

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Ковальчука Віталія Володимировича

"Несуча здатність транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій в умовах експлуатації",

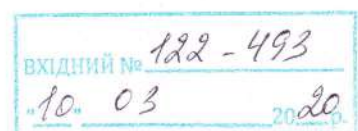
представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди

Представлена дисертаційна робота присвячена одній з актуальних проблем у галузі будівельних конструкцій будівель та споруд, пов'язаних з розробкою методів оцінювання та підвищення несучої здатності споруд із металевих гофрованих конструкцій в умовах експлуатації.

Розглянута дисертаційна робота складається із вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та шести додатків.

Повний обсяг дисертації становить 445 сторінок, основний текст роботи викладено на 300 сторінках. Список літератури із 360 найменувань викладено на 37 сторінках.

Актуальність теми дисертації. В умовах обмеженого фінансування, стосовно утримання транспортних споруд України, виникає проблема застосування сучасних, недорогих споруд. Значного поширення у країнах Європейського Союзу, США та Канаді набули транспортні споруди із металевих гофрованих конструкцій. Будівництво яких вимагає мінімальних затрат часу, незначних витрат матеріалів, і відносно невеликих фінансових ресурсів. Проте накопичений досвід експлуатації споруд у тілі насипу залізничної колії чи автомобільної дороги викликає занепокоєння. В умовах експлуатації споруди із МГК схильні до утворення залишкових деформацій вертикального діаметру конструкції, зміни форми поперечного перерізу, утворення пластичного шарніру. Ці проблеми вказують на їх недостатню несучу здатність, а відтак, і подальшу безпечну експлуатацію, що зумовлює необхідність розробки теоретичних і експериментальних методів оцінки та



підвищення несучої здатності транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій.

Якість виконання ґрунтової засипки при будівництві споруд із металевих гофрованих конструкцій, достовірні методи визначення несучої здатності споруд із МГК великого поперечного перерізу (більше 6 м) у ґрунтовому середовищі при навантаженні від транспортних засобів та дії змінних кліматичних температурних впливів навколишнього середовища, які використовуються при проектуванні конструкцій та методи оцінки змін технічного стану споруд із металевих гофрованих конструкцій у початковий період експлуатації можуть суттєво впливати на показники надійності та несучої здатності транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій. Разом з тим теоретична та експериментальна забезпеченість проблеми оцінювання та підвищення несучої здатності транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій є недостатньою, тому дана дисертаційна робота, присвячена *актуальній науково-технічній проблемі – розробки методів оцінювання та підвищення несучої здатності споруд із металевих гофрованих конструкцій в умовах експлуатації*.

Дисертаційна робота В. В. Ковальчука відповідає актуальним напрямам і завданням державної науково-технічної програми «Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року» (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30. 05. 2018 р., № 430-р). Робота виконана згідно з планами науково-дослідних робіт у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, а саме – держбюджетної теми "Розробка ресурсозберігаючих технологій для захисту елементів інфраструктури від природних та техногенних впливів" (номер державної реєстрації 0112U003557).

Крім цього дисертаційні дослідження проведені в рамках наступних науково-технічних тем: оцінка несучої здатності металевої гофрованої конструкції, що експлуатується на 310-му кілометрі шостого пікету ділянки Вадул-Сирет–Держкордон Львівської залізниці» (тема № 500.12 ЛФ, 2013–2014 рр.); визначення технічних параметрів об'єкту «Другий залізничний в'їзд

по станції Берегова Одеської залізниці» (тема № 809.18/ЛФ/021356); виконання міжнародного проекту «Криза та ризик інжиніринг в сфері транспортних послуг» (CRENG) № 598218-EPP-1-2018-1-PL-EPPKA2-CBHE-JP за програмою Erasmus+CBHE-2018 та виконанням науково-технічного супроводу будівництва тунелю із збірної оцинкованої конструкції у м. Кропивницькому з розрахунком, обстеженням і випробуванням (договір № 1838 НВП «Тріада»).

Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій.

Для вирішення поставлених проблем у дисертаційній роботі використано: метод скінченних різниць, метод скінченних елементів, методи чисельного розв'язання систем звичайних диференціальних рівнянь.

Теоретичні розрахунки, експериментальні вимірювання і статистичну обробку даних виконано з використанням прикладного програмного забезпечення Matlab 2018, а реалізація математичних моделей – на основі теорії пружності.

Під час експериментальних вимірювань напружено-деформованого стану МГК використано аналогово-цифровий перетворювач Е14-140 МД. Обробку експериментальних даних вимірювань аналогових сигналів виконано із використанням програмного комплексу LGraph 2.

Для розробки інерційної системи моніторингу технічного стану транспортних споруд із МГК використано сучасні високочастотні мікроконтролери типу ESP-32 та трьохосьові акселерометри ADXL 335.

Обґрунтованість та достовірність отриманих у дисертації результатів, підтверджується серіями тестових задач, рішення яких отримані за допомогою відомих аналітичних методів будівельної механіки, теорії пружності, а також у відомих програмних комплексах, які реалізують метод скінченних елементів. Результати розрахунків напружень та деформацій МГК, які одержані у дисертаційній роботі, збігаються з даними натурних експериментів і знаходяться у межах допустимих похибок.

Отримані в дисертації основні наукові положення, висновки й рекомендації, обґрунтовані та достовірні, оскільки експериментальні дослідження достовірно поставлені та кваліфіковано виконані за участю науково-дослідної лабораторії

кафедри верхньої та нижньої будов залізничної колії Дрезденського технічного університету (Німеччина).

Достовірність теоретичних положень і розроблених рекомендацій підтверджується задовільною збіжністю отриманих результатів із даними теоретичного розрахунку.

Новизна наукових положень, результатів та рекомендацій полягає в наступному: *вперше*:

- проведено визначення несучої здатності споруд із МГК у залежності від ступеня ущільнення ґрунтової засипки;
- розроблено пристрій та програмне забезпечення для автоматизованої оцінки ступеню ущільнення ґрунтової засипки на основі імпульсного відклику та встановлено характерні ознаки ступеня ущільнення ґрунтової засипки транспортних споруд із МГК у залежності від швидкості поширення пружної хвилі через ґрунтове середовище на основі інерційних вимірювань;
- накопичено та узагальнено експериментальні дані розподілу температури на поверхнях металевих гофрованих конструкцій споруд у різні пори року та години доби при дії змінних кліматичних температурних перепадів навколишнього середовища;
- проведено оцінку термопружного стану тришарової споруди, відремонтованої методом застосування металевих гофрованих конструкцій;
- розроблено інерційну систему моніторингу технічного стану споруд із МГК для проведення натурних випробувань цих споруд.
- **отримав подальший** розвиток метод визначення несучої здатності транспортних споруд із МГК великого перерізу із використанням сучасних програмних комплексів скінченно-елементного моделювання;
- **удосконалено**:
- аналітичну модель визначення несучої здатності транспортних споруд із МГК, яка на відміну від існуючих методів, враховує комплекс факторів – ступень ущільнення ґрунтової засипки, величини статичного та

динамічного навантажень транспортних засобів, геометричні і фізико-механічні параметри металевої гофрованої конструкції; пристрій та уточнено алгоритм із визначення напружено-деформованого стану МГК, що дозволяє проводити експериментальні дослідження несучої здатності споруд із МГК при дії статичних та динамічних навантажень;

- аналітичну модель оцінки температурного поля та термопружного стану транспортних споруд із МГК за дії змінних кліматичних температурних перепадів навколишнього середовища, що дозволяє проводити оцінку термопружного стану конструкції із врахуванням нерівномірного розподілу температури на поверхнях металевих гофрованих листів конструкції.

Практичне та наукове значення роботи полягає у наступному: *удосконалені аналітичні методи* визначення несучої здатності транспортних споруд із МГК можуть бути використані інженерами мостовипробувних станцій Укрзалізниці, проектно-кошторисних відділів, державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) і організаціям, які займаються проектуванням, експлуатацією та утриманням транспортних споруд із МГК; *методи та моделі*, розроблені у рамках дисертаційної роботи, були використані при виконанні науково-дослідних робіт та впроваджені у навчальний процес на кафедрі рухомого складу і колії Львівської філії ДНУЗТ; *розроблені методи із підвищення несучої здатності* дефектних залізобетонних споруд із використанням МГК можуть бути використані при реконструкції (капітальному ремонті) пошкоджених залізобетонних труб та малих мостів; *розроблена інерційна система* оцінки ступеню ущільнення ґрунтової засипки та система моніторингу технічного стану споруд із МГК впроваджені у лабораторію верхньої та нижньої будов залізничної колії Дрезденського технічного університету (Німеччина); *інерційну систему моніторингу несучої здатності споруд* рекомендується застосувати при натурних випробуваннях транспортних споруд із МГК, які експлуатуються під залізничною колією та автомобільною дорогою. Запропонована система використана при натурних випробуваннях шляхопроводу із МГК на ділянці

залізничної колії Котовськ–Знам'янка і автомобільної дороги по вул. Миколи Левитського (Колгоспній) у м. Кропивницькому.

Особистий внесок здобувача. Наведені в дисертаційній роботі результати досліджень отримані автором самостійно та виносяться до захисту вперше. Здобувач виконав наступне: автор дисертаційної роботи сформулював наукову гіпотезу досліджень; розробив комплексну методику оцінки несучої здатності споруд із МГК із врахуванням дії таких багатоваріантних факторів, як: ступеню ущільнення ґрунтової засипки, величин статичного та динамічного навантажень від транспортних засобів і різних геометричних та фізико-механічних параметрів МГК; виконав інтерпретацію отриманих експериментальних даних несучої здатності споруд із МГК; розробив інерційні методи визначення ступеню ущільнення ґрунтової засипки споруд із МГК; провів експериментальні вимірювання розподілу температури на поверхнях металевих гофрованих листів конструкції та удосконалив аналітичну методику оцінки їх термопружного стану; розробив засоби відновлення та методи оцінки несучої здатності пошкоджених транспортних споруд із МГК, підсилених ребрами жорсткості та розробив і реалізував інерційну систему моніторингу технічного стану споруд із МГК.

Повнота відображень наукових положень в опублікованих роботах. Усі основні положення дисертації в достатньому обсязі викладені у 48 наукових працях, з котрих 29 у фахових спеціалізованих виданнях України та інших держав, 10 з яких індексуються у наукометричній базі Scopus, 2 монографії, 3 патенти України на корисну модель та 12 тез доповідей у збірниках наукових конференцій, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації, а також 2 наукові статті, що додатково відображають результати роботи (одна з яких індексується у наукометричній базі Scopus, а друга – у Web of Science).

Результати досліджень широко доповідалися та обговорювалися на 23 національних та міжнародних конференціях та 5 спеціалізованих міжкафедральних семінарах.

Текст і графічні матеріали дисертації та автореферат оформлені відповідно до вимог, що пред'являються до дисертацій МОН України. В авторефераті

викладені основні положення та результати роботи, які є ідентичними змісту дисертації.

Основний зміст роботи.

Розглянута дисертаційна робота складається із вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та шести додатків.

Повний обсяг дисертації становить 445 сторінок, основний текст роботи викладено на 300 сторінках. Список літератури із 360 найменувань викладено на 37 сторінках.

У Вступі обґрунтовано актуальність та проблему роботи, сформульовано мету й задачі досліджень, відображено наукову новизну результатів та їх практичне значення, відображено особистий внесок здобувача, а також результати апробації та дані про публікації роботи, представлено впровадження експериментальних та теоретичних результатів роботи.

У першому розділі проаналізовано наукові розробки щодо визначення несучої здатності споруд із МГК при дії постійних навантажень від ґрунтової ущільнюючої засипки та тимчасових навантажень від транспортних засобів.

Встановлено, що значний вплив на несучу здатність споруд із МГК має: ступінь ущільнення ґрунтової засипки при їх спорудженні та методи достовірного визначення несучої здатності споруд із МГК діаметром більше 6 м при дії статичних та динамічних навантажень від транспортних засобів і змінних температурних кліматичних впливів навколишнього середовища. Крім того зазначено, що методи визначення несучої здатності споруд із МГК при експлуатації у тілі насипу залізничної колії взагалі відсутні.

Критично виконавши аналіз досліджень різних науковців, визначивши невирішені проблеми, автор сформулював мету і завдання своїх експериментальних та теоретичних досліджень.

У другому розділі подано комплексну аналітичну методику оцінки несучої здатності транспортних споруд із МГК, що враховує процеси нерівномірних осідань ґрунтової засипки над металевими гофрованими конструкціями при коротко- та довгострокових динамічних навантаженнях від

транспортних засобів, ступінь ущільнення ґрунтової засипки та фізико-механічні й геометричні параметри металевих гофрованих конструкцій.

Проведено оцінку несучої здатності труби із МГК у залежності від: ступеня ущільнення ґрунтової засипки; розміру типу гофр конструкції; товщини стінки металевої конструкції та поперечного перерізу МГК.

Проведено оцінку несучої здатності шляхопроводів із МГК у м. Кропивницькому та на км 228+160 автомобільної дороги Київ–Харків–Довжанський при дії динамічного та статичного навантажень від транспортних засобів. У результаті встановлено, що безпосередньою причиною виникнення залишкових деформацій МГК може стати зростання напружень у металевих гофрованих листах до значень, близьких до границі допустимих, та, як наслідок, місцеве зародження пластичних деформацій, у результаті розвитку експлуатаційної нерівності на шляху та ступеню ущільнення ґрунтової засипки нижче 90 %. Переважаюче значення має причина розвитку експлуатаційної нерівності, частка впливу якої становить 75 %, а частка ступеню ущільнення ґрунтової засипки нижче 90 % становить 25 %. При відсутності однієї з причин зародження пластичного шарніру у МГК не може відбутися.

У **третьому розділі** наведено методику скінченно-елементного розрахунку несучої здатності транспортних споруд із МГК великого поперечного перетину (більше 6 м) із використанням програмного забезпечення FEMAP with MSC NASTRAN та встановлено механізм причин розвитку залишкових деформацій металевих гофрованих конструкцій транспортних споруд в умовах експлуатаційних навантажень.

Виконано оцінку несучої здатності транспортних споруд із МГК у залежності від ступеню ущільнення ґрунтової засипки при статичних та динамічних навантаженнях труби із МГК на 310 км ділянки залізничної колії Вадул-Сирет – Держкоржон та шляхопроводів у м. Кропивницькому та на км 228+160 автомобільної дороги Київ–Харків–Довжанський.

У результаті чого встановлено, що безпосередньою причиною виникнення залишкових (пластичних) деформацій споруд із МГК є зростання напружень у металевих листах до гранично допустимих значень через

недостатній ступінь ущільнення ґрунтової засипки та підвищеній динамічній дії рухомих транспортних одиниць.

У **четвертому розділі** удосконалено пристрій та алгоритм для проведення експериментальних досліджень несучої здатності водопропускних труб та шляхопроводів із МГК на статичні і динамічні навантаження та розроблено нові методи оцінювання ступеня ущільнення ґрунтової засипки транспортних споруд із МГК.

Заслуговує уваги розроблені нові пристрої оцінки ступеню ущільнення ґрунтової засипки споруд із МГК у лабораторних умовах та умовах будівництва споруд із МГК. За допомогою, яких встановлені характерні ознаки ступеня ущільнення ґрунтової засипки у залежності від швидкості поширення звукової хвилі через ґрунтове середовище.

Проведені натурні випробування шляхопроводів із металевих гофрованих конструкцій на статичні навантаження у м. Кропивницькому та на км 228+160 автомобільної дороги Київ–Харків–Довжанський.

Варто відзначити, що експериментальні випробування базуються на сучасних досягненнях – використовуються тензодатчики, високочастотні мікроконтролери та аналогово-цифрові перетворювачі, а також персональний комп'ютер.

Враховуючи позитивні результати проведених досліджень вважаю, що удосконалену аналітичну методику оцінки несучої здатності споруд із МГК великого поперечного перетину та алгоритм скінченно-елементного моделювання таких споруд, можна рекомендувати для подальшого практичного застосування з метою оцінки несучої здатності споруд із МГК.

У **п'ятому розділі** наведено результати експериментальних вимірювань розподілу температур на поверхнях металевих гофрованих конструкцій у різні пори року та години доби. Експериментальні вимірювання проведені із використанням тепловізора Testo 875-1 та пірометра НТ-822.

Накопичено достовірні експериментальні результати, які дають змогу враховувати змінні температурні кліматичні впливи на несучу здатність споруд із МГК.

Розроблені моделі оцінки температурного поля і термопружного стану транспортних споруд із МГК, які виникають при змінних температурних перепадах навколишнього середовища. Використано рівняння теплопровідності, рівняння теорії термопружності, співвідношення Дюамеля-Неймана та Коші.

Розв'язано задачу у якій невідомий розподіл температури у двовимірній однозв'язній опуклій фізично неоднорідній області з кусково-гладкою границею при заданні температури по краях області (гофрованого листа конструкції).

Проведенні розрахунки дозволили встановити, що величина напружень, яка виникає у спорудах із МГК при дії змінних кліматичних температурних перепадів навколишнього середовища, становить менше 10 % від допустимих значень напружень.

У **шостому розділі** запропоновано конструктивні варіанти забезпечення несучої здатності споруд із МГК. Розроблено засоби відновлення та моделі оцінки несучої здатності споруд із МГК підсилених круглими та плоскими ребрами жорсткості.

Встановлено, що запропоновані конструктивні варіанти підвищують несучу здатність споруд із МГК у три рази.

Розроблено аналітичну модель оцінки термопружного стану багат шарової кусково-однорідної оболонки, яка утворюється у випадку ремонту дефектної залізобетонної труби методом застосування МГК.

Встановлено, що рівень радіальних напружень є незначним і не впливає на загальний напружений стан транспортної багат шарової сталобетонної споруди. Проте осьові напруження становлять до 40 % від допустимих значень напружень у відповідних конструктивних елементах споруди.

У **сьомому розділі** розглянуто практичні аспекти проведення моніторингу металевих гофрованих конструкцій в умовах експлуатаційних навантажень.

Хочу підкресли розроблену автором нову інерційної системи моніторингу технічного стану транспортних споруд із МГК із проведенням експериментальних динамічних випробувань шляхопроводу із МГК при проїзді

транспортних одиниць, які рухаються магістральною залізницею за графіком у напрямку Котовськ–Знам'янка і навпаки.

У результаті проведених натурних випробувань шляхопроводу запропонованою системою, встановлено, що відносні деформації вертикального та горизонтального перерізів металевої гофрованої конструкції шляхопроводу є меншими за 3 %, які регламентуються нормами, тому це дає змогу зробити висновок, що несуча здатність шляхопроводу із МГК забезпечена.

У **загальних висновках** сформульовано основні результати, отримані при вирішенні наукових задач дисертаційної роботи.

Зауваження по роботі:

1. До п.1.4. при проведенні експериментальних вимірювань деформацій вертикального діаметру труби із МГК на 310 км ділянці Вадул-Сирет–Держжордон Регіональної філії «Львівська залізниця» потрібно детальніше пояснити методику проведення експериментальних досліджень. І не зрозуміло за рахунок чого відбувалося просідання залізничної колії, за рахунок щебеневого баласту залізничної колії чи недостатнього ступеня ущільнення ґрунтової засипки металевої гофрованої труби? Чи за рахунок підвищеної динамічної дії рухомого складу залізничного транспорту?

2. Із тексту дисертації не зрозуміло, чи проводилися попередні ущільнення щебеневої та щебенево-піщаної засипок при проведенні експериментальних досліджень їх осідання у лабораторних умовах при дії довготривалих динамічних навантажень. Оскільки значного осідання засипка досягла у початковий період навантаження, а далі крива осідання засипки не значно змінює кут нахилу.

3. На рис. 2.13 наведено результати експериментальних вимірювань осідання щебеневої засипки системою ESAH-F. Проте не зрозуміло яким чином отримані дані залежності, чи це дослідження автора, чи це дослідження інших авторів?

4. При виконанні багатоваріантних розрахунків напружень та величини коефіцієнту пластичного шарніру труби із МГК у табл. 2.3 та табл. 2.4 прийнято глибину нерівності колії величиною $h=44,7$ мм. Проте під час

експериментальних вимірювань максимальна глибина нерівності (рис. 1.13) склала $h=37,1$ мм. Необхідно уточнення, чому прийнято у розрахунках нерівність величиною $h=44,7$ мм.

5. Чи були проведенні дослідження впливу заміни ізотропної гофрованої оболонки, гладкою ортотропною при скінченно-елементному розрахунку на несучу здатність металевих гофрованих конструкцій транспортних споруд?

6. Автор удосконалив аналітичну методику оцінки несучої здатності транспортних споруд із МГК і стверджує, що за допомогою теоретичної методики можна підвищити несучу здатність споруд із металевих гофрованих конструкцій. Вважаю, що дане твердження потребує додаткового пояснень.

7. При розрахунку термопружного стану металевих гофрованих конструкцій розглядається прямокутна область гофрованої оболонки і по її контуру задаються значення максимальних та мінімальних температур, які отримано при експериментальних вимірюваннях. Проте, яким чином встановлювалося значення температури у кожній точці прямокутної області металевої гофрованої конструкції (їх 32 точки по ширині гофрованого листа конструкції та 32 точки по довжині листа) нічого не сказано. Чи це виміри, отримані із застосуванням пірометра, чи це виміри, отримані при використанні тепловізора? І чи є достатнім така кількість заданих значень температури, оскільки розміри гофрованого листа, приблизно, довжина 2667 мм і ширина 838 мм?

8. До формул (2.54), (2.55), (2.68) варто було б зазначити розмірність вхідних параметрів.

9. Не зрозуміла аббревіатура «МГТ» у назві вертикальної осі рис. 1.11.

Висновки про відповідність роботи встановленим вимогам МОН України.

За актуальністю, змістом, науковою новизною та практичним значенням дисертаційна робота «Несуча здатність транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій в умовах експлуатації» є закінченим науковим дослідженням і відповідає вимогам пунктів 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження

наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24 липня 2013 року.

Наведені зауваження та побажання стосуються окремих деталей дослідження і не є принциповими, а тому не знижують як теоретичного і практичного значення дисертаційної роботи, так і загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи Ковальчука В. В. та можуть бути враховані у проведенні подальших досліджень.

Висновок.

Дисертаційна робота В. В. Ковальчука «Несуча здатність транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій в умовах експлуатації» є завершеною науковою працею, в ній отримані достатньо обґрунтовані і експериментально підтверджені нові наукові результати, вона має теоретичне та практичне значення і відповідає вимогам до докторських дисертацій.

Автор дисертації **Ковальчук Віталій Володимирович** заслуговує присвоєння наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри комп'ютерних
технологій будівництва

Національного авіаційного університету

О. І. Лапенко О. І. Лапенко

