АНОТАЦІЯ

Цюпин Є.І. Дійсна робота вузлів ферм з труб з початковими недосконалостями. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, галузь знань 19 – Архітектура та будівництво. – Київський національний університет будівництва і архітектури. Міністерство освіти і науки України, Київ, 2025 р.

Основний зміст дисертаційної роботи

Дисертаційна робота спрямована на розвиток та дослідження напружено-деформованого стану сталевих конструкцій просторової ферми з початковими недосконалостями вузлів та дослідження процесу зносу гарячого цинкування конструкцій.

За результатами виконаних оглядів, аналізів вітчизняних та закордонних практик та досліджень, чисельних скінчено-елементних та експериментальних досліджень:

- визначено, що в вітчизняних та закордонних нормативних документах, посібниках лише поверхнево описано вплив початкових недосконалостей на стійкість сталевих конструкцій та відсутні дослідження щодо початкових недосконалостей, які виникають в межах експлуатації будівлі та недосконалостей, що перевищують значення в нормативних документах. Відсутнє дослідження точкового зносу гарячого цинкового покриття поверхні сталевих конструкцій;
- визначено стійкість сталевих стрижнів сталевої ферми з жорсткими зварними вузлами при дійсній роботі під навантаженням просторового блоку ферм із сталевих труб;
- визначено стійкість пружних стрижнів з початковими недосконалостями сталевих ферм з жорсткими вузлами;
- удосконалено методики розрахунку зварних швів фланцевих вузлових з’єднань;
- встановлено принципові положення методики оцінки фізичного зносу оцинкованого покриття поверхні сталевих конструкцій при експлуатації.

У філософському контексті дослідження роботи вузлів ферм із труб, що мають початкові недосконалості, виходить за межі лише інженерної проблематики. Це питання торкається фундаментальних уявлень про природу матеріального світу, недосконаліть форм і межі людського проєктування та конструювання. Жодна реальна структура не є абсолютно досконалою – завжди існують відхилення, деформації чи інші форми недосконалостей. У цьому сенсі конструкції можна розглядати як метафору самого буття – де ідеал ніколи не досягається повністю, а стійкість і надійність випробовуються у взаємодії з непередбачуваністю світу.

В першому розділі проаналізовано огляд проблематики досліджень стійкості центрально-стиснутих стрижнів з урахуванням початкових недосконалостей. Описано конструктивні рішення вузлів ферм з жорсткими вузлами та рекомендації щодо прийняття проєктних рішень. Проаналізовано вплив дефектів та пошкоджень на роботу сталевих конструкцій та описані рекомендації щодо їх усунення. Проаналізовано категорії агресивних середовищ та антикорозійний захист сталевих конструкцій з цинковим покриттям.

В другому розділі детально описано поведінку дійсної роботи просторового блоку ферм із сталевих труб та жорсткими вузлами під впливом навантаження. Виконано чисельне дослідження трьох типів схем: - з шарнірним з’єднанням всіх вузлів блоку ферм; - нерозрізні пояси ферм, елементи решітки приєднані шарнірно; - пояси ферм і елементи решітки з’єднанні жорстко. Результати розрахунку було порівняно та на основі оптимальної схеми прийняті перерізи. Виконані числові дослідження центрально-стиснутого стрижня з однією жорсткою опорою та з другою пружною опорою. Визначена фокусна точка із сталою координатою рівною значенню параметра стійкості. Розроблений методологічний підхід з врахуванням початкових додаткових згинальних моментів та початкових ексцентриситетів отриманих під час виготовлення конструкцій.

В третьому розділі виконані числові дослідження зміни напружень в центрально-стиснутих пружних сталевих трубчастих стрижнів при роботі ферм із жорсткими вузлами при різних початкових відхиленнях. Проведені числові дослідження деформованого стану стрижня умовно центрально-стиснутого з

початковими недосконалостями. Проведено додаткові числові дослідження деформованого стану стрижня умовно центрально-стиснутого з початковими недосконалостями для впливу жорсткості пружної опори. Розроблений методологічний підхід для визначення деформованого стану центрально-стиснутих стрижнів при максимальних відхиленнях, які отримані під час виготовлення, монтажу або експлуатації конструкції. Встановлені закономірності між деформованою віссю стрижня і навантажувальним фактором при різних початкових відхиленнях жорсткої опори.

В четвертому розділі розроблено теоретичний підхід для більш точного розрахунку зварних швів фланцевих з'єднань з врізаними ребрами жорсткості сталевих ферм з трубчастих порожнистих елементів. Методика розрахунку дає можливість визначити нерівномірність розподілення зусиль в зварних швах приєднання фланцевого з'єднання до трубчастих елементів. Порівняння результатів дослідження з результатами розрахунку вузла методом скінченних елементів показали якісний збіг. Виконано чисельні дослідження фланцевих з'єднань компонентним методом скінченних елементів, що дає змогу відійти від класичного підходу аналізу загальної жорсткості з'єднання.

В п'ятому розділі визначено, що доцільно визначати оцінку точкової корозії поверхні окремих груп конструкцій. Удосконалено 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. Розроблена методика оцінки фізичного зносу оцинкованого покриття поверхні сталевих конструкцій.

Ключові слова: стійкість Ейлера, сталеві конструкції, стійкість пружних стрижнів, жорстка опора, пружна опора, обстеження, гнучкість стрижнів, пружна робота, критерій стійкості, моделювання стійкості конструкцій, коефіцієнт розрахункової довжини, технічний огляд, фланцеві вузли, напруження, зварні шви, розрахункові зусилля, знос цинкового покриття, гаряче цинкування, еквівалентні напруження, чисельне моделювання, компонентний метод скінчених елементів, надійність, неруйнівний контроль.

ABSTRACT

Tsyupyn Y.I. Actual Behavior of Galvanized Steel Tube Trusses with Rigid Joints Considering Initial Imperfections. – Qualification research work (manuscript). Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 192 – Civil Engineering and Construction, field of knowledge 19 – Architecture and Construction. – Kyiv National University of Construction and Architecture. Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2025.

Main content of the dissertation

The dissertation focuses on the development and investigation of the stress-strain state of steel spatial truss structures with initial imperfections in joints and the study of the wear process of hot-dip galvanized coatings on structures.

Based on reviews, analyses of domestic and foreign practices and studies, numerical finite element analyses, and experimental investigations:

- It was determined that domestic and international regulatory documents and manuals only superficially describe the influence of initial imperfections on the stability of steel structures. There is a lack of studies regarding imperfections that arise during the service life of a building and imperfection values exceeding normative limits. No research has been conducted on localized wear of hot-dip galvanized coatings on steel surfaces.
- The stability of steel members of a truss with rigid welded joints under actual load conditions of a spatial truss block made of steel tubes was determined.
- The stability of elastic members with initial imperfections in steel trusses with rigid joints was determined.
- Methods for calculating welded joints in flanged node connections were improved.
- Fundamental principles for assessing the physical wear of galvanized coatings on steel surfaces during operation were established.

In the philosophical context, the study of truss joints with initial imperfections goes beyond purely engineering issues. It touches upon fundamental notions of the material world, imperfection of forms, and the limits of human design and construction. No real structure is perfectly flawless—there are always deviations, deformations, or other forms of imperfection. In this sense, structures can be seen as a metaphor for existence itself, where

the ideal is never fully achieved, and stability and reliability are tested through interaction with the unpredictability of the world.

In the first chapter, a review of the research problems concerning the stability of centrally compressed members considering initial imperfections is presented. Structural solutions for truss joints with rigid connections and recommendations for design decisions are described. The influence of defects and damages on the performance of steel structures is analyzed, with recommendations for their mitigation. Categories of aggressive environments and corrosion protection of steel structures with zinc coatings are analyzed.

The second chapter provides a detailed description of the actual behavior of a spatial truss block of steel tubes with rigid joints under load. Numerical analysis was performed for three types of schemes: - with hinged connections at all nodes of the truss block, - continuous truss chords with lattice elements connected hinge-wise, - truss chords and lattice elements rigidly connected.

Calculation results were compared, and cross-sections were chosen based on the optimal scheme. Numerical studies of a centrally compressed member with one rigid support and another elastic support were performed. A focal point with a constant coordinate equal to the stability parameter value was determined. A methodological approach was developed, accounting for initial additional bending moments and initial eccentricities arising during fabrication.

In the third chapter, numerical studies of stress changes in centrally compressed elastic steel tubular members of trusses with rigid joints under various initial deviations were conducted. Numerical investigations of the deformed state of a conditionally centrally compressed member with initial imperfections were carried out. Additional numerical studies were performed to assess the effect of elastic support stiffness. A methodological approach for determining the deformed state of centrally compressed members at maximum deviations arising during fabrication, assembly, or operation was developed. Patterns between the deformed member axis and the load factor for different initial deviations of the rigid support were established.

The fourth chapter develops a theoretical approach for more accurate calculation of welded joints in flanged connections with inserted stiffening ribs of steel trusses with tubular

hollow members. The calculation method allows determining the uneven distribution of forces in welded joints connecting the flange to tubular elements. Comparison of the results with finite element analysis showed good agreement. Numerical studies of flanged connections using the component finite element method were performed, enabling analysis beyond the classical approach of overall joint stiffness.

In the fifth chapter, it was established that it is advisable to evaluate localized corrosion for specific groups of structures. The physical-mathematical model of zinc coating wear on elements and joints of steel road structures under urban open-air conditions was improved based on experimental data. A methodology for assessing the physical wear of galvanized coatings on steel structures was developed.

Keywords: Euler stability, steel structures, stability of elastic members, rigid support, elastic support, inspection, slenderness of members, elastic behavior, stability criterion, structural stability modeling, effective length factor, technical survey, flange joints, stresses, welds, design forces, zinc coating degradation, hot-dip galvanizing, equivalent stresses, numerical modeling, component finite element method, reliability, non-destructive testing.