

ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертаційну роботу **ЦЮПИНА ЄВГЕНА ІВАНОВИЧА**
«ДІЙСНА РОБОТА ВУЗЛІВ ФЕРМ З ТРУБ З ПОЧАТКОВИМИ
НЕДОСКОНАЛОСТЯМИ»

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії з
галузі знань 19 – Архітектура та будівництво,
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Детальний аналіз дисертації Цюпина Євгена Івановича «Дійсна робота вузлів ферм з труб з початковими недосконалостями» та наукових публікацій дозволяє сформулювати наступні висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості основних наукових положень, рекомендацій, наукової новизни та достовірності висновків, практичного значення, а також надати загальну оцінку дослідження.

Актуальність теми. Проектування просторових сталевих ферм з трубчастих елементів з жорсткими вузловими з'єднаннями в якості покриття рамних великопрогонових конструкцій належать до сучасних, ефективних конструктивних систем будівництва, що широко застосовуються у покриттях будівель та інженерних споруд різного призначення. Надійність таких конструкцій залежить від дійсної роботи під навантаженням, стійкості стиснутих елементів із початковими недосконалостями, контролю якості зварних з'єднань у вузлах, захисту від процесів корозії, особливо при експлуатації у відкритому середовищі. Традиційні розрахункові методики не повною мірою враховують складну просторову роботу ферм та вплив конструктивних особливостей вузлів на напружено-деформований стан.

Довговічність сталевих систем значною мірою залежить від ефективності антикорозійного захисту. У випадку оцінюваних поверхонь під дією агресивних факторів відбувається поступове зменшення товщини покриття, що призводить до зниження залишкового ресурсу елементів. Це зумовлює потребу у побудові фізико-механічних та фізико-математичних моделей процесу зносу цинку, які дають можливість прогнозувати термін служби конструкцій.

Зазначено, що комплексне дослідження дійсної роботи сталевих ферм із жорсткими вузлами, удосконалення методики розрахунку зварних швів вузлових з'єднань, числове моделювання напружено-деформованого стану та прогнозування зміни захисного покриття забезпечує підвищення надійності й безпеки сталевих конструкцій, зменшення витрат на їх експлуатацію та продовження терміну служби будівель і споруд.

Автором визначені особливості аналізу стійкості сталевих конструкцій, які знаходяться в експлуатації, і мають певний відсоток фізичного зносу, а також проведений чисельний розрахунок варіантів розрахункових схем рам. У зв'язку з цим у роботі пропонується використання конструктивних рішень вузлів ферм з жорсткими вузлами з розробкою методики більш точного розрахунку зварних швів фланцевих з'єднань з врізаними ребрами жорсткості та методика оцінки фізичного зносу оцінюваного покриття поверхні сталевих конструкцій.

Дисертація присвячена вирішенню наукової задачі зі створення математичної моделі для визначення деформованого стану центрально-стиснутих стрижнів при максимальних дефектах і пошкодженнях, які отримані під час виготовлення, монтажу або експлуатації конструкції.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації підтверджується точністю та достовірністю вихідних даних; застосуванням математичних моделей просторових сталевих ферм покриття, в тому числі з різними варіантами розрахункових схем, які відображають дійсні умови їх роботи, враховують важливі для оцінки стійкості особливості геометрії конструкції, а також закономірності між деформованою віссю стрижня і навантажувальним фактором при різних початкових відхиленнях жорсткої опори. Рівень збіжності при порівнянні отриманих чисельних результатів свідчить про обґрунтованість прийнятих автором передумов і методів.

На підставі результатів виконаних досліджень розроблено та науково обґрунтовано підходи щодо визначення деформованого стану центрально-стиснутих стрижнів при максимальних відхиленнях; методики уточненого розрахунку зварних швів фланцевих з'єднань з врізаними ребрами жорсткості; методики оцінки фізичного зносу оцинкованого покриття поверхні сталевих конструкцій на основі технічного обстеження сталеві оцинкованої рамної конструкції з трубчастих елементів для автоматичних систем управління дорожнім рухом.

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційного дослідження автора є аргументованими та змістовними і свідчать про високий рівень наукової підготовки дисертанта.

Достовірність основних положень роботи забезпечена шляхом виконання чисельних досліджень і застосування сучасних методів аналізу роботи та розрахунку сталевих конструкцій покриття інженерної споруди; врахуванням результатів технічного обстеження; врахуванням початкових недосконалостей і яким чином ці фактори впливають на напружено-деформований стан при перевищенні початкових недосконалостях і отриманих вигинів під час експлуатації.

Достовірність наукових положень, висновків та результатів дисертаційної роботи доведено позитивною оцінкою отриманих результатів на міжнародних науково-практичних конференціях і в рецензованих наукових фахових виданнях категорії «А», «Б», а також результатами впровадження в робочий процес науково-дослідного приватного підприємства «Вартість» для розробки рекомендації з подальшої експлуатації інженерної споруди.

Враховуючи всі вищенаведені аргументи можна зробити позитивний висновок щодо наукової обґрунтованості і достовірності отриманих основних положень дисертаційного дослідження, а також їх відповідності заявленим меті та завданням.

Науковою новизною одержаних результатів слід вважати наступне:

- 1) визначений методологічний підхід числових досліджень критерію стійкості центрально-стиснутого стрижня з жорсткою і пружною опорами;
- 2) розроблений методологічний підхід, який дає змогу визначати деформований стан центрально-стиснутих стрижнів при максимальних дефектах і пошкодженнях отриманих під час виготовлення, монтажу або експлуатації конструкції;
- 3) розроблену методику для уточненого розрахунку зварних швів фланцевих з'єднань з врізаними ребрами жорсткості сталевих ферм з труб;
- 4) розроблену методику оцінки фізичного зносу оцинкованого покриття поверхні сталевих конструкцій.

Удосконалено:

- 1) методологічний підхід оцінки впливу натурних початкових ексцентриситетів та кутів повороту перерізу на опорах для елементів сталевих ферм з жорсткими вузлами;
- 2) чисельні методи оцінки жорсткості вузлів з'єднання та формування зон концентрації напружень;
- 3) фізико-математичну модель фізичного зносу цинкового покриття поверхні елементів і вузлів сталевих дорожніх конструкцій в умовах експлуатації міста на відкритому просторі на основі експериментальних даних.

Практична цінність результатів дисертаційної роботи полягає:

- в підвищенні ефективності та надійності роботи просторових сталевих ферм із трубчастих елементів і жорсткими вузлами при експлуатації в агресивному середовищі.
- в розробці та удосконаленні методики розрахунку зварних швів у фланцевих вузлових з'єднаннях, яку використовують при проектуванні та перевірочних розрахунках;
- в запропонованій фізико-механічній та фізико-математичній моделі зносу цинкового покриття, яка забезпечує можливість прогнозування експлуатаційної придатності сталевих конструкцій та їх з'єднань у агресивних середовищах, що є основою для планування технічних оглядів, ремонту або підсилення конструкцій.
- в чисельних дослідженнях вузлових фланцевих з'єднань, які дозволяють уточнити розподіл зусиль і напружено-деформований стан у фермах, що підвищує точність оцінки несучої здатності.

Оцінка наукових публікацій

За темою дисертації опубліковано 16 робіт. Основні результати дослідження викладені у 2 статтях у науковому виданні, включеному до переліку наукових фахових видань України категорії «А», яке цитується у реферативній базі Web of Science, 6 статтях у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України категорії «Б». Вісім робіт представлені як тези доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях.

Кількість публікацій, обсяг, якість, повнота висвітлення результатів та розкриття змісту дисертації відповідає вимогам «Порядку присудження наукового ступеня доктора філософії». Зазначені публікації повною мірою висвітлюють основні наукові положення дисертації. Вважаю, що дисертація пройшла належну апробацію.

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

Дисертаційна робота має класичну структуру: вона складається із переліку скорочень і позначень, вступу, п'ятьох розділів, висновків до розділів, загальних висновків до роботи, списку використаних джерел (75 найменувань) та додатку на 1 сторінці. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 180 сторінок друкованого тексту, основний її зміст викладено на 168 сторінках, в роботі присутні: 11 таблиць, 170 рисунків.

Дисертація написана українською мовою, її структура та оформлення відповідають установленим вимогам. Робота характеризується єдністю змісту.

Конкретно сформульовано мету і задачі досліджень, визначено предмет і об'єкт дослідження, вказано наукову новизну роботи та практичне значення отриманих результатів.

У *вступі* наведена загальна характеристика дисертаційної роботи, автором обґрунтовано актуальність задачі; визначено мету, завдання, об'єкт, предмет та методи досліджень; наведено зв'язок із державними науковими програмами та особистий внесок здобувача; описано наукову новизну, практичне значення результатів, а також апробацію та впровадження дисертаційного дослідження. Автором висловлено подяку за можливість проведення наукових досліджень.

У *першому розділі* проаналізовано сучасний стан дослідження стійкості центрально-стиснутих стрижнів у межах пружної роботи сталі, а також аналіз впливу початкових недосконалостей на напружено-деформований стан будівельних конструкцій. Відзначено, що важливим науковим напрямом є розрахунки стійкості з урахуванням розвитку обмежених пластичних деформацій, який має принципове значення для визначення граничної несучої здатності конструкцій при аварійних навантаженнях. Проаналізовано аналітичні та інженерні методи оцінки стійкості сталевих конструкцій, а саме визначення критичних напружень.

Автор досліджує низку нормативних документів, які регламентують розрахунок фланцевих вузлів рамних конструкцій при передачі значних згинальних моментів, а також удосконалені методики розрахунку фланцевих стиків сталевих рам. Сформульована необхідність удосконалення наявних розрахункових положень, яка зумовлена потребою встановлення дійсної роботи вузлів після тривалої експлуатації та при оцінюванні їх подальшої експлуатаційної придатності.

Автором зроблений висновок, щодо необхідності дослідження особливості втрати стійкості пружних стиснених елементів сталевих ферм із жорсткими вузлами з урахуванням початкових геометричних недосконалостей, отриманих під час виготовлення, монтажу та експлуатації, а також вдосконалення програмних комплексів на основі методу скінченних елементів, призначених для аналізу поведінки вузлових з'єднань.

Автором проаналізовано особливості проєктування жорстких вузлів з'єднання у фермах, особливістю яких є наявність початкових дефектів. Також встановлений вплив дефектів та пошкоджень на роботу ферм.

За загальними висновками щодо літературного аналізу розкрита суть проблеми і сформульовані мета та задачі дисертаційного дослідження.

У *другому розділі* дисертаційної роботи автор детально розкриває вирішення задачі дійсної роботи просторового блоку ферм із сталевих труб при жорсткому з'єднанні вузлів під час тривалої експлуатації. В програмному комплексі ЛІРА-САПР проведений розрахунок просторової системи сталевих конструкцій, яка складається з колон і просторового гратчастого блоку ферм. Колони жорстко закріплені до фундаменту. Просторовий гратчастий блок ферм складається з п'яти секцій. Виконано розрахунки для трьох розрахункових схем: з шарнірним з'єднанням всіх вузлів блоку ферм; з нерозрізними поясами ферм при шарнірно приєднаних елементах решітки; з жорстким з'єднанням поясів ферм і елементів решітки. Результати розрахунку порівняні за зусиллями і величиною вертикальних переміщень.

Визначено для подальшого аналізу, як найбільш раціональний варіант розрахункову схему з жорстким з'єднанням поясів ферм і елементів решітки.

Схвалення заслуговує деталізація моделі споруди та вузлових з'єднань сталевих конструкцій.

Виконано аналіз стійкості стрижневих елементів решітки ферм із жорсткими вузлами, для яких найбільш показовою є схема роботи елемента, защемленого на обох кінцях, коли одна опора виконує функцію жорсткого защемлення на пружному підґрунті, а інша забезпечує жорстке нерухоме закріплення.

Автором отримане аналітичне рівняння стійкості, яке узгоджується з аналітичними розв'язками, однак відрізняється поданням у відносних

координатах, що дає змогу виконувати чисельні дослідження для широкого спектра значень жорсткості опор.

Обґрунтовано, що розроблене аналітичне рівняння стійкості відображає дійсні умови роботи; чисельні дослідження показали закономірність залежності коефіцієнтів розрахункової довжини стрижнів залежно від жорсткості пружного обпирання.

Схвалення заслуговує аналітичне рівняння критерію стійкості.

У *третьому розділі* дисертаційної роботи автором зроблений аналіз стійкості пружних стрижнів із пружним защемленням опор під дією осьового стиску із застосуванням коефіцієнта стійкості, який залежить від форми поперечного перерізу, рівня початкових недосконалостей та умовної гнучкості.

Визначено критерій стійкості та відповідні коефіцієнти розрахункової довжини пружного стрижня при різних варіантах закріплення опор, а саме: стрижень, у якого одна опора виконує функцію жорсткого защемлення, тоді як протилежний кінець працює як пружне защемлення (модель 1).

При чисельному розрахунку відхилення від аналітичного розв'язку склало 0,12%.

Проведено числові дослідження деформованого стану умовно центрально-стиснутого стрижня з початковими геометричними недосконалостями (початковий зсув опорного перерізу й початковий кут повороту).

Визначено залежність параметра силового фактору на розподіл згинального моменту по довжині стрижня і величину відносних прогинів.

Проведено числові дослідження зміни напруженого стану центрально-стиснутих пружних сталевих трубчастих стрижнів, що працюють у складі ферм із жорсткими вузлами за наявності різних початкових відхилень.

Розроблений методологічний підхід на основі порівняння дає змогу визначати деформований стан центрально-стиснутих стрижнів за наявності максимальних початкових відхилень, що виникли під час їх виготовлення, монтажу або експлуатації конструкції при різній жорсткості вузлів закріплення елементів ферм.

Для аналізу впливу гнучкості стрижня на рівень критичних напружень розглянуто 3 методики.

Доведено, що при оцінці стійкості стрижнів зі збільшеною жорсткістю вузлів треба враховувати початкові недосконалості за деформаційним розрахунком.

Четвертий розділ присвячений моделюванню роботи фланцевих вузлів ферм з попереднім напруженням на основі удосконалення методики розрахунку фланцевих вузлових з'єднань з врізаними ребрами жорсткості.

Отримані чисельні результати нерівномірного розподілу зусиль зварного шва в програмному комплексі IDEA StatiCa підтверджені аналітичними рівняннями, на основі яких запропоновано здійснювати оцінювання міцності

зварного шва з урахуванням просторової нерівномірності розподілу зусиль у зоні його роботи.

При дослідженні НДС фланцевих з'єднань автор наголошує на певних твердженнях, а саме: напружено-деформований стан є складним і нерівномірним, внаслідок наявності багатьох складових елементів - болтів, зварних швів, ребер жорсткості; інженерні методи не враховують концентрації напружень в локальних зонах віддалених від центру навантаження; наявність ділянок локальної втрати стійкості для елементів ферм з труб круглого або прямокутного поперечного перерізу.

Для детального аналізу в роботі проведено чисельний розрахунок методом скінченних елементів восьми вузлових з'єднань в програмному комплексі IDEA StatiCa версії 24.0.6.1223. Досліджувалися 4 моделі монтажного стику верхнього поясу просторового блоку ферми та 4 моделі монтажного стику нижнього поясу просторового блоку ферми з різними варіаціями ребер жорсткості.

Виявлені локальні зони концентрації напружень біля ребер жорсткості зі значеннями до 200 МПа.

Найбільш ефективним варіантом фланцевого з'єднання, який забезпечує рівномірний розподіл напруження є варіант з додатковими ненаскрізними ребрами жорсткості під кутом 30° та кільцем жорсткості по зовнішньому периметру труби поясу ферми.

Напруження, які виникають від дії болтового з'єднання по фланцю на 33,94% менше в порівнянні з моделлю без кільця жорсткості; напруження по довжині зварних швів розподіляються без значних пікових концентрацій зі зменшенням максимальних еквівалентних напружень на 14,66 %.

Для врахування дійсної роботи фланцевих з'єднань був здійснений аналіз попередніх 8 моделей з початковими недосконалостями у вигляді розкриття фланця монтажного стику на 2 мм та його зрізу.

Виконані дослідження дозволили створити удосконалену чисельно-аналітичну методику, яка досліджує жорсткісні характеристики фланцевих вузлів з попереднім напруженням болтів та обрізаними фланцями з їх розкриттям і дає змогу не лише аналізувати напруження в вузлових з'єднаннях, але і впливати та структурувати розподіл напружень, при цьому не змінюючи переріз основного несучого елементу.

П'ятий розділ присвячений аналізу і побудові фізико-математичної моделі фізичного зносу захисного цинкового покриття поверхні сталевих елементів ферм трубчастого перерізу при терміні експлуатації понад 10 років в умовах агресивного середовища.

Автором сформульована методика оцінки фізичного зносу покриття при експлуатації в агресивному середовищі, яка складається з 6 пунктів і передбачає прогнозування зменшення товщини цинкування в часі.

Для прогнозування залишкового ресурсу покриття і встановлення в подальшому термінів найближчого технічного обстеження було проаналізовано приклади з експоненціальною залежністю між втратами цинку (зменшення товщини цинкового покриття поверхні сталевих елементів) та періодом експлуатації.

За допомогою неруйнівних методів технічного обстеження була визначена товщина цинкового покриття сталеві просторові конструкції і встановлена класифікація елементів конструкції на окремі групи в залежності від інтенсивності втрати цинкового покриття.

На прикладах продемонстровано застосування методики щодо визначення параметра швидкості зменшення антикорозійного покриття для різних елементів дорожньої конструкції з можливістю прогнозування інтенсивності зносу цинкового покриття і рекомендаціями подальшої експлуатації.

У загальних висновках відповідно до поставлених завдань сформульовано основні наукові результати даного дослідження.

Додаток містить довідку про впровадження результатів наукової праці, які були використані під час виконання робіт з технічного обстеження, а саме: розробки рекомендацій з подальшої експлуатації сталеві ферм покриття із жорсткими вузлами для дорожньої конструкції прогоном 36,0 м.

В цілому ж, в роботі можна відмітити послідовність і логічність викладення інформації. Робота є завершеною самостійною науковою працею, достатньо добре оформленою.

До основних здобутків роботи слід віднести:

- розроблена фізико-математична модель стійкості сталевих елементів ферм з однією жорсткою і другою пружною опорою з урахуванням початкових недосконалостей;
- встановлено закономірність нерівномірного розподілу напружень в зварних швах фланцевих з'єднань;
- розроблено підхід для підвищення точності розрахунку зварних швів у фланцевих з'єднань з врізаними ребрами жорсткості в сталевих фермах з трубчастих елементів;
- удосконалено фізико-математичну модель фізичного зносу цинкового покриття поверхні елементів і вузлів сталевих дорожніх конструкцій в умовах експлуатації на відкритому просторі на основі експериментальних даних;
- розроблено методику оцінки фізичного зносу оцинкованого покриття поверхні сталевих конструкцій з відповідною класифікацією елементів конструкції і можливістю подальшого прогнозування технічного стану.

ЗАУВАЖЕННЯ ПО РОБОТІ

1. Присутні граматичні помилки на стор. 42, 67, 74, 80, 86, 90, 94, 121, 128, 151, 153, 155, 160;

2. На стор. 27 «Розрахунок фланцевого з'єднання з використанням високоміцних болтів класу не менше 8.8», згідно зі зміною 1, п.7.8 ДБН В.2.6-198 для фланцевих з'єднань рекомендовано використання високоміцних болтів з попереднім натягом 40 X «Селект» або класу 10.9;

3. На рис. 2.3., стор.43 бажано вказати дату технічного обстеження і місце розташування конструкції;

4. В табл. 2.1., стор.51 вертикальні переміщення вказані як «понад нормативних вимог», бажано вказати розрахункові і гранично допустимі значення переміщень;

5. На рис. 4.10 не зрозуміло чому розподіл вказаний від 50 до 150 МПа при наявності зон червоного кольору зі значенням в 200 МПа.

6. На рис. 4.47 вказаний результат 26,1 МПа, на рис. 4.40 - 25,3 МПа при порівнянні була визначена різниця в 30,5 %?

7. На рис. 4.74, ст.128 не зрозуміло чому розподіл вказаний від 50 до 175 МПа при наявності зон червоного кольору зі значенням в 225 МПа.

8. На рис. 4.89, стор.136 вказано значення напруження стиску 11,6 МПа, тоді як шкала представлена до 19,8 МПа.

9. На стор. 68-69 «... у процесі виготовлення, монтажу та подальшої експлуатації конструкцій можуть виникати додаткові ексцентриситети та відхилення, величина яких істотно перевищує значення, закладені на етапі проектування», при технічному обстеженні які саме дійсні вигини конструктивних елементів ферм ви отримали?

10. На рис. 5.2 максимальна товщина цинкового покриття вказана 100 мкм, тоді як проєктне значення 120 мкм;

11. Приклад 5.2 на стор.158 параметр швидкості зменшення товщини антикорозійного цинкового покриття поверхні сталевих конструкцій визначений $\alpha_k=1,25$, але це значення не співпадає з графіком на рис. 5.2;

12. Не зрозуміло висновок в прикладі 5.3, графік 3 на рис.5.2 не співпадає зі значенням $t_{corrCi+1}$.

13. В прикладі 5.9 на стор.163 неправильно обчислений параметр швидкості зменшення антикорозійного покриття поверхні горизонтальних фасонки;

14. Чим пояснюється збільшення параметру швидкості корозії покриття для розкосів ферми до 1,0, тоді як для нижнього і верхнього поясів в межах 0,5...0,7?

15. Яким чином було обрано контрольні точки на поверхні елементів конструкції при технічному обстеженні?

16. Однією з задач технічного обстеження є визначення категорії технічного стану конструкції на основі визначення відсотка фізичного зносу, бажано в роботі вказати категорії технічного стану.

Проте, зазначені зауваження не зменшують загального позитивного враження від представленої дисертації, вони мають переважно дискусійний характер. Отримані здобувачем результати не викликають сумніву, є науково

обґрунтованими, мають наукову новизну і практичне значення. В цілому, робота заслуговує позитивної оцінки.

Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії ...»

Дисертація Цюпина Євгена Івановича «Дійсна робота вузлів ферм з труб з початковими недосконалостями» відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», зокрема пп. 5, 6, 7, 8, 9. Дисертація виконана з дотриманням правил академічної доброчесності та є самостійною, завершеною науковою роботою. Отримані результати свідчать про значний внесок автора в науку.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Дисертаційне дослідження Цюпина Євгена Івановича «Дійсна робота вузлів ферм з труб з початковими недосконалостями», представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, є завершеною, самостійно виконаною науковою працею, яка повністю відображає основні теоретичні та практичні положення роботи, а також відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії...», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, та напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КНУБА з вищезазначеної спеціальності, а її автор Цюпин Євген Іванович заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри будівництва
Національного університету
біоресурсів і природокористування
України, Міністерства освіти і науки
України



ЗАСВІДЧУЮ
Директор відділу кадрів
С.ГРИЩЕНКО

Костира Н.О.