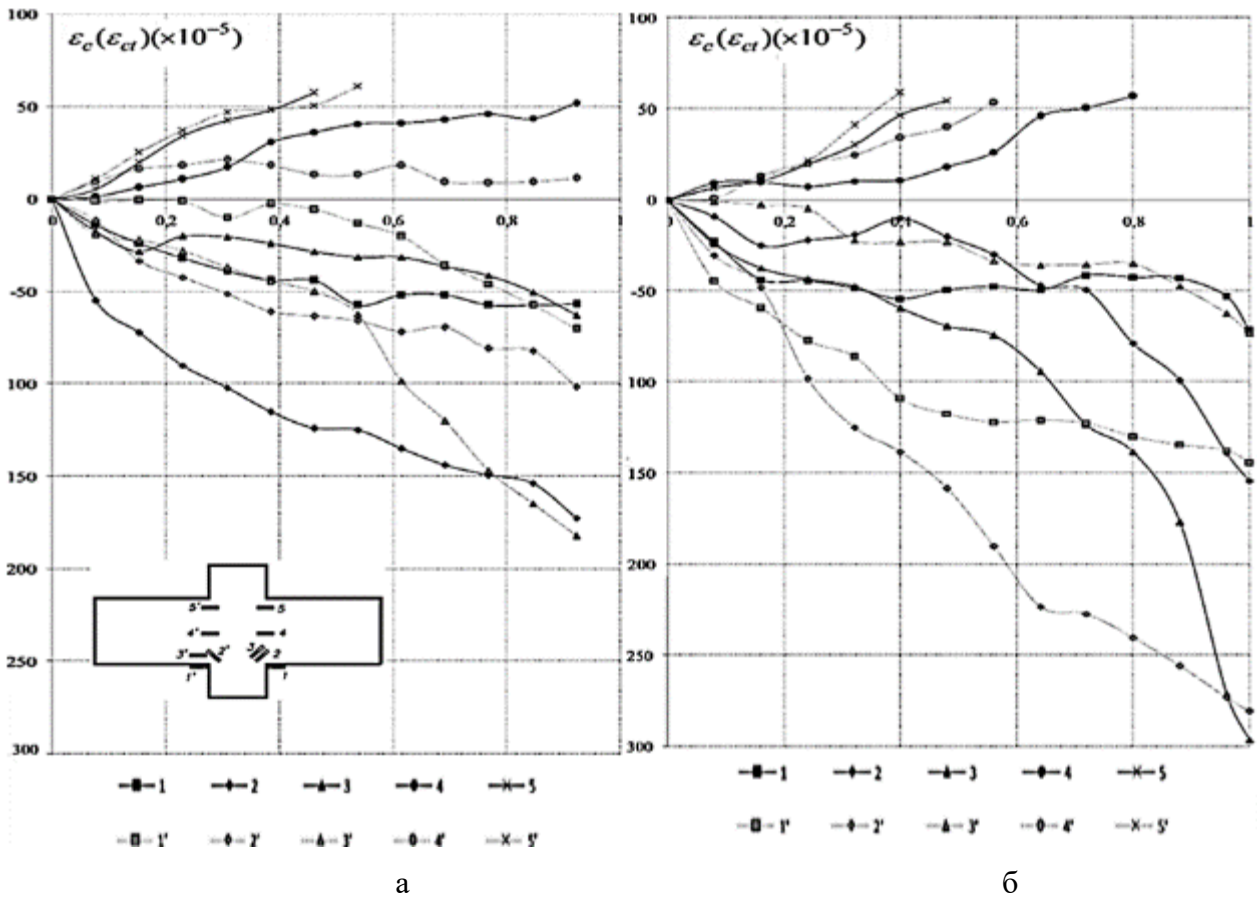


Рисунок 15 – Залежність « $\varepsilon_c (\varepsilon_{ct}) - V/V_u$ » для залізобетонних шпонок при розташуванні арматури за висотою шпонки: а – одноярусному ($2 \text{ } \varnothing 12, \rho_{sw} = 0,76$); б – двоярусному ($4 \text{ } \varnothing 8, \rho_{sw} = 0,67$)

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 (рис. 16). Використання фібробетону в якості матеріалу для улаштування стиків призводить до збільшення їх тріщиностійкості та несучої здатності, зміни характеру руйнування із зовні крихкого до умовно пластичного.

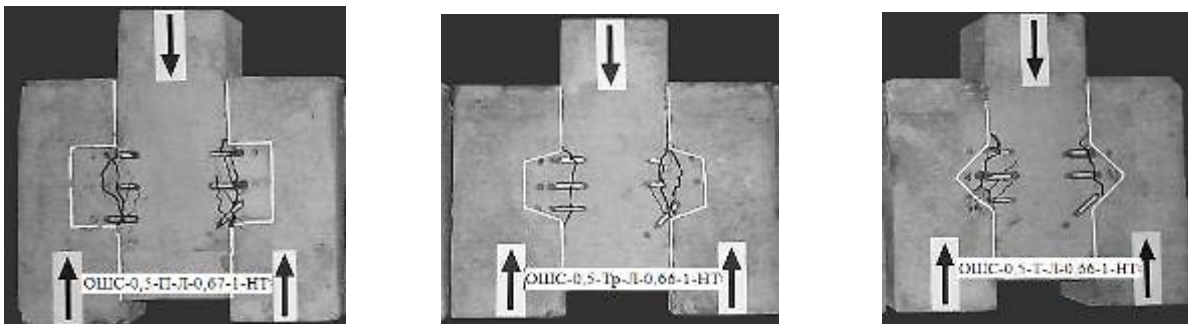


Рисунок 16 – Характер руйнування контактних стиків із керамзитобетону з різною формою шпонкового профілю

Зафіксовано три варіанти руйнування одношпонкового з'єднання залежно від ширини шва t_j (рис. 17): зріз за вертикальним перерізом шпонки; зріз шва за

похилим перерізом у межах висоти шпонки та висоти стику. Ширина шва впливає на несучу здатність з'єднання: із збільшенням t_j від 50 до 200 мм вона зменшується до 30 % при прямокутних шпонках (рис. 18).



Рисунок 17 – Випадки руйнування одношпонкових з'єднань за різної ширини шва

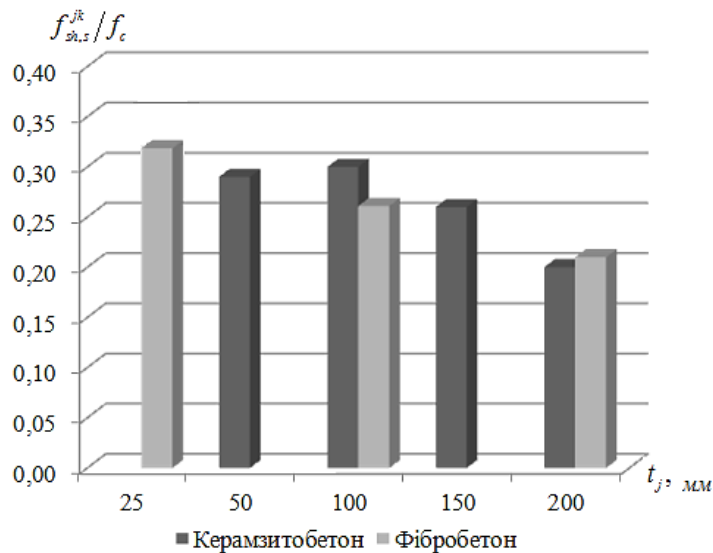


Рисунок 18 – Несуча здатність з'єднань залежно від ширини шва

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

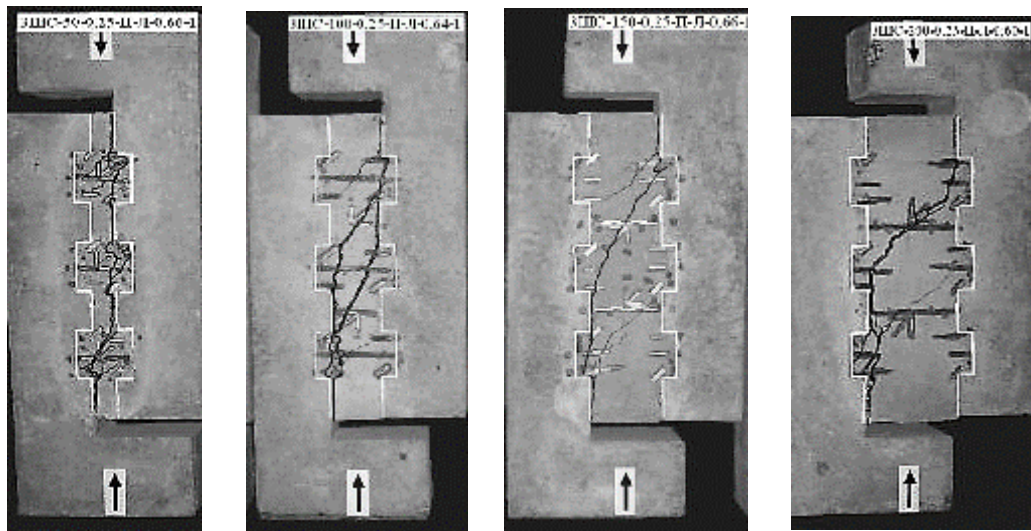
Для трьохшпонкових стиків зі швом зафіксовано такі форми руйнування:

– при ширині шва $t_j = 25, 100, 150, 200$ мм: зріз двох найбільш завантажених шпонок за перерізом, наближеними до вертикалі, та зріз у похилому перерізі за швом у межах останньої шпонки; зріз однієї шпонки та руйнування шва за похилими перерізом у межах двох інших (рис. 19, а – в);

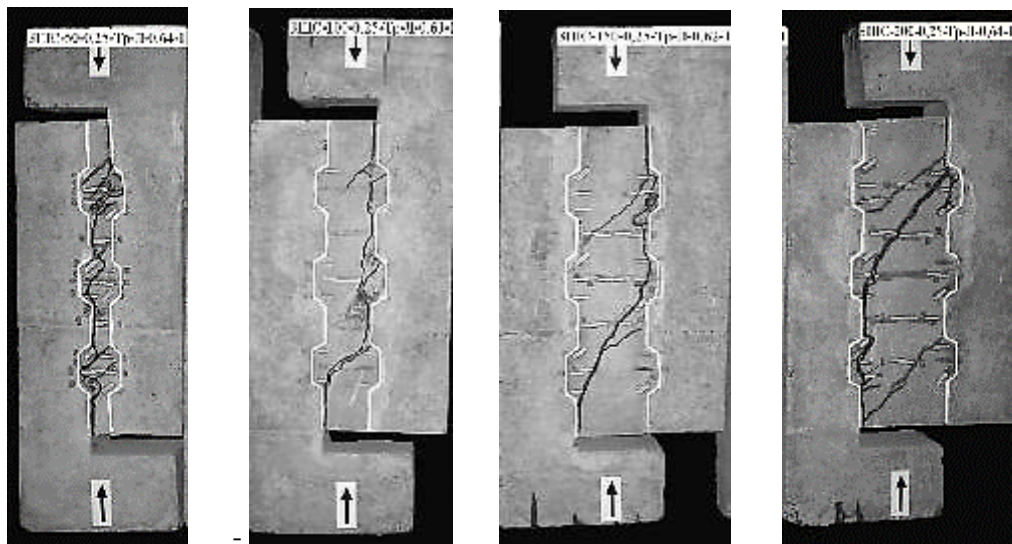
– за $t_j = 200$ мм: руйнування однієї шпонки і шва в межах похилої стиснутої смуги, котра утворилася за висотою двох шпонок при трикутному профілі (рис. 19, г);

– при $t_j = 300$ мм: руйнування за швом.

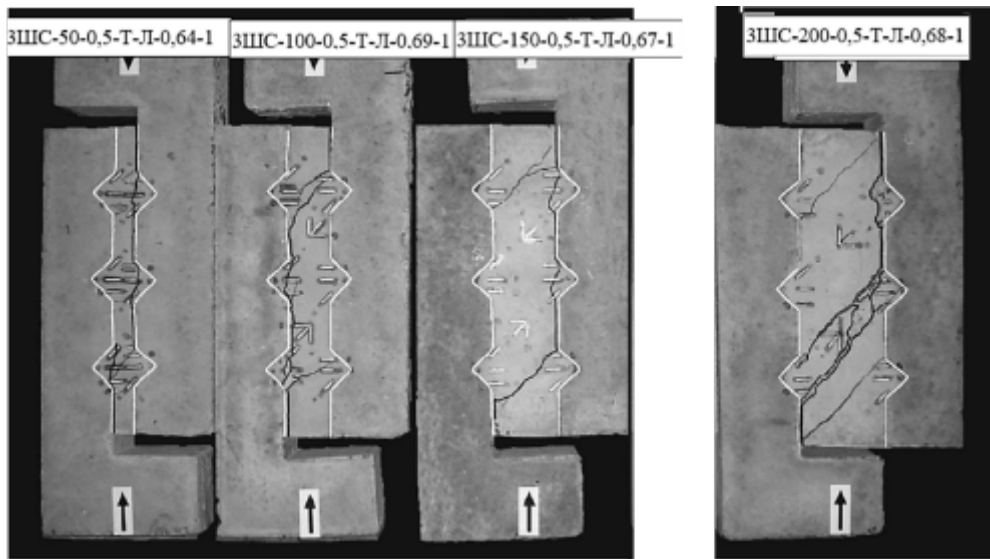
Підтверджено вплив на несучу здатність трьохшпонкових з'єднань ширини шва, виявлений при випробуванні одношпонкових стиків. Найбільший (до 50%) вплив спостерігається для прямокутного профілю (рис. 20).



а



б



в

г

Рисунок 19 – Випадки руйнування трьохшпонкових з'єднань з прямокутними (а), трапецієподібними (б), трикутними шпонками (в) від зрізу; г – руйнування шва в межах похилої смуги

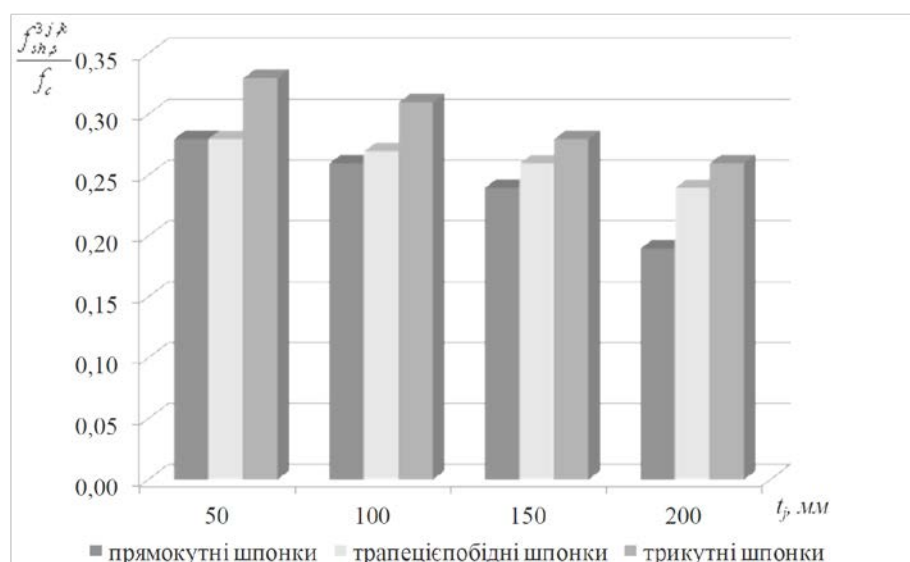


Рисунок 20 – Несуча здатність трьохшпонкових стиків із керамзитобетону залежно від ширини шва

Залежності « $\varepsilon_c - V/V_u$ » для керамзитобетону дослідних зразків представлені на рис. 21 і вказують на суттєвий приріст пластичної складової відносної деформації.

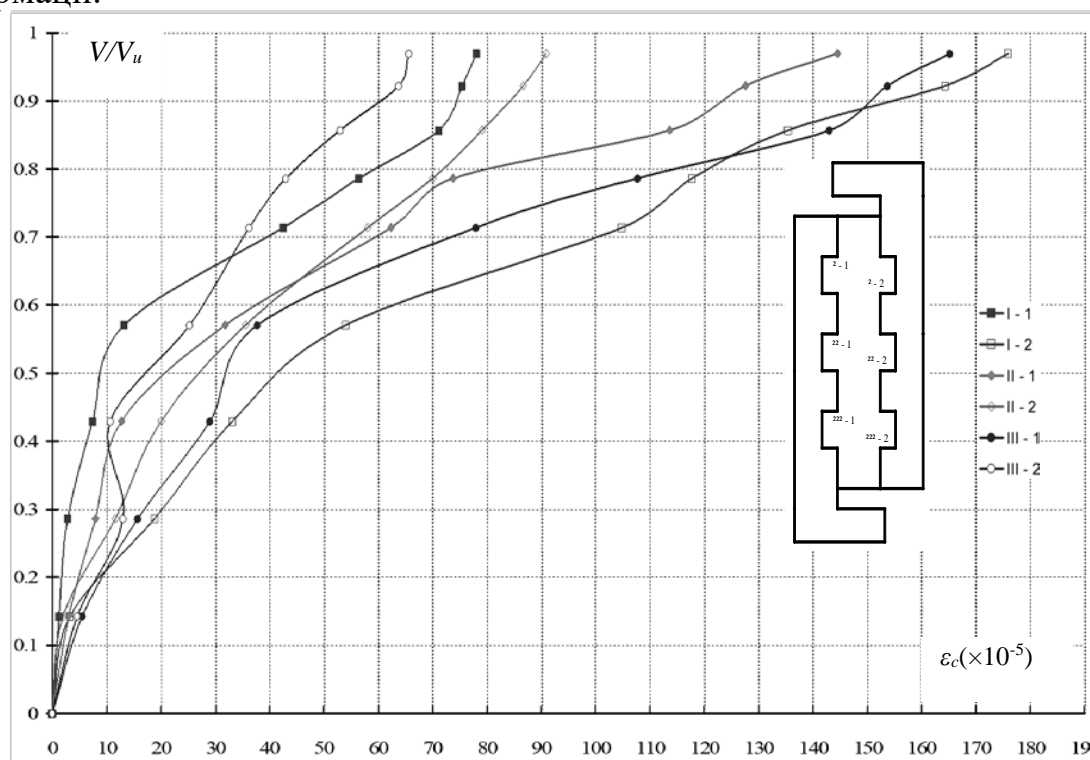


Рисунок 21 – Графіки залежності « $\varepsilon_c - V/V_u$ » для бетону зразка: ЗШС-200-0,25-П-Л-0,60-1

Фібробетонні з'єднання з шириною шва від 25 мм до 300 мм відрізнялися від керамзитобетонних підвищеною тріщиностійкістю. При ширині шва 25 мм стик руйнувався за двома шпонками та швом у межах третьої; за ширини шва 50, 100 і 150 мм відбувалося руйнування шляхом зрізу, аналогічне описаному вище для керамзитобетонних з'єднань. При ширині шва 300 мм зруйнувався шов

у межах трьох шпонок. Руйнування з'єднань із фібробетону носить більш пластичний характер. При зміні ширини шва з 25 мм до 300 мм несуча здатність з'єднань знижується на 20%.

Усі 11 контактних стиків із різною кількістю шпонок зруйнувалися шляхом зрізу шпонок за цілим перерізом (рис. 22).

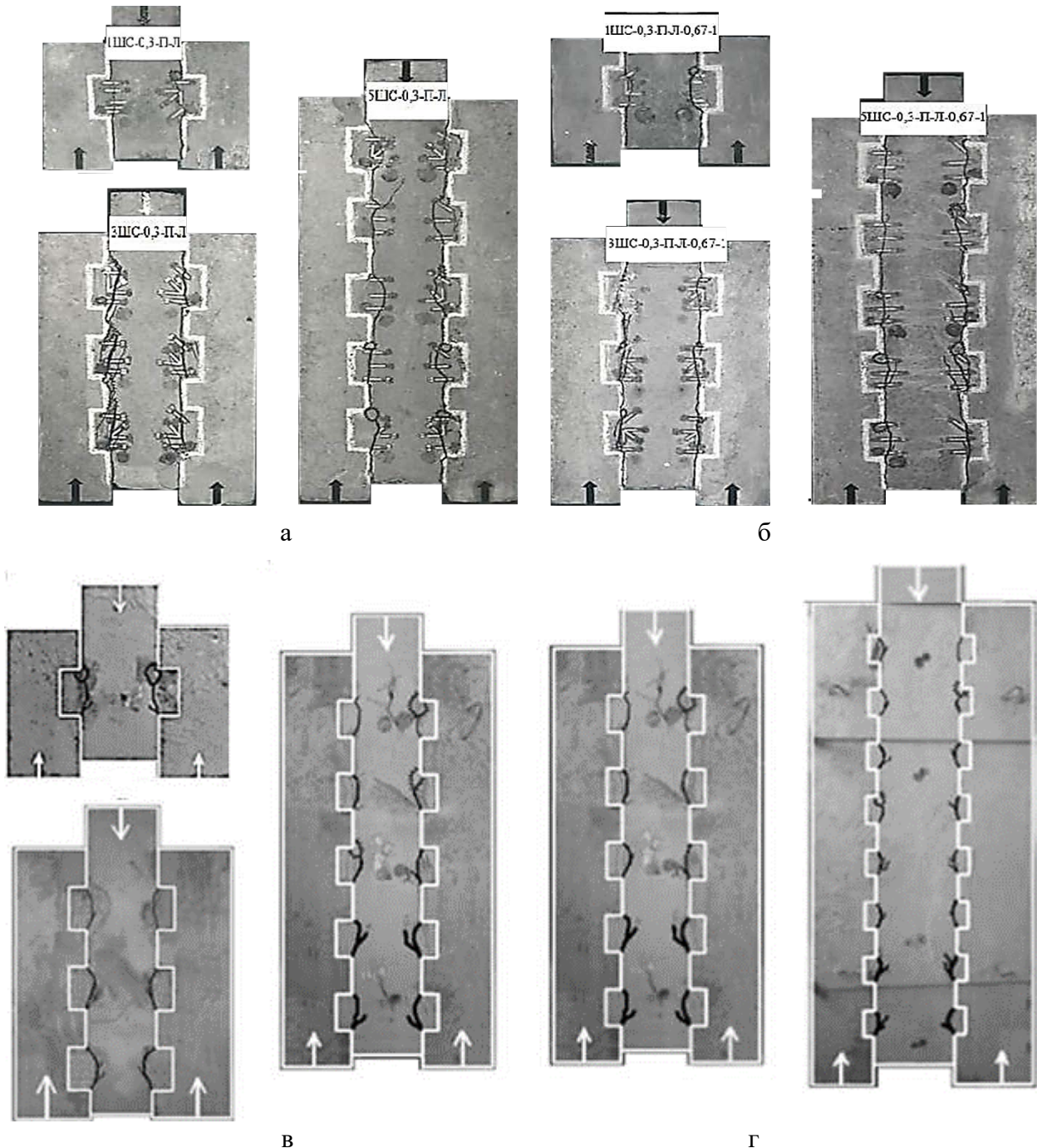


Рисунок 22 – Картина руйнування контактних стиків з різною кількістю шпонок: керамзитобетонних неармованих (а) та армованих (б); із важкого бетону бетонних (в) і залізобетонних (г)

У результаті випробування контактних бетонних і залізобетонних стиків з різною кількістю шпонок 1, 3, 5 і 8 встановлена нерівномірність роботи шпонок за довжиною стику, про що свідчить характер тріщиноутворення: перші волосяні

тріщини виникли при рівні навантаження $(0,5 - 0,7)V_u$ в найбільш напружених шпонках; на наступних ступенях навантаження аналогічна картина спостерігається в менш напружених шпонках. Показники тензорезисторів та індикаторів, встановлених на шпонках за довжиною стику, засвідчують нерівномірність деформації, котра зростає при збільшенні кількості шпонок у стику і досягає 60 %. У бетоні шпонок у зоні очікувального руйнування при $<0,7V_u$ відбувалося накопичування пластичної деформації (відносна деформація стиску досягала $\varepsilon_c=2,5\%$). Опір трьохшпонкового контактного стику вищий ніж одношпонкового в 2,5 рази, п'ятишпонкового – 3,5 рази, восьмишпонкового – в 5 разів.

У п'ятому розділі представлені теоретичні дослідження несучої здатності шпонкових з'єднань бетонних і залізобетонних елементів варіаційним методом у теорії пластичності, котрий виступає загальною основою для створення методології розрахунку стиків із підвищеним опором зрізу. Встановлені експериментально значні пластичні деформації стиску та їх локалізація у зоні руйнування шпонок і шпонкових швів вказують на доцільність застосування теорії пластичності при домінуванні дотичних напружень.

Послідовність вирішення задач несучої здатності шпонкових з'єднань із підвищеним опором зрізу наступна:

- моделюється характер руйнування для випадку, що розглядається (на основі отриманого в експериментальних дослідженнях характеру руйнування формується кінематично можлива схема руйнування: окреслюється обрис руйнівної поверхні та задаються напрямки руху /швидкості/ окремих дисків); у якості невідомих параметрів виступають кути нахилу ділянок руйнування до площини дії поперечних сил, а також відносні значення швидкостей;

- знаходяться стрибки швидкостей та площі ділянок поверхні руйнування;

- записується функціонал варіаційного методу, виводиться залежність для підрахунку граничного навантаження, котра досліджується на екстремум (безумовний або умовний: в якості додаткових умов, використовуються рівняння рівноваги) та визначається значення граничного навантаження.

Запропонована класифікація шпонкових з'єднань бетонних і залізобетонних елементів за: *характером руйнування*: за шпонками (змінання, що супроводжується зрізом за похилою площиною; зріз за поверхнею, наближеною до вертикалі; відрив при згинанні; випадок визначається співвідношенням глибини шпонки l_k до її висоти h_k); за швом; змішане руйнування за шпонками і швом, що реалізується для багатошпонкових стиків зі швом; *формою поперечного перерізу шпонки* (прямокутна, кругла, або іншої складної форми); *формою шпонкового профілю* (прямокутний, трапецієподібний, трикутний та інш.); *наявністю обтиснення й армування* (бетонні, обтиснуті й армовані стики); *характером розташування арматури за висотою шпонки* (в один рівень посередині висоти шпонки, в два рівня за її висотою із симетричним та несиметричним армуванням, у три рівні); *видом та класом бетону*; *кількістю шпонок у стику*; *наявністю шва*: контактні стики та з'єднання зі швом.

Кінематично можлива схема руйнування прямокутної бетонної шпонки при зрізі за перерізом наближеним до вертикалі включає два жорсткі диски I і II (рис. 23, а), розмежовані поверхнею руйнування ABC, які в граничному стані здійснюють взаємний рух зі швидкістю $V(V_x, V_y)$.

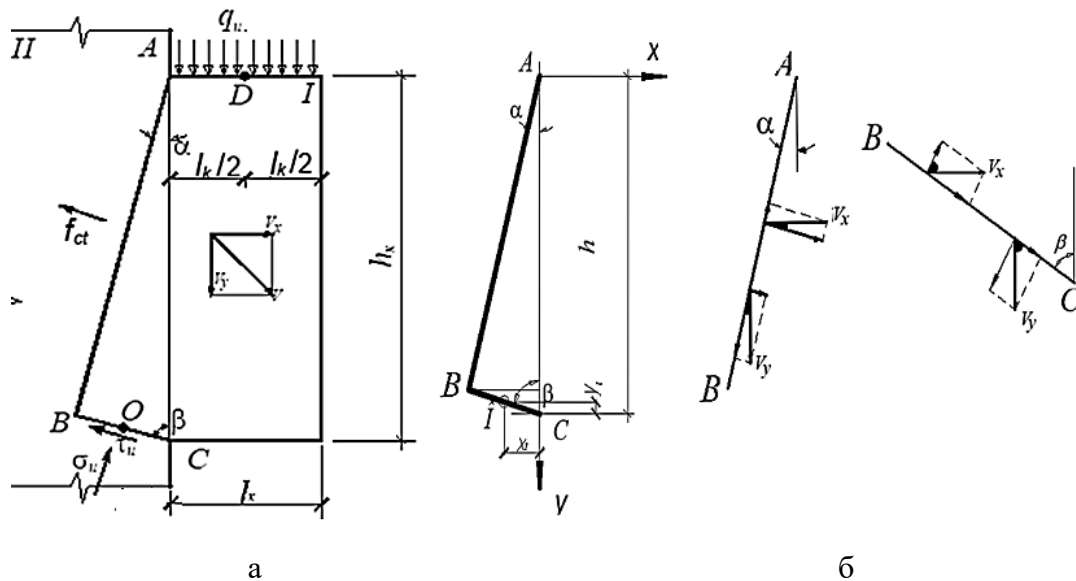


Рисунок 23 – Кінематична схема руйнування прямокутних бетонних шпонок при зрізі (а), до визначення стрибків швидкостей на поверхні руйнування (б)

Площадка BC характеризується дією граничних нормальних σ_u та дотичних τ_u напружень згідно умови міцності у вигляді параболоїда обертання, а площадка AB – головних напружень розтягу $\sigma_u = f_{ct}$.

Невідомими даної задачі є граничне рівномірно розподілене за опорною гранню навантаження q_u , кути нахилу ділянок руйнування до вертикалі: α для площадки AB і β для площадки BC, відношення швидкостей $k = V_x/V_y$. На окремих ділянках руйнівної поверхні розриви швидкостей та площі (рис. 23, б) дорівнюють:

$$\text{- для площадки BC: } \begin{cases} \Delta V_n^{BC} = V_x \cos \beta - V_y \sin \beta \\ \Delta V_t^{BC} = V_x \sin \beta + V_y \cos \beta \end{cases}, \quad S^{BC} = h_k \frac{b_k \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \beta}}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \alpha} \operatorname{tg} \alpha; \quad (3)$$

$$\text{- для площадки AB: } \begin{cases} \Delta V_n^{AB} = V_x \cos \alpha + V_y \sin \alpha \\ \Delta V_t^{AB} = V_y \cos \alpha - V_x \sin \alpha \end{cases}, \quad S^{AB} = h_k \frac{b_k \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \alpha} \operatorname{tg} \beta. \quad (4)$$

Функціонал записується у вигляді:

$$J = m \left\{ 2B \left[1 + \frac{1}{4} \left(\frac{\operatorname{tg} \beta + 1}{k - \operatorname{tg} \alpha} \right)^2 \right]^{0.5} - 1 \right\} (k - \operatorname{tg} \beta) \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta} + f_{ct} (k + \operatorname{tg} \alpha) \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta} - q_u \gamma, \quad (5)$$

тут $\gamma = l_k / h_k$.

В результаті дослідження функціоналу на стаціонарний стан отримано функцію для граничного навантаження у вигляді:

$$q_u = \left\{ m \left[2B \sqrt{(k - tg\beta)^2 + 0,25(ktg\beta + 1)^2} - (k - tg\beta) \right] \frac{tg\alpha}{tg\alpha + tg\beta} + f_{ct}(k + tg\alpha) \frac{tg\beta}{tg\alpha + tg\beta} \right\} \frac{1}{\gamma}. \quad (6)$$

Для врахування наявності можливого повороту в кінематиці граничного стану шпонки використовуються додаткові умови у вигляді рівнянь моментів сил, які прикладені до частини шпонки, відсіченої поверхнею руйнування, відносно характерних точок В, О і D (рис. 23, а)

Нормальні та дотичні напруження, що діють на площадці ВС, виражені через розриви швидкостей, виглядають як:

$$\frac{\sigma_n}{m} = 2 \left[0,5 \pm \frac{B(k - tg\beta)}{\sqrt{(k - tg\beta)^2 + 0,25(ktg\beta + 1)^2}} \right]; \quad \frac{\tau_u}{m} = \pm \frac{B(ktg\beta + 1)}{2\sqrt{(k - tg\beta)^2 + 0,25(ktg\beta + 1)^2}}. \quad (7)$$

Аналіз отриманих теоретичних результатів дозволяє стверджувати, що можливо в якості додаткових умов при розв'язанні задачі несучої здатності стику (опору шпонки) використовувати рівняння: $\sum M_B = 0$ (для врахування повороту в кінематиці руху шпонки); $\sum X = 0$ (як більш просте, ніж рівняння моментів) і $k = tg\beta$ (умова відповідає досягненню на площадці зрізу дотичними напруженнями максимальних значень).

В цьому випадку формула (6) набуде вигляду:

$$\frac{q_u}{m} = \left[\frac{Btg\alpha(tg^2\beta + 1)}{tg\alpha + tg\beta} + \frac{f_{ct}tg\beta}{m} \right] \frac{1}{\gamma}. \quad (8)$$

Кінематичні схеми при боковому обтисненні й однорівневному армуванні шпонок наведені на рис. 24.

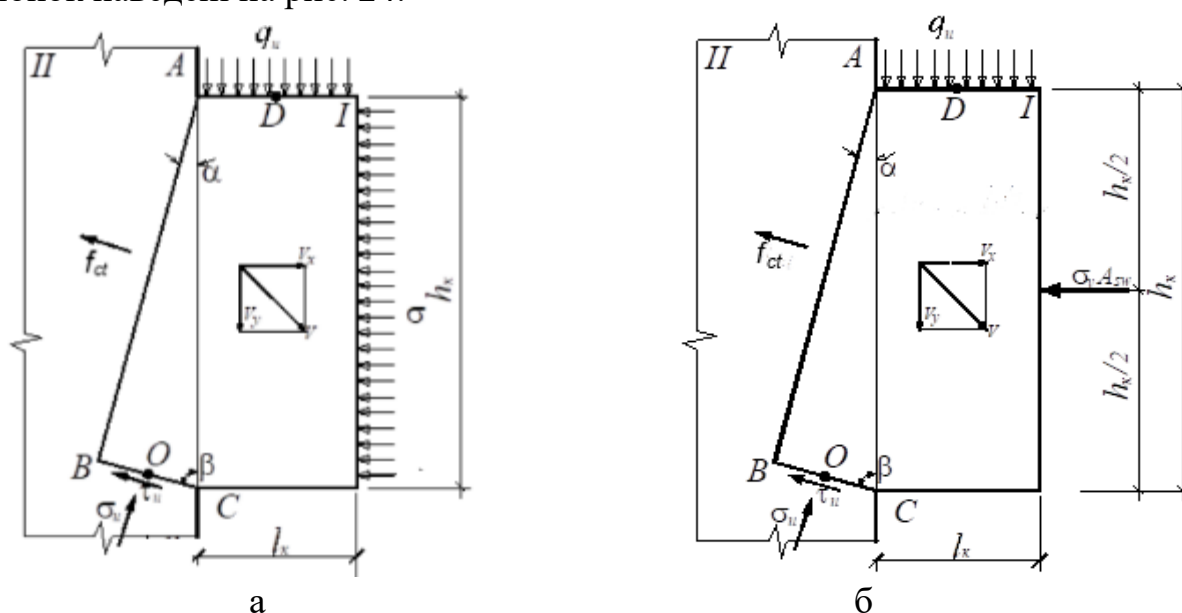


Рисунок 24 – Кінематично можлива схема руйнування обтиснутих прямокутних бетонних (а) та армованих (б) шпонок при зрізі

Компоненти функціоналу, котрі відповідають впливу обтиснення та зусилля в арматурі (у разі неперearмованих залізобетонних елементів), запишуться у вигляді відповідно:

$$I_{\sigma} = \sigma h_k b_k V_x ; \quad (9)$$

$$J_{sw} = \sigma_y A_{sw} V_x . \quad (10)$$

У формулі (8) для визначення q_u додаються члени:

$$\frac{\sigma k}{\gamma} ; \quad (11)$$

$$\frac{\sigma_y A_{sw} k}{b_k h_k} \frac{1}{\gamma} , \quad (12)$$

де: σ_y – межа текучості арматури; A_{sw} – площа поперечного перерізу арматури.

Залежності опору шпонок від рівня обтиснення та результати розрахунку армованих шпонок наведені на рис. 25 і в табл. 1.

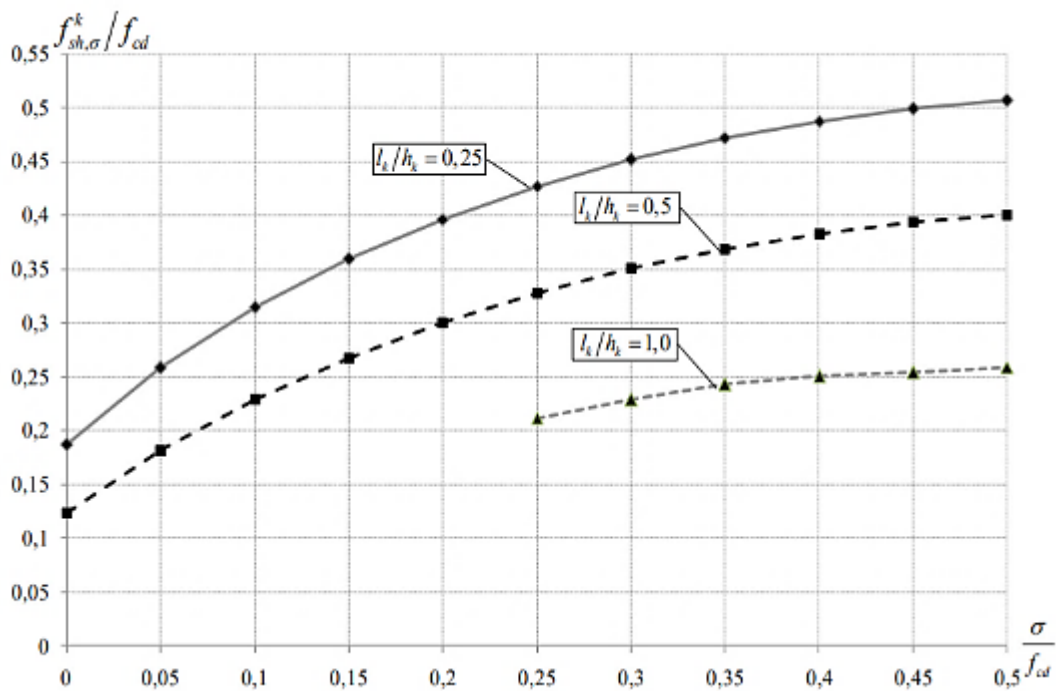


Рисунок 25 – Залежність відносного опору бетонної прямокутної шпонки від величини обтиснення

При рознесенні арматури за висотою шпонки врахування нагельного ефекту в стиснутій арматурі приводить до підвищення опору шпонки до 8%.

Форма поперечного перерізу шпонки врахована шляхом зміни в площі ділянок поверхні руйнування і закону прикладання зовнішнього навантаження.

Кінематична схема руйнування круглих бетонних шпонок при зрізі із обтисненням та ділянки поверхні руйнування, окресленої параболою, наведені на рис. 26.

Таблиця 1 – Результати розрахунку опору залізобетонної шпонки, армованої по у середині її висоти

ρ_{sv}	σ_y , МПа	f_c , МПа	f_{ct} , МПа	$\frac{l_k}{h_k}$	$k = \frac{V_x}{V_y}$	β^0	α^0	$N_z = \sigma_y A_{zw}$, кН	$\frac{N_s}{f_c b_k h_k}$	$\frac{f_{sh}}{f_c}$
0,001	280	11,5	0,9	0,25	0,736	36,35	8,79	8,4	0,024	0,224
0,005					0,579	30,08	13,63	42,0	0,122	0,335
0,01					0,439	23,68	18,0	84,0	0,244	0,423
0,015					0,325	18,03	21,03	126,0	0,365	0,477
0,02					0,226	12,74	22,41	168,0	0,487	0,505
0,025					0,132	7,53	20,76	210,0	0,609	0,510
0,03					0,040	2,30	10,89	252,0	0,730	0,494

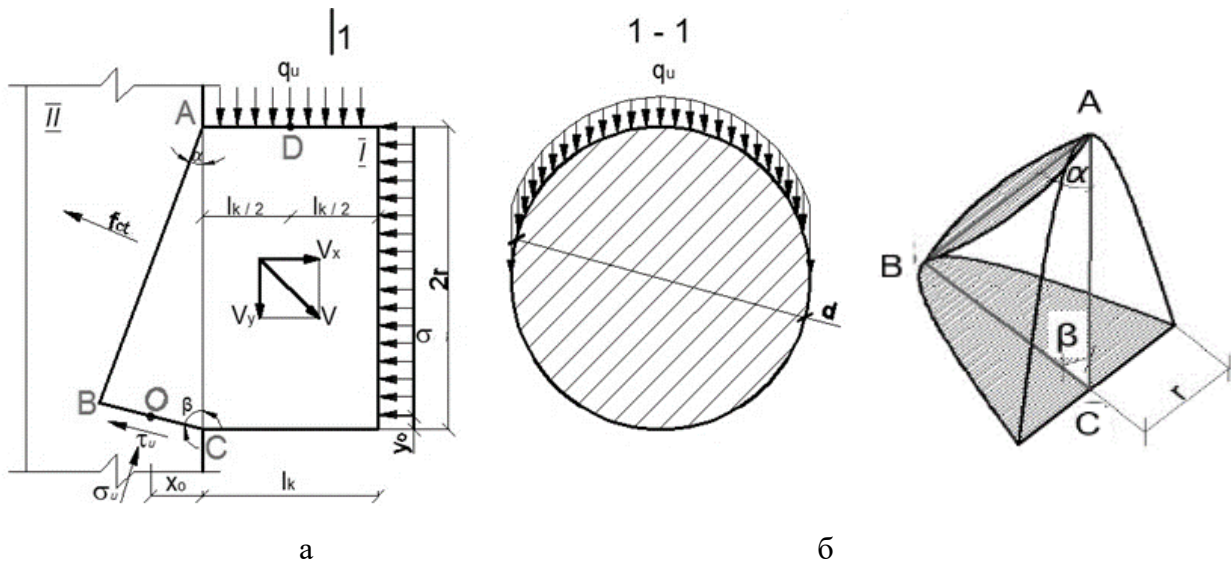


Рисунок 26 – Кінематична схема руйнування круглих бетонних шпонок при зрізі із обтисненням (а) та ділянки поверхні руйнування (б)

Площі ділянок руйнування в цьому випадку:

$$S^{BC} = \frac{4}{3} d \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} r, \quad S^{AB} = \frac{4}{3} d \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} r. \quad (13)$$

Після введення позначення $\frac{1}{\gamma} = 2r/l_k$, граничне навантаження при зрізі з обтисненням із використанням залежності (8) підраховується у вигляді:

$$\frac{q_u}{m} = \left[\frac{2Btg\alpha(tg^2\beta + 1)}{3(tg\alpha + tg\beta)} + \frac{2f_{ct}tg\beta}{3m} + \frac{\sigma\pi tg\beta}{4m} \right] \frac{1}{\gamma}. \quad (14)$$

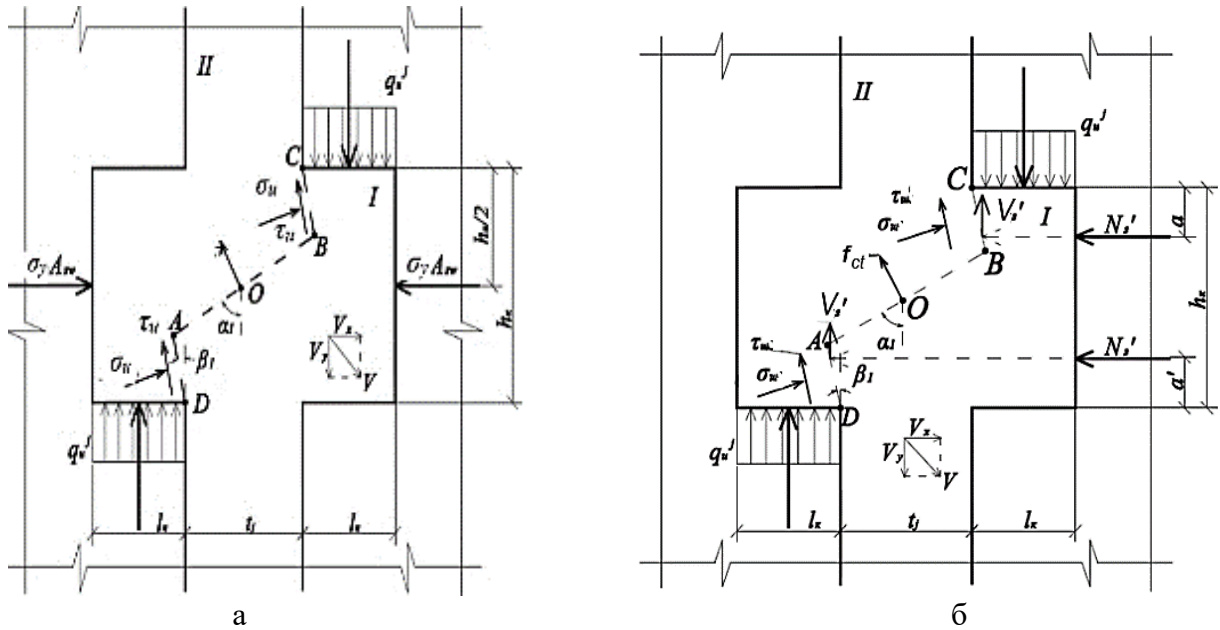


Рисунок 28 – Кінематична схема руйнування шва одношпонкових залізобетонних стиків з прямокутними шпонками при одноярусному (а) та двоярусному (б) розташуванні арматури

Таблиця 2 – Відносний опір зрізу залізобетонного шва f_{sh}^j / m

Вихідні параметри		$\rho_{sw}, \%$			
t_j/h_k	$\chi=f_{ct}/f_c$	0,7	1,0	1,5	2,0
0,25	0,08	0,291	0,344	0,389	0,418
	0,1	0,315	0,364	0,405	0,430
	0,12	0,338	0,383	0,421	0,442
1,0	0,08	0,189	0,211	0,227	0,231
	0,1	0,220	0,239	0,253	0,253
	0,12	0,251	0,269	0,279	0,276

Розглянуто випадок руйнування шва за похилою стиснутою смугою стикових шпонкових з'єднань із трапецієвидними та трикутними шпонками (рис. 29). Клиновидні зони при дії зовнішнього навантаження зближуються, спричиняючи рух двох інших жорстких дисків у напрямку один від одного, перпендикулярно площині розколювання.

Невідомих при розв'язку задачі чотири: два кути нахилу ділянок зсуву клинів до площини розколювання (γ_1, γ_2), відношення швидкостей руху жорстких дисків $k = V_1/V_2$ і граничне навантаження P_1 , що діє вздовж площини розколювання.

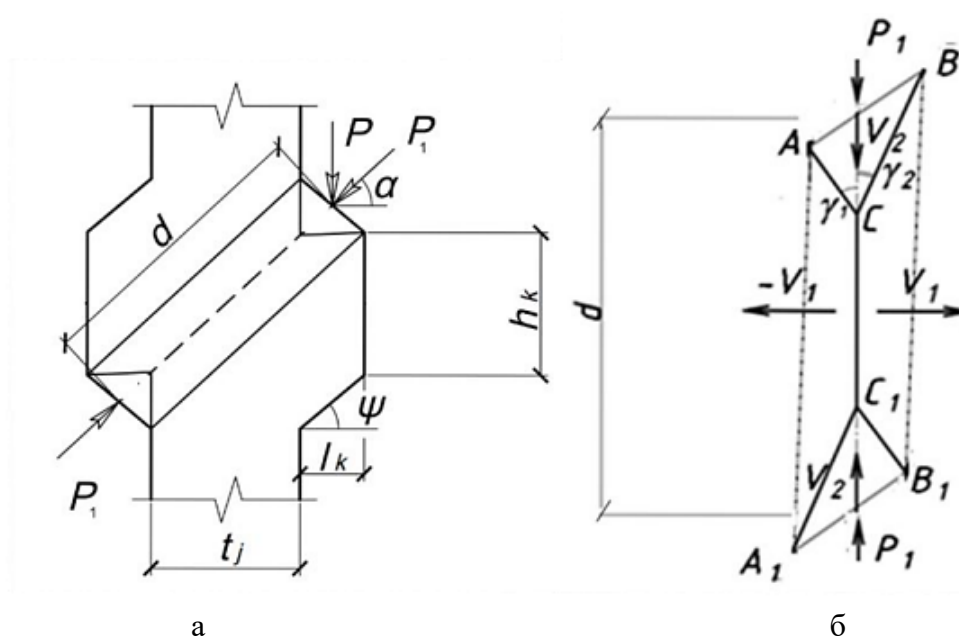


Рисунок 29 – Розколвання похилої стиснутої смуги у межах шва (а);
кінематична схема руйнування (б)

Вертикальне рівномірно розподілене навантаження підраховується як:

$$\frac{q_u}{m} = \frac{P_1 \sin \alpha}{m l_k b} = \frac{P}{m l_k b} = \left\{ \left[2B \sqrt{(k - \operatorname{tg} \gamma_1)^2 + 0,25(k - \operatorname{tg} \gamma_1 + 1)^2} - (k - \operatorname{tg} \gamma_1) \right] \frac{1}{2 \operatorname{tg} \gamma_1} + \right. \\ \left. + \left[2B \sqrt{(k - \operatorname{tg} \gamma_2)^2 + 0,25(k - \operatorname{tg} \gamma_2 + 1)^2} - (k - \operatorname{tg} \gamma_2) \right] \frac{1}{2 \operatorname{tg} \gamma_2} + \frac{(1 + \operatorname{tg} \gamma_1 \operatorname{tg} \psi) d}{\operatorname{tg} \gamma_1 l_k} \right\} \sin \alpha, \quad (17)$$

тут α – кут нахилу смуги до горизонталі; $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h_k - l_k \operatorname{tg} \psi}{t_j + l_k}$; $\sin \alpha = \sqrt{\frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}$.

У багатошпонкових стиках врахована нерівномірність їх роботи за довжиною.

Запропонована методологія враховує:

- обидві характеристики міцності бетону при стискові і розтягу;
- співвідношення розмірів шпонки, котре обумовлює руйнування шляхом зрізу за нахилою та наближеною до вертикалі площинами шпонки (максимальний опір встановлено на межі реалізації змінання та зрізу, котрий відповідає $l_k / h_k = 0,25$);
- форму поперечного перерізу (опір шпонки із круглим поперечним перерізом виявився на 10 % меншим порівняно із еквівалентним квадратним);
- форму шпонкового профіля (шпонки із нахилою гранню мають вищий опір порівняно із шпонкою із прямокутним профілем);
- обтиснення шпонок у площині, перпендикулярній площині зрізу, (обтиснення суттєво збільшує опір шпонок, змінює геометрію поверхні руйнування, опір із збільшенням рівня обтиснення змінюється не лінійно);
- армування (кількість арматури, її розташування за висотою шпонки впливає на опір аналогічно обтисненню);

- випадки руйнування з'єднання шляхом зрізу шпонок та шва, а також діагонального розколювання,

з рекомендаціями щодо областей їх застосування.

Встановлені обмеження і запропоновані розрахункові схеми та залежності: при обчисленні $\sigma / f_c \leq 0,5$; для армованих шпонок при ρ_{sw} в межах від 0–2,5%; руйнування шва одношпонкового з'єднання обмежується шириною t_j , котра не перевищує висоту шпонки h_k .

Запропоновані рекомендації для визначення випадку руйнування одношпонового стику: $t_j / h_k = 0 - 0,25$ (вузькі стики) руйнування відбувається шляхом зрізу шпонок, а при $t_j / h_k = 0,25 - 1$ (середня ширина стику) руйнується шов (реалізується той випадок руйнування, при якому несуча здатність стику буде мінімальною). В з'єднаннях зі швом передбачається розглядати $n+1$ випадків руйнування, де n – кількість шпонок у стику. У контактних багатошпонкових стиках запропоновано враховувати не більше 5 шпонок.

У шостому розділі представлені результати порівняльного аналізу теоретично визначеної несучої здатності шпонкових стиків із дослідною.

Суттєва різниця теоретичного опору бетонних шпонок за різними методиками проілюстрована на рис. 30.

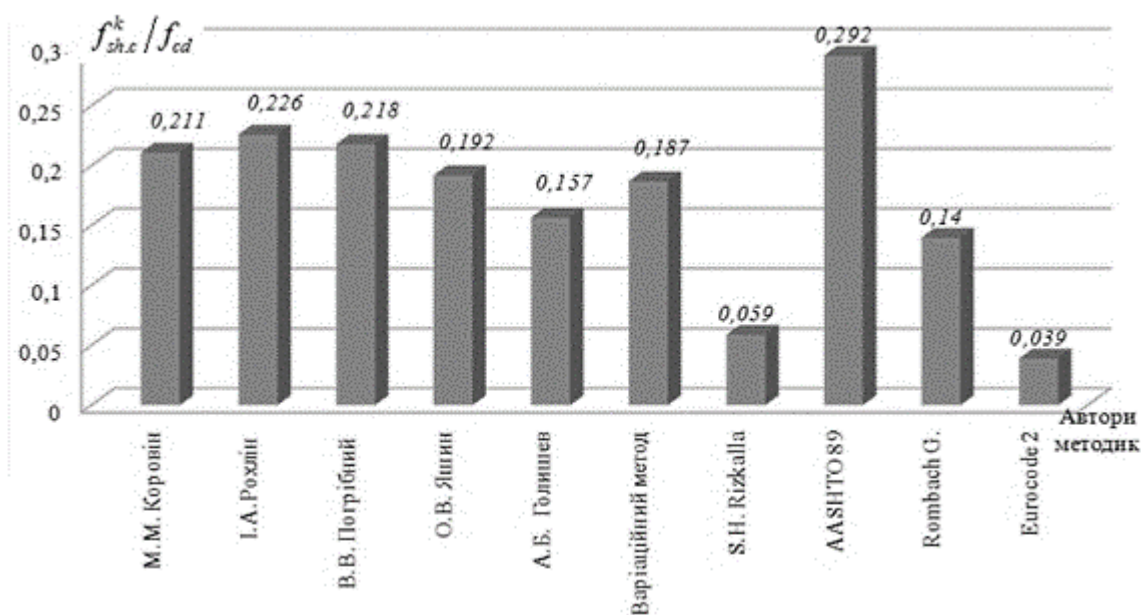


Рисунок 30 – Теоретично визначений відносний опір зрізу бетонної шпонки $f_{sh,c}^k / f_{cd}$, виготовленої із важкого бетону класу C16/20 при $l_k / h_k = 0,25$

Здійснено 224 порівняння за групами зразків та отримана задовільна збіжність теоретичного опору за варіаційним методом із дослідним, відображена в табл. 3. Кінематичні механізми, на яких базується розрахунок, співпадають із отриманим у досліді характером руйнування.

Точність запропонованих методів розрахунку оцінювалася шляхом статистичного аналізу відхилень від експериментальних даних середніх значень опору, визначених за середніми значеннями характеристик міцності бетону.

Таблиця 3 – Статистичні показники за різними групами дослідних зразків

Вид дослідного зразка	Інтервал зміни факторів впливу	Кількість дослідних зразків	Статистичні показники варіаційного методу (ВМ)
Бетонні прямокутні шпонки	важкий і керамзитобетон $\chi = 0,05 - 0,12$ $l_k/h_k = 0,2 - 0,6$.	22	$\bar{X} = 0,99$ $\sigma = 0,18$ $v = 18,26\%$
Обтиснуті прямокутні шпонки	важкий і керамзитобетон $\chi = 0,1, l_k/h_k = 0,2 - 1$ $\sigma/f_{cd} = 0,09 - 0,47$.	29	$\bar{X} = 0,92$ $\sigma = 0,09$ $v = 9,8\%$
Залізобетонні прямокутні шпонки	важкий, керамзитобетон і фібробетон $\chi = 0,05 - 0,14, l_k/h_k = 0,25 - 0,8$ $\rho_{sw} = 0,32 - 2,89\%$	36	$\bar{X} = 0,94$ $\sigma = 0,18$ $v = 19,15\%$
Трапецієподібні та трикутні шпонки	бетонні $f_c = (6,4 - 55,1)$ МПа $l_k/h_k = 0,21 - 0,5$ $\psi = (18,4 - 45)^\circ$ залізобетонні $f_c = (13,1 - 96,8)$ МПа $l_k/h_k = 0,21 - 0,8$ $\psi = (7,1 - 45)^\circ \rho_{sw} = 0,67 - 2,3$	7 25	$\bar{X} = 0,97$ $\sigma = 0,07$; $v = 7,62\%$; $\bar{X} = 1,02$; $\sigma = 0,19$; $v = 19,23\%$.
Бетонний шов у межах висоти шпонки	$\chi = 0,09 - 0,13; l_k/h_k = 0,07$ і $l_k/h_k = 0,125; t_j = 90, 200$ мм	15	$\bar{X} = 1,04$ $\sigma = 0,17$ $v = 16,4\%$
Залізобетонний шов у межах висоти шпонки	$l_k/h_k = 0,5 \chi = 0,1$ $t_j = 50 - 200$ мм	7	$\bar{X} = 0,91$; $\sigma = 0,08$; $v = 8,14\%$.
Трьохшпонковий стик зі швом	важкий і керамзитобетон $\chi = 0,08 - 0,14, l_k/h_k = 0,21 - 0,5$ $t_j = 50 - 200$ мм, $\rho_{sw} = 0,6 - 1,67\%$	39	$\bar{X} = 1,02$ $\sigma = 0,19$ $v = 18,27\%$.
Контактний багатошпонковий стик	важкий і керамзитобетон $f_c = (8,4 - 38,7)$ МПа $l_k/h_k = 0,25 - 0,5 n = 2 - 8$	35	$\bar{X} = 1,04$ $\sigma = 0,2$ $v = 19,23\%$

З метою виконання комплексного оцінювання за критерієм мінімуму надлишкових запасів опору проаналізовані розрахункові методи, зведені під однаковий передбачений нормами рівень надійності шляхом введення коефіцієнтів розрахункових моделей γ_{rd} .

Узагальнені параметри точності та надійності нормативного та варіаційного методів розрахунку бетонних шпонкових з'єднань наведені в табл. 4, де: M_0 – початковий середній запас; Δ_0 – початковий довірчий інтервал (%); P_0 – початкова надійність при коефіцієнті моделі, що дорівнює 1; M_p – середній запас при коригуванні за рівнем надійності (%), отриманий порівнянням розрахункових значень опору; Δ_p – довірчий інтервал (%) при коригуванні за рівнем надійності; γ_{rd} – коефіцієнті моделі після корегування.

Таблиця 4 – Узагальнені параметри точності й надійності методів розрахунку бетонних шпонок

Види шпонок	Метод розрахунку	M_0	Δ_0	P_0	M_p	Δ_p	γ_{rd}
Бетонні	Еврокод 2, ДСТУ	75,17	17,48	1,00	34,719	44,21	0,184
	Варіаційний метод	7,46	38,25	1,00	33,976	43,26	0,732

Дані табл. 4 свідчать, що надлишкові запаси опору при розрахунках варіаційним методом значно менше, ніж за ДСТУ Б.В.2.6.

У табл. 5 представлені значення опору при зрізі одношпонкових бетонних з'єднань з трапецієподібним профілем, отримані Shamass R., Zhou X. і Alfano G. методом скінчених елементів на основі експериментальних досліджень Zhou X., Mickleborough N., Li Z., та підраховані автором варіаційним методом.

Таблиця 5 – Значення опору одношпонкового бетонного обтиснутого шпонкового з'єднання при зрізі

Щифр зразка	f_c , МПа	l_k/h_k	σ/f_c	$V_u^{calc, MCE}$, кН	$V_u^{calc, BM}$, кН (при $\chi=0,1$)	$V_u^{calc, BM}/V_u^{test}$ (при χ за Єврокод 2)	V_u^{test} , кН
M1-D-K1-1	38,7	0,5	0,052	180,8	207,38	196,57	193
M1-D-K1-2	50,0	0,5	0,04	219,1	253,11	228,56	211
M2-D-K1-1	56,2	0,5	0,071	294	327,31	298,63	335
M2-D-K1-2	59,6	0,5	0,067	314	341,48	308,30	337
M3-D-K1-1	80,1	0,5	0,075	429	473,32	396,65	448
M3-D-K1-2	48,8	0,5	0,123	324	337,25	320,58	360
M4-D-K1-1	37,1	0,5	0,216	312	312,26	307,44	354
M4-D-K1-2	36,7	0,5	0,218	309	310,11	305,49	392
M4.5-D-K1	37,7	0,5	0,239	332	328,68	324,02	375

Представлені у табл. 6 статистичні показники порівняння значень опору 9-ти одношпонкових бетонних з'єднань при рівні обтиснення $\sigma/f_c = 0,04 - 0,24$ вказують на збіжність результатів за варіаційним методом з отриманими методом скінчених елементів та їх наближення до даних експериментів, що підтверджує доцільність застосування запропонованої методології розрахунку.

Таблиця 6 – Статистичні показники порівняння значень опору одношпонкових бетонних з'єднань

$V_u^{calc, BM}/V_u^{test}$ (при $\chi=f_{ct}/f_c=0,1$)	$V_u^{calc, BM}/V_u^{test}$ (при χ за Єврокод 2)	$V_u^{calc, MCE}/V_u^{test}$ (при $\chi=0,1$)	$V_u^{calc, BM}/V_u^{calc, MCE}$ (при $\chi=0,1$)
$\bar{X}=0,978$; $v=11,86\%$	$\bar{X}=0,91$; $v=9,23\%$	$\bar{X}=0,912$; $v=7,01\%$	$\bar{X}=1,071$; $v=5,7\%$

У цьому розділі наведені удосконалені конструктивні рішення стиків із підвищеним опором зрізу елементів сучасних конструктивних систем із залізобетону.

Проілюстрована ефективність застосування представленої методології розрахунку для оцінювання несучої здатності шпонкових з'єднань, яка дозволяє уникнути застосування емпіричних коефіцієнтів у розрахункових залежностях та можливого переоцінювання (недооцінювання) несучої здатності за рахунок розгляду повної сукупності можливих кінематичних механізмів руйнування конкретного стику, зазначених вище факторів впливу, та додаткового врахування місця прикладання стискуючого зусилля (симетричне і несиметричне обтиснення).

Згідно запропонованої методології виконані розрахунки стиків: капітелі з колоною безбалкового збірного перекриття; надколонної плити із колоною безбалково-безкапітельно-безконсольної конструктивної системи; збірних плит перекриття між собою при врахуванні їх сумісної роботи; багатопустотної плити із монолітним ригелем збірно-монолітного перекриття; збірного та збірно-монолітного ригеля з колоною; панельних стін і багатопустотних плит з винесеними за грані панелей зонами обпирання; стінових панелей на гнучких петлях; стояків плоских рам за висотою для створення просторової рами конструктивної системи РАМПА.

На основі виконаних розрахунків запропоновано вдосконалення: вузла з'єднання надколонної плити із колоною в безбалково-безкапітельно-безконсольній конструктивній системі шляхом зміни розмірів шпонки (рис. 31): технічним результатом корисної моделі являється підвищення несучої здатності шпонкового з'єднання та покращення умов передачі вертикального навантаження в стику; плит перекриття між собою в зазначеній системі: елементом вдосконалення стику є застосування замість арматурних випусків із торців плит гнучких петель $\varnothing 6$ мм за типом «Reiko» зі зміною розмірів шпонки при незмінній товщині: технічним результатом є спрощення технології виготовлення і монтажу плит; конструкції стику багатопустотної плити з монолітним ригелем в збірно-монолітних перекриттях (рис. 32), яке полягає у зміні армування шпонки із застосуванням пустотілого циліндричного каркасу замість каркасу у вигляді трикутної порожнистої піраміди: технічним результатом корисної моделі являється забезпечення однакової несучої здатності шпонкового з'єднання як у вертикальній так і горизонтальній площинах; отримано патент на корисну модель вузла з'єднання залізобетонних плит з ригелем у збірно-монолітних перекриттях з подвійним призначенням арматури, який відрізняється тим, що поперечна арматура каркаса ригеля використовується як робоча арматура шпонок; також запатентований спосіб улаштування зазначеного шпонкового стику; контактано-платформного шпонкового стику панельних стін з винесеними за грані зонами обпирання багатопустотних плит (рис. 33); конструкції багатошпонкового стику збірного ригеля із колоною шляхом збільшення кількості шпонок трикутного профілю з 3 до 5.

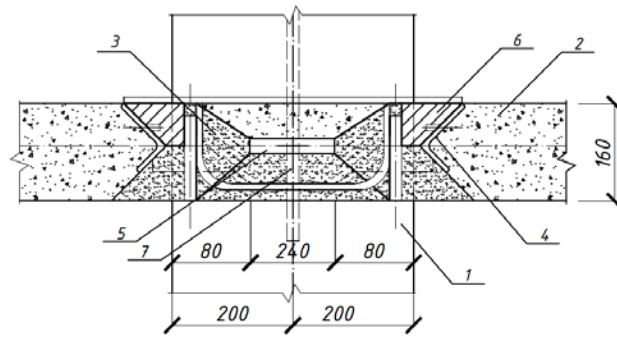


Рисунок 31 – Конструкція вдосконаленого стику колони з плитою: 1 – колона; 2 – плита перекриття; 3 – шпонка; 4 – сталева обойма; 5 – закладна деталь; 6 – сталеві елементи; 7 – фіксуючий стержень

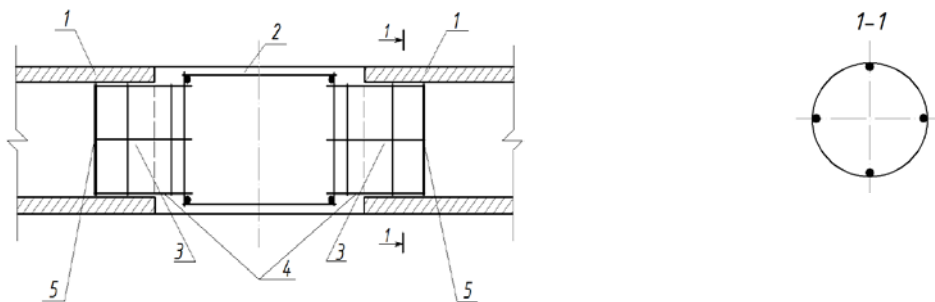


Рисунок 32 – Удосконалений вузол з'єднання багатопустотних плит із монолітним ригелем: 1 – опорні ділянки круглопустотних плит; 2 – монолітний ригель; 3 – шпонки; 4 – арматурні каркаси циліндричної форми; 5 – обмежувачі

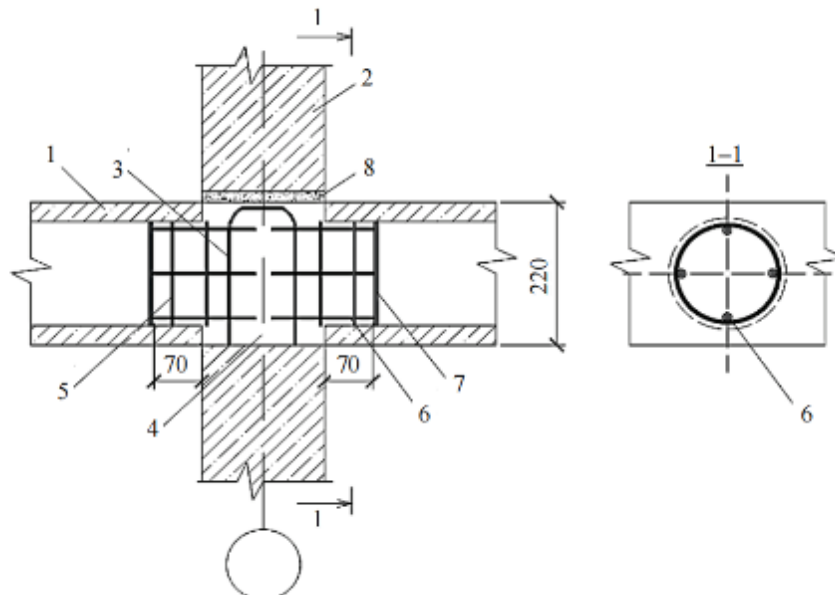


Рисунок 33 – Контактно-платформний стик збірних стін з винесеними за площину стіни зонами обирання багатопустотних плит: 1 – багатопорожниста панель; 2 – стіновий елемент; 3 – випуск арматури із нижньої панелі; 4 – монолітний бетон; 5 – шпонка; 6 – армування шпонки; 7 – обмежувач довжини шпонки; 8 – шар розчину

Для спрощення розв'язання задач несучої здатності шпонкових стиків нараховані таблиці і запропонована інженерна методика розрахунку.

Опір зрізу бетонної шпонки без обтиснення при $l_{k,2} / h_{k,2} \leq l_k / h_k \leq 0,5$ визначається із рівняння:

$$V_{Rd,2} = \varphi_k \gamma_k V_{Rd,max}, \quad (18)$$

де $\varphi_k = 1 - \frac{2}{3} (l_k / h_k - l_{k,2} / h_{k,2})^{0,5}$, тут $l_{k,2} / h_{k,2} = \frac{1}{8} + f_{ctd} / f_{cd}$; $\gamma_k = 1$ – при прямокутному поперечному перерізі; $\gamma_k = 0,9$ – для круглого перерізу; $V_{Rd,max} = (f_{cd} / 8 + f_{ctd}) b_k h_k$.

Опір обтиснутої бетонної шпонки з урахуванням нахилу навантаженої грані визначається із рівняння:

$$V_{Rd,\sigma} = \varphi_\sigma \varphi_\alpha V_{Rd,2}, \quad (19)$$

де $\varphi_\sigma = 1 + 2,7 \eta_\sigma^{0,5}$, тут $\eta_\sigma = \sigma_n / f_{cd}$ – рівень обтиснення, який не повинен перевищувати $0,5 f_{cd}$; $\varphi_\alpha = 1 + 0,1 \tan \psi$, тут ψ – кут нахилу навантаженої грані шпонки.

Опір армованої шпонки дорівнює:

$$V_{Rd,sw} = \varphi_{sw} \varphi_\alpha V_{Rd,2}, \quad (20)$$

де $\varphi_{sw} = 1 + 2,7 (\rho_{sw} f_{yd} / f_{cd})^{0,5}$, тут $\rho_{sw} = A_{sw} / s b_k$ – коефіцієнт поперечного армування за умови $\rho_{sw} \leq 1\%$.

Опір багатошпонкового стику дорівнює:

$$V_{Rd,3} = \varphi_n V_{Rd,2} (V_{Rd,\sigma}, V_{Rd,sw}), \quad (21)$$

де $\varphi_n = n^{0,7}$, тут n – кількість шпонок в стику.

Опір шпонкового з'єднання при руйнуванні за швом визначається із залежності:

$$V_{Rd,3} = 0,75 (f_{cd} f_{ctd})^{0,5} \varphi_{sw} n^{-0,3} \left\{ 1 - 0,45 \left[\frac{t_j}{n h_k + (n-1) h_1} \right]^{0,5} \right\} b h, \quad (22)$$

тут b – товщина стику; h – загальна висота стику в межах руйнування за швом; t_j – ширина шва; n – кількість шпонок у стику; h_1 – висота міжшпонкової ділянки.

Рекомендується приймати: для бетонної шпонки та одношпонкового бетонного стику без бокового обтиснення прямокутну шпонку глибиною $l_k = 50$ мм за відношення $l_k / h_k = 1/4$; при армуванні або боковому обтисненні – трапецієподібну з кутом нахилу навантаженої грані 45° ; для багатошпонкового стику трикутний профіль із безперервним розташуванням армованих шпонок; відношення розмірів бетонних шпонок для уникнення крихкого їх руйнування слід приймати в інтервалі $1/4 \leq l_k / h_k = 1/2$; при поперечному армуванні або обтисненні вказаний інтервал можливо збільшити до $l_k / h_k = 1$ за $\rho_{sw} \geq 0,3 f_{cd} / f_{yd}$ і $\sigma_n / f_{cd} \geq 0,3$; ширину шва $t_j \leq h_k$; при визначенні опору багатошпонкового стику в розрахунках приймати не більше 5 шпонок.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-технічна проблема забезпечення несучої здатності стикових з'єднань із підвищеним опором зрізу збірних і збірно-монолітних залізобетонних конструкцій шляхом розроблення методології їх розрахунку з використанням варіаційного методу в теорії пластичності бетону і врахування специфіки напружено-деформованого стану для підвищення достовірності й ефективності проектування, удосконалення конструктивних рішень, відновлення експлуатаційної придатності. Сформульовані висновки, котрі відображають результати дисертаційної роботи.

1. Виконано аналіз досліджень явища зрізу як форми руйнування бетону та залізобетону, граничного напружено-деформованого стану й опору стикових з'єднань несучих залізобетонних елементів сучасних конструктивних систем будівель і споруд. Встановлена перспективність застосування стиків із підвищеним опором зрізу, обумовлена розповсюдженням у будівництві технології збірно-монолітного каркасу з класичною рамно-в'язевою системою колон, ригелів і перекриттів із багатопустотних плит, безбалкової конструктивної системи та модернізованого панельного домобудування, для котрих важливе значення мають вузли з'єднань, які забезпечують сумісну роботу несучих залізобетонних конструкцій за рахунок влаштування шпонок.

2. Розроблена методика комплексних експериментальних досліджень шпонкових стиків, яка дозволяє оцінити вплив на опір як окремих визначальних факторів, так і їх сполучень.

3. Проведені експериментальні дослідження одношпонкових стиків, проаналізовано напружено-деформований стан та визначено опір дослідних зразків залежно від їх геометричних параметрів та міцності бетону. Зафіксовано руйнування окремих прямокутних шпонок та контактних стиків із важкого бетону та керамзитобетону: від зминання при відношенні глибини шпонки до її висоти $l_k/h_k \leq 0,2$, котре супроводжується зрізом за нахиленою площиною; від зрізу за наближеним до вертикалі перерізом при $0,3 \leq l_k/h_k \leq 0,5$ з опором $f_c^k = (0,25 \dots 0,13) f_c$; від відриву за $l_k/h_k > 0,5$. Відносні деформації бетону стиску досягають $\varepsilon_c = 1,25 \%$, дисперсне армування бетону призводить до їх збільшення – $\varepsilon_c = 1,4 \%$, підвищення опору зрізу та зміни характеру руйнування із зовні крихкого до умовно пластичного. Опір при зрізі залежить від характеристик міцності f_c і f_{ct} , форми шпонкового профілю: трикутні шпонки мають вищий на 10 % граничний опір порівняно з прямокутними при $l_k/h_k = 0,5$. Для з'єднань зі швом із збільшенням його ширини від 50 до 200 мм несуча здатність при прямокутних шпонках знижується на 30 %.

4. Оцінено вплив обтиснення й армування на опір окремих шпонок та одношпонкових стиків. Обтиснення бетонних шпонок суттєво підвищує їх опір (при $\sigma/f_c = 0,32$ за $l_k/h_k = 0,5$ опір підвищується в 2,5 рази) та дозволяє збільшити інтервал реалізації зрізу до $l_k/h_k = 1$, при цьому поверхня руйнування віддаляється від вертикалі. Граничні відносні деформації за $\sigma/f_c = 0,3 - 0,47$ дорівнюють $\varepsilon_c = 2,2 - 2,9\%$. Поперечне армування впливає на опір шпонок

аналогічно обтисненню. При А240С і $\rho_{sw} = 1,03\%$ за $l_k / h_k = 0,25$ і $\rho_{sw} = 1,99\%$ за $l_k / h_k = 0,5$ опір відповідно керамзитобетонних і фібробетонних шпонок зростає в 2 рази. Рознесення арматури у два яруси за висотою шпонки призводить до збільшення опору до 10 %. Відносні деформації стиску керамзитобетону досягають при армуванні по-середині з $\rho_w = 0,76\%$ і $l_k / h_k = 0,25$ $\varepsilon_c = 1,9\%$ (для фібробетону $\varepsilon_c = 2,4\%$), за двоярусного розташування арматури – $\varepsilon_c = 2,9\%$. Деформації розтягнутої арматури за двоярусного розташування на (20 – 40)% більші, ніж за одноярусного, напруження в арматурі досягають межі текучості.

5. Проведені експериментальні дослідження багатошпонкових з'єднань, проаналізовано напружено-деформований стан і визначено граничний опір дослідних зразків. Для трьохшпонкових з'єднань зі швом зафіксовані такі форми руйнування: зріз двох шпонок та шва у межах останньої або руйнування однієї шпонки та зріз шва за похилим перерізом у межах двох інших при ширині шва $t_j = 25 - 200$ мм; руйнування однієї шпонки і шва в межах похилої стиснутої смуги при $t_j = 200$ мм за трикутного профіля; руйнування шва при $t_j = 300$ мм.

Опір керамзитобетонних і фібробетонних з'єднань підвищується: на 30% при зменшенні ширини шва з 200 до 50 мм; на 10% при зміні форми шпонки з прямокутної на трикутну та рознесенні арматури. Зафіксована нерівномірність напружень за довжиною багатошпонкового з'єднання: опір п'ятишпонкового контактного стику більше одношпонкового в 3 рази, восьмишпонкового в 5 разів. Деформації стиску стиків із фібробетону, керамзитобетону та важкого бетону складають $\varepsilon_c = 1,7...2,2\%$, напруження в арматурі досягають межі текучості.

6. Визначені показники факторів впливу, за яких опір елементів шпонкових з'єднань є максимальним та інтервали, коли унеможливлено крихке руйнування. Для бетонних шпонок слід приймати відношення розмірів $l_k / h_k = 0,25$, що відповідає максимальному опору; для уникнення відривної форми руйнування відношення l_k / h_k не повинно перевищувати 0,5. За ефективний для залізобетонних шпонок із важкого та керамзитобетону може бути прийнято рівень обтиснення $\sigma_c / f_c = 0,35$ та відсоток армування $\rho_{sw} = 1\%$, при застосуванні фібробетону на поліпропіленових волокнах можливо його збільшити до 2%, що підвищує опір при $l_k / h_k = 0,5$ до 2 разів.

7. На основі отриманих результатів експериментальних досліджень запропоновані кінематичні схеми руйнування шпонкових з'єднань. При зрізі шпонок на поверхні руйнування наявні стиснуті та розтягнуті ділянки. Обтиснення й армування приводить до збільшення розмірів зон стиску. У стиснутих областях на поверхні зрізу спостерігається локалізація пластичної деформації, її наявність обґрунтовує можливість застосування теорії пластичності у якості розрахункового апарату для оцінювання несучої здатності. Запропоновані дві схеми руйнування одношпонкового з'єднання залежно від ширини шва t_j : зріз шпонок за перерізом, наближеним до вертикалі; зріз шва у межах висоти шпонки; $i+1$ розрахункових схем для багатошпонкового з'єднання із руйнуванням шпонок, шва та їх сполучення, де i – кількість шпонок у стику.

8. Розроблена методологія розрахунку несучої здатності шпонкових з'єднань із застосуванням варіаційного методу в теорії пластичності бетону та врахуванням специфіки їх напружено-деформованого стану, характеру руйнування та сукупності факторів впливу. Теоретичні розробки дозволили запропонувати залежності, структуровані до нормативних, котрі враховують: характеристики міцності бетону при стисковій і розтягній; співвідношення розмірів шпонки l_k/h_k , котре обумовлює випадок руйнування (максимальний опір отримано на межі реалізації змінання та зрізу за $l_k/h_k = 0,25$); форму поперечного перерізу (встановлено, що опір шпонки із круглим поперечним перерізом виявився меншим порівняно із еквівалентним квадратним на 10%); форму шпонкового профіля (шпонки із нахилоною гранню мають вищий опір порівняно із прямокутними); рівень обтиснення; армування (кількість арматури, її розташування за висотою шпонки), котре впливає на опір аналогічно обтисненню; ширину шва. В стиках зі швом передбачається розглядати всі можливі випадки руйнування $n+1$, при цьому за розрахунком приймається мінімальне значення граничного опору. При визначенні опору багатошпонкових стиків слід враховувати роботу не більше 5 шпонок.

9. Достовірність отриманих теоретичних результатів здійснена на основі аналізу збіжності теоретичного опору з експериментальним. Фактори варіювання змінювалися в широких межах: відношення $l_k/h_k = 0,1-1$; обтиснення $\sigma \leq 0,47 f_c$; кут нахилу опорної грані $\psi = (0-45)^\circ$ від бетону (важкий $f_c = 22,5-56,9$ МПа, керамзитобетон $f_c = 10-23,5$ МПа, фібробетон $f_c = 12-14$ МПа); армування в один і два ряди з $\rho_{sw} = 0-2,89\%$; кількість шпонок у стикі 1, 3, 5 і

8. Отримана задовільна збіжність теоретичного опору із дослідним на 224 зразках: середнє арифметичне відношення $\bar{X} = f_k^{calc} / f_k^{tect} = 0,9...1,05$; коефіцієнт варіації $\nu = 7,62...19,23\%$. Порівняно з нормативною методикою та авторськими методами розрахунку при заданому рівні надійності запропонований метод має найнижчі середні запаси опору і відкриває перспективи ресурсозбереження.

10. Запропонована інженерна методика розрахунку несучої здатності шпонкових з'єднань з рекомендаціями щодо областей їх ефективного застосування. Порівняння результатів розрахунків опору залізобетонних шпонок за розробленою методикою з нормативною засвідчує зниження витрати арматури: при класі бетону С30/35 і $l_k/h_k = 0,5$ на 30%.

11. Вдосконалені конструктивні рішення:

- з'єднання надколонної плити із колоною в безбалково-безкапітельно-безконсольній конструктивній системі шляхом зміни відношення розмірів l_k/h_k з 1 до 0,5 (технічним результатом корисної моделі є підвищення опору шпонок при $l_k/h_k = 0,5$ до 50% та покращення умов передачі навантаження на з'єднання);

- стика плит безбалкового перекриття між собою (результатом є спрощення технології виготовлення і монтажу плит при застосуванні замість арматурних випусків із торців плит гнучких петель $\varnothing 6$ мм за типом «Reiko»);

- стика збірної багатопустотної плити з монолітним ригелем шляхом армування шпонок циліндричними каркасами (технічним результатом корисної моделі є забезпечення однакової несучої здатності з'єднання у вертикальній та горизонтальній площинах з підвищенням надійності при сейсмічних впливах);
- з'єднання монолітного ригеля із збірною багатопустотною плитою з подвійним призначенням арматури: як робочої арматури шпонок та поперечної арматури каркаса ригеля;
- контакт-платформного шпонкового стика панельних стін і багатопустотних плит (з винесеними за грані панелей зонами обпирання);
- багатошпонкового стика збірного ригеля із колоною (підвищення опору шляхом збільшення кількості шпонок трикутного профілю до 5).

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧКИ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ІЗ ВИЗНАЧЕННЯМ ОСОБИСТОГО ВНЕСКУ

Публікації, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Монографії:

1. Довженко О.О. Міцність шпонкових з'єднань бетонних і залізобетонних елементів: експериментальні дослідження: Монографія / О.О. Довженко. – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2015. – 181 с.
2. Довженко О.О. Багатоповерхові каркасні будівлі із збірно-монолітними балковими перекриттями : Монографія / О.О. Довженко, В.В. Погрібний. – Полтава: ПолтНТУ, 2016. – 196 с. *(аналіз та напрямки подальшого вдосконалення стикових з'єднань несучих елементів каркасів із збірно-монолітними балковими перекриттями багатоповерхових будівель)*
3. Сучасні конструктивні системи будівель із залізобетону: Монографія / А.М. Павліков, Д.К. Балясний, О.В. Гарькава, О.О. Довженко, С.М. Микитенко, Н.М. Пінчук, Д.Ф. Федоров; за ред. А.М. Павлікова. – Полтава: ПолтНТУ, 2017. – 120 с. *(висвітлені особливості сучасних збірно-монолітних конструктивних систем із залізобетону, вказано на необхідність удосконалення шпонкових з'єднань елементів перекриття)*
4. Збірник наукових розробок планувальних та конструктивних рішень споруд цивільного захисту: Монографія / А. Гасенко, О. Довженко, В. Погрібний, О. Семко, О. Філоненко, О. Юрін; за ред. О. Філоненко. – Полтава: ПП «Астрая», 2023. – 209 с. *(приведені основи розрахунку несучої здатності шпонкових стиків варіаційним методом у теорії пластичності)*
5. Довженко О.О. Стикові з'єднання з підвищеним опором зрізу: теоретичні й експериментальні дослідження: Монографія / О.О. Довженко. – Житомир: Видавничий дім «Бук-Друк», 2024. – 200 с.

Статті у наукових періодичних виданнях іноземних держав або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus та/або Web of Science Core Collection:

6. Dovzhenko O. The bearing capacity experimental determination of the keyed joints models in the transport construction / O. Dovzhenko, V. Pohribnyi, I. Yurko, I. Shostak // MATEC Web of Conf. – 2017.– Vol. 116, 02011. (Scopus, Web of

Science) *(сформульована мета та складена програма експериментальних досліджень одношпонкових з'єднань, проведено узагальнюючий аналіз отриманих результатів)*

7. Dovzhenko O. Bearing capacity calculation of reinforced concrete corbels under the shear action/ O. Dovzhenko, V. Pohribnyi, V. Pents, D. Mariukha // MATEC Web Conf. – 2018. – Vol. 230, 02005. (Scopus) *(запропонована методика визначення несучої здатності коротких консолей при одночасному руйнуванні в зоні стиску та розтягу)*

8. Dovzhenko O.O. Concrete and reinforced concrete strength under action of shear, crushing and punching shear / O.O. Dovzhenko, V.V. Pohribnyi, I.A. Yurko // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 463, 022026. (Scopus) *(визначено опір бетонних елементів при сполученні зрізу в стиснутій та відриву в розтягнутій зонах)*

9. Dovzhenko O. Shear failure form realization in concrete/ O. Dovzhenko, V. Pogrebnyi, I. Yurko //News the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. – 2018. – Vol. 2. – № 428. – Pp. 55–62. (Scopus, Web of Science) *(досліджена зрізова форма руйнування бетонних шпонок, враховано вплив обтиснення)*

10. Pohribnyi V. The ideal plasticity theory usage peculiarities to concrete and reinforced concrete / V. Pohribnyi, O. Dovzhenko, O. Maliovana // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – 7 (3.2). – Pp. 19–26. (Scopus) *(встановлені умови реалізації зрізу для бетонних елементів на основі теорії пластичності)*

11. Dovzhenko O. Effective keyed connections of hollow-core floor slabs with walls in modern large-panel house building / O. Dovzhenko, V. Pohribnyi, L. Karabash // Science and Technique. – 2018. – Vol. 17. – No 2. – Pp. 146–156. (Web of Science). *(обґрунтовано застосування шпонкових стиків плит перекриття зі стіновими панелями у великопанельному будівництві)*

12. Dovzhenko O. Experimental study on the multikeyed joints of concrete and reinforced concrete elements / O. Dovzhenko, V. Pohribnyi, L. Karabash // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – 7 (3.2). – Pp. 354–359. (Scopus) *(сформульована мета та складена програма експериментальних досліджень багатошпонкових з'єднань, проведено узагальнюючий аналіз результатів)*

13. Dovzhenko O.O. On clarification of the application area of the concrete plasticity theory to the strength problems solutions / O.O. Dovzhenko, V.V. Pohribnyi, V.F. Pents, M.V. Pents // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2020. – Vol. 73. – Pp. 25–33. (Scopus) *(обґрунтовано застосування теорії пластичності бетону для визначення опору бетону при «чистому зрізі» та для прямокутних шпонок)*

14. Dovzhenko O. To the shear strength of concrete / O. Dovzhenko, V. Pohribnyi, O. Zyma // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 753, 052021. (Scopus) *(проаналізовано явище зрізу в бетоні, наведені залежності для визначенні опору при зрізі)*

15. Dovzhenko O. Discontinuous solutions of concrete elements strength problems using the principle of virtual velocities / O. Dovzhenko, V. Pohribnyi, V. Kyrychenko, O. Malovana // *Lecture Notes in Civil Engineering*. – 2022. – Vol. 181. – Pp. 59–71. (Scopus) *(застосовані розривні рішення для визначення опору коротких елементів при зрізі)*

16. Usenko D. Masonry strengthening under the combined action of vertical and horizontal forces / D. Usenko, O. Dovzhenko, V. Pohribnyi, O. Zyma // *Proceedings of the 2020 session of the 13th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, held in Paris, France, August 26 – 28, 2020*. – Pp. 193–199. (Scopus) *(визначена несуча здатність конструкцій із квазікрихких матеріалів при діагональному розколюванні)*

17. Pohribnyi V. Concrete and reinforced concrete shear: an improved strength calculation method / V. Pohribnyi, O. Dovzhenko, Y. Klymenko, O. Fenko // *AIP Conference Proceedings*. – 2023. – Vol. 2678, 020014. (Scopus) *(оцінено опір стикових з'єднань бетонних і залізобетонних елементів при зрізі з врахуванням специфіки напруженого стану)*

18. Dovzhenko O. Improved structural solutions of keyed joints of modern structural systems from reinforced concrete / O. Dovzhenko, V. Pohribnyi, V. Kyrychenko. I. Kuznietsova, O. Bulbakha // *AIP Conference Proceedings*. – 2023. – Vol. 2678, 020007. (Scopus) *(запропоновані удосконалені конструктивні рішення шпонкових з'єднань багатопустотних плит з монолітними ригелями і між собою та зі стіновими панелями у великопанельних будівлях)*

19. Dovzhenko O. Accident prevention of buildings and structures based on two-level assessment of bearing capacity of structures / O. Dovzhenko, V. Pohribnyi, Ye. Klymenko, O. Fenko // *AIP Conference Proceedings*. – 2023. – Vol. 2684, 030009. (Scopus) *(запропонована ідея дворівневого оцінювання технічного стану при незабезпеченості несучої здатності конструкцій для уникнення аварій)*

20. Dovzhenko O. O. Bearing capacity evaluation of keyed joints in precast-cast-in-place reinforced concrete structures for effective rehabilitation / O.O. Dovzhenko, V. V. Pohribnyi, O. G. Fenko, V. A. Tytarenko, P.A. Yurko // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. – 2025. – Vol. 1499, 012011. (Scopus) *(методологія оцінювання несучої здатності шпонкових з'єднань)*

21. Dovzhenko O. Improved joints of reinforced concrete elements in precast-and-cast-in-place construction based on destruction mechanics / O. Dovzhenko, V. Pohribnyi // *Technology transfer: Fundamental principles and innovative technical solutions*. – 2019. – Pp. 58–60. *(удосконалені конструктивні рішення шпонкових стиків у каркасних збірно-монолітних системах)*

Статті у наукових фахових виданнях України:

22. Митрофанов В.П. Про трактування поняття «чистого зрізу» в бетоні / В.П. Митрофанов, В.В. Погрібний, О.О. Довженко / *Комунальне господарство міст: Наук.-техн зб.* – № 33. – К.: Техніка, 2001. – С. 39–43. *(констатується відмінність явищ «чистого зрізу» як випадку напруженого стану і форми руйнування бетону)*

23. Погрібний В.В. Напружено-деформований стан і граничне навантаження шпонкових з'єднань залізобетонних конструкцій/ В.В Погрібний, О.О Довженко // Комунальне господарство міст: Наук.-техн зб. – К.: Техніка, 2002. – Вип. 39. – С. 23–28. *(оцінено опір одно-, трьох- та п'ятишпонкових стикових з'єднань)*

24. Митрофанов В.П. Про можливість застосування передумови про ідеальну пластичність до бетону / В.П. Митрофанов, О.О. Довженко, В.В. Погрібний // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2002. – Вип. 7. – С. 118–124. *(встановлені умови застосування теорії пластичності при наявності в бетонних елементах зон стиску та розтягу)*

25. Погрібний В.В. Міцність обтиснутих бетонних шпонок при зрізі / В.В. Погрібний, О.О. Довженко, В.Н. Рожко // Комунальне господарство міст: Наук.-техн зб. – К.: Техніка, 2004. – Вип. 55. – С. 290–297. *(запропонована методика розрахунку опору обтиснутих бетонних шпонок при зрізі на основі варіаційного методу в теорії пластичності)*

26. Довженко О.О. Результати експериментальних досліджень міцності окремих прямокутних шпонок з урахуванням особливостей армування / О.О. Довженко, Л.В. Карабаш, П.Б. Митрофанов // Комунальне господарство міст: Наук.-техн зб. – К.: Техніка, 2007. – Вип. 76. – С. 16–22. *(надані результати експериментальних досліджень шпонок за одно- та дворівневого розміщення арматури)*

27. Довженко О.О. Міцність шпонкових з'єднань з урахуванням різної форми шпонкового профілю / О.О. Довженко, В.Н. Рожко, Т.Ю. Качан // Комунальне господарство міст: Наук.-техн зб. – К.: Техніка, 2007. – Вип. 76. – С. 113–123. *(надані результати експериментальних і теоретичних досліджень шпонок при прямокутній, трапецієвидній та трикутній формі їх профіля)*

28. Довженко О.О. Варіаційний метод розрахунку міцності окремих прямокутних залізобетонних шпонок / О.О. Довженко, Л.В. Карабаш // Дороги і мости. – К.: ДерждорНДІ, 2008. – Вип. 9. – С. 76–80. *(обґрунтовано застосування варіаційного методу до розрахунку прямокутних шпонок)*

29. Довженко О.О. Дослідження опору бетону зрізові на зразках Гвоздева / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Т.Ю. Качан // Комунальне господарство міст: Наук.-тех. зб. – К.: ХНАГХ, 2009. – Вип. 90. – С. 173–182. *(представлені теоретичні й експериментальні результати вивчення зрізової форми руйнування бетону)*

30. Митрофанов В.П. Міцність залізобетонних шпонок з різним розташуванням арматури/ В.П. Митрофанов, О.О. Довженко, О.А. Голов, Л.В. Карабаш, С.І. Арцев// Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2009. – Вип. 34. – С. 436–444. *(за результатами дослідження оцінено вплив одно- та двоярусного розташування арматури за висотою шпонки на її опір)*

31. Довженко О.О. Результати експериментальних досліджень трьохшпонкових стиків із фібробетону / О.О. Довженко, І.А. Юрко // Ресурсоекономні

матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: УДУВГП, 2010. – Вип. 20. – С. 187–192. *(встановлена перспективність застосування стиків з використанням фібробетону на поліпропіленових волокнах)*

32. Довженко О.О. Міцність залізобетонних шпонок при двоярусному розташуванні арматури / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Л.В. Карабаш, М.О. Музичук // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава, 2011. – Вип. 1. – С. 80–86. *(оцінено опір залізобетонних шпонок при рознесенні арматурі за висотою шпонки)*

33. Довженко О.О. 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 // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. 4 (69). – С. 120–123. *(запропоновано варіаційний метод для розрахунку коротких бетонних балок)*

34. Довженко О.О. Дослідження клейового з'єднання нового бетону зі старим при зрізі на прикладі зразків Гвоздева/ О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Т.Ю. Качан, А.В. Скубицький // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: УДУВГП, 2011. – Вип. 22. – С. 299–305. *(встановлено специфіку роботи клейового з'єднання)*

35. Довженко О.О. Розрахунок міцності одношпонкових стиків із фібробетону на поліпропіленових волокнах / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, І.А. Юрко//Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: УДУВГП, 2011. – Вип. 22. – С. 306–313. *(враховано особливості роботи стиків із фібробетону)*

36. Довженко О.О. Про можливість застосування теорії пластичності до розрахунку міцності елементів із високоміцного бетону / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, О.О. Куриленко // Комунальне господарство міст: Наук.-техн. зб. – К.: Техніка, 2012. – Вип. 105. – С. 7–82. *(обґрунтовано застосування теорії пластичності до розрахунку елементів із високоміцного бетону)*

37. Довженко О.О. Методика комплексних експериментальних досліджень шпонкових стиків бетонних і залізобетонних елементів / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – Вип. 5 (35). – С. 72–83. *(сформульовано мету та описано програму комплексних експериментальних досліджень шпонкових стиків)*

38. Довженко О.О. Міцність шпонкових стиків із фібробетону на поліпропіленових волокнах / О.О. Довженко, І.А. Юрко// Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса, 2012. – Вип. 46. – С. 64–73. *(встановлені особливості роботи стиків із фібробетону у граничному стані)*

39. Довженко О.О. Порівняльний аналіз розрахунку міцності залізобетонних шпонок за існуючими методиками (на прикладі контактного шва) / О.О. Довженко, І.А. Юрко, А.Г. Гриценко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – Вип. 5 (35). – С. 84–91. *(аналіз методик розрахунку опору контактному залізобетонному шва)*

40. Довженко О.О. Порівняльний аналіз розрахунку міцності бетонних шпонок за існуючими методиками / О.О. Довженко, Л.В. Карабаш, Ю.В. Чурса // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: УДУВГП, 2012. – Вип. 23. – С. 201–210. *(на основі аналізу методів розрахунку вказані напрямки їх вдосконалення)*

41. Довженко О.О. Міцність одношпонкових стиків трапецієподібної форми із фібробетону на поліпропіленових волокнах із урахуванням особливостей армування/ О.О. Довженко, В.В. Погрібний, І.А. Юрко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: УДУВГП, 2012. – Вип. 23 – С. 225–232. *(визначено вплив на опір форми шпонки)*

42. Довженко О.О. Шпонкові з'єднання збірних безбалкових перекриттів: капітельних та безкапітельних системи «КУБ-2,5» / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса, А.Г. Гриценко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 4(1). – С. 106–113. *(запропоновано для розрахунку стиків капітелі з колонною і надколонної плити з колонною безбалкових перекриттів варіаційний метод)*

43. Довженко О.О. Методика розрахунку шпонкових з'єднань залізобетонних елементів / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса // Вісник національного університету «Львівська політехніка». – № 755. Теорія і практика будівництва. – Львів: Видавництво Львівської політехніки. – 2013. – С. 111–117. *(викладено передумови та сутність методики розрахунку шпонкових з'єднань бетонних і залізобетонних елементів)*

44. Довженко О.О. Методика розрахунку стикових з'єднань збірно-монолітних конструктивних систем під доступне житло в Україні / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Л.В. Карабаш, А.О. Бігдан, Н.В. Дакало // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 4(1). – С. 94–105. *(запропонована загальна методика розрахунку опору залізобетонних (бетонних) шпонок, яка розглядає специфіку напруженого стану зони руйнування)*

45. 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. пр. – Рівне: УДУВГП, 2013. – Вип. 25. – С. 276–286. *(сформульовані задачі дослідження та надані пропозиції щодо проектування шпонкових з'єднань з підвищеним опором зрізу)*

46. Довженко О.О. Міцність стиків залізобетонних елементів з урахуванням обтиснення й армування/ О.О. Довженко, Л.В. Карабаш, В.І. Рудченко, А.А. Шиян // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: УДУВГП, 2013. – Вип. 27. – С. 76–86. *(на основі варіаційного методу теорії пластичності бетону розроблено методику розрахунку опору шпонок з урахуванням особливостей армування та рівня обтиснення)*

47. 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. пр. – Рівне: УДУВГП, 2013. – Вип. 27. – С. 87–96. *(розроблена програма експериментальних досліджень багатошпонкових контактних стиків)*

48. Довженко О.О. Результати експериментальних досліджень шпонкових з'єднань: вплив ширини шва та кількості шпонок на міцність стиків / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса, Г.А. Кошман // Будівельні конструкції: Міжвідом. наук.-техн. зб. наук. пр. (будівництво). – К.: НДІБК, 2013. – Вип. 79. – С. 370–379. *(аналіз результатів експериментальних досліджень впливу ширини шва та кількості шпонок на опір стиків)*

49. Довженко О.О. Порівняльний аналіз розрахунку міцності обтиснутих бетонних шпонок за існуючими методиками / О.О. Довженко, Л.В. Карабаш, Є.О. Ржаних // Будівельні конструкції : Міжвідом. наук.-техн. зб. наук. пр. (будівництво). – К.: НДІБК, 2013. – Вип. 79. – С. 527–533. *(аналіз результатів визначення опору обтиснутих бетонних шпонок)*

50. Довженко О.О. Збірно-монолітна конструктивна система «КУБ-2,5» під соціальне житло в Україні: з'єднання колони з перекриттям / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, А.Г. Гриценко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: УДУВГП, 2013. – Вип. 27. – С. 301–309. *(сформульовані задачі експериментальних досліджень, проведено загальне оцінювання опору багатошпонкових стиків)*

51. Довженко О.О. Результати експериментальних досліджень залізобетонних елементів із змінною кількістю шпонок / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: УДУВГП, 2014. – Вип. 29. – С. 143–150. *(виконаний аналіз впливу кількості шпонок на опір багатошпонового стику)*

52. Довженко О.О. Порівняльний аналіз розрахунку міцності багатошпонкових контактних стиків за існуючими методиками / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса, Я.В. Черненко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: УДУВГП, 2015. – Вип. 30. – С. 121–125. *(узагальнені результати аналізу запропонованої методики оцінювання опору багатошпонкових контактних стиків та існуючих методик)*

53. Пашинський В.А. Методика статистичного аналізу точності та ефективності розрахунків шпонкових з'єднань / В.А. Пашинський, О.О. Довженко, В.І. Рудченко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: УДУВГП, 2015. – Вип. 30. – С. 210–217. *(оцінена точність та ефективність розрахунків шпонкових з'єднань на основі статистичного аналізу)*

54. Довженко О.О. Врахування форми поперечного перерізу шпонок у розрахунках їх міцності / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 155. – С. 221–228. *(розроблено метод врахування форми поперечного перерізу при визначенні опору шпонки)*

55. Пашинський В.А. Результати статистичного аналізу методів розрахунку шпонкових з'єднань та рекомендації щодо їх застосування/ В.А. Пашинський, О.О. Довженко, В.І. Рудченко // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – Харків: УДУЗТ, 2015. – Вип. 155. – С. 214–221. *(проаналізовані запаси міцності за розрахунковими значеннями несучої здатності)*

56. Довженко О.О. Вертикальні стики панельних будівель: конструктивні рішення, розрахунок за міцністю / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Є.І. Чумак // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2016. – Вип. 33. – С. 237–243. *(проаналізовані конструктивні рішення вертикальних стиків стінових панелей із застосуванням тросових петель та висвітлена методика розрахунку)*

57. Dovzhenko O. Variational method applied in calculation of key joint's strength in the current construction system/ O. Dovzhenko, V. Pogribnyi, Yu. Chursa // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2016. – Вип. 2(47)'. – С. 133–139. *(обґрунтована необхідність забезпечення сумісної роботи несучих конструкцій збірних і збірно-монолітних каркасних систем шляхом проектування на основі запропонованого варіаційного методу шпонкових з'єднань)*

58. Довженко О.О. Оцінювання міцності при зрізі бетонних елементів на основі теорії пластичності бетону / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, О.О. Мальована // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – Харків: УДУЗТ, 2016. – Вип. 165. – С. 205–215. *(на основі теорії пластичності оцінено опір зразків Мерша і Гвоздєва, запропонованих для вивчення явища «чистого зрізу» в бетоні)*

59. Довженко О. О. Перспективи застосування технології збірно-монолітного каркасу в багатоповерховому будівництві України / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, І.В. Шостак // Нові технології в будівництві. – 2017. – № 32. – С. 79–85. *(наголошено на перспективність застосування технології збірно-монолітного каркасу в Україні)*

60. Dovzhenko O.O. Multistory framed buildings with slab cast over precast joists: recommendations for designing concrete elements key joints / O.O. Dovzhenko, V.V. Pogribnyi, Y.V. Chursa, Y.V. Chernenko // Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – 2017. – №1 (48)'. – Pp. 100–107. *(надані рекомендації з проектування шпонкових з'єднань залізобетонних елементів збірно-монолітних перекриттів каркасних будівель)*

61. Довженко О.О. Зріз як форма руйнування бетону / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, І.А. Юрко // Наука та будівництво. – 2017. – №4 (14). – 43–50. *(наведена методика визначення опору зрізу з урахуванням впливу специфіки напруженого стану елементів)*

62. Довженко О.О. Вплив профілю шпонок та ширини шва на несучу здатність з'єднань залізобетонних конструкцій у транспортному будівництві / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Є.І. Чумак // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – 2018. – Вип. 178. – С. 97–106. *(оцінено вплив профілю та ширини шва шпонкового з'єднання на його опір)*

63. Довженко О.О. Шпонкові з'єднання елементів будівель із залізобетону / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса // Наука та будівництво. – 2018. – №1. – С. 88–93. *(надані конструктивні рішення шпонкових з'єднань і рекомендації щодо їх геометричних параметрів для досягнення максимального опору)*

64. Довженко О.О. Порівняльний розрахунок міцності вертикальних стиків збірних стінових елементів / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Д.Ю. Марюха, Є.І. Чумак // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2019. – Вип. 37. – С. 158–163. *(виконаний загальний аналіз результатів розрахунку опору стиків)*

65. Dovzhenko O. The masonry calculation strength under the vertical and horizontal loads combined action by the variational method in the plasticity theory / O. Dovzhenko, V. Pohribnyi, V. Usenko, D. Usenko // Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering. – 2021. – № 2(57)' – С. 26–31. *(запропонована кінематична схема конструкцій із квазікрихких матеріалів при діагональному розколюванні)*

66. Довженко О.О. Опір кам'яних і залізобетонних елементів діагональному розколюванню / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, М.В. Пенц, М.О. Міщенко // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. – 2024. – Вип. 21. – С. 66 – 75. *(на основі розривних рішень визначено опір залізобетонних елементів на діагональне розколюванні)*

67. Довженко О.О. Аналіз досліджень зрізу як форми руйнування стикових з'єднань несучих залізобетонних конструкцій / О.О. Довженко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2024. – Вип. 45. – С. 158–165. *(обґрунтована перспектива застосування теорії пластичності у якості теоретичної основи розрахунку стиків)*

68. Довженко О.О. Пропозиції до розрахунку несучої здатності шпонкових стиків збірно-монолітних залізобетонних конструкцій споруд цивільного захисту / О.О. Довженко, К.В. Кононенко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2024. – Вип. 46. – С. 192 – 198. *(надані пропозиції до розрахунку із врахуванням відношення розмірів шпонок, форми їх поперечного перерізу і профілю стику, рівня обтиснення)*

69. Довженко О.О. Розрахунок несучої здатності шпонкового з'єднання при руйнуванні шва за стиснутою смугою / О.О. Довженко, М.О. Міщенко, Г.Р. Шершерія // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків, 2024. – Вип. 210. – С. 60–69. *(викладені загальні положення розрахунку несучої здатності шпонкового з'єднання за швом)*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

70. Карабаш Л.В. Методика експериментального дослідження міцності окремих прямокутних шпонок з урахуванням особливостей армування / Л.В. Карабаш, О.О. Довженко // Матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні наукові дослідження-2006». – Дніпро: Наука і освіта, 2006. – Т. 45. С. 6–9. *(запропонована ідея досліджень особливостей армування)*

71. Довженко О.О. Порівняльний розрахунок міцності контактної шва згідно норм і варіаційного методу на основі теорії пластичності / О.О. Довженко, Л.В. Карабаш, Ю.В. Чурса // Тези 63-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (10 – 19 травня 2011 р.). – Полтава: ПолтНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2011. – Т. 2. – С. 22–23. *(викладені основні положення методики розрахунку стика варіаційним методом)*

72. Довженко О.О. Вплив згинального моменту на міцність шпонок / О.О. Довженко, В.В. Погрібний // “Questions. Answers. Hypotheses: science XXI century”: Collection of scientific reports. – Гданськ, 2014. – Ч. 1. – С. 11–16. *(наведені розрахункові схеми шпонок за різного відношення глибини до їх висоти)*

73. Довженко О.О. Рекомендації щодо проектування шпонкових стиків бетонних і залізобетонних елементів (на основі досліджень, виконаних у ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка) / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса // Тези 66-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (15 квітня – 15 травня 2014 р.). – Полтава: ПолтНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2014. – Т. 1. – С. 352–355. *(надані загальні рекомендації з проектування стиків)*

74. Чурса Ю.В. Програма комплексних експериментальних досліджень шпонкових стиків залізобетонних і бетонних елементів / Ю.В. Чурса, О.О. Довженко // Бетон і залізобетон в Україні. – 2014. – № 3 (79). – С. 8–11. *(визначені задачі експериментальних досліджень)*

75. Довженко О.О. Класифікація шпонкових з'єднань / В.В. Погрібний, О.О. Довженко // Тези 67-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (2 квітня – 22 травня 2015 р.). – Полтава: ПолтНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2015. – Т. 2. – С. 31–32. *(запропонована класифікація шпонкових з'єднань)*

76. Довженко О.О. Зрізова форма руйнування: ознаки, характер, розподіл напружень і деформацій / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Х.С. Арцева, М.А. Побот // Тези 67-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (2 квітня – 22 травня 2015 р.). – Полтава: ПолтНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2015. – Т. 2. – С. 35–36. *(наведена характеристика зрізової форми руйнування)*

77. Погрібний В.В. Характеристика зрізу як форми руйнування / В.В. Погрібний, О.О. Довженко // Modern scientific researches and developments: theoretical value and practical results – 2016: materials of international scientific and practical conference. – Bratislava, 2016. – Pp. 111–112. *(встановлена перспектива застосування варіаційного методу для оцінювання опору зрізу)*

78. Довженко О.О. Шпонкові стики великопанельних будівель / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Д.Ю. Марюха // Збірка тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої 90-річчю з дня народження професора В.К. Єгупова «Проблеми теорії і практики сейсмостійкого будівництва», 25 – 29 жовтня 2016 р. – Одеса: ОДАБА, 2016. – С. 46–47. *(встановлені перспективи застосування з'єднань з підвищеним опором зрізу в великопанельному будівництві)*

79. Довженко О.О. Стики несучих елементів сучасних конструктивних систем цивільних будівель / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, І.А. Юрко // «ҚазҚСҒЗИ» АҚ хабаршысы, за матеріалами міжнародної науково-практичної конференції «Жаңа құрылыс тенденциялары 21 ғасырда». – 2017. – № 7(71). – С. 5–10. *(узагальнені основні фактори, що впливають на несучу здатність стиків, запропоновано вдосконалення конструкції стиків)*

80. Довженко О. О. Вертикальні стики стінових панелей із гнучкими петлями / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Д.Ю. Марюха // Тези доповідей III Міжнародної науково-технічної конференції «Ефективні технології в будівництві» (28 – 29 березня 2018 р.). – К.: КНУБА, 2018. – С. 101–104. *(обґрунтована перспектива застосування шпонкових з'єднань)*

81. Погрібний В.В. Міцність елементів із високоміцного бетону при зрізі / В.В. Погрібний, О.О. Довженко, О.О. Мальована // Збірник наукових праць XII Міжнародної науково-практичної конференції «Академічна й університетська наука: результати та перспективи», 6 грудня 2019 р. – Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2019. – С. 295–298. *(розглянуті питання опору шпонок із високоміцного бетону)*

82. Довженко О.О. Шпонкові стики в сучасних великопанельних будівлях / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса, Д.Ю. Марюха // Збірник наукових праць за матеріалами II Міжнародної українсько-азербайджанської конференції «Building innovations – 2019», 23 – 24 травня 2019 року – Полтава: ПолтНТУ, 2019. – С. 75–77. *сформульована (ідея застосування шпонкових стиків плит перекриття зі стінами)*

83. Довженко О.О. Шляхи модернізації великопанельного будівництва / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, О.Є. Зима, Д.А. Хорошун // Академічна й університетська наука: результати та перспективи : Зб. наук. пр. XII Міжнародної наук.-практ. конф., 6 грудня 2019 р. – Полтава : Нац. ун-т ім. Юрія Кондратюка, 2019. – С. 261–264. *(обґрунтовані перспективи великопанельного будівництва в Україні)*

84. Довженко О.О. Шляхи підвищення енергоефективності конструктивних рішень вузлів з'єднань елементів несучих систем об'єктів транспорту / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Т.О. Совенко // Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність на транспорті», 18 – 20 листопада 2020. – Харків: УкрДУЗД, 2020. – С.71–72. *(обґрунтовані напрямки створення енергоефективних з'єднань)*

85. Довженко О.О. Удосконалене конструктивне рішення вузла з'єднання багатопустотних плит з монолітним ригелем багатопверхових будівель / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, І.М. Мелешко // Зб. наук. пр. за матер. XIII Міжнар. наук.-практ. конф. «Академічна й університетська наука: результати та перспективи» присвяченої 90-річчю Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» та пам'яті президента Національної академії наук України, академіка НАН України Бориса Євгеновича Патона (10 – 11 грудня 2020 р.). – Полтава: НУПП, 2020. – С. 244–247. *(конструктивне рішення стика плит з ригелем)*

86. Довженко О.О. Опір залізобетону при зрізі / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, О.О. Мальована, Т.О. Совенко // Збірник наукових праць за

матеріалами IV Міжнародної українсько-азербайджанської науково-практичної конференції (20 – 21 травня 2021 року). – Полтава – Баку, 2021. – С. 127–128. *(охарактеризовано передумови реалізації зрізу в залізобетоні)*

87. Погрібний В.В. Критерій та області реалізації зрізу в бетоні / В.В. Погрібний, О.О. Довженко, О.М. Шитова // Збірник наукових праць за матеріалами IV Міжнародної українсько-азербайджанської науково-практичної конференції (20 – 21 травня 2021 року). – Полтава – Баку, 2021. – С. 162–163. *(встановлені критерії реалізації зрізу в бетоні)*

88. Довженко О. Вдосконалені конструктивні рішення шпонкових стиків сучасних збірних і збірно-монолітних конструктивних систем із залізобетону / О. Довженко, В. Погрібний, В. Кириченко, І. Кузнецова, О. Бульбаха // Тези XIX Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології у будівництві, цивільній інженерії та архітектурі» (м. Чернігів, 19 – 22 вересня 2021 р.). – Чернігів, 2021. – С. 150–152. *(представлені напрямки вдосконалення шпонкових стиків)*

89. Погрібний В. Зріз бетону та залізобетону: удосконалена методика розрахунку міцності / В. Погрібний, О. Довженко, Є. Клименко, О. Фенко // Тези XIX Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології у будівництві, цивільній інженерії та архітектурі» (м. Чернігів, 19 – 22 вересня 2021 р.). – Чернігів, 2021. – С. 249–250. *(окреслені напрямки та методи вдосконалення опору стикових з'єднань)*

90. Мищенко М.О. Вузли з'єднання ригеля з колоною залізобетонних каркасів / М.О. Мищенко, З.Є. Травка-Бабенко, О.О. Довженко, В.В. Погрібний // Тези 75-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (Полтава, 02 –25 травня 2023 р.). – Полтава, 2023. – Т. 1. – С. 140–141. *(наведено конструктивне рішення шпонкового стика)*

91. Бульбаха О.С. Вдосконалена конструкція стику між плитами перекриття будівлі з конструктивною системою «Куб-2,5» / О.С. Бульбаха, А.А. Тарасенко, О.О. Довженко // Тези 75-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (Полтава, 02 –25 травня 2023 р.). – Полтава, 2023. – Т. 1. – С. 142–144. *(висказана ідея вдосконалення стика між плитами)*

92. Довженко О.О. Методи розрахунку несучої здатності конструкцій із квазікрихких матеріалів при зсуві / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, В.Л. Швайковський, М.О. Міщенко, М.В. Пенц // Тези доповідей 10-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 20 – 22 листопада 2024 р. – Харків: УкрДУЗТ, 2024. – С. 108–110. *(обґрунтована доцільність застосування варіаційного методу в теорії пластичності до визначення несучої здатності конструкцій при зрізі)*

93. Довженко О.О. Розрахунок несучої здатності шпонкового з'єднання при руйнуванні шва за стиснутою смугою / О.О. Довженко, М.О. Міщенко, Г.Р. Шершерія // Тези доповідей 10-ої Міжнародної науково-технічної

конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 20 – 22 листопада 2024 р. – Харків: УкрДУЗТ, 2024. – С. 110–112. *(розроблені кінематичні схеми руйнування шпонкового з'єднання)*

94. Довженко О.О. Інженерна методика розрахунків шпонкових з'єднань бетонних і залізобетонних елементів / О.О. Довженко // Тези 77-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». (Полтава, 16 травня – 22 травня 2025 року) – Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2025. – Т. 1. – С.156–157.

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації

Патенти:

95. Патент на корисну модель 95177/ Україна, МПК 2016.01 E04B 1/00. Вузол з'єднання надколонної плити з колоною у збірно-монолітних безкапітельно-безбалкових перекриттях/ О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса, А.О. Бігдан; заявник та власник Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № и 2014 07594 ; заявл. 07.07.2014 ; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 23. *(удосконалено вузол з'єднання надколонної плити з колоною)*

96. Патент на корисну модель 104986 / Україна МПК 2006.01 E04B 1 / 38. Вузол з'єднання плит з ригелем у збірно-монолітних перекриттях / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса ; заявник та власник Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № и 2015 09341 ; заявл. – 28.09.2015, опубл. 25.02.16 , Бюл. № 4. *(удосконалено вузол з'єднання плит з ригелем)*

97. Патент на корисну модель 116444 Україна, МПК 2016.01 E04C 3/00 E04C 3/20 Спосіб улаштування вузла з'єднання плит з ригелем у збірно-монолітних перекриттях/ О.О. Довженко, В.В. Погрібний; заявник та власник Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. заявник та власник Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № и 2016 11185; заявл. 07.11.2016 ; заявл. 07.07.2014; опубл. 25.05.2017. Бюл. № 10. *(наведено технологію при влаштування вузла з'єднання)*

98. Патент на корисну модель 140820. Україна МПК 2020.01 E04B 1/00. Вузол з'єднання залізобетонних плит з ригелем у збірно-монолітних перекриттях з подвійним функціональним призначенням робочої арматури / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса, К.С. Костроміцька; заявник та власник Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № и 2020 09018; заявл. 29.07.2019, опубл. 10.03.2020, Бюл. № 5. *(запропоновано анкерування поперечної арматури ригеля в якості робочої арматури шпонки)*

Колективна монографія

99. Dovzhenko O. Improvement of affordable housing precast and precast-cast-in place building production technologies: Collective Monograph / O. Dovzhenko, V. Pohribnyi, O. Zyma // Modern world tendencies in the development of science. – London, 2019. – Vol. 1. – Pp. 13–25. *(визначені шляхи вдосконалення технології виконання вузлів з'єднань несучих конструкцій будівель доступного жита)*

АНОТАЦІЯ

Довженко О.О. Стикові з'єднання з підвищеним опором зрізу несучих залізобетонних конструкцій. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди (19 – «Архітектура та будівництво»). – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2025.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної проблеми забезпечення несучої здатності стикових з'єднань залізобетонних конструкцій з підвищеним опором зрізу для гарантування сумісної роботи елементів сучасних конструктивних систем будівель і споруд.

Проведені комплексні експериментальні дослідження шпонкових з'єднань. Випробувано 5 типів дослідних зразків (7 серій: 123 зразки). Систематизовано вплив на характер руйнування, деформований стан та несучу здатність: відношення глибини шпонки до її висоти, рівня бокового обтиснення, відсотка поперечного армування та розташування арматури за висотою шпонки для окремих шпонок; кута нахилу опорної грані шпонки та ширини шва на одношпонкових контактних стиках і з'єднаннях зі швом; форми шпонкового профілю та кількості шпонок на багатошпонкових з'єднаннях та контактних стиках; виду та класу бетону (важкий бетон, керамзитобетон і фібробетон).

Виконані дослідження несучої здатності шпонкових з'єднань варіаційним методом у теорії пластичності, котра виступає загальною основою для створення методології розрахунку стиків, які характеризуються підвищеним опором зрізу.

Проведено порівняльний аналіз теоретично отриманої несучої здатності з дослідною (224 порівняння). Отримано задовільну збіжність відхилень середніх і розрахункових результатів та мінімум надлишкових запасів несучої здатності.

Запропонована інженерна методика розрахунку й удосконалені конструктивні рішення шпонкових з'єднань з підвищеним опором зрізу.

Ключові слова: шпонка, обтиснення, поперечне армування, ширина шва, поперечний профіль, деформація, несуча здатність, теорія пластичності, варіаційний метод.

ABSTRACT

Dovzhenko O.O. Keyed joints with increased shear resistance of bearing reinforced concrete structures. – Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.23.01 – building structures, buildings and structures (19 – Architecture and construction). – National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, 2025.

The introduction substantiates the relevance of the problem being solved, formulates the aim the tasks of the research, the scientific novelty and practical significance of the obtained work results.

The first chapter provides a review of the technical literature on the subject of this research. It examines modern structural systems for reinforced concrete buildings

and structures, in which the joints between load-bearing structures and contact joints in monolithic and precast and cast-in-place structures are important components. Joints are subjected to shear forces and require increased shear strength. It has been determined that the specific characteristics of the work joints must be taken into account. The need for complex experimental studies, the evaluation of the influence of as many determining factors as possible, and the development of a calculation methodology for joints using the variational method in plasticity theory has been demonstrated.

The second chapter presents a methodology for complex experimental studies of keyed joints. The experimental program includes testing of 5 types of test specimens (7 series: 123 specimens): individual keys with determination of the influence of the key depth-to-height ratio l_k/h_k , the compression ratio σ/f_c , the reinforcement percentage ρ_{sw} , and the arrangement of the reinforcement along the height of the key (series 1, 2, and 3); single-key contact joints and joints with a seam with variation in the angle of inclination of the key's bearing surface ψ ; the number and arrangement of the reinforcement, and the seam width t_j (series 4 and 5); multi-key joints with a seam and contact joints with an assessment of the influence of the key profile shape, the reinforcement ratio ρ_{sw} , and the number of keys in the joints (series 6 and 7).

The third chapter presents the results of experimental studies of individual concrete and reinforced concrete keys and single-key joints.

Some rectangular concrete keys failed by shear across the entire cross-section when $0.3 \leq l_k/h_k \leq 0.5$. The highest resistance of expanded clay concrete rectangular keys was established at $l_k/h_k = 0.2$, and for heavy concrete keys at $l_k/h_k = 0.3$. Compression of concrete keys and reinforcement increases the ultimate load. When the compression ratio σ/f_c varies from 0 to 0.32 at $l_k/h_k = 0.5$ the resistance increases by a factor of 2.5, and the shear failure mode extends to $l_k/h_k = 1$ at $\rho_{sw} = 1.03\%$, while at $l_k/h_k = 0.25$, the ultimate load doubles. Spacing the reinforcement into two levels leads to a more plastic failure. Triangular keys have up to 10% higher resistance compared to rectangular ones. As the joint width increases from 50 to 200 mm, the bearing capacity of the joints decreases by 30%. The ultimate strains of the keys reach $\varepsilon_c = 1.9 - 2.9\%$, and at loads ≥ 0.8 of the ultimate load, plastic strain increases significantly.

The fourth chapter is devoted to the results of experimental studies of multi-keyed joints with a seam and contact joints. For three-key joints with a seam, the following failure modes were observed in the experiments: for seam widths $t_j = 25, 100, 150, 200$ mm, shearing of the two keys in the cross-section closest to the vertical, and shearing in an inclined cross-section along the seam within the last key; shear failure of one key and destruction of the seam within the two others; for $t_j = 200$ mm: failure of one key and the seam within an inclined compressed strut extending over the height of two keys in a triangular profile; $t_j = 300$ mm: failure along the seam. As the joint width increases, the load-bearing capacity of the joints decreases. In key joints, there is an unevenness in the performance of the keys along the joint length.

Chapter 5 presents theoretical studies of the bearing capacity of keyed joints in concrete and reinforced concrete elements using the variational method within the theory of plasticity as a basis for developing a calculation methodology. The sequence

for solving problems of the bearing capacity of key joints is as follows: a kinematically possible failure scheme is formed, which accounts the specifics of operation under limit conditions; velocity jumps and the area of the failure surface are determined; the functional of the variational method is formulated, analyzed for steady-state conditions, and the value of the ultimate load is determined.

The obtained dependencies for determining, using the variational method, the shear resistance of single concrete and reinforced concrete keys; and the bearing capacity of single-key and multi-key joints for all failure cases.

Chapter 6 presents the results of a comparative analysis of the theoretically determined bearing capacity of key joints with that obtained experimentally. The 224 comparisons indicate satisfactory agreement. To comprehensively assess the reliability and effectiveness of the calculation method, an analysis was conducted based on the minimum excess bearing capacity.

The results obtained confirm the feasibility of using the developed method for calculating the bearing capacity of keyed joints.

Chapter 7 presents improved structural solutions: the joint between the over-column slab and the column in a girderless, capless, and cantileverless structural system; the joint of floor slabs to one another; the joint between a multi-hollow slab and a monolithic girder in precast and cast-in-place floors using a hollow cylindrical cage for reinforcing the keys; the key joint between multi-hollow floor slabs and panel walls; and the multi-key joint between a beam and a column.

An engineering calculation method is proposed to simplify the solution of bearing capacity problems for keyed joints in concrete and reinforced concrete structures.

Keywords: key, compression, shear reinforcement, seam width, cross-sectional profile, strain, bearing capacity, plasticity theory, variational.