

ВІДГУК

офіційного опонента по дисертації
на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Яковенка Ігоря Анатолійовича

на тему: **«Моделі деформування залізобетону на засадах механіки
руйнування»**

за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди,
яка прийнята до розгляду в спеціалізовану вчену раду Д.44.052.02 при
Полтавському національному технічному університеті
імені Юрія Кондратюка

Актуальність теми дисертації.

Вдосконалення розрахункового апарату залізобетонних конструкцій пов'язане з розвитком сучасного будівництва в Україні, його відповідності світовому рівню, а також реконструкцією нових, та створення все більш виразних і неординарних будівель та споруд.

Наявність тріщин при опорі залізобетону силовим і деформаційним впливам є характерною особливістю несучих залізобетонних конструкцій.

На жаль, спроби застосування основних положень механіки руйнування для розрахунку залізобетонних конструкцій ще не знайшли належного відображення у теорії залізобетону. Стосовно такого параметру, як ширина розкриття тріщин, відмінності між дослідними і теоретичними значеннями (визначеними за чинними нормами) можуть суттєво відрізнятись. Практично відсутні розробки, що встановлюють залежність між роботою розтягнутого бетону над тріщиною, шириною розкриття тріщин, відстаней між ними з новими елементами механіки руйнування.

Виходячи з цього, тема дисертаційної роботи, що присвячена розв'язанню нагальної **проблеми** тріщиностійкості та жорсткості залізобетону, яка пов'язана з визначенням дійсної ширини розкриття та розвитку різних типів і рівнів тріщин на засадах тонкого інструментарію механіки руйнування, та суттєвим зміненням жорсткості, викликаним тріщиноутворенням є **актуальною** і підкреслює важливість поставлених у роботі задач, як для сучасної теорії залізобетону, так і при ефективному проектуванні та розрахунках конструкцій, будівель та споруд із залізобетону. Робота безумовно має **практичну цінність**, сприяє подальшому розвитку та робить суттєвий внесок в удосконалення теорії залізобетону.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Представлена дисертаційна робота відображає комплексні дослідження, які виконуються на кафедрі комп'ютерних технологій будівництва Національного авіаційного університету за держбюджетними темами № 6/10.01.02 «Новітні технології проектування залізобетонних конструкцій, що зводяться та експлуатуються в складних інженерно-геологічних умовах» (державна реєстрація №0111U004461), № 6/10.01.02 «Комп'ютерне моделювання процесів життєвого циклу об'єктів цивільного та транспортного

будівництва» та № 36/10.01.02 «Побудова теорії опору складених залізобетонних конструкцій на основі механіки руйнування залізобетону та її комп'ютерне моделювання».

Тема дисертації і отримані результати відповідають актуальним напрямкам науково-технічної політики України відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 409 від 05.05.1997 р «Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель споруд і мереж», № 547 від 23.05.2011 «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу».

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність.

Представлені наукові положення та результати дисертаційної роботи є достатньо науково обґрунтованими, висновки є достовірними, сумнівів та заперечень не викликають. Їхня достовірність обумовлюється побудованими моделями тріщиностійкості і жорсткості залізобетону на основі закономірностей механіки твердого деформованого тіла, теорії складених стрижнів, теорії залізобетону і реальних умов деформування матеріалів, отриманих на основі експериментальних досліджень; виконаним порівняльним аналізом, який підтверджує ефективність запропонованих моделей деформування та їх впровадженням у нормативні документи України та практику будівництва.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій повністю відповідає вимогам щодо дисертаційних робіт, представленим на отримання наукового ступеня доктора технічних наук.

Наукова новизна проведених досліджень полягає у тому, що автором:

– вперше:

1. Запропоновано класифікацію дискретних тріщин у стрижневих і плосконапружених залізобетонних конструкціях, яка включає геометричну, силову і міжсередовищну концентрацію напружено-деформованого стану, а також систему дискретних суміжних тріщин;

2. Розроблені нові розрахункові схеми другого рівня для визначення утворення тріщин, ширини їхнього розкриття і багаторівневих відстаней між тріщинами;

3. Створено серію нових двоконсольних елементів за наявності різних тріщин у залізобетонних конструкціях для різних видів опору: центральний розтяг (стиск); згин; позацентровий стиск; за наявністю багатоярусної арматури; з вільною орієнтацією арматурних стрижнів; у зоні похилих тріщин та універсальний ДКЕ стосовно складного опору;

4. Запропоновані розрахункові моделі залізобетонних конструкцій для визначення утворення тріщин, опору розтягнутого бетону між тріщинами у ЗБК (у тому числі складених), відстані між тріщинами і ширини розкриття тріщин, які базуються на основних положеннях механіки руйнування;

5. Розроблена методика визначення жорсткості залізобетонних конструкцій на різних ділянках довільно орієнтованих дискретних тріщин відповідно до розробленої класифікації, що базується, як на використанні одиничних «смужок», для виконання аналітичного розрахунку, так і на підключенні до розрахунку ПК «Ліра-САПР»;

– удосконалено:

6. Робочі розрахункові гіпотези на засадах нових ефектів опору залізобетону, а саме: ефект порушення суцільності; гіпотеза зосередженого зсуву у шві між бетонами; гіпотеза плоских перерізів із урахуванням зосередженого зсуву у місці контакту бетону з арматурою;

– отримало подальший розвиток:

7. Функціонал механіки руйнування стосовно залізобетонних конструкцій, у тому числі складених та плоско напружених;

8. Розроблено методику та проведені власні експериментальні дослідження (а також проаналізовано результати дослідів інших авторів) про характер і ефекти деформування, утворення, розвитку і розкриття тріщин у залізобетонних конструкціях, у тому числі складених на основі досліджень плоского НДС бетону, повздовжньої і поперечної арматури за різних схем навантаження, характеру армування, класу бетону, рівнях попереднього напруження, які надають можливість виконати перевірку і підтвердити ефективність запропонованих розрахункових моделей.

Цінність для науки і практики результатів досліджень автора.

Основним результатом дисертації є вирішення важливої науково-технічної проблеми тріщиностійкості та жорсткості залізобетону, яка пов'язана з визначенням дійсної ширини розкриття та розвитку різних типів і рівнів тріщин на засадах тонкого інструментарію механіки руйнування, та суттєвим зміненням жорсткості, викликаним тріщиноутворенням.

Розв'язання цієї проблеми, спираючись на проведені оригінальні дослідження, з побудовою нових моделей деформування, що створені на засадах механіки руйнування та отримані наукові результати світового рівня, які мають загальнонаціональне значення та опубліковані у наукових виданнях і можуть розглядатися як нове досягнення при ефективному проектуванні конструкцій, будівель та споруд із залізобетону.

Результати дисертаційної роботи використані при розробці Державних будівельних норм ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України», ДСТУ Б.В.2.6-156: 2010 «Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування» та впровадженні у низку будівельних об'єктів, а також у навчальний процес Національного авіаційного університету.

Повнота викладу отриманих результатів в опублікованих працях.

Основні положення дисертаційної роботи опубліковані у 60 наукових працях, у тому числі в 3 монографіях (у співавторстві), 24 наукових статтях у фахових виданнях, рекомендованих МОН України; 18 наукових статтях в іноземних фахових виданнях (із них 14 наукових робіт, що входять до наукометричних баз даних, у тому числі 5 Scopus та 2 у Web of Science), 9

наукових працях за матеріалами міжнародних науково-практичних конференцій, 1 практичного посібника із розрахунку залізобетонних конструкцій, 2 нормативних документах України і 2 патентах України на корисну модель.

Дослідження автора апробовані на науково-практичних конференціях різного рівня.

Зміст та обсяг публікацій достатньо повно відображає основні положення дисертації.

Автореферат ідентичний до змісту з основними положеннями дисертаційної роботи й достатньо повно відображає основні наукові результати, які були отримані здобувачем.

Оцінка змісту дисертації.

Дисертація складається з анотації, вступу, 7 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 376 найменувань, 2 додатків. Повний обсяг роботи становить 409 сторінки, у тому числі 305 сторінок основного тексту, який ілюструється 109 рисунками, містить 9 таблиць, 47 повних сторінок з рисунками і таблицями, 45 сторінок списку використаних джерел та 12 сторінок додатків.

У **вступі** (10 с.) обґрунтовується актуальність теми, представлена науково-технічна проблема тріщиностійкості та жорсткості залізобетону, яка пов'язана з визначенням дійсної ширини розкриття та розвитку різних типів і рівнів тріщин на засадах інструментарію механіки руйнування. Сформульована мета й задачі дослідження, об'єкт, предмет і методи досліджень, наукова новизна, практична значимість, особистий внесок здобувача та апробація результатів роботи.

Перший розділ дисертації (42 с.) присвячений вивченню існуючого стану проблеми оцінювання тріщиностійкості та жорсткості залізобетонних конструкцій. Наведені основні розрахункові пропозиції та передумови, покладені у діючі методики розрахунку конструкцій. Виконаний аналіз накопиченого експериментально-теоретичного матеріалу. Зроблені відповідні висновки та поставлені задачі досліджень.

У **другому розділі** дисертації (32 с.) обґрунтовані особливості роботи залізобетонних конструкцій, які полягають у відсутності пропорційної зв'язку між напруженнями і деформаціями. Показано, що утворення тріщин, перерозподіл внутрішніх зусиль між ділянками конструкції при структурних змінах матеріалів та інші специфічні властивості залізобетону проявляються вже на ранніх стадіях деформування. Активне використання автоматизованих розрахунків, деформаційних розрахункових моделей перерізів (головним інструментом яких є діаграми стану бетону та арматури) із застосуванням різних аналітичних залежностей є основною сучасних вітчизняних і Європейських норм.

На основі виконаного огляду-аналізу, розроблено структурно-логічну схему проведення дисертаційних досліджень, із яких випливає необхідність розвитку функціоналу механіки руйнування стосовно до розрахунку

залізобетонних конструкцій шляхом розробки серії нових двоконсольних елементів за різних видів опору.

Третій розділ дисертації (46 с.) підтверджує основні гіпотези і напрямки розвитку сучасної теорії залізобетону.

Підтверджено ефект порушення суцільності залізобетонних конструкцій і сформульовано нову гіпотезу зосередженого зсуву у шві між бетонами та між бетоном та арматурою. Слід відзначити й модернізовану гіпотезу відносних взаємних зміщень бетону та арматури, яку вдалося застосувати завдяки використанню механіки руйнування при побудові моделей деформування залізобетону. Приведена класифікація тріщин та пропозиції щодо розвитку розрахункової моделі деформування залізобетонних стрижневих і плосконапружених конструкцій (у тому числі складених) за наявності похилих тріщин. Встановлено, що процес утворення тріщин триває аж до руйнування. Виділяється не один, як це прийнято у ряді відомих методик, а декілька рівнів тріщиноутворення.

Розвиток функціоналу механіки руйнування стосовно залізобетону шляхом розробки серії нових двоконсольних елементів за наявності різних тріщин у залізобетонних конструкціях представлений у **четвертому розділі** дисертації (36 с.).

Розвинені гіпотези механіки руйнування стосовно врахування ефекту порушення суцільності залізобетонних конструкцій за різних силових впливів зі спрощенням її енергетичного функціонала.

Розглянуто специфіку побудови двоконсольного елемента у зонах, безпосередньо прилеглих до тріщин. Отримано аналітичну залежність, яка пов'язує дотичне зусилля, що виникає в безпосередній близькості від тріщини з довжиною її розвитку через питомою енергією утворення нових поверхонь тріщини.

Показано, що після утворення тріщин, суцільність бетону порушується і його деформування вже не підкоряється законам суцільного тіла – у тріщинах виникає додатковий деформаційний вплив, який необхідно враховувати при проектуванні залізобетонних конструкцій.

Розроблена серія двоконсольних елементів механіки руйнування: для різних видів опору. Ці елементи виступають в якості трансформаційних між залежностями механіки руйнування і рівняннями теорії залізобетону. Рішення поставленої у роботі проблеми дозволяє помітно уточнити диференціальні параметри, вимірювані в дослідах, і пояснити багато явищ, помічених в експериментах.

П'ятий розділ дисертації (46 с.) присвячений розробці розрахункових моделей деформування залізобетонних конструкцій на засадах механіки руйнування. Представлений новий розрахунковий апарат для граничних станів другої групи стрижневих і плосконапружених залізобетонних конструкцій (у тому числі складених).

Запропоновані моделі дозволяють враховувати наявність тріщин, які перетинаються і не перетинаються, фізичну нелінійність бетону та арматури,

податливість зв'язків зсуву і поперечних зв'язків у швах (тріщинах) при їхньому нелінійному опорі. При цьому рішення складних диференціальних рівнянь (які не мають аналітичного рішення при нелінійній постановці задачі) складеного стрижня замінюється використанням фізичних багаторівневих розрахункових схем. Таким чином, забезпечується не тільки висока точність запропонованих моделей, але і їхня інженерна видимість.

Методика проведення та результати експериментальних досліджень наведені у **шостому розділі** дисертації (41 с.).

Під керівництвом і за безпосередньою участю автора були проведені серії експериментальних досліджень стрижневих і плосконапружених залізобетонних конструкцій для перевірки запропонованих моделей деформування залізобетону.

На підставі експериментальних досліджень вдалося підтвердити багаторівневий процес утворення тріщин, визначити опір розтягнутого бетону між тріщинами, відстані між ними та ширину їхнього розкриття і переконатися в адекватності робочих гіпотез при варіюванні діаметра і кроку хомутив, поздовжнього армування, класу основного і додаткового бетонів.

Підтверджений ефект порушення суцільності у залізобетоні, що призводить до зміни профілю тріщини від трикутного до складного. Арматура стримує розкриття тріщини, протидіючи розкриттю її берегів. Реакції, які виникають при цьому, викликають місцевий стиск у бетоні в околиці тріщини. Стосовно до залізобетонних складених конструкцій – у місці шва між бетонами відбуваються збурення деформацій, які автор замінює «умовним зосередженим зсувом» при екстраполяції гіпотези плоских деформацій для кожного шару складеного стрижня у місцевих зонах, прилеглих до шва.

У **сьомому розділі** дисертації (66 с.) розглянутий чисельний аналіз і виконана порівняльна оцінка розроблених моделей деформування залізобетону з існуючими методами розрахунку і відповідними нормативними документами. Представлені алгоритми використання запропонованих моделей деформування залізобетону, які показують переваги інженерного розрахунку зі збереженням фізичного змісту етапів розрахунку.

Проаналізовані графіки залежностей коефіцієнта врахування роботи розтягнутого бетону, відстані між тріщинами та ширини їхнього розкриття від армування, параметрів зчеплення арматури з бетоном, та параметрів, які враховують ефект порушення суцільності бетону.

Чисельно обґрунтована доцільність використання гіпотези плоских перерізів у межах кожного зі складених стрижнів для середніх деформацій основного і додаткового бетонів, арматури на всьому діапазоні навантаження завдяки проведеному аналізу відповідних графіків.

Статистичні показники коефіцієнта опору розтягнутого бетону між тріщинами, координат утворення першої похилої тріщини, ширини розкриття тріщин вказують на задовільну збіжність з результатами експериментів.

У **загальних висновках** (4 с.) автор приводить загальні підсумки роботи.

Зауваження за змістом дисертації та автореферату:

1. В першому (с. 39-104) та другому (с. 113-129) розділах дисертації зроблено огляд та аналіз стану вивчення питання, предметом якого є дане дослідження. Слід було б викласти це в одному розділі та дещо скоротити.
2. Нажаль, в роботі не розглядається вплив технологічних пошкоджень (технологічні тріщини), детальні дослідження впливу яких на роботу бетонних та залізобетонних конструкцій проводяться в Одеській державній академії будівництва та архітектури (Вировий В.М. та його наукова школа).
3. В дисертації не аналізується одна з фундаментальних робіт з вивчення роботи зчеплення нового бетону зі старим, а саме Гвоздев А.А., Изучение сцепления нового бетона со старым / А.А. Гвоздев А.П. Васильев, С.А. Дмитриев // – М., Л.: ОНТИ, 1932. – 54 с.
4. Предмет досліджень (с. 31) не однозначно трактується, як «процес або явище».
5. Наукова новизна (с. 32, 33) описана досить розлого та не структуризована.
6. П. 8 наукової новизни (с. 33) швидше за все слід було віднести до Практичної значимості отриманих результатів.
7. В дисертації є випадки використання позначень відмінених нормативних документів (с. 137, 141).
8. В роботі трапляються випадки не відповідності посилань на літературні джерела, наприклад с. 196.
9. Не зрозуміло, як «нормальні до поздовжньої вісі елемента (тріщини першого типу)» можуть перетинати і «поздовжню, і поперечну арматуру» (с. 197)?
10. В алгоритмі розрахунку (п. 2 на с. 234) термін «за найгіршою (з точки зору ширини розкриття) похилою тріщиною» не є коректним.
11. В дисертації, на жаль, не оцінюється можливість використання розробленої методики в розрахунках попередньо напружених конструкцій на закриття тріщин.
12. У тексті (с. 239) не розшифровано, які розрахункові та експериментальні параметри, що визначаються за допомогою мікроскопа.
13. Часте повторення «(у тому числі складених)» (с. 242 та інші) слід було викласти в об'єкті дослідження.
14. Часто зустрічається відсутність розмірностей розмірів дослідних зразків (с. 253, 254 та інші).
15. Розрахункові алгоритми (с. 282-291) наглядніше було б показати у графічному виді з додатковими поясненнями.
16. Аналіз поведінки конструкцій залежно від кількості арматури в перерізі (с. 294, 296, 297, 343) є некоректним. Краще поставити в залежність від відносної величини, наприклад – відсотка армування.
17. Для експериментальних досліджень (розділ 6) не виконано планування експерименту, що ставить під сумнів статистичну достовірність отриманих результатів.

18. Загальні висновки є доволі розлогими і, в основному, перераховують виконану роботу, а не отриманий результат. Їх кількість суттєво відрізняється від кількості поставлених задач досліджень.

Загальна оцінка роботи.

1. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, в якій вирішено важливу науково-технічну проблему. Вона має актуальність, наукову новизну і практичне значення.

2. Робота має достатній ступінь апробації. Результати дисертаційної роботи широко доповідались на конференціях та наукових семінарах, а також повно висвітлені у наукових виданнях.

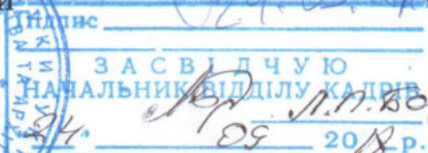
3. Подані зауваження підкреслюють актуальність поставлених у роботі завдань та проведених досліджень, і не знижують загальної її оцінки.

4. Автореферат повністю відповідає змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Яковенка Ігоря Анатолійовича «Моделі деформування залізобетону на засадах механіки руйнування» є закінченою науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані теоретичні і практичні результати, вирішують важливу науково-технічну проблему тріщиностійкості та жорсткості залізобетону, яка пов'язана з визначенням дійсної ширини розкриття та розвитку різних типів і рівнів тріщин на засадах тонкого інструментарію механіки руйнування, та суттєвим зміненням жорсткості, викликаним тріщиноутворенням для ефективного проектування і розрахунків конструкцій, будівель та споруд із залізобетону.

Робота відповідає вимогам відповідає п.п. 9, 10 та 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» затвердженого Кабінетом міністрів України, та вимогам до докторських дисертацій та паспорту спеціальності 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди, а її автор Яковенко Ігор Анатолійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент, доктор технічних наук,
професор, Заслужений діяч науки і техніки
України, завідувачий кафедрою Залізобетонних
конструкцій та транспортних споруд
Одеської державної академії
будівництва та архітектури
Міністерства освіти і науки України



[Handwritten signature]

С. В. Клименко

[Handwritten signature]
24.09.2018 р.