

АНОТАЦІЯ

Співак Д. С. Рациональні розрізні ферменні прогонові будови їздою поверху із використанням трубобетону. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (19 – Архітектура та будівництво). – Український державний університет науки і технологій, Дніпро, 2025.

Дисертаційна робота присвячена розробленню методики та пошуку оптимальних розмірів розрізних ферменних прогонових будов із верхнім розташуванням проїзної частини та застосуванням трубобетону. Трубобетон виступає композитним матеріалом, що поєднує властивості сталі й бетону, забезпечуючи високі показники міцності, жорсткості, витривалості до дій зовнішніх факторів, включно з вогнем та корозією. Враховуючи низку конструктивних, економічних і експлуатаційних переваг трубобетону, його впровадження в практику мостобудування в Україні є перспективним напрямом, що дозволяє підвищити ефективність інженерних рішень. Разом із тим, поширенню цього матеріалу перешкоджає малий досвід реалізованих проєктів на території країни, а також відсутність правил щодо визначення оптимальних головних розмірів трубобетонних ферм.

У дисертаційній роботі проведено системний аналіз властивостей трубобетону, його конструктивних особливостей, а також реалізованих проєктів мостів в Україні та за кордоном. Визначено основні переваги цього матеріалу порівняно з конструкціями зі сталі та залізобетону, зокрема: підвищена несуча здатність, вища вогнестійкість, стійкість до корозійних процесів, а також надійність за дії динамічних і сейсмічних навантажень.

Встановлено, що застосування трубобетонного поясу у верхньому рівні прогонової будови дозволяє зменшити конструктивну висоту, зменшити витрати

матеріалів та підвищити стійкість до динамічних та сейсмічних впливів. Поряд із цим відзначено низку проблем, пов'язаних з оптимізацією параметрів конструкції, недостатньою кількістю типових рішень та відсутність досвіду проектування та будівництва в Україні.

Проблематика, розкрита у дисертації, набуває особливої актуальності у світлі дефіциту уніфікованих конструктивних рішень у галузі проектування мостів нового покоління. Розрізні ферменні прогони, які вивчаються у роботі, представляють потенціал для широкого застосування в прогонах середньої та великої довжини, у тому числі на дорогах регіонального та національного значення.

У дисертаційній роботі запропоновано підхід до оптимізації конструктивних рішень, що ґрунтується на використанні чисельних методів у поєднанні з комплексним застосуванням кількох обчислювальних інструментів. У межах дослідження як один із базових методів автоматизованого добору параметрів було реалізовано метод рівномірного пошуку. Попри відносну алгоритмічну простоту, його впровадження вимагало розроблення спеціалізованої процедури обміну даними між окремими програмними засобами, що забезпечує цілісність та узгодженість розрахункового процесу.

Метою дисертації є визначення оптимальних параметрів плоских ферм із трубобетону для розрізних ферменних прогонових будов з урахуванням сучасних транспортних навантажень відповідно до державних будівельних норм України. Основними завданнями дослідження є: вивчення властивостей трубобетону, аналіз існуючих конструкцій трубобетонних мостів, ідентифікація основних навантажень, розробка алгоритму чисельного моделювання в середовищах Mathcad і ЛІРА-САПР, визначення трубобетонних перерізів елементів, визначення критеріїв ефективності ферм, а також демонстрація результатів параметрів ефективних конструктивних схем.

У роботі реалізовано повний інженерний цикл – від аналізу та вибору конструктивної схеми до результатів підбору поперечних перерізів

трубобетонних елементів. Об'єктом дослідження є площа ферми з трикутною решіткою та верхнім розташуванням проїзду. Предметом дослідження виступає ефективність використання матеріалів залежно від варіантів головних розмірів прогонів та трубобетонних перерізів, навантажень та властивостей матеріалів. Методологія базується на скінченно-елементному аналізі із використанням програмного забезпечення ЛІРА-САПР для побудови розрахункових схем та обчислення зусиль в елементах, і середовища Mathcad – для обробки даних, оптимізації та підбору перерізів відповідно до вимог Єврокодів. Завдяки вказаним програмним забезпеченням визначено ефективність різних конфігурацій перерізів за критеріями міцності, жорсткості, гнучкості та технологічної доцільності.

Алгоритм підбору перерізів забезпечив повне використання несучої здатності трубобетонних елементів, що проявилось у наближенні зусиль до межових значень кривих взаємодії. Такий підхід дозволяє не лише оптимізувати конструктивні рішення, але й обґрунтовано визначити раціональні типи поперечних перерізів з урахуванням конкретних умов навантаження та геометричних параметрів ферми.

За допомогою розробленого алгоритму здійснено аналіз багатьох конструктивних схем, для кожної з яких проведено оптимізацію поперечних перерізів. Обґрунтовано доцільність вибору трикутної решітки з верхнім проїздом. Продемонстровано ефективність запропонованого підходу для розмірів від 20 до 100 метрів. Встановлено рекомендовані діапазони геометричних співвідношень H/λ та H/d , які можуть використовуватись як вихідні при проектуванні. Серед значущих результатів слід виокремити демонстрацію впливу моделей навантаження (автомобільні АК, НК та залізничне СК), категорії дороги та кількості смуг руху на доцільність вибору тієї чи іншої схеми ферми.

Уперше у вітчизняній практиці представлено цілісну методику пошуку раціональних параметрів трубобетонних ферм, яка охоплює: генерацію

чисельних моделей, побудову ліній впливу, визначення пікових зусиль, параметричний аналіз геометричних конфігурацій, оптимізацію на основі Єврокодів та ДБН. Розглянуто вплив таких факторів, як кількість панелей, кут нахилу розкосів, діаметр труб, довжина прогону, кількість головних ферм у поперечному перерізі прогону, тип навантаження (АК, НК, СК) та експлуатаційні вимоги до дороги.

Значною перевагою дисертаційної роботи є гнучкість запропонованої методики, яка дозволяє адаптувати інженерні рішення до широкого спектра вхідних параметрів. Наприклад, передбачено можливість варіативного налаштування довжини прогону, геометрії ферм, числа панелей та типів розкосів.

Наукова новизна роботи полягає у формалізації поняття ефективності трубобетонного поперечного перерізу в контексті ферменної прогонової будови, а також у розробці критеріально орієнтованого підходу до проектування. Зокрема, запропоновано методику порівняння альтернативних схем за узагальненими показниками ефективності з урахуванням геометричних параметрів і силових характеристик конструкції.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у:

- розробленню комплексному підході до проектування трубобетонних ферм з урахуванням реальних умов експлуатації, чинної нормативної бази в Україні та положень Єврокодів;
- автоматизації процесу підбору оптимальних параметрів конструкції з урахуванням змін геометричних характеристик, фізико-механічних властивостей матеріалів і типів навантажень;
- формуванні універсального алгоритму, який може бути застосований для проектування мостових конструкцій з трубобетонних ферм.

Практичне значення результатів полягає у створенні алгоритмізованої методики підбору трубобетонних ферм для прогонових будов із верхнім розташуванням проїзду. Запропонований підхід дає змогу формувати

оптимальні рішення, адаптовані до умов експлуатації в Україні та потенційно придатні до застосування в інших країнах. Методика дозволяє зменшити матеріаломісткість, спростити процедури моделювання та перевірки конструкцій, забезпечити їх довговічність та надійність. Результати можуть бути безпосередньо використані при розробленні проєктів мостів на автомобільних і залізничних шляхах в Україні, а також у навчальному процесі та галузевих дослідженнях.

Ключові слова: трубобетонні ферми, ферма їздою зверху, балкові прогонові будови, оптимальні параметри, метод скінчених елементів, параметричний аналіз.

ABSTRACT

Dmytro Spivak. Rational simply supported truss bridge structures with top-deck traffic using concrete-filled steel tubes. – Qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in the specialty 192 «Construction and Civil Engineering» (19 – Architecture and Construction). – Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, 2025.

The dissertation is devoted to the development of a methodology and the search for optimal dimensions of simply supported truss bridge superstructures with a top-deck roadway and the use of concrete filled steel tubes. Concrete filled steel tube (CFST) is a composite material that combines the properties of steel and concrete, providing high strength, stiffness, and resistance to external factors, including fire and corrosion. Considering the structural, economic, and operational advantages of CFST, its implementation in bridge construction practices in Ukraine represents a promising direction for improving the efficiency of engineering solutions. However, the wider adoption of this material is hindered by the limited number of completed projects in the country and the absence of design guidelines for determining the optimal main dimensions of CFST trusses.

The dissertation presents a systematic analysis of the properties of CFST, their structural characteristics, and implemented bridge projects in Ukraine and abroad. The main advantages of this material over traditional steel and reinforced concrete structures have been identified, including increased load-bearing capacity, enhanced fire resistance, corrosion resistance, and improved reliability under dynamic and seismic loading.

It has been established that the use of a CFST chord in the upper level of the superstructure makes it possible to reduce the structural height, minimize material consumption, and increase resistance to dynamic and seismic effects. At the same time,

several challenges were noted, including optimization of structural parameters, the lack of standard design solutions, and limited experience in CFST design and construction in Ukraine.

The issues addressed in the dissertation are particularly relevant in light of the shortage of unified structural solutions in the field of next-generation bridge design. The simply supported truss spans studied in this work demonstrate significant potential for widespread use in medium- and long-span applications, including on roads of regional and national importance.

The dissertation proposes an approach to the optimization of structural solutions based on the use of numerical methods combined with the integrated application of several computational tools. As part of the research, the uniform search method was implemented as one of the basic techniques for the automated selection of structural parameters. Despite its relative algorithmic simplicity, its implementation required the development of a specialized data exchange procedure between separate software tools to ensure the consistency and integrity of the computational process.

The aim of the dissertation is to determine the optimal parameters of plane trusses made of CFST for simply supported truss bridge superstructures, taking into account modern traffic loads in accordance with Ukrainian state building codes. The main objectives of the research include: studying the properties of CFST, analyzing existing CFST bridge structures, identifying primary loading conditions, developing a numerical modeling algorithm using Mathcad and LIRA-SAPR environments, determining CFST cross-sections for structural members, defining efficiency criteria for trusses, and presenting the results for effective structural configurations.

The dissertation implements a complete engineering cycle – from the analysis and selection of the structural system to the results of cross-section design for CFST elements. The object of the study is a plane truss with a triangular web and a top-deck roadway. The subject of the study is the material efficiency depending on the variations in the main span dimensions, CFST cross-sections, loading conditions, and material properties. The methodology is based on finite element analysis using LIRA-SAPR

software for generating structural models and calculating internal forces, and Mathcad for data processing, optimization, and section design in accordance with Eurocode requirements. These software tools were used to assess the efficiency of different cross-sectional configurations based on strength, stiffness, slenderness, and technological feasibility.

The cross-section selection algorithm ensured full utilization of the load-bearing capacity of the CFST elements, which was demonstrated by internal forces approaching the limit values of interaction curves. This approach not only enables structural optimization, but also provides a rationale for selecting appropriate cross-section types considering specific load conditions and geometric parameters of the truss.

Using the developed algorithm, a wide range of structural configurations was analyzed, with cross-section optimization carried out for each case. The selection of a triangular web with a top-deck layout was justified. The proposed approach was shown to be effective for spans ranging from 20 to 100 meters. Recommended ranges of geometric ratios – H/λ and H/d – were established and can be used as initial parameters in design practice. Among the key findings is the demonstration of how load models (road traffic classes AK, NK, and railway class SK), road category, and number of traffic lanes influence the appropriateness of choosing a particular truss configuration.

For the first time in domestic practice, a comprehensive methodology for determining the optimal parameters of CFST trusses has been presented. This methodology encompasses the generation of numerical models, construction of influence lines, identification of peak internal forces, parametric analysis of geometric configurations, and optimization based on Eurocodes and Ukrainian building codes (DBN). The influence of various factors was considered, including the number of panels, angle of diagonal members, tube diameter, span length, number of main trusses in the cross-section of the superstructure, type of loading (AK, NK, SK), and operational requirements for the road.

A significant advantage of the dissertation is the flexibility of the proposed

methodology, which allows engineering solutions to be adapted to a wide range of input parameters. For example, the method enables variable adjustment of span length, truss geometry, number of panels, and types of diagonals.

The scientific novelty of the work lies in the formalization of the concept of CFST cross-sectional efficiency within the context of truss superstructures, as well as in the development of a criteria-oriented design approach. In particular, a method is proposed for comparing alternative configurations using generalized efficiency indicators that account for both geometric parameters and the structural force response.

The scientific novelty of the dissertation lies in:

- the development of a comprehensive approach to the design of CFST trusses, taking into account real operating conditions, the current regulatory framework in Ukraine, and the provisions of the Eurocodes;
- the automation of the process for selecting optimal structural parameters, considering variations in geometric characteristics, physical and mechanical properties of materials, and loading types;
- the formation of a universal algorithm that can be applied to the design of bridge structures using CFST trusses.

The practical significance of the results lies in the creation of an algorithm-based methodology for selecting CFST trusses for superstructures with a top-deck roadway. The proposed approach enables the development of optimal solutions adapted to Ukrainian operating conditions and potentially suitable for application in other countries. The methodology contributes to reduced material consumption, simplified modeling and verification procedures, and ensures the durability and reliability of the structures. The results can be directly applied in the design of road and railway bridges in Ukraine, as well as in educational programs and industry-related research.

Keywords: concrete-filled steel tube trusse, top-deck truss, beam bridge structures, optimal parameters, finite element method, parametric analysis.