

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук,
професора БЛІХАРСЬКОГО ЗІНОВІЯ ЯРОСЛАВОВИЧА
на дисертаційну роботу КАРПЮК ІРИНИ АНАТОЛІЇВНИ
на тему: «ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ, ЕКОЛОГІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ
КОНСТРУКЦІЇ, ЩО ВЗАЄМОДІЮТЬ З ҐРУНТАМИ ОСНОВ»,
представлену до спеціалізованої вченої ради 41.085.01
при Одеській державній академії будівництва та архітектури
05.23.1 - будівельні конструкції, будівлі та споруди

Актуальність теми дисертації.

Перед лицем глобальної кліматичної кризи з метою декарбонізації енергетичних систем світова економіка розвертається в бік низьковуглецевого майбутнього, тобто відновлювальних джерел енергії. Нинішній рівень технологій не дозволяє повністю відказатися від традиційних енергоносіїв. Проте, підвищити енергоефективність їх використання з метою зменшення викидів можливо вже зараз.

Серед інших напрямків вирішення цієї проблеми є збільшення використання базальтового волокна і базальтопластикової арматури (BFRP) у будівництві, яке зумовлене її екологічними властивостями, хорошою сумісністю з бетоном, високими механічними властивостями, необхідними для будівництва в екстремальних умовах, і за значно нижчу ціну порівняно з іншими лугостійкими волокнами і арматурою.

Водночас, широке застосування неметалевої композитної арматури для армування бетонних конструкцій, які працюють у несприятливих складних умовах, стримується недостатнім вивченням їх сумісної роботи, обмеженим нормативним забезпеченням та малим досвідом експлуатації відповідних об'єктів. Недостатня вивченість взаємодії широкого класу конструкцій (пальових, пале-плитних фундаментів, високих і низьких ростверків, оправ тунелів, підпірних споруд і стінок з розвантажувальними елементами тощо) з ґрунтами основ, що експлуатуються за агресивної дії оточуючого середовища, а також необхідність проєктування їх енергоефективними, екологічними та економічними створює перед науковцями та інженерами складну науково-технічну проблему вирішення якої є важливим і актуальним.

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

Дисертаційні дослідження проведені у рамках держбюджетних тем Одеської державної академії будівництва та архітектури: «Енергоефективні, екологічні та економічні конструкції, що взаємодіють з ґрунтами основ» (номер державної реєстрації 0121U114597); «Особливості взаємодії нескільких ґрунтів основ з пальово-плитними фундаментами будівель з урахуванням можливого

утворення в них гірничих виробок для підземних споруд або карстових провалів» (номер державної реєстрації 011U000899; «Розрахункові моделі міцності, тріщиностійкості та деформативності приопорних ділянок прогінних залізобетонних елементів при дії повторних навантажень» (номер державної реєстрації 0114U000896); «Розрахункові моделі силового опору складнонапружених прогінних залізобетонних конструкцій з урахуванням дії малоциклового навантаження високих рівнів» (номер державної реєстрації 0116U002340).

Тема дисертації відповідає сучасним напрямкам науково-технічної політики держави щодо регулювання питання організації оцінювання технічного стану та виконання першочергових робіт з відновлення пошкоджених внаслідок бойових дій будівель та споруд згідно постанови КМУ від 19.04.2022 р. № 473 «Порядок виконання невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків збройної агресії РФ, пов'язаних із пошкодженням будівель та споруд».

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у докторській дисертації.

Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані в дисертації, обґрунтовані:

з математичної точки зору: використанням строгого математичного апарату, оцінкою області застосування побудованих моделей та аналітичних методів їх опису, аналізом граничних станів композитних структур і відповідних їм розв'язків;

чисельним моделюванням: використанням обчислювальних можливостей сучасних математичних пакетів, всебічно виконаним чисельним та асимптотичним аналізом отриманих розв'язків, порівнянням в окремих випадках з асимптотичними розв'язками, чисельними розрахунками та експериментальними даними інших авторів.

Практичне значення результатів, наведених в дисертаційній роботі.

Практичним результатом вирішення проблеми що розглядається в дисертації є розробка нових і вдосконалення існуючих конструктивних рішень пальово-плитних фундаментів, оправ транспортних тунелів та горизонтальних виробок, підпірних споруд, стержневих бетонних конструкцій з FRP, що зазнають складного напружено-деформованого стану та агресивного впливу оточуючого середовища, а також пропозицій щодо унормування запропонованих уточнених методів розрахунку нормальних і похилих перерізів звичайних і підсилених балкових конструкцій за дії статичного і малоциклового навантаження.

Практичне значення вирішення вказаної проблеми полягає в подальшому розвитку та створенні конкурентоздатних конструктивних рішень, які забезпечують трансфер інновацій у практику вітчизняного будівництва при

одночасній мінімізації впливу будівельної галузі на навколишнє середовище та використання місцевих матеріалів для їх виготовлення.

Наукова новизна досліджень автора полягає в тому, що в роботі представлені науково-методологічні основи розрахунку та проєктування енергоефективних, екологічних та економічних конструкцій, що взаємодіють з ґрунтами основ, з урахуванням особливостей сумісної роботи бетону і FRP, складного навантаження, агресивного впливу оточуючого середовища, накопичених пошкоджень силового характеру, визначенням показників екологічного впливу на навколишнє середовище.

До основних пунктів наукової новизни слід віднести наступні результати: розроблено загальний методологічний підхід, основні положення та принципи розрахунку бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою, які взаємодіють з ґрунтами основ; встановлені закономірності зміни основних параметрів напружено-деформованого стану енергоефективних, екологічних та економічних конструкцій залежно від виду їх взаємодії з ґрунтами основ; розроблені основні конструктивні рішення улаштування пальових і пальово-плитних фундаментів, оправ тунелів та гірничих виробок, підпірних стінок з розвантажувальними елементами, армованих неметалевою композитною арматурою; запропоновано чисельно-аналітичний метод (варіант) оцінювання і моделювання напружено-деформованого стану енергоефективних, екологічних та економічних конструкцій, що взаємодіють з ґрунтами основ, з урахуванням реальних діаграм деформування матеріалів, ефективної взаємодії FRP з бетоном, отриманих пошкоджень.

Удосконалено: метод визначення основних параметрів працездатності вдавлених висячих паль; експериментально-статистичний метод визначення внутрішніх зусиль в оправах тунелів та додаткових осідань (зрушень) поверхні землі в процесі їх улаштування; метод взаємодії підпірних споруд з розвантажувальними елементами з ґрунтами засипки з урахуванням складаного експлуатаційного навантаження на її поверхні та можливого сейсмічного впливу; спосіб інтеграції пальово-плитного огородження глибокого котловану в конструктивну схему будівлі, що зводиться; - нелінійну деформаційно-силову модель стержневої бетонної конструкції з неметалевою композитною арматурою у загальному випадку напруженого стану.

Отримали подальший розвиток: методологія оцінювання впливу конструктивних чинників та факторів зовнішньої дії на несучу здатність, тріщиностійкість та деформативність дослідних конструкцій з різними видами їх армування та характером зовнішнього навантаження; методологія розрахунку несучої здатності нормальних і похилих перерізів бетонних конструкцій з урахуванням можливого їх руйнування по розтягнутій неметалевій арматурі або стиснутому бетону; метод розрахунку несучої здатності приопорних ділянок нерозрізних залізобетонних балок і високих ростверків; методологія та способи

підсилення пошкоджених наскрізними силовими нормальними і перехресними похилими тріщинами бетонних балок зі сталевою і композитною арматурою попередньо напруженими металевими і вуглепластиковими обоймами за дії статичного і малоциклового навантаження; методологія оцінювання впливу будівельного об'єкту (споруди) на навколишнє середовище шляхом аналізу вуглецевого сліду на усіх стадіях його (її) житлового циклу; конструктивне рішення контрфорсної обойми – ростверку для підсилення стрічкових фундаментів значної ширини та утримання крутих ґрунтових схилів.

Склад і структура дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Карпюк Ірини Анатоліївни з анотацією (українською та англійською мовами), списку публікацій здобувача за темою дисертації, змісту, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел із 525 найменування, чотирьох додатків. Загальний обсяг роботи складає 537 сторінок, з яких 303 сторінок основного тексту, 107 рисунки, 45 таблиці, 54 сторінок списку використаних джерел та 54 сторінок додатків.

В **анотації** стисло представлені основні результати проведеного дослідження.

У **вступі** сформульовані положення відповідно до кваліфікаційних вимог до докторської дисертації: сутність науково-прикладної проблеми, що розглядається; обґрунтування вибору теми дослідження; зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами; мета і завдання дослідження; об'єкт і предмет дослідження; методи дослідження; наукова новизна одержаних результатів; теоретичне і практичне значення роботи; достовірність отриманих результатів; особистий внесок здобувача; апробація результатів дослідження та публікації автора; структура й обсяг роботи.

У **першому розділі** надані основні властивості неметалевої композитної арматури, її характеристика та досвід використання при армуванні бетонних конструкцій; проаналізовані нормативні та авторські методи розрахунку несучої здатності тріщиностійкості та деформативності прогінних бетонних конструкцій різних країн; представлені основи підземних транспортних споруд та їх розрахункові моделі; розрахунок пологого склепіння, що обпирається на ґрунт і стіни, розрахунок взаємодії масивних підземних споруд з ґрунтовим середовищем з позиції технічної теорії граничного напруженого стану ґрунтового середовища.

Другий розділ присвячено визначенню екстремальних коефіцієнтів внутрішньої потужності в монолітних залізобетонних каркасах склепінчастих тунелів, запланованих для чисельного експерименту з використанням сучасного програмного комплексу «PLAXIS-8». В розділі наведені методики системних числових досліджень; отримані експериментально статистичні залежності та виконано порівняльний розрахунок внутрішніх зусиль в оправах тунелів та

осідань поверхні землі, знайдених запропонованими числовими і наближеними аналітичними методами, представлено прогноз осідання поверхні землі при влаштуванні тунелів щитовим методом.

У **третьому розділі** запропоновано спосіб визначення бічного тиску на підпірні стінки для випадку, коли задня грань огороження має розвантажувальні пристрої на двох рівнях (у верхній частині – балки, на нижньому - плита), а також розвантажувальні плити на декількох рівнях. Представлені розрахунки довели, що застосування розвантажувальних плит у двох рівнях дозволяє суттєво знизити бічний тиск ґрунту на підпірні стінки.

Також запропоновано інженерний метод розрахунку тиску ґрунту на плоскі стіни при наявності поверхневого смугового навантаження з урахуванням сейсмічних впливів. Дана методика об'єднує наявні аналітичні методи розрахунку підпірних стінок із крутою задньою гранню, а також споруд із пологою задньою гранню з урахуванням сейсмічних впливів, де враховано: узагальнений метод визначення активного і пасивного тиску ґрунту засипки на масивні підпірні споруди за методикою В.В. Соколовського, а також П.І. Яковлева.

У **четвертому розділі** наведені результати комплексних експериментальних досліджень несучої здатності деформативності та тріщиностійкості залізобетонних і базальтобетонних балок 2000x200x100 мм при статичному та мало цикловому навантаженнях високих рівнів. Зокрема, представлені експериментально-статистичні залежності міцності похилих перерізів (руйнуючої поперечної сили), моментів та поперечних сил утворення, відповідно, нормальних і похилих тріщин, стріли прогинів та ширини розкриття нормальних і похилих тріщин при експлуатаційному та руйнівному навантаженнях, довжини проекції небезпечних похилих тріщин на поздовжню вісь та середньої відстані між нормальними тріщинами по довжині елементів від конструктивних чинників однаково армованих сталевую і базальтопластиковою арматурою бетонних балок. Зроблений порівняльний аналіз впливу основних конструктивних чинників на вказані параметри несучої здатності залізобетонних та базальтобетонних балок, виготовлених та випробуваних згідно з теорією планування експерименту за Д-оптимальним планом Бокса В3.

Проведено комплексний аналіз результатів випробувань звичайних залізобетонних балок на дію разового статичного та малоциклового поперечного знакозмінного навантаження, а також пошкоджених балок, підсиленних попередньо напруженими металевими обойми, а також комплекс дослідження несучої здатності доведених до граничного стану (ULS) пошкоджених бетонних балок з BFRP підсиленням них зовнішніми фіброармованими пластинками (CFRP).

Поставлене завдання було вирішено двома винаходами, об'єднаними єдиним задумом: а) способом відновлення та посилення пошкодженої залізобетонної балки шляхом закріплення елементів посилення на ній з

подальшим створенням у них попереднього напруження та тристороннього її (балки) обтиснення; б) пристроєм для відновлення та посилення пошкодженої балки, що містить у собі з'єднані між собою поздовжні та поперечні вертикальні та горизонтальні елементи, що стягуються, між собою різьбовими муфтами.

Наведено експериментальні дані щодо несучої здатності пошкоджених залізобетонних балок 2000x200x100 мм, армованих попередньо напруженими металевими обоймами. Пошкодження у вигляді наскрізних нормальних і похилих тріщин, що перетинаються, а також надмірних вертикальних переміщень балки отримали в ході попередніх випробувань на вплив поперечних знакозмінних навантажень високого рівня.

Відмічено, що несучу здатність доведених до граничного стану (ULS) приопорних ділянок балкових конструкцій, підсилених матеріалами FRP, слід визначати, у першу чергу, на дію згинального моменту за критичною похилою тріщиною.

Несуча здатність посилених попередньо напруженими металевими обоймами пошкоджених залізобетонних балок при знакозмінному навантаженні підвищилася в середньому на 51% порівняно із звичайними залізобетонними балками, випробуваними на дію одноразового статичного навантаження, що свідчить про високу ефективність такого підсилення.

Встановлена можливість та доцільність підсилення пошкоджених і доведених до граничного стану бетонних конструкцій з BFRP зовнішніми фіброармованими пластиками при дотриманні встановленої технології. При цьому, несуча здатність підсилених вказаним способом бетонних балок з BFRP з наявними 156, силовими пошкодженнями збільшилася до 2,0 разів порівняно з еталонними зразками

У **п'ятому розділі** представлена розробка нових і вдосконалення існуючих методів розрахунку бетонних конструкцій зі сталевोї і неметалевої композитною арматурою. Зроблений порівняльний аналіз фактичної несучої здатності похилих перерізів базальтобетонних балок та розрахункових її значень, обчислених за рекомендаціями наявних норм проектування зарубіжних країн.

Запропоновано дві розрахункові моделі визначення міцності біля опорних ділянок бетонних балок із BFRP. У першій моделі розглядається розрахунок балок із середніми ($a/d=2$) і великими ($a/d=3$) прольотами зрізу магістральною похилою тріщиною враховуючи експериментально встановлену довжину її проекції l_{crf1} , коефіцієнти ϕ_{c2} , ϕ_{c3} , ϕ_{c4} та величини розтягуючих напруг у поперечній арматури. Друга розрахункова модель передбачає розрахунок зазначених балок з малими прольотами зрізу ($a/d \leq 1$) по стиснутій похилій смугі з використанням експериментально встановленого коефіцієнта k_f . Використання представлених розрахункових моделей забезпечує хорошу збіжність (коефіцієнт варіації $v=8\%$) розрахункових та експериментальних значень міцності біля опорних ділянок бетонних балок з BFRP.

Запропонована автором інженерна методика розрахунку міцності при

опорних ділянок балкових бетонних конструкцій, армованих НКА, забезпечує достовірний прогноз їх несучої здатності завдяки більш точному, порівняно з іншими методиками, урахуванню впливу дослідних факторів.

Запропонований варіант моделювання складного напружено-деформованого стану дослідних елементів шляхом нелінійних скінчено-елементних розрахунків дозволяє зробити прогностичні оцінки їхньої несучої здатності та відтворити механізм деформування і руйнування їх.

У **шостому розділі** здійснено аналіз та запропонований розрахунок екологічного впливу життєвого циклу бетонних опор транспортних тунелів зі сталевою і неметалевою композитною арматурою. Об'єктом дослідження є масивні бетонні конструкції підземних транспортних споруд-тунелів глибокого розташування, армовані сталевою і неметалевою композитною арматурою.

Предметом дослідження є оцінювання усередненого вуглецевого сліду в обох варіантах конструктивного вирішення зазначених споруд (монолітного залізобетонного і базальтобетонного) на протязі всього їхнього життєвого циклу, починаючи від доексплуатаційної стадії (постачання сировини і виготовлення необхідних елементів) аж до його завершення з можливим повторним використанням (рециклінгом) матеріалів, а також встановлення критеріїв його (сліду) зменшення.

Екологічний вплив обох варіантів транспортних тунелів стандартної залізобетонної конструкції (еталонний варіант) і запропонованої бетонної конструкції з неметалевою композитною арматурою в роботі виражений у вигляді вуглецевого сліду, як еквіваленту викидів вуглекислого газу, який обчислюється окремо для кожної стадії їх існування згідно чинних Європейських Норм з урахуванням рекомендацій авторських методик.

Осереднені за трьома різними діаметрами та узагальнені викиди вуглекислого газу протягом життєвого циклу еталонної (варіант 1) і запропонованої (варіант 2) конструкції підземної транспортної споруди-тунелю довжиною 1 м. п. становили, відповідно, 15,9740 т CO₂екв і 11,551 т CO₂екв, тобто зменшилися майже в 1,4 рази.

Виконані дослідження дозволили зробити аналіз викидів вуглекислого газу в атмосферу та систематизувати наявні чинники і фактори впливу зазначеної споруди на довкілля, визначити напрямки їх зменшення. Проведені дослідження виявили можливість та доцільність використання базальтопластикової арматури замість сталевих у монолітних бетонних конструкціях, в т. ч. транспортних тунелів, за критерієм зменшення викидів парникових газів в атмосферу.

Зауваження за змістом дисертаційної роботи

1. В назві роботи “Енергоефективні, екологічні та економічні конструкції, що взаємодіють з ґрунтами основ” однак, проблеми екології конструкцій розглядаються лише в розділі 6 (32 сторінки з 398 по 429) і не в загальному вигляді, а як приклад екологічного впливу життєвого циклу бетонних опор транспортних тунелів зі сталевोї і неметалевою композитною арматурою.
2. У якості основної характеристики точності авторка використовує коефіцієнти варіації, але не вказує для яких випадкових величин коефіцієнти варіації наводяться в роботі (різниці теоретичних та дослідних значень, відсотків цих відхилень, відношень теоретичних значень до дослідних чи інших величин).
3. В розділі 3.7 “Визначення впливу вуглепластикового армування та полотна з BFRP, що огортає палю на її несучу здатність” (с. 272-282) не приведена методика моделювання дослідних зразків (врахування масштабного фактору тощо).
4. Всі дослідження аналогічних конструкцій, в тому числі і авторки, здійснювалися, як для існуючих типових залізобетонних. Звісно, це є необхідною умовою. Але, теоретичні розрахунки та експерименти, що виконанні раніше, вказують на той факт, що несуча здатність, прогини та тріщиноутворення запропонованих конструкцій значно відрізняються від типових. Можливо, треба визначити окреме застосування і типи конструкцій із базальтопластиковою арматурою? Тоді, для них потрібно складати інші навантаження і впливи та їхні комбінації? Так, якщо їх застосовувати у якості конструкцій огороження, підсиленого зовнішнього шару (в тому числі замість торкрет-бетону), мало-відповідальних конструкцій, то навантаження і розрахункові схеми будуть зовсім інші, причому доцільність використання таких конструкцій буде вкрай високою, а інколи і необхідною.
5. В розділі 4 зроблено висновок “дослідженнями встановлена можливість та доцільність підсилення пошкоджених і доведених до граничного стану (ULS) бетонних конструкцій з BFRP зовнішніми фіброармованими пластиками (CFRP) при дотриманні встановленої технології. При цьому, несуча здатність підсилених вказаним способом бетонних балок з BFRP з наявними, силовими пошкодженнями збільшилася до 2,0 разів в порівнянні з еталонними зразками. Оскільки авторкою задекларовано дослідження економічних конструкцій, то запас в 100% викликає запитання: як змінюється несуча здатність підсилених конструкцій відносно непідсилених і непошкоджених?”

6. У дисертаційній роботі зустрічається термін «міцність» дослідних зразків-балок. Проте, в чинних нормах цей термін замінений на «несучу здатність» згідно рекомендацій ЕС.
7. Запропоновані автором методики було б доцільно навести на прикладах, які використано як впровадження результатів роботи. Це дозволило б оцінити точність і надійність результатів.
8. Використання композитної арматури в прогонових конструкціях є проблематичним через:
 - низький модуль її пружності, а тому понижено жорсткість конструкцій;
 - її понижене зчеплення з бетоном (порівняно зі сталевією);
 - необхідність спеціального захисту від інтенсивного старіння такої арматури в лужному середовищі цементно-піщаної матриці.
9. В дисертації є граматичні помилки, в основному «русизми», а саме: «любий будівельний...об'єкт» замість «будь-який...» (с. 398); «оцінка» замість «оцінювання» (с.398, 420); «згідно з вимогами...норм» замість «згідно вимог»; ініціали відоми учених О.О. Гвоздева, О.С. Залєсова, О.Ф. Ільїн (с. 398), О.Б. Голишева (с. 398) тощо написані російською мовою.
10. Вважалося б за доцільне певним чином (теоретичним або експериментальним) розглянути реологічний аспект проблеми.
11. Доцільно було би пояснити віртуальну змінність зчеплення базальтопластикової арматури з бетоном в залежності від рівня напружено-деформованого стану.
12. В конструкції металевої попередньо напруженої обойми для підсилення нерозрізних та звичайних однопрогонових пошкоджених залізобетонних балок (стор. 298 та рис.48) не вказано з яких міркувань були обрані повздовжні кутики та поперечні стержні в якості елементів підсилення пошкоджених дослідних зразків балок.
13. На с. 303 вказано, що застосування металевої попередньо напруженої обойми для підсилення пошкоджених малоцикловим знакозмінним навантаженням балок збільшило не тільки їх несучу здатність в 1,85 разів, а й прогини в стільки ж разів. Чим ви поясните відсутність стабілізації залишкових деформацій у цих дослідних зразках?
14. На рис. 5.20-5.23 подано графіки деформацій арматури та обойми, однак відсутній порівняльний аналіз з реальними графіками деформацій, отриманими під час експериментальних досліджень.

Загальний висновок про дисертацію та її відповідність чинним вимогам

Наведені зауваження до дисертаційної роботи не впливають на загальну позитивну оцінку роботи. За актуальністю, обсягом проведених теоретичних і експериментальних досліджень та їх науковим рівнем, важливістю теоретичних і прикладних результатів та повнотою їх опублікування дисертація «Енергоефективні, екологічні та економічні конструкції, що взаємодіють з ґрунтами основ» є завершеною науковою працею, в якій розв'язано науково-прикладну проблему, яка полягає в розробці наукових методів розрахунку та проєктування бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою (FRP), що взаємодіють з ґрунтами основ з урахуванням реальних фізико-механічних характеристик матеріалів та параметрів екологічного впливу на навколишнє середовище і економічних показників.

Дисертація виконана у відповідності до вимог паспорту спеціальності 3.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди і пунктів 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.21 р. №1197, а її автор, Карпюк Ірина Анатоліївна заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент, заступник
директора з науково-педагогічної роботи
інституту будівництва та інженерних систем
Національний університет
«Львівська політехніка»,
доктор технічних наук, професор

Бліхарський З.Я.

Підпис д.т.н., проф. Бліхарського З.Я. засвідчую:

Вчений секретар
Національного університету
«Львівська політехніка»



Брилинський Р.Б.