

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Цюпина Євгена Івановича**

на тему: **«Дійсна робота вузлів ферм з труб з початковими недосконалостями»**, представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 19 – Архітектура та будівництво за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Детальний аналіз дисертаційної роботи Цюпина Євгена Івановича на тему «Дійсна робота вузлів ферм з труб з початковими недосконалостями» та розгляд його наукових публікацій дозволяє сформулювати наступні висновки, а також надати загальну оцінку проведеного дослідження.

Актуальність теми дисертації. Дисертаційна робота Цюпина Євгена Івановича орієнтована на вивчення напружено-деформованого стану просторових сталевих ферм із трубчастих елементів та жорсткими вузловими з'єднаннями з урахуванням початкових недосконалостей. В межах дослідження передбачено подальше вдосконалення розрахунково-проектних підходів для таких систем, а також аналіз і моделювання процесів зниження ефективності захисного шару гарячого цинкування під час експлуатації.

Ферми з трубчастих профілів із жорсткими вузлами є раціональними несучими системами, що широко застосовуються як конструкції покриттів будівель і споруд різного функціонального призначення. Їхня надійність і довговічність визначаються реальним характером роботи під навантаженням, стійкістю стиснутих стержнів за наявності початкових недосконалостей та якісними характеристиками зварних вузлових з'єднань. Разом із тим поширені розрахункові схеми й методики не повною мірою відтворюють просторову взаємодію елементів і вплив конструктивної побудови вузлів на формування напружено-деформованого стану та локальних концентрацій напружень у зонах зварювання, що зумовлює необхідність уточнення методик і застосування числового моделювання.

Важливим чинником ресурсу сталевих систем є ефективність антикорозійного захисту. Для оцинкованих поверхонь у агресивному середовищі характерне поступове зменшення товщини цинкового шару, що призводить до скорочення залишкового ресурсу елементів. Це обґрунтовує потребу розроблення фізико-механічних і фізико-математичних моделей зносу цинку, придатних для прогнозування строку служби конструкцій. Комплексне поєднання дослідження дійсної роботи ферм із жорсткими вузлами, удосконалення підходів до розрахунку зварних швів, числового аналізу напружено-деформованого стану і прогнозування зносу гарячого цинкування забезпечує підвищення надійності та безпеки сталевих конструкцій, зниження експлуатаційних витрат і збільшення терміну служби будівель і споруд.

Актуальність вибору теми дослідження підтверджується її зв'язком із науково-дослідною роботою кафедри металевих та дерев'яних конструкцій КНУБА на тему: "Розвиток теорії вибору раціональних ресурсозберігаючих конструкцій сталевих рам з використанням ефективних двотаврових профілів енергоекономічних будівель" (номер держреєстрації: 0121U111715), що виконується на підставі наказу КНУБА від 03.06.2021 № 243.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій та достовірність отриманих теоретичних результатів дисертації забезпечуються узгодженою та логічно послідовною методологією дослідження відповідно до сформульованої мети й поставлених завдань; застосуванням методів аналізу та синтезу; відтворенням у чисельних експериментах реальних умов роботи елементів ферми з урахуванням жорсткості вузлових з'єднань; дотриманням основних положень механіки твердого деформованого тіла; використанням сучасних програмних комплексів і скінчено-елементних моделей, а також контролем збіжності результатів розрахунків і верифікацією отриманих аналітичних залежностей.

Наукова новизна результатів полягає у наступному:

- вперше встановлені закономірності взаємозв'язку між деформованою віссю стрижня та навантажувальним фактором за різних початкових відхилень жорсткої опори; розроблено методологічний підхід числових досліджень критерію стійкості центрально-стиснутого стрижня за умов жорсткого закріплення з однієї сторони опори та пружною з другого;
- вперше розроблений методологічний підхід забезпечує можливість визначати деформований стан центрально-стиснутих стрижнів при максимальних початкових відхилень, що виникають під час виготовлення, монтажу або експлуатації конструкції;
- вперше розроблено методику підвищеної точності розрахунку зварних швів фланцевих з'єднань із врізаними ребрами жорсткості в сталевих фермах із трубчастих порожнистих елементів;
- вперше розроблена методика оцінки фізичного зносу оцинкованого покриття поверхні сталевих конструкцій.
- удосконалено й узагальнено методологічний підхід до оцінки впливу натурних початкових ексцентриситетів та кутів повороту перерізу на опорах для елементів сталевих ферм із жорсткими вузлами;
- удосконалено чисельні методи оцінки жорсткості вузлів з'єднання та встановлено формування зон концентрації напружень;
- удосконалено фізико-математичну модель фізичного зносу цинкового покриття поверхні елементів і вузлів сталевих дорожніх конструкцій в умовах експлуатації міста на відкритому просторі та на основі експериментальних даних.

Практичне значення одержаних результатів полягає в практичній цінності підвищення ефективності та надійності просторових сталевих ферм із трубчастих елементів і жорсткими вузлами. Розроблені та удосконалені методики розрахунку зварних швів у фланцевих вузлових з'єднаннях можуть бути використані при проєктуванні та перевірних розрахунках сталевих конструкцій. Запропоновані фізико-механічні та фізико-математичні моделі зносу цинкового покриття забезпечують можливість прогнозування

довговічність сталевих елементів у агресивних середовищах, що є основою для планування термінів технічного обслуговування, ремонту або підсилення конструкцій. Результати числових досліджень вузлових з'єднань дозволяють уточнити розподіл зусиль і напружено-деформований стан у фермах, що підвищує точність оцінки несучої здатності.

Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації в опублікованих працях. Наукові результати дисертації висвітлені у 16 роботах: дві статті у науковому виданні, включеного до переліку наукових фахових видань України категорії «А», яке цитується у реферативній базі Web of Science; 6 статей у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України категорії «Б»; 8 робіт представлені, як тези доповідей у національних та міжнародних науково-технічних конференціях.

Таким чином, наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Оцінка змісту, стилю та мови дисертації, її завершеності, оформлення

Представлена на рецензію дисертаційна робота написана українською мовою та оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації». Дисертація складається з анотації, списку публікацій здобувача за темою дисертації, переліку скорочень та позначень, вступу, п'яти розділів і висновків до них, загальних висновків, списку використаної літератури і одного додатку. Загальний обсяг дисертації складає 180 сторінок, в тому числі 168 сторінок основного тексту, список використаних джерел на 10 сторінках.

У **вступі** визначено та обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, окреслено її взаємозв'язок із науковими програмами, планами й тематикою досліджень. Сформульовано мету роботи, наведено об'єкт і предмет, описано застосовані методи та визначено основні завдання дослідження. Подано положення щодо наукової новизни та практичної

значущості отриманих результатів. Також висвітлено особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію результатів і представлено інформацію щодо публікацій за темою дисертації.

У першому розділі «Конструктивне рішення ферм з жорсткими вузлами та сучасна методологія їх розрахунку» проаналізовано класичні та сучасні положення теорії стійкості стиснутих стержнів у межах пружної роботи, а також показано роль початкових недосконалостей як визначального чинника зниження стійкості. Автором розглянуто сучасні підходи до оцінювання стійкості за умов локального розвитку пластичних деформацій, коли в найбільш напружених перерізах виникають і розвиваються обмежені пластичні деформації.

Автором досліджено нормативні та проєктні положення щодо фланцевих вузлових з'єднань систематизовано й критично оцінено з позицій реальної роботи вузлів. Виявлено напрями, де наявних рекомендацій недостатньо: насамперед це стосується неоднорідності передачі зусиль через зварні шви у фланцевих з'єднаннях і визначення потенційного резерву несучої здатності вузлів з урахуванням початкових недосконалостей, дефектів виготовлення та змін, що накопичуються під час експлуатації.

Також узагальнено найпоширеніші конструктивні схеми жорстких вузлів трубчастих ферм, наведено типологію характерних пошкоджень і дефектів та проаналізовано їх вплив на працездатність і експлуатаційні показники конструкцій. Завершальною частиною розділу є розгляд питань довговічності та захисту від корозії, з акцентом на застосуванні гарячого цинкування як одного з основних способів підвищення ресурсу сталевих елементів.

У другому розділі «Робота просторового сталевого блоку ферм з труб при уточненні розрахункової схеми» на основі чисельного моделювання досліджено три варіанти розрахункових моделей, що відрізняються умовами закріплення поясів і елементів решітки. За результатами зіставлення отриманих даних виконано оцінювання впливу граничних умов на напружено-

деформований стан і стійкість системи та обґрунтовано конструктивно-розрахункову схему блоку трубчастих ферм покриття, яка найбільш наближено відтворює фактичну роботу під дією навантажень.

Чисельні експерименти дали змогу встановити нову закономірність, що пов'язує коефіцієнти розрахункової довжини стержнів із характером пружного обпирання. Запропонований підхід також забезпечив урахування початкових ексцентриситетів і додаткових згинальних моментів, зумовлених технологією виготовлення, та дозволив кількісно оцінити внесок у загальну втрату стійкості елементів.

Автором розроблено методику й виконано серію чисельних досліджень для визначення коефіцієнтів розрахункової довжини стиснутих елементів сталевих ферм з урахуванням умов пружного обпирання. Це забезпечило можливість враховувати вплив жорсткості вузлів і поворотів перерізів елементів у процесі деформування конструкції під навантаженням.

У третьому розділі «Вплив початкових недосконалостей на напружено-деформований стан стиснутих елементів ферм з труб» автором досліджено, як початкові недосконалості опорної системи впливають на деформування конструкції. Зокрема проаналізовано дію початкових зміщень опор ферми та початкового кута відхилення жорсткої опори за фіксованих параметрів її жорсткісних характеристик. На цій основі запропоновано та обґрунтовано удосконалення методологічного підходу до оцінювання впливу натурних початкових ексцентриситетів і кутів повороту на опорах для елементів трубчастих ферм із жорсткими вузловими з'єднаннями.

Окремо наведено результати чисельного аналізу впливу навантажувального фактора на деформований стан пружного стрижня. Встановлено кількісні залежності між формою деформованої осі стрижня та рівнем навантажувального фактора для різних значень початкового відхилення жорсткої опори.

У четвертому розділі «Моделювання роботи фланцевих вузлів ферм з попереднім напруженням» автором сформульовано та реалізовано

теоретичну схему розрахунку зварних швів фланцевих з'єднань із врізаними ребрами жорсткості, призначених для ферм із трубчастих порожнистих елементів. Запропонований підхід дозволив кількісно оцінити неоднорідність передавання зусиль у зварних швах у зонах приєднання фланця до трубчастих стержнів. Для перевірки коректності отриманих положень виконано зіставлення теоретичних результатів із числовим розрахунком вузла методом скінченних елементів; встановлено якісну збіжність розподілів зусиль і напружень.

Також наведено результати чисельного дослідження жорсткісних параметрів фланцевих вузлів із попереднім напруженням болтів та застосуванням обрізних фланців. Проведений комплекс досліджень став підґрунтям для розроблення вдосконаленої чисельно-аналітичної методики оцінювання жорсткісних параметрів фланцевих вузлів із попереднім натягом болтів та обрізними фланцями з урахуванням їх розкриття. Запропонований підхід забезпечує не лише розрахунковий аналіз напружень у вузлових з'єднаннях, а й дає можливість цілеспрямовано керувати та впорядковувати їхній розподіл, не вдаючись до зміни перерізу основного несучого елемента.

У п'ятому розділі «Моделювання зносу цинкового покриття поверхні елементів і вузлів просторового сталевих блоку ферм з труб» розроблено та обґрунтовано вдосконалену фізико-математичну модель, призначену для кількісного опису зносу цинкового шару на поверхнях елементів і вузлів сталевих дорожніх конструкцій під час експлуатації в агресивному середовищі. За результатами розрахунково-аналітичного опрацювання отримано нелінійні залежності зміни товщини покриття від тривалості експлуатації та наведено оцінку інтенсивності його зносу.

В межах технічного обстеження окремо наведено результати натурного дослідження зносу цинкового покриття на реальній рамній дорожній конструкції в м. Києві: ідентифіковано категорію агресивності навколишнього середовища та отримано залежності зміни товщини цинкового шару від тривалості експлуатації за різних значень швидкості корозії.

Запропонована методика оцінювання фізичного зносу цинкового покриття сталевих конструкцій забезпечує можливість прогнозування ресурсу експлуатації як для окремих елементів, так і для їхніх груп у складі конструктивної системи, з визначенням доцільних інтервалів до наступного ремонту або технічного обстеження.

У **загальних висновках** сформульовано основні наукові результати дослідження відповідно до поставлених задач.

Додаток містить довідку про впровадження результатів наукової праці, які були використані під час виконання робіт з технічного обстеження.

Дискусійні положення та зауваження по дисертаційній роботі. У процесі аналізу змісту й структури дисертації виникли такі зауваження змістовного характеру:

1. За результатами табл. 3.3 виконано порівняння стійкості центрально-стиснутих стрижнів за трьома методологічними підходами. У висновку доцільно додатково навести кількісну різницю між отриманими результатами порівнюваних розрахунків, що дозволить оцінити інженеру значущість кожного підходу.

2. У розділі 4 доцільно доповнити результати чисельного та теоретичного аналізу порівнянням із даними натурних випробувань, щоб підтвердити відтворення реальної роботи фланцевих вузлових з'єднань із зазначенням кількісної розбіжності між експериментом і моделлю.

3. У розділі 4 дисертації не висвітлено якими розрахунковими та конструктивними передумовами обґрунтовані прийняті початкові недосконалості, зокрема розкриття фланців на величину 2 мм та застосування обрізаних фланців у моделі вузлового з'єднання.

4. У розділі 5 варто представити номографічні залежності окремо для кожного елемента сталевих блоку ферм з метою диференційованої оцінки зносу гарячого цинкування.

Зазначені зауваження не знижують позитивної оцінки дисертації та можуть розглядатись як рекомендації для подальшої роботи в обраному

напрямі досліджень. Вважаю, що ці зауваження не є визначальними, не применшують наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів і не впливають на загальну позитивну оцінку виконаного дослідження.

Оцінка відповідності освітньо-науковій програмі підготовки. Під час виконання дисертаційної роботи Цюпин Євген Іванович провів самостійне наукове дослідження та опублікував його основні результати. Аналіз змісту роботи та підсумків впровадження отриманих даних засвідчив, що наукова праця здобувача Євгена Івановича Цюпина повністю відповідає науковому напрямку освітньо-наукової програми КНУБА для підготовки фахівців третього (освітньо-наукового) рівня за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії...». Дисертація Цюпина Євгена Івановича «Дійсна робота вузлів ферм з труб з початковими недосконалостями» відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в пп. 5 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії...», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Дотримання принципів академічної доброчесності. Дисертаційна робота Євгена Івановича Цюпина є результатом самостійних досліджень здобувача; вона не містить ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації чи компіляції. Усі використані ідеї, результати та тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні першоджерела.

Загальний висновок про дисертаційну роботу

За підсумками викладеного вище можна констатувати при високий рівень виконання здобувачем поставленого наукового завдання та ґрунтовне опанування методологічних засад науково-дослідної роботи.

Вважаю, що кваліфікаційна наукова праця «Дійсна робота вузлів ферм з труб з початковими недосконалостями», подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, є

завершеною і самостійно виконаною науковою працею, містить нові науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати та відповідає вимогам пп. 5 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії...», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44, а її автор, Цюпин Євген Іванович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Рецензент:

Професор кафедри металевих і
дерев'яних конструкцій Київського
національного університету
будівництва і архітектури
доктор технічних наук, професор



Віталіна ЮРЧЕНКО

«Підпис В.В. Юрченко засвідчую»

Перший проректор Київського
національного університету
будівництва і архітектури
кандидат педагогічних наук, доцент



Юрій ДУДНИК