

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О.М. БЕКЕТОВА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КАПЛІН РОМАН БОРИСОВИЧ

УДК 692.522.8

ДИСЕРТАЦІЯ

**БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ
ПАРАМЕТРІВ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОЛЬОТНИХ БУДОВ
МОСТІВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди
19 – архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Каплін Р.Б.



Науковий керівник:

к.т.н. Круль Юрій Миколайович

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Каплін Р.Б. Багатокритеріальна раціоналізація конструктивних параметрів сталезалізобетонних прольотних будов мостів при реконструкції.
- На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди (19 – Архітектура та будівництво) – Український державний університет залізничного транспорту, Харків, 2021 р.

Дисертація присвячена раціоналізації конструктивних параметрів сталезалізобетонних прогонових будов мостів, що включають в себе перфоровані металеві блоки коробчастого перетину з нерегулярною топологією отворів та ефективну залізобетонну плиту проїзної частини.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання дослідження, представлено наукову гіпотезу, новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію основних результатів дисертації, кількість публікацій, структуру та обсяг роботи.

В **першому розділі** розглянуто класифікацію, загальні характеристики і конструктивні особливості найбільш розповсюджених сталезалізобетонних (СТЗБ) прогонових будов мостів. Вивченню сталезалізобетонних конструкцій і їх елементів присвячені праці таких дослідників, як А.Я. Барашиков, Г.Л. Ватуля, О.В. Нижник, О.В. Семко, В.Ф. Снітко, Л.І. Стороженко, В.М. Тимошенко, Е.Д. Чихладзе, О.Л. Шагін, R.M. Miller Usdan, S. De Silva, D.P. Thambiratnam, P.H. Ziehl, R.D. Call, J.M. Vodemar, T.J. Fowler, M.A. Issa, P. Craig, T. Alkhradji та ін. В області мостобудування, вагомий внесок у розвиток сталезалізобетонних конструкцій внесли Є.І. Беленя, В.В. Бірюльов, М.М. Бичковський, С.Р. Володимирський, Е.Е. Гибшман, Е.М. Гитман, П.П. Єфімов, М.М. Жербін, С.А. Ільясевич, В.М. Картопольцев, В.П. Кожушко, А.І. Лантух-Лященко, Я.Д. Лівшиць, Б.П. Назаренко, Е.О. Патон, М.І. Поліванов, А.О. Потапкін, К.С. Роккі, В.О.

Російський, М.М. Стрілецький, S.S. Badie, J.R. Casas, W.K. Cheng, N.F. Grace, A.E. Naaman, A.M. Okeil, T.R. Udland, F.V. Ulloa, R.D. Medlock, R. Anderson, T. Domagalski, S. Asfour та інші. Задачі регулювання та управління конструктивними параметрами конструкцій розглянуті в роботах Абовського Н.П., Белені Є.І., Белмана Р., Бірюльова В.В., Бондаренко В.М., Василькова Г.В., Віноградова О.І., Городецького О.С., Канторовича Л.В., Перельмутера А.В., Пічугіна С.Ф., Ржаніціна О.Р., Тимошенко С.П., Феодос'єва В.І., Шмуклера В.С. і багато інших.

Незважаючи на глибоке та детальне вивчення проблеми, актуальними залишаються питання зниження власної ваги конструкції, відмова від монтажного зварювання, зниження працевитрат при виготовленні та монтажі конструкції. Це, в свою чергу, спонукає до розробки нових, ефективних полегшених модульних конструкцій сталезалізобетонних прогонових будов мостів, що відрізняються високою заводською готовністю.

В якості ефективних полегшених металоконструкцій розглянуті балки з перфорованою стінкою. Наскрізні балки є перспективною конструктивною формою але вимагають додаткової науково-технічної розробки. Це, в першу чергу, викликано тим, що більшість існуючих досліджень сталезалізобетонних конструкцій з наскрізними балками базуються на спрощених розрахункових моделях, що дозволяють розкрити швидше якісні і меншою мірою кількісні характеристики НДС. Ситуація ускладнюється відсутністю єдиного підходу до розрахунку подібних конструкцій у діючих нормативних документах. Невирішеним залишається питання впливу форми, розмірів та кроку отворів в перфорованих елементах на компоненти НДС.

Виконаний аналіз відомих теоретичних і експериментальних результатів, а також наявного практичного досвіду дозволив підтвердити той факт, що зазначені конструкції представляють значний інтерес для сучасної будівельної галузі та, враховуючи їх якісне і кількісне наповнення, дозволив сформулювати основні задачі представленої роботи.

У зв'язку із чим, в **другому розділі**, розглянута ефективна полегшена модульна конструкція сталезалізобетонних прогонових будов мостів, що складається з металевих перфорованих блоків коробчастого перетину та ефективної полегшеної залізобетонної плити проїзної частини. Відмічається, що основною перевагою системи, в порівнянні з іншими відомими аналогами, є можливість створення систем з заданим напружено-деформованим станом (НДС) і витратою матеріалу. Ця обставина стала можливою завдяки використанню біоенергетичного методу оптимізації, заснованого на використанні енергетичних критеріїв раціоналізації конструкції (вимога мінімізації потенційної енергії деформації та вимога ізоенергічності стану системи).

В розділі вивчено та систематизовано технологічні параметри, що дозволяють виконувати перфоровані металеві елементи з нерегулярною топологією та кроком отворів. В програмному комплексі «Ліра 10.6» виконано чисельний аналіз впливу даних параметрів на напружено-деформований стан перфорованих елементів. Зокрема, базуючись на енергетичних критеріях раціоналізації досліджено вплив топології та кроку отворів на значення потенційної енергії деформацій (ПЕД) та щільності ПЕД. Результати виконаних досліджень, дозволили сформувати раціональну топологію та крок отворів в перфорованих металевих елементах.

Для визначення ефективності застосування полегшеної залізобетонної плити, в рамках зазначеного конструктивного рішення, запропонований алгоритм визначення оптимальної висоти перерізу прогону і впливу залізобетонної плити на висоту металевої частини конструкції.

Третій розділ присвячений аналізу напружено-деформованого стану розглянутої в даній роботі конструкції. Теоретичне дослідження проводилося за двома розрахунковими схемами. У якості першої розглянута модель сталезалізобетонної прогонової будови, перфоровані елементи якої мають регулярну топологію та крок шестикутних отворів. Друга представлена прогоновою будовою, що складається з перфорованих блоків, які мають

нерегулярну топологію та крок шестикутних отворів, отриманих в данній роботі у розділі 2. Моделі сформовані стандартними засобами генерації розрахункової схеми з оболонки нульової гаусової кривизни. В ході дослідження проаналізовано характер роботи конструкції при дії статичного навантаження від рухомого складу, і власної ваги конструкції. Зокрема вивчалася трансформація поля НДС за рахунок нерегулярності отворів в перфорованих елементах. Крім цього, було проведено розрахунок прогонової будови на дію нормативних навантажень А-15 і НК-100. Також проведено розрахунок надійності представленної конструкції. Результати оцінки надійності запропонованого конструктивного рішення прогонової будови підтверджують його позитивність і репрезентативність для подальшого дослідження та вдосконалення.

Четвертий розділ присвячений експериментальній верифікації запропонованого підходу, на основі якого створена нова конструкція сталезалізобетонної прольотної будови. В якості об'єкта випробування прийнято сталезалізобетонну прогонову будову автодорожнього мосту через р. Сухий Торець в м. Барвінкове. Програмою випробувань було передбачено проведення статичних і динамічних випробувань мосту. Метою дослідження була оцінка напружено-деформованого стану металевих блоків сталезалізобетонних прогонової будови.

Вході експерименту визначено величини фактичних прогинів конструкції сталезалізобетонних прогонової будови в чвертях і середині прольоту. Максимальний прогин крайнього металевих блоків прольоту №1 отриманий за 2-ою схемою навантаження і склав 2,9мм. Залишкові деформації після розвантаження споруди на кожному етапі навантаження не перевищили 10%. В результаті співставлення вертикальних переміщень прогонової будови та результатів чисельного аналізу отримано співпадіння вказаних даних з похибкою 3%.

Максимальні значення відносних деформацій, що виникали по периметру отворів в стінках металевих балок, склали $15 \cdot 10^{-6}$ мм, що, в свою чергу, відповідає значенням напруження ≤ 25 МПа.

У п'ятому розділі наведені результати впроваджені виконаних досліджень при проектуванні і будівництві ряду об'єктів в місті Харкові та в Харківській області. Зокрема, як варіантне проектування при реконструкції СТЗБ мосту через р. Липчик в п. Липці на а / д С-212570 під'їзд до п. Липці км1 +400; як основну несучу конструкцію прогонової будови при капітальному ремонті мосту через р. Сухий Торець в м. Барвінкове. Використання перфорованих металевих елементів у порівнянні із традиційними металевими балками дозволяє отримати економічний ефект до наступних показників: зменшення власної ваги, і як наслідку матеріаломісткості, на 30%, що загалом дозволяє досягти зменшення вартості зведення таких конструкцій на 10%.

Ключові слова: сталезалізобетон, прогонова будова, перфоровані металеві елементи, дискретно-континуальні зв'язки зсуву.

ABSTRACT

Kaplin RB Multicriteria rationalization of structural parameters of reinforced concrete span structures of bridges during reconstruction. - On the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.23.01 - building designs, buildings and constructions (19 - Architecture and building) - the Ukrainian state university of railway transport, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to rationalization of constructive parameters of reinforced concrete span structures of bridges, which include perforated metal blocks of box section and effective reinforced concrete slab of the carriageway.

The introduction substantiates the relevance of the dissertation topic, formulates the purpose and objectives of the study, presents the scientific hypothesis, novelty and practical significance of the results. Information on approbation of the main results of the dissertation, number of publications, structure and volume of work is given.

In the first section the design features of the most classification, the general characteristics and design features of reinforced concrete span structures of bridges are considered. Despite the deep and detailed study of the problem, the issues of reducing the own weight of the structure, the refusal of assembly welding, reducing labor costs in the manufacture and installation of the structure remain relevant. This, in turn, encourages the development of new, efficient lightweight modular structures of reinforced concrete span structures of bridges with high factory readiness.

Beams with a perforated wall are considered as effective lightweight metal structures. Beams with a perforated wall are a promising structural form but require additional scientific and technical development. This is primarily due to the fact that most of the existing studies of reinforced concrete structures with through beams are based on simplified calculation models that allow to reveal faster qualitative and less quantitative characteristics of VAT. The situation is complicated by the lack of a unified approach to the calculation of such structures in existing regulations. The question of the influence of the shape, size and number of holes in the perforated elements on the VAT components during shear, bending and torsion remains unresolved.

The analysis of known theoretical and experimental results, as well as available practical experience confirmed the fact that these structures are of great interest to the modern construction industry and, given their qualitative and quantitative content, allowed to formulate the main objectives of the work.

In this regard, **in the second section**, the effective lightweight modular construction of reinforced concrete girder structures of bridges, consisting of metal perforated blocks of box section and effective lightweight reinforced concrete slab

of the carriageway. It is noted that the main advantage of the system, compared to other known analogues, is the ability to create systems with a given stress-strain state (VAT) and material consumption. This circumstance became possible due to the use of a direct design approach based on the use of energy criteria to rationalize the structure (the requirement to minimize the potential energy of deformation and the requirement of isoenergetic state of the system).

The section studies and systematizes the technological parameters that allow to perform perforated metal elements with irregular topology and pitch of holes. In particular, the PC "Lira 10.6" performed a numerical analysis of the influence of these parameters on the stress-strain state of the perforated beams. In particular, based on the energy criteria of rationalization, the influence of topology and hole pitch on the value of potential deformation energy (DER) and DER density is investigated. The results of the performed researches allowed to form a rational topology of holes in perforated metal elements.

The third section is devoted to the analysis of the stress-strain state of the structure considered in this paper. The theoretical study was conducted according to two calculation schemes. The model of a reinforced concrete girder structure, the perforated elements of which have a regular topology and a step of hexagonal holes, is considered as the first. The second is represented by a span structure consisting of perforated blocks that have an irregular topology and pitch of the holes obtained in this work. The models are formed by standard means of generating a calculation scheme from shells of zero Gaussian curvature. The span is accepted 24 m. In the course of research the character of work of a design at action of static loading from a rolling stock, and own weight of a design is analyzed.

The fourth section is devoted to the experimental verification of the proposed approach, based on which a new structure of reinforced concrete span structure is created. The STZB flight structure of the road bridge across the Sukhyi Torets River in Barvinkove was used as an object of study. The test program provides for static and dynamic tests of the bridge. The aim of the study was to

assess the stress-strain state of the metal block of reinforced concrete girder structure. The extreme block of the first span was chosen for the study.

The values of the actual deflections of the structure of reinforced concrete girder structure in the quarters and in the middle of the test span are determined. The maximum deflection of the extreme metal span of the span №1 was obtained in the 2nd load scheme and was 2.9 mm. Residual deformations after each unloading at each stage of loading did not exceed 10%. As a result of comparing the maximum deflection of the girder structure and the results of numerical analysis, the coincidence of these data with an error of 3%.

The maximum values of relative deformations occurring along the perimeter of the holes in the walls of the metal beams were $15 \cdot 10^{-6}$ mm, which, in turn, corresponds to the values of stresses - 25 MPa.

The reliability of the presented structure was also calculated. The results of assessing the reliability of the proposed structural solution of the girder structure confirm its positivity and representativeness for further research and improvement.

The fifth section presents the results of the implemented research in the design and construction of a number of facilities in the city of Kharkiv and in the Kharkiv region. In particular, during the construction of the portal-entrance to the department store "Kharkiv"; as a variant design during the reconstruction of the STZB bridge across the Lipchik River in the village of Lipka on the highway S-212570, entrance to the village of Lipka km1 +400; as the main load-bearing structure of the girder structure during the overhaul of the bridge over the Sukhyi Torets River in Barvinkove. The use of perforated metal elements in comparison with traditional metal beams allows to obtain an economic effect to the following indicators: reduction of own weight, and as a consequence of material consumption, by 30%, which generally reduces the cost of construction of such structures by 10%.

Keywords: reinforced concrete, girder structure, perforated metal elements, discrete-continuous shear connections.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у міжнародних виданнях, фахових виданнях України та збірниках наукових праць, що включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Шмуклер В.С., Каплін Р.Б., Круль Ю.М. Випробування сталезалізобетонних прогонових будов мосту через р. Сухий Торець в м. Барвінкове. *Міжвідомчий науково-технічний збірник "Основи та фундаменти"*. Вип. 40. 2020. С 30-40.

Особистий внесок здобувача: Виконано обробку отриманих результатів під час проведення статичних та динамічних випробувань натурного експериментального дослідження.

2. Каплін Р.Б. Розрахунок надійності сталезалізобетонних прольотних будов. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. Вип. 193. Харків, 2019. С. 24-32. (Видання включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus).

3. Каплін Р.Б. Сучасні сталезалізобетонні прогонові будови мостів малих і середніх прольотів. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. Вип. 193. Харків, 2019. С. 24-32. (Видання включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus).

4. V. Babaev, M. Bekker, V. Shmukler, S. Bugaevskiy, Y. Krul, R. Kaplin. Efficient construction of the motorway and highway bridge superstructure (experimental studies). *MATEC Web of Conferences. Material science, Engineering and Chemistry*, v. 116, 02003 (2017). Transbud-2017. (Видання включено до міжнародної наукометричної бази Scopus).

Особистий внесок здобувача: шляхом виконання натурного експериментального дослідження виконано оцінку роботи системи зв'язків зсуву.

5. R. Kaplin, Y. Krul. The search for sustainable parameters for steelreinforced concrete section of a bridge superstructure. *MATEC Web of Conferences. Material science, Engineering and Chemistry*, v. 230, 02015

(20118). Transbud-2017. (Видання включено до міжнародної наукометричної бази Scopus).

Особистий внесок здобувача: Запропоновано алгоритм визначення оптимальної висоти сталезалізобетонного перетину прогону і впливу залізобетонної плити на висоту металевої частини конструкції.

Публікації апробаційного характеру:

6. R. Kaplin, Y. Krul, M. Delyavskyy. Rationalization of the parameters of composite reinforced concrete superstructures under conditions of multicrycrying. AIP Conference Proceedings 2077, 020031, 2019. (Видання включено до міжнародної наукометричної бази Scopus).

Особистий внесок здобувача: вирішене завдання раціоналізації параметрів металевих перфорованих елементів в умовах багатокритеріальності за рахунок нерегулярних топології та кроку отворів.

7. Круль Ю.М., Каплін Р.Б. Надійність сталезалізобетонних прольотних будов. *Тези доповідей 1-ї міжнародної науково-технічної конференції «Транспортні споруди: стан, проблеми збереження, ремонт»*. Харків, 2019. С. 56-59.

Особистий внесок здобувача: виконано розрахунок надійності сталезалізобетонної прогонової будови на прикладі мосту через р. Сухий Торець в м. Барвінкове

8. Каплин Р.Б., Круль Ю.Н. Выбор оптимальной конструкции сталежелезобетонного пролетного строения. *Матеріали всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Мости, тунелі і дороги: стан, проблеми утримання та перспективи підвищення довговічності»*. Харків, 2018. С. 38-42.

Особистий внесок здобувача: виконано огляд класифікації, загальних характеристик і конструктивних особливостей найбільш поширених сталезалізобетонних (СТЗБ) прогонових будов мостів.

9. В.Н. Бабаев, М.Л. Беккер, В.С. Шмуклер, С.А. Бугаевский, Р.Б. Каплин, Ю.Н. Круль. Эффективная конструкция пролетного строения

автомобильно-дорожного моста (экспериментальные исследования). *Тези доповідей 6-ї міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті»*. Харків, УкрДУЗТ. 2017. С.97-98.

Особистий внесок здобувача: виконано обробку отриманих результатів при проведенні натурних статичних та динамічних випробувань мосту та надано оцінку роботи системи зв'язків зсуву.

Додаткові публікації та патенти:

10. *Бабаєв В.М., Шмуклер В.С., Круль Ю.М., Каплін Р.Б., Бугаєвський С.О. Спосіб виготовлення полегшених балок. Патент України на корисну модель № 141171. Чинний з 25.03.2020 р. Бюл. №6. С. 11.*

Особистий внесок здобувача: запропоновано удосконалення способу виготовлення перфорованих металевих елементів з нерегулярною топологією та кроком отворів.

Автор вважає своїм приємним обов'язком виразити слова щирої вдячності професорові Шмуклеру В.С., за цінні зауваження та побажання, які сприяли покращенню дисертаційної роботи.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	15
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ МОСТІВ	20
1.1 Конструктивні особливості існуючих сталезалізобетонних прогонових будов	20
1.2 Конструкції деталей поєднання залізобетонної плити з металевими балками	26
1.3 Застосування полегшених сталезалізобетонних конструкцій	29
1.4. Нормативна база та особливості розрахунку сталезалізобетонних прогонових будов	33
1.5 Короткі висновки і завдання даного дослідження.....	35
РОЗДІЛ 2. РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ	37
2.1 Конструктивні особливості прогонової будови	37
2.2 Принципи формування раціональної топології конструкції	41
2.3 Багатокритеріальність проблеми	46
2.4 Пошук раціональних параметрів перфорованої металевій частини стале залізобетонної прогонової будови в умовах багатокритеріальності	48
2.5. Оцінка впливу ефективної залізобетонної плити на напружено- деформований стан перфорованої металевій балки	54
2.6 Висновки до Розділу 2.....	63
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ	65
3.1 Вихідні передумови та принципи моделювання	65
3.2 Моделювання сталезалізобетонної прогонової будови	65
3.3 Розрахунок надійності сталезалізобетонної прогонової будови	81
3.4 Висновки до Розділу 3.....	86
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ВЕРИФІКАЦІЯ ВДОСКОНАЛЕНИХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПОЛЕГШЕНИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ	87
4.1 Експериментальна верифікація конструктивного рішення при дії статичного та динамічного навантаження	87
4.2 Опис нової конструкції мостової споруди	90
4.3 Системи навантаження та вимірювання	94

4.3.1 Система навантаження	94
4.3.2 Системи вимірювання.....	96
4.4 Результати випробувань.....	97
4.4.1. Результати статичних випробувань	97
4.4.2 Результати динамічних випробувань	101
4.5 Висновки до Розділу 4.....	103
РОЗДІЛ 5. ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	105
5.1 Опис об'єктів впровадження.....	105
5.1.1 Міст через р. Липчик в п. Липці на а / д С-212570 під'їзд до п. Липці км1 +400 (варіантне проектування)	105
5.1.2 Міст через р. Сухий Торець в м. Барвінкове (капітальний ремонт)	108
5.1.3. Балашовський шляхопровід (реконструкція суміщенох з проїзною частиною трамвайної колії)	110
5.2 Висновки до Розділу 5.....	115
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	116
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	118
ДОДАТКИ	
ДОДАТОК А	133
ДОДАТОК Б	137
ДОДАТОК В	145
ДОДАТОК Г	157
ДОДАТОК Д	171
ДОДАТОК Є	180
ДОДАТОК Ж	195

ВСТУП

Актуальність теми. Розробка архітектурно-будівельних систем, а також методів їх проектування була і залишається досить актуальною проблемою будівельної галузі. При цьому, цілком очевидно, що сучасний стан речей вимагає створення і експлуатації нових підходів до принципів пошуку структури штучних споруд.

Як наслідок, при створенні пропонованих систем може бути використаний не традиційний підхід з перевіркою апріорі заданих рішень, а прямий, який ґрунтується на формулюванні критеріїв і обмежень, на безлічі яких проводиться конструювання.

У більшості розвинених країн світу сталезалізобетонні конструкції знаходять, поряд із залізобетонними та металевими прогоновими будовами, досить широке застосування. Вимога мінімізації власної ваги конструкцій призвела до застосування в світовому мостобудуванні, в тому числі, балок з перфорованою стінкою. Витрата металу в таких балках на 20-30% менше, ніж в звичайних прокатних балках, при одночасному зниженні вартості на 10-18%. Тим не менше, відомі рішення дозволяють отримувати перфоровані елементи з регулярним кроком та розмірами отворів. Однак, найбільший ефект може бути досягнутий при формуванні конструкцій що мають нерегулярні (довільні) розміри та крок отворів. Крім того, відсутність єдиного науково-обґрунтованого підходу обліку спільної роботи просторових наскрізних балок з залізобетонною плитою позначає досить широке коло проблем, що мають місце в цьому випадку. З вищесказаного випливає необхідність і доцільність розробки методики прямого проектування перфорованих коробчастих профілів і створення на їх базі раціональної конструкції сталезалізобетонних прогонових будов мостових переходів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота є частиною досліджень, які виконуються в рамках функціонування наукової

школи «Конструкції і матеріали для житлових і громадських будівель» Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, а також держбюджетної теми «Розробка та дослідження нової конструктивної системи багатокритеріальної відповідності» (№0115U000154).

Метою дисертаційної роботи є розробка наукових підходів удосконалення конструкцій прогонових будов мостів у вигляді сталезалізобетонних оболонкових систем.

Наукова гіпотеза – створення, обґрунтування і дослідження конструкції сталезалізобетонної прогонової будови, параметри якої формуються на основі управління її характеристиками.

Поставлена мета передбачає вирішення наступних завдань:

1. обґрунтування ефективності і адаптація біоенергетичного методу оптимізації для поліпшення конструкції прогонової будови з метою надання їй позитивних фізико-геометричних характеристик;
2. формування та обґрунтування принципів конструювання, з урахуванням технологічної послідовності розкрою, перфорованих металевих елементів, що мають нерегулярні (довільні) розміри та крок отворів;
3. побудова скінченно-елементної моделі раціоналізованої прогонової будови та на її основі дослідження напружено-деформованого стану (НДС) конструкції в цілому і окремих її елементів, з урахуванням специфіки роботи матеріалів та зв'язків, а також впливу структурних особливостей, що мають місце в конструктивах подібного типу;
4. проведення натурних експериментальних досліджень НДС раціоналізованої конструкції при дії статичних та динамічних навантажень;
5. оцінка економічної ефективності запропонованої конструкції та впровадження результатів дисертаційного дослідження в практику будівництва.

Об'єкт дослідження – трансформування напружено-деформованого стану при раціоналізації сталезалізобетонної прогонової будови

автодорожніх мостів полегшеного типу, що складається з перфорованих металевих блоків коробчастого перетину та ефективної залізобетонної плити проїзної частини.

Предмет дослідження – вплив розмірів та кроку отворів перфорованих металевих елементів на компоненти НДС сталезалізобетонної прогонової будови.

Методи дослідження. У роботі використані аналітичні та чисельні методи механіки деформованого твердого тіла, в тому числі, метод скінченних елементів. Побудову конструктивних рішень реалізовано на основі біоенергетичного методу, експлуатація якого відображає процедуру вибору раціональних параметрів конструктиву. Натурне експериментальне дослідження прогонової будови проведено з використанням сучасного інформаційного та вимірювального обладнання, що має сертифікати відповідності.

Наукову новизну отриманих результатів визначають:

вперше:

- запропоновані теоретичні і конструктивно-технологічні підходи формування раціональної структури (форма і зміст) перфорованих металевих елементів, що мають нерегулярні (довільні) розміри та крок отворів;
- виконана оцінка впливу нерегулярної конфігурації перфорованих елементів на компоненти напружено-деформованого стану прогонових будов в умовах багатокритеріальності;
- отримано результати експериментального натурального дослідження напружено-деформованого стану сталезалізобетонної прогонової будови з регульованими параметрами при дії статичних та динамічних навантажень.

Набуло подальшого розвитку:

- процедура СЕ-моделювання НДС сталезалізобетонної прогонової будови з раціональними параметрами;

- процедура визначення раціональної геометрії перфорованих металевих елементів за критерієм мінімізації витрат матеріалу в умовах декількох навантажень.

Практичне значення отриманих результатів полягає у впровадженні в практику будівництва конструкції прольотної будови нового типу, а також методики розрахунку і проектування сталезалізобетонних прольотних будов, що мають раціональні характеристики.

Результати роботи впроваджено при ремонті сталезалізобетонного мосту через р. Липчик в п. Липці на а/д С-212570 та при реконструкції моста по вул. Леніна через р. Сухий Торець в м. Барвінкове Харківської області.

Особистий внесок здобувача.

- вдосконалено конструкцію сталезалізобетонної прогонової будови, яка первісно має позитивні експлуатаційні властивості і високу технологічність при виготовленні;

- розроблено і обґрунтовано методику формування перфорованих елементів з регульованими параметрами;

- побудовані скінченно-елементні моделі та на їх основі проведено аналіз напружено-деформованого стану сталезалізобетонної прогонової будови;

- проведено натурні експериментальні дослідження напружено-деформованого стану сталезалізобетонної прогонової будови;

- виконано впровадження результатів дисертаційної роботи, включаючи економічну оцінку запропонованого рішення.

Апробація матеріалів дисертації.

Результати дисертаційної роботи доповідалися та одержали позитивні оцінки на всеукраїнських та міжнародних науково-практичних конференціях: VI-й міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті», Харків (19-21 квітня 2017р.); VII Міжнародній науковій конференції «Технології та інфраструктура транспорту», Харків (14-16 травня 2018р.);

10th international conference on applied mechanics, Bydgoszcz, Poland (28 November, 2018); Всеукраїнській науково-практичній інтернет конференції «Мости, тунелі і дороги: стан, проблеми утримання та перспективи підвищення довговічності», Харків (25 травня 2018р.); I-й міжнародній науково-технічній конференції «Транспортні споруди: стан, проблеми збереження, ремонт», Харків (15 листопада 2019р.)

Публікації.

Основні положення і результати дисертаційної роботи опубліковано в 10 наукових працях, з яких 3 статті у наукових фахових виданнях, рекомендованих МОН України, 2 статті у міжнародних періодичних виданнях, що включені до наукометричної бази Scopus, 4 публікації апробаційного характеру, з яких 1 у виданні, що включено до наукометричної бази Scopus, 1 патент на корисну модель.

Структура та обсяг роботи.

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел зі 134 найменувань та 7 додатків. Повний обсяг дисертації складає 198 сторінок, у тому числі 132 сторінки основного тексту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абовский Н.П., Енджиевский Л.В., Савченков В.И., Деруга А.П., Рейтман М.И. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости. – М. : Стройиздат, 1978. 189 с.
2. Абовский Н.П. Управляемые конструкции / Н.П. Абовский// Учебное пособие/ КрасГаса. – Красноярск: 1998. – 433 с
3. Адлер Ю.П., Е.В.Макарова, Ю.В.Грановский. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М. : изд-во "Наука", 1976. 279 с
4. Бабаев В.М., Бугаевський С., Евель С.М., Євзеров І.Д., Лантух-Лященко А.І., Шеветовський В.В., Шимановський О.В., Шмуклер В.С. Чисельні та експериментальні методи раціонального проектування та зведення конструктивних систем. Київ, "Сталь", 2017. 404с.
5. Балашов Е.В. Совершенствование конструкции сталежелезобетонных пролетных строений мостов со сквозными балками: автореф. дисс. на соискание степени канд. техн. наук: спец. 05.23.11. Е.В. Балашов. – Томск, 2010
6. Барашиков А.Я. Оценка технического состояния строительных конструкций, зданий и сооружений / А. Я. Барашиков, А. Н. Малышев. – К., 1998. – 231 с. – Библиогр.: 75 назв. – рус.
7. Бейлин Е.А. Прикладная теория деформационного расчета устойчивости криволинейных тонкостенных стержней произвольного поперечного сечения / Е.А.Бейлин // Исследования по механике строительных конструкций и материалов: межвуз. темат. сб. тр. СПб.: СПб. гос. архит. – строит. ун-т. –1995. – С.4–13.
8. Беленя Е.И. Металлические конструкции: Спец. курс.: учеб. пособие / Е. И. Беленя, Н. Н. Стрелецкий, Г. С. Ведеников ; под ред. Е. И. Беленя. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1982. – 472 с.

9. Беллман Р. Введение в теорию матриц (Пер. с англ. Катковника В.Я., Полуэктова Р.А., Эпельмана М.С. Под ред. Лидского В.Б.). – М.: Наука, 1969. – 368 с.
10. Белоконь А.И. Организационно-технологические аспекты обоснования качественного и количественного состава строительных машин для реконструкции [текст]: Дис... д-ра техн. наук: 08.06.01 / Белоконь Анатолий Иванович, Приднепровская гос. академия строительства и архитектуры. Д., 1997. 380 с.
11. Беседин М.Т. Балки из развитых прокатных двутавров с отверстиями в стенке / М.Т. Беседин // Сборник статей / Харьковский инженерно-строительный институт. – Харьков, 1962. – Вып. 19.
12. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 73 с. – (Державні будівельні норми України).
13. Бирюлёв В.В. Металлические конструкции (вопросы и ответы): учеб. пособие для вузов / В.В.Бирюлев, И.И.Крылов, Л.И.Строженко. – М.: АСВ. 1994. – 336 с.
14. Бирюлёв В.В. Металлические конструкции со сварными замкнутыми сечениями из прокатных элементов / В.В.Бирюлев // Изв. вузов. Строительство и архитектура. –1980. – №7. – с.
15. Бирюлёв В.В. Проектирование металлических конструкций: [Спец. курс. Учебное пособие для вузов] / Бирюлев В.В. – Л.: Стройиздат, 1990. – 432 с.
16. Будников М.С., Обозный А.П., Технология и организация возведения зданий и сооружений. Киев: Будивельник, 1964. 304с.
17. Бондаренко В.М. Расчет стальных балок из разрезных прокатных двутавров с отверстиями в стенке / А.А. Любимов, П.И. Зайцев // Сборник статей / Харьковский инженерно-строительный институт. – Харьков, 1963. – Вып. 25. – С.19-25.

18. Бычковский Н.Н. Металлические мосты. Часть 1. / Н.Н. Бычковский, А.Ф. Данковцев. – Саратовский государственный технический университет, 2005. – 364 с.
19. Васильков Г.В. Эволюционные задачи строительной механики. Синергетическая парадигма: Учебное пособие. Ростов-на-Дону: Инфосервис, 2003. 180 с.
20. Ватуля Г.Л. Моделирование работы сталебетонного перекрытия / Ватуля Г.Л., Орел Е.Ф., Смолянюк Н.В. // Зб. наук. пр. (галузе ве машинобудування, будівництво) – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – Вип. 2 (30) – С.80-85.
21. Власов В.З. Тонкостенные пространственные системы / В.З.Власов Стройиздат, 1958. – 502 с.
22. Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни / В.З.Власов. – М.: Физматгиз, 1959. – 586 с.
23. Ворожбянов В.Н. Совершенствование конструкций балок с перфорированной стенкой и разработка их расчета по критериям ограниченных пластических деформаций: автореф. дис. канд. техн. наук. – М.: ЦНИИПроектстальконструкция, 1985. – 24с.
24. Гибшман Е.Е. Городские инженерные сооружения / Гибшман Е.Е. М.: Изд-во МКХ РСФСР, 1959. – 357 с.
25. Гибшман Е.Е. Мосты со стальными балками, объединенными с железобетонной плитой. – М.: Дориздат, 1952.
26. Гибшман Е.Е. Проектирование стальных конструкций, объединенных с железобетоном, в автодорожных мостах. – М.: Автотрансиздат, 1956.
27. Гибшман М.Е. Проектирование транспортных сооружений: [учебник для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп.] / М.Е. Гибшман, В.И. Попов. – М.: Транспорт, 1988. – 447 с.
28. Гибшман М.Е. Теория расчета мостов сложных пространственных систем / Гибшман М.Е. – М.: Транспорт, 1973. – 200 с.

29. Гитман Э.М. Регулирование неразрезных сталежелезобетонных пролетных строений и их предварительное напряжение без использования высокопрочной арматуры. – В кн.: Конструкции, расчет и технология изготовления стальных мостов. – М.: Транспорт, 1973. – С.45-60 (ВНИИ трансп. стр-ва, вып. 88).
30. Городецкий Д. А., Барабаш М. С. и др. Программный комплекс Лира: учеб. пособие / под ред. академика РААСН А. С. Городецкого. Киев–Москва, 2013. 376 с.
31. Городецкий А.С., Евзеров И.Д., Стрелец-Стрелецкий Е.Б. Метод конечных элементов: теория и численная реализация. Программный комплекс «Лира-Windows». К.: Факт, 1997. 137 с.
32. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування [Чинний від 2011-06-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 71с. (Державні будівельні норми України).
33. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ – [Чинний від 2009-12-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 48 с. (Державні будівельні норми України).
34. ДБН А.3.1-5-2016. Організація будівельного виробництва. [Чинний від 2017-01-01]. К., Мінрегіонбуд України, 2016. 51 с. (Державні будівельні норми України).
35. ДБН В.2.3-20-2008. Споруди транспорту. Мости та труби. Виконання та приймання робіт. [Чинний від 2008-08-01]. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-155> (дата звернення: 04.09.2019).
36. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Чинний від 2011-06-01]. Київ, Мінрегіонбуд України, 2011. 123с. (Національний стандарт України).

37. Данков В.С. Рациональные конструкции металлических сквозных балок / В.С. Данков, В.Н. Ворожбянов, М.Д. Корчак // Изв. вузов. Стр-во и архитектура, 1989. – №9. – С. 19–24.
38. Длугач М.И. О расчете тонкостенных стержней, усиленных решеткой и планками / М.И.Длугач. // Расчет пространственных конструкций: Сб. –М.: Машстройиздат, 1950. – Вып. I. – С 163–174
39. Еврокод 4. Проектирование сталежелезобетонных конструкций. Ч.2. Основные принципы и правила для мостов (EN 1994-2: 2006, IDT): ТКП EN 1994-2-2009 (02250). – [Действующий от 10 декабря 2009г.]: Минск: Минстрой архитектуры, 2010. – 80 с.
40. Ефимов П.П. Проектирование мостов / Павел Петрович Ефимов. – Омск: ООО «Дантея», 2006. – 111 с.
41. Жербин М.М. Металлические конструкции / М.М. Жербин, В.А. Владимирский. – Киев: Вища школа. 1986. – 215 с.
42. Ильясевич С.А. Металлические коробчатые мосты / С.А. Ильясевич. М: изд-во «Транспорт», 1970. – 280 с.
43. Картопольцев В.М. О применении перфорированных балок в сталежелезобетонных пролётных строениях мостов / Б.Г. Акимов, В.М. Картопольцев // Перспективы развития и пути повышения легких и особо легких металлических конструкций : тез. докладов 3-й Укр. науч.-техн. конф. – Киев, 1984. – С. 99–100.
44. Картопольцев В.М. Некоторые аспекты применения и экспериментального исследования сквозных балок / В.М. Картопольцев, В.С. Данков // Исследование транспортных сооружений Сибири / Изд-во ТГУ. – Томск, 1987. – С. 12.
45. Кожушко В.П. Моделювання прольотних будов мостів / В.П. Кожушко – Харків: ХНАДУ, 2010. – 196 с.
46. Кожушко В.П. Применение профнастила при реконструкции и ремонте малых мостов / В.П. Кожушко, С.Н. Краснов, Е.С. Краснова // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту

імені академіка В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В.Лазаряна, 2011. Вип. 39. – с. 83–86.

47. Козляков В.В. О расчёте судовых балок с ослабленными стенками / В.В. Козляков // Сборник статей / НТО судостроительной промышленности. – Ленинград, 1959. – Вып. 38.

48. Копытов М.М. Перфорированные стержни / М.М. Копытов. – Томск: Изд-воТГУ. – 1980. – 140 с

49. Круль Ю.Н. Работа образцов сталебетонных плитных пролетных строений мостов / Ю.Н. Круль, И.А. Стебловский // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник / – К., КНУБА, 2011. – Вип.40. У 2 ч. Ч. 1. – с. 533-540.

50. Лантух-Лященко А.І. В поисках концепции управления долговечностью элементов железобетонных автодорожных мостов. Зб. «Управління проектами, системний аналіз і логістика», НТУ. – К.: 2012, с. 63-70

51. Лантух-Лященко А.І. Стратегия управления ресурсом железобетонных элементов автодорожных мостов. Зб. наук. праць «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика», вип. 3. – Дніпропетровськ: 2012, с.95–101.

52. Лантух-Лященко А.І, Медведев К.В. К вопросу определения граничного износа сталежелезобетонного пролетного строения автодорожного моста. Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Вып.58, Харьков, изд. ХНАДУ: 2012.- С. 90 – 95

53. Лантух-Лященко А.И. Лира. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций: [Учебное пособие] / Лантух-Лященко А.И. – К.-М.: 2001. – 312 с.

54. Литвинов Е.В. Прочность и устойчивость стенки в линейно перфорированных элементах стальных конструкций с регулярными отверстиями [Текст]: автореферат дис. на соискание канд. техн. наук / Е.В. Литвинов – Новосибирск, – 2006.

55. Металлические конструкции: в 3 т. т.2. Конструкции зданий: Учеб. для строит. вузов / [В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов, и др.]; под ред. В.В. Горева. – [3-е изд.], – М.: Высш. шк., 2004. – 314 с.
56. Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений / [А.С. Городецкий, В.И. Зоворицкий, А.И. Лантух-Лященко и др.]. – М.: Транспорт, 1981. – 143 с.
57. Милейковский И.Е. Расчет составных стержней методами строительной механики оболочек. [Текст] / И.Е.Милейковский // Экспериментальные и теоретические исследования тонкостенных пространственных конструкций. М.: Госстройиздат, 1952. – С. 131–167.
58. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. В.Н.Гордеев, А.И.Лантух-Лященко, В.А.Пашинский, А.В.Перельмутер, С.Ф.Пичугин. Издательство СКАД СОФТ, Издательство Ассоциации строительных вузов. – М.: 2014. – 588с.
59. Носенко О.П. Критерии эффективности профилей, работающих на изгиб / О.П. Носенко // Промислове будівництво та інженерні споруди. 2013. №2. – С. 10-14.
60. Онищенко В.О. Високоєфективні технології та комплексні конструкції в промисловому й цивільному будівництві : монографія / В. О. Онищенко, О. Г. Онищенко, С. Ф. Пичугін, Л. І. Стороженко, О. В. Семко, Ю. С. Слюсаренко, І. А. Ємельянова. – 2-ге вид., доповн. – Полтава : АСМІ, 2011. – 520, [16] с. – укр.
61. Отрешко А.И. Коробчатые стальные балки / А.И. Отрешко, Ш.И. Исабаев. // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1983. - №1. – С. 1-4.
62. Пат. 74599 Україна, МПК (2012.01) E01D 1/00. Прогонова будова мосту / Шмуклер В.С., Шуткін М.Б., Шуткін Б.М., Круль Ю.М.; заявник і патентовласник Шмуклер В.С.; – № 201201611; заявл. 14.02.2012; опубл. 12.11.2012, Бюл. №21.
63. Патон Е.О. Стальные мосты / Е. О. Патон, Б.Н. Горбунов. – [5-е изд.] – Харьков; Киев: Гос. Научно-технич. изд. Украины, 1935 – 812 с.

64. Перельмутер А.В. Управление поведением несущих конструкций. / Перельмутер А.В. – К.: УФИМБ, 1998. – 148 с.
65. Пичугин С.Ф. Надежность строительных конструкций. Работа научной школы профессора С. Ф. Пичугина: сб. науч. тр. / С. Ф. Пичугин. – Полтава: АСМИ, 2010. – 434 с. – рус.
66. Пичугін С.Ф. Сучасний підхід до розрахунку на дію поперечних сил сталевих легких балок із подвійною профільованою стінкою / С. Ф. Пичугін, В. П. Чичулін, К. В. Чичуліна // Ресурсоеконом. матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. – 2013. – Вип. 25. – С. 390-398. – Бібліогр.: 16 назв. – укр.
67. Поливанов Н.И. Проектирование и расчет железобетонных и металлических автодорожных мостов / Поливанов Н.И. Изд-во «Транспорт», 1970, стр. 1–516.
68. Потапкин А. А. Проектирование стальных мостов с учетом пластических деформаций. М.: Транспорт, 1984. – 200 с.
69. Потапкин А. А. Теория и расчет стальных и сталежелезобетонных мостов на прочность с учетом нелинейных и пластических деформаций // Тр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та трансп. стр-ва (ЦНИИС). – М.: Транспорт, 1972. – Вып. 84. – 192 с.
70. Проектирование металлических конструкций: Спец. курс. Учебное пособие для вузов / [В.В. Бирюлев, И.И. Кошин, И.И. Крылов и др.]. – Л.: Стройиздат, 1990. – 432с.
71. Проектирование металлических мостов: [Учеб. для вузов] / [А.А Петропавловский, Н.Н. Богданов, Н.Г. Бондарь и др.]; под ред. А.А. Петропавловского. – М.: Транспорт, 1982. – 320с.
72. Пространственные расчеты мостов. / [Б.Е. Улицкий, А.А. Потакин, В.И. Руденко, и др.]. – М.: транспорт, 1967. – 403 с.
73. Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства: ГОСТ 24045-94. – [Дата введения 1995-09-01]. – М.: МНТКС, 1995. – 18 с.

74. Раппопорт Р.М. Статика тонкостенных стержней, составленных из ветвей, соединенных планками. [Текст] / Р.М. Раппопорт // Расчет пространственных конструкций: – М.: Госстройиздат, 1958. Вып. IV. – С. 239–282.
75. Ржаницын А.Р. Теория составных стержней строительных конструкций [Текст] / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1948. – 192 с
76. Ржаницын А.Р. Составные стержни и пластинки / Ржаницын А.Р. – М.: Стройиздат, 1986. – 316 с.
77. Рекомендации по проектированию и применению балок с перфорированной стенкой - М.: ЦНИИПроектстальконструкция, 1991. – 76 с.
78. Рейтман М.И. Методы оптимального проектирования деформируемых тел / М.И. Рейтман, Г.С. Шапиро. – М.: Наука, 1976. – 265 с.
79. Розрахунок надійності елементів сталевих конструкцій на дію випадкових навантажень : навч. посіб. / уклад.: С. Ф. Пічугін, А. В. Махінько; Полтав. нац. техн. ун-т ім. Ю.Кондратюка. – Полтава, 2008. – 60 с. – Бібліогр.: с. 59. – укр.
80. Рокар И. Неустойчивость в механике / И. Рокар. Под редакцией А.Н. Обморшева. Изд. иностр. лит-ры. – Москва. – 1959. – 287 с.
81. Рокки К.С. Проектирование стальных мостов / К.С. Рокки, Х.Р. Эванс; [пер. с англ. под ред. А.А. Потапкина]. – М.: Транспорт 1956. – 245 с.
82. Семко О.В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій / Семко О.В. – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2004. – 320 с.
83. Снитко В. Ф. Методика расчета сталежелезобетонных мостов с учетом влияния длительных процессов // Автом. дор. і дор. буд-во. – К.: НТУ, 2002. – Вип. 64. – С. 218-222.
84. Снитко В. Ф. О расчете неразрезных сталежелезобетонных строений с учетом постадийного монтажа и влияния ползучести бетона при

строительстве и реконструкции // Автом. дор. і дор. буд-во. – К.: НТУ, 2004. – Вип. 69. – С. 233-238.

85. Соболевский, Г.П. Расчет тонкостенных стержней, усиленных поперечными планками [Текст] / Г.П.Соболевский - Киев: Изд-во. АН УССР, 1953. – 25 с.

86. Солодарь, М.Б. Развитые стальные балки из прокатных профилей [Текст] / М.Б.Солодарь // Бюллетень строительной техники. – 1950. – №2.

87. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2 – 15:2009. – [Чинний від 2009-11-11]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 66с. – (Державні будівельні норми України).

88. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування: ДБН В.2.3 – 6:2009. – [Чинний від 2009-11-11]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 63с. – (Державні будівельні норми України).

89. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування: ДБН В.2.3-22:2009. – [Чинний від 2009-11-11]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 73 с. – (Державні будівельні норми України).

90. Споруди транспорту. Мости та труби. Сталеві конструкції. Правила проектування (Частина 1): ДБН В.2.3 – 26.2010. [Чинний від 2011-10-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 108 с. – (Державні будівельні норми України).

91. Стрелецкий Н.Н. Исследование работы облегченных сварных балок со сквозном стенкой, подкрепленной наклонными ребрами / В.С. Данков, В.Н. Ворожбянов, Н.Н. Стрелецкий // Перспективы развития и пути повышения легких и особо легких металлических конструкций: тезисы докладов 3-й Укр. науч.-техн. конф. – Киев, 1984. – С 56-57

92. Стрелецкий Н.Н. Сталежелезобетонные мосты / Стрелецкий Н.Н. – М.: Транспорт, 1965.

93. Стрелецкий Н.Н. Сталежелезобетонные пролетные строения мостов / Стрелецкий Н.Н. – М.: Транспорт, 1981. – 260 с.

94. Стороженко Л.И. Сталежелезобетонные конструкции / Л.И. Стороженко, А.В. Семко, В.И. Ефименко. – К.:«Четверта хвиля», 1997. – 160 с.
95. Стороженко Л.І. Дослідження і проектування сталезалізобетонних структурних конструкцій: Монографія / [Л.І. Стороженко, В.М. Тимошенко, О.В. Нижник та ін.]. – Полтава: АСМІ, 2008. – 262с.
96. Тимошенко С.П. Пластинки и оболочки / С.П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – М.: Физматгиз, 1963. – 635 с.
97. Тимошенко В.М. Просторові структурні сталезалізобетонні конструкції та їх розрахунок / В.М. Тимошенко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2011. – Вип.63. – с.304–311.
98. Тимошенко В.М. Розрахунок сталезалізобетонних конструкцій / Тимошенко В.М. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Будівельні конструкції». Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація. – К.: ДП НДІБК, 2006. – № 65. – С.70-73.
99. Трофимов В. И. Легкие металлические конструкции зданий и сооружений [Текст]: учеб. пособие. / В.И. Трофимов, А.М. Каминский.- М.: АСВ, 2002. - 576 с
100. Трофимович В.В. Оптимизация металлических конструкций / В.В. Трофимович, В.А. Пермяков. – К.: Вища школа, Головне вид-во, 1983. – 200 с.
101. Холопцев, В.В. Метод расчета балок с отверстиями в стенке / В.В. Холопцев // Судостроение и судоремонт: сб. науч. трудов / Одесский институт инженеров морского флота. – Одесса, 1958. – Вып. 16. – С.112–130.
102. Холопцев, В.В. К расчету балок из разрезанных прокатных двутавров по теории составных стержней / В.В. Холопцев // Судостроение и судоремонт: сб. науч. трудов / Одесский институт инженеров морского флота. - Одесса, 1968. – Вып. 2. – С.17–27.

103. Чихладзе Э.Д. Несущая способность сталебетонных конструкций в условиях статического и динамического нагружения: автореф. дисс. на соискание степени докт. техн. наук: спец. 05.23.01 «Строительные конструкции» / Э. Д. Чихладзе. – Москва, 1985. – 33 с.
104. Шмуклер В.С. Каркасные системы облегченного типа / В.С. Шмуклер, Ю.А. Климов, Н.П. Бурак – Харьков: Золотые страницы, 2008. – 336с.
105. Шмуклер В.С. Об одной возможности прямого проектирования строительных конструкций. // Материалы международной научно-практической конференции «Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях». – Суммы, ИПП «Мрия» ЛТД, 1994. С. 101-102.
106. Шмуклер В.С. Учёт нелинейных особенностей деформирования в теории конструкций / В.С. Шмуклер, А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХДТБА, 2007. – № 43. – С. 37 – 44.
107. Юрченко А.А. Напряженно-деформированное состояние балок замкнутого сечения с перфорированными стенками: автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата тех. наук: спец. 05.23.01. / А. А. Юрченко – Красноярск, 2008.
108. Alkhradji T. Assessment of Existing Structures Using Cyclic Load Testing / T. Alkhradji, N. Galati, A. Nanni // Concrete international, 2010. – V. 32. №4. – P. 39-44.
109. Badie S.S. Full-Depth, Precast Concrete Bridge Deck Panel Systems / S.S. Badie, M.K. Tadros, R.M. Miller Usdan // Concrete international, 2005. – V. 31. №4. – P. 53-56.
110. Blodgett O.W. Design of Welded Structures. Cleveland., 1966
111. Bower, J.E. Design of Beams with web openings / J.E. Bower // Journal of the Struktural Division. ASCE, 1968. – V. 97. NST3. – P. 783-807

112. Casas J.R. Safety of Prestressed Concrete Bridges to Fatigue: Application to Serviceability Limit State of Decompression / J.R. Casas // ACI Structural Journal, V. 97, № 1, 2000. – P.68-76.
113. Calambos, A.R. Optimum Expansion Ratios of Castellated Steel Beams / A.R. Calambos, M.U. Hosain, W.G. Speirs // Engineerine, Optimization, Eiverpool, 1975. – V. № 4. – P. 213-225.
114. Cheng, W.K. Analysis of Castellated Steel Beams by the Finite Element Method / V.V. Neis, M.V. Hosain, W.K. Cheng // Proc. Of the Specialty Conference on Finite Element Method in Civil Engineering. 1-2 June. 1972, Montreal, Canada. – Canada: Me. Cill University, 1972. P. 1105-1140.
115. Craig P. Another Look at the Drying of Lightweight Concrete / P. Craig, B. Wolfe // Concrete international, 2012. – V. 34. №1. – P. 53-56.
116. Desing of composite steel and concrete structures – Part 2: Eurocode No.4 : EN 1992-1: 2001 (Final Draft, April, 2002) . Eurocode – 4: General Rules and Rules for Bridges. – Brussels. – 2006, October – 96 p.
117. Desing of concrete structures – Part 1: Eurocode No.2 : EN 1992-1: 2001 (Final Draft, April, 2002) ; Eurocode – 2: General Rules and Rules for Building. – Brussels. – 2002, October – 230 p
118. Faltus, F. Contribution an calcul des pourtes a ames evidees / F. Faltus // Acier - Stahl. - Steel, 1966. - № 5. P. 229-232.
119. Gallagher P.M. Optimal Structural Design: Theory and applications / Gallagher P.M., Zlenklevlch B.C. – Wiley, London, 1973.
120. Gibson, J.E. An investigation of the stress and deflections in castellated beams / B.S. Jenkins, J.E.Gibson // Structural Engineer. - London, 1957. - V. 35. № 12. - P. 467-179.
121. Grace N.F. Use of CFRP/CFCC Reinforcement in Prestressed Concrete Box-Beam Bridges / N.F. Grace, T. Enomoto, S. Sachidanandan, S. Puravankara // ACI Structural Journal, V. 103, № 1, 2006. – P.123-132.

122. Hosain, M.V. Detlciencie de pourtes metalliqu.es a ame evidee dul a la rupture de joints soudes / M.V. Hosain, W.G. Speires // Acier – Stahl. – Steel, 1971. - № IS. – P. 34-40.
123. Hosain, M.V. Deflection analyses of expanded open-web steel beams / V.V. Neis, M.V. Hosain, W.K. Cheng // Computers and Structural. – Steel, 1974. – V. 4. № 2. – P. 327-336.
124. Hrabok, M.M. Castellated beams deflections using sub structuring / M.M. Hrabok, M.V. Hosain // Journal of the Structural Division. ASCE, 1977. - V. 103. №1.-P. 265-269.
125. Issa M.A. Full-Scale Testing of Prefabricated Full-Depth Precast Concrete Bridge Deck Panel System / M.A. Issa, R. Anderson, T. Domagalski, S. Asfour, M.S. Islam // ACI Structural Journal, V. 104, № 3, 2007. – P.324-332.
126. Kolosovsky, J. Stresses and Deflections in castellated beams / J. Kolosovsky // Structural Engineer. – London, 1964. – V. 42. № 1. – P. 19-24.
127. Vierendeel, A. Theorie Generalt des ponts Vierendeel./ A. Vierendeel. – «Longerons en trilles et longerons a arcades». – Paris, 1897.
128. Naaman A.E. Innovative Bridge Deck System Using High-Performance Fiber-Reinforced Cement Composites / A.E. Naaman, K. Chandrangsu // ACI Structural Journal, V. 101, № 1, 2004. – P.57-63.
129. Okeil A.M. Alloable Tensile Stress for Webs of Pretressed Segmental Concrete Bridges / A.M. Okeil // ACI Structural Journal, V. 103, № 4, 2006. – P.488-495.
130. Shoukry, Z. Elastik Flexural Stress Distribution Webs of Castellated Steel Beams / Z. Shoukry // Welding Journal, 1965. - V: 44. № 5
131. Udland T.R. A Landmark Bridge for the Future / T.R. Udland, R.D. Call, J.M. Bodemar // Concrete international, 2005. – V. 27. №2. – P. 24-27.
132. Ulloa F.V. Hybrid Bridges in Texas / F.V. Ulloa, R.D. Medlock, P.H. Ziehl, T.J. Fowler // Concrete international, 2004. – V. 26. №5. – P. 38-42.

133. Young Cheol Choi. Crack Width Formula for Transersely Post-Tensioned Concrete Deck Slabs in Box Girder Bridges / Young Cheol Choi, Buung Hwan Oh // ACI Structural Journal, V. 106, № 6, 2009. – P.753-760.

134. S. De Silva. Vibration Characteristics of Concrete-Steel Composite Floor Structures / S. De Silva, D.P. Thambiratnam // ACI Structural Journal, V. 108, № 6, 2011. – P.706-712.

