

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора

Нікіфорової Тетяни Дмитрівни

на дисертаційну роботу

МИЩЕНКА МИКОЛИ ОЛЕГОВИЧА

«Несуча здатність вузла з'єднання ригеля з колоною залізобетонних

каркасів», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія,

галузь знань 19 – Архітектура та будівництво

до разової спеціалізованої вченої ради ДФ 44.052.033Н

Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Актуальність теми дослідження

Залізобетонні каркасні конструкції є одними з найпоширеніших конструктивних рішень у сучасному цивільному, промисловому та спеціальному будівництві. Такі конструктивні системи широко застосовуються під час зведення багатоповерхових житлових і громадських будівель, промислових підприємств, логістичних комплексів, торговельно-розважальних центрів, паркінгів, медичних закладів, а також об'єктів критичної інфраструктури. Особливої актуальності використання збірних та збірно-монолітних залізобетонних каркасів набуває в умовах післявоєнного відновлення України, коли першочерговими вимогами є швидкість будівництва, економічність, надійність та можливість індустріального виготовлення конструкцій.

Протягом останніх десятиліть значна увага приділяється дослідженню напружено-деформованого стану вузлів з'єднання ригелів з колонами із застосуванням сучасних експериментальних, аналітичних та чисельних методів. Сучасні дослідження підтверджують складний характер роботи вузлів з'єднання, особливо коротких консолей і шпонкових з'єднань, для яких характерні концентрація напружень, розвиток похилих тріщин та просторовий розподіл внутрішніх зусиль. Це обумовлює необхідність подальшого вдосконалення методів їх розрахунку та конструювання.

Сучасні нормативні документи, зокрема Eurocode 2, fib Model Code 2010, ACI 318 та чинні норми України, рекомендують використовувати модель «стяжок і розкосів» (Strut-and-Tie Method) для розрахунку коротких консолей і дискретних зон залізобетонних конструкцій. Водночас існуючі методики не завжди повною мірою враховують вплив геометричних параметрів, армування, контактної взаємодії елементів та особливостей тріщиноутворення, що потребує подальших досліджень.

Таким чином, дисертаційна робота Мищенко М. О., яка присвячена визначенню несучої здатності вузла з'єднання ригеля з колоною залізобетонних каркасів, є **актуальною**, оскільки спрямована на вдосконалення методів оцінювання напружено-деформованого стану, несучої здатності коротких консолей і шпонкових з'єднань, а також підвищення надійності, безпеки та ефективності проектування сучасних залізобетонних каркасних систем.

Оцінка змісту та завершеності дисертації

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 121 найменування. Повний обсяг дисертації складає 141 сторінку, у тому числі 116 сторінок основного тексту. Робота містить 53 рисунки та 7 сторінок таблиць.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, наукову новизну та практичну цінність роботи, а також представлено її загальну характеристику; описана поставлена мета, задачі та методи проведення дослідження; розкрито зв'язок роботи з науковими планами та програмами; представлена інформація щодо апробації результатів роботи та її висвітлення у наукових фахових виданнях та матеріалах конференцій.

У **першому розділі** автором виконано ґрунтовний аналіз сучасного стану досліджень вузлів з'єднання елементів залізобетонних каркасів, насамперед коротких консолей і шпонкових стиків. Проаналізовано конструктивні рішення стикових з'єднань, особливості передачі зусиль між ригелями та колонами, систематизовано основні види їх руйнування та фактори, що визначають несучу здатність. Показано, що існуючі методики розрахунку переважно мають емпіричний характер, часто враховують лише окремі параметри та нерідко дають суттєво відмінні результати. Обґрунтовано доцільність удосконалення методів оцінювання несучої здатності вузлів шляхом поєднання сучасних чисельних і аналітичних підходів.

У **другому розділі** проаналізовано сучасні підходи до чисельного моделювання напружено-деформованого стану вузлів сполучення залізобетонних конструкцій. Обґрунтовано доцільність використання методу скінченних елементів як інструменту дослідження складного напруженого стану коротких консолей і шпонкових стиків, для яких існуючі аналітичні методики ґрунтуються на суттєвих спрощеннях. Автором обґрунтовано вибір програмного комплексу Abaqus та моделі механіки руйнування бетону (Concrete Damage Plasticity) для моделювання роботи бетону, а також пружно-пластичної моделі арматури. Проведена валідація чисельної моделі на стандартних бетонних зразках підтвердила її адекватність та можливість використання для дослідження роботи складних вузлів з'єднання залізобетонних каркасів.

У **третьому розділі** наведено результати чисельного дослідження напружено-деформованого стану коротких залізобетонних консолей і шпонкових стиків із використанням методу скінченних елементів. Проаналізовано вплив геометричних параметрів, міцності бетону, конструктивного армування та умов передачі навантаження на несучу здатність і механізми руйнування досліджуваних елементів. Встановлено, що чисельні моделі адекватно відтворюють експериментально спостережувані форми руйнування, а поперечне армування суттєво підвищує несучу здатність коротких консолей. Для шпонкових з'єднань визначено закономірності впливу геометричних параметрів на характер руйнування, підтверджено визначальну роль руйнування за похилою тріщиною та встановлено особливості роботи стику в умовах обтиснення, що істотно впливає на їх несучу здатність.

У четвертому розділі автором розроблено аналітичний підхід до визначення несучої здатності коротких залізобетонних консолей і шпонкових з'єднань на основі варіаційного методу теорії пластичності бетону. Показано можливість моделювання граничного стану досліджуваних елементів через роботу похилої стиснутої смуги, що дозволило отримати аналітичні залежності для визначення їх несучої здатності з урахуванням класу бетону, геометричних параметрів та армування. Проаналізовано вплив основних конструктивних факторів на опір вузлів з'єднання та продемонстровано ефективність застосування методів комп'ютерного моделювання для пошуку граничного навантаження і вдосконалення розрахункової методики.

У п'ятому розділі наведено результати порівняльного аналізу запропонованої аналітичної методики, чисельного моделювання методом скінченних елементів та експериментальних досліджень. Підтверджено задовільну збіжність результатів, отриманих різними методами, що свідчить про достовірність розробленого підходу до оцінювання несучої здатності вузлів з'єднання. Встановлено закономірності руйнування шпонкових стиків за похилим перерізом, а також вплив основних геометричних параметрів на їх несучу здатність. Показано, що аналітична модель і чисельне моделювання взаємно доповнюють одне одного при поясненні механізму руйнування, а запропонована методика є достатньо простою для практичного застосування та може бути рекомендована для використання при проєктуванні залізобетонних шпонкових стиків.

У загальних висновках викладено основні результати виконаного дослідження.

Дисертаційна робота Мищенко М. О. відзначається чіткою логікою побудови та послідовністю викладення матеріалу. Її структура забезпечує повне розкриття поставленої мети та поставлених завдань, а зміст окремих розділів взаємопов'язаний і відображає всі етапи проведеного дослідження – від аналізу сучасного стану проблеми до експериментальної перевірки та практичної апробації отриманих результатів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Тема дисертаційної роботи «Несуча здатність вузла з'єднання ригеля з колоною залізобетонних каркасів» відповідає напрямам наукових досліджень кафедри будівельних конструкцій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» та є складовою науково-дослідної роботи «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» (ДР №0117U003248).

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів забезпечуються застосуванням сучасних положень теорії залізобетону, будівельної механіки,

теорії пластичності та механіки руйнування бетону, методу скінченних елементів, валідацією чисельних моделей, а також зіставленням результатів аналітичних розрахунків і чисельного моделювання з експериментальними даними, наведеними у працях вітчизняних і зарубіжних дослідників. Задовільна збіжність отриманих результатів свідчить про коректність прийнятих моделей, методичних підходів та достовірність сформульованих висновків.

Наукова новизна та практичне значення отриманих результатів

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у розвитку теоретичних та чисельних підходів до визначення несучої здатності вузлів з'єднання ригелів з колонами залізобетонних каркасів. До найбільш вагомих результатів слід віднести розроблення аналітичного підходу до оцінювання несучої здатності шпонкових з'єднань при руйнуванні за похилою стиснутою смугою на основі варіаційного методу теорії пластичності бетону, удосконалення методики чисельного моделювання коротких консолей і шпонкових стиків із використанням нелінійної моделі Concrete Damage Plasticity, а також подальший розвиток уявлень щодо впливу конструктивних і міцнісних параметрів на напружено-деформований стан та несучу здатність вузлів шпонкових з'єднань.

Практична цінність роботи полягає у запропонованих аналітичних залежностях та вдосконаленій методиці оцінювання несучої здатності коротких консолей і шпонкових з'єднань, які враховують основні конструктивні та міцнісні характеристики елементів. Отримані результати можуть бути використані під час проєктування вузлів з'єднання збірних і збірно-монолітних залізобетонних каркасів, перевірки їх несучої здатності, а також при виконанні чисельного моделювання в сучасних програмних комплексах. Запропоновані рекомендації мають практичний інтерес для проєктних і науково-дослідних організацій та можуть бути використані при подальшому вдосконаленні нормативних методик розрахунку.

Повнота відображення основних положень дисертації в опублікованих працях та внесок здобувача

Основні положення дисертації опубліковані у п'яти наукових працях, з яких: 1 стаття у науковому фаховому виданні, яке включене до міжнародної наукометричної бази Scopus, 3 статті в спеціалізованих фахових виданнях, що входять до переліку МОН України та одна стаття – у закордонному виданні, а також 8 публікацій апробаційного характеру.

Аналіз публікацій свідчить, що вони достатньо повно висвітлюють наукові положення та висновки, що містяться в дисертації.

Особистий внесок здобувача у роботах, виконаних у співавторстві, є чітко визначеним і полягає у постановці наукової задачі, розробленні методики дослідження, виконанні чисельних та експериментальних досліджень, аналізі й узагальненні отриманих результатів. Обсяг оприлюднених результатів дослідження відповідає вимогам, встановленим для дисертаційних робіт на здобуття ступеня доктора філософії.

Відповідність дисертації вимогам академічної доброчесності

Аналіз дисертаційної роботи та наукових публікацій Мищенко М. О. не виявив ознак порушення принципів академічної доброчесності. Усі запозичені наукові положення, ідеї та результати інших авторів належним чином супроводжуються посиланнями на відповідні джерела, які наведені у списку використаної літератури. Особистий внесок здобувача у публікаціях, виконаних у співавторстві, конкретизовано.

Зауваження та дискусійні питання

По дисертаційній роботі Мищенко М.О. «Несуча здатність вузла з'єднання ригеля з колоною залізобетонних каркасів» є зауваження та питання, що мають переважно дискусійний характер та потребують додаткових пояснень і аргументації здобувача під час публічного захисту.

1. У розділі 2, не зрозуміло яким чином автором виконувалося калібрування основних параметрів моделі Concrete Damage Plasticity (кут дилатансії, параметри поверхні текучості, параметри пошкодження тощо) для різних класів бетону та наскільки результати моделювання є чутливими до їх зміни.

2. При моделюванні вузлів з'єднання шпонкових стиків потребує уточнення, яким чином враховувався вплив контактної взаємодії між бетоном і арматурою та між окремими елементами вузла, зокрема можливість проковзування або втрати зчеплення, адже в роботі прийнято припущення про абсолютне зчеплення арматури з бетоном. Доцільно було б обґрунтувати межі застосування такого припущення.

3. Потребує доопрацювання обґрунтування вибору програмного комплексу для дослідження НДС Abaqus та моделі Concrete Damage Plasticity порівняно з іншими сучасними моделями бетону, наведеними в роботі. Доцільно було б навести кількісне порівняння точності або переваг обраної моделі щодо альтернативних підходів для дослідження вузлів з'єднання залізобетонних конструкцій.

4. У третьому розділі наведено значну кількість результатів моделювання, однак відсутня оцінка статистичної достовірності отриманих закономірностей та аналіз чутливості моделі до одночасної зміни кількох параметрів. Слід було уточнити яким чином підтверджено достатність обраної кількості чисельних експериментів та варійованих параметрів для побудови узагальнених залежностей.

5. Не зрозуміло, яким чином автором здійснювалася кількісна інтерпретація результатів, наведених на графіках «переміщення–навантаження» у розділі 3. Зокрема, на більшості рисунків відсутні критерії визначення характерних точок (момент утворення першої тріщини, досягнення граничної несучої здатності, початок пластичного деформування), що ускладнює аналіз та порівняння отриманих залежностей. Доцільно було б доповнити графіки відповідними позначеннями або узагальнюючими таблицями.

6. У четвертому розділі на окремих графіках (рис. 4.3–4.8) використано різні масштаби осей, відсутні чіткі позначення розрахункових точок та пояснення щодо способу побудови кривих, а значна кількість близько розташованих залежностей ускладнює їх порівняння. Доцільно було б уніфікувати масштаби, доповнити рисунки легендами та навести поряд із графіками узагальнювальні числові таблиці.

7. Потребує додаткового обґрунтування, чому при описі руйнування шпонкового шва визначальним прийнято вичерпання міцності похилої стиснутої смуги, тоді як у чисельних дослідженнях розділу 3 суттєву роль відігравали розтягувальні деформації та тріщиноутворення. Доцільно пояснити, яким чином ці два уявлення про механізм руйнування узгоджуються між собою.

8. У п'ятому розділі наведені статистичні показники та показано, що середнє відношення аналітичних результатів до експериментальних становить близько 1,23, однак не визначено критеріїв, за якими така точність вважається достатньою для практичного використання запропонованої методики. Потребує уточнення, яким чином оцінювалася прийнятність збіжності між результатами аналітичного розрахунку, чисельного моделювання та експериментальних досліджень.

9. Не зрозуміло, яким чином пояснюється систематичне завищення результатів аналітичної моделі порівняно з експериментальними даними, особливо для консолей із поперечним армуванням, де перевищення сягає в середньому 28 %. Доцільно було б навести аналіз причин такої розбіжності та визначити межі застосування запропонованої методики для різних конструктивних рішень.

10. Висновок про взаємодоповнюваність аналітичної моделі та чисельного моделювання потребує додаткового обґрунтування, якщо вони базуються на різних фізичних механізмах руйнування (вичерпання міцності похилої стиснутої смуги та домінуюча роль розтягувальних напружень). Доцільно більш детально визначити межі застосування кожного підходу та умови, за яких їх результати можуть вважатися еквівалентними для інженерних розрахунків.

Загальна оцінка дисертаційної роботи

Вказані зауваження мають переважно рекомендаційний і дискусійний характер, і не впливають на достовірність та обґрунтованість основних наукових положень дисертації, не знижують її наукової новизни й практичного значення та можуть бути враховані автором у подальших дослідженнях і розвитку напряму наукової проблематики.

Дисертаційна робота **Миценка Миколи Олеговича «Несуча здатність вузла з'єднання ригеля з колоною залізобетонних каркасів»** є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальну науково-практичну задачу розвитку методів розрахунку та оцінювання несучої здатності коротких консолей і шпонкових з'єднань залізобетонних каркасів шляхом розроблення аналітичної методики визначення опору шпонкового шва при руйнуванні за похилою стиснутою смугою, удосконалення чисельного

моделювання напружено-деформованого стану вузлів з'єднання та встановлення закономірностей впливу основних конструктивних параметрів на їх роботу.

Дисертаційна робота «Несуча здатність вузла з'єднання ригеля з колоною залізобетонних каркасів» за актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю, достовірністю отриманих результатів, їх теоретичним і практичним значенням відповідає спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, а також Вимогам до оформлення дисертації, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року № 40 та Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р.

Враховуючи загальний позитивний рівень виконання дисертаційної роботи, вважаю, що її автор Мищенко Микола Олегович заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Офіційний опонент:

декан будівельного факультету
Навчально-наукового інституту
«Придніпровська державна академія
будівництва та архітектури»
Українського державного університету
науки і технологій, доктор технічних
наук, професор

Тетяна НІКІФОРОВА