

ВІДГУК
офіційного опонента доктора технічних наук, професора
БІЛИКА СЕРГІЯ ІВАНОВИЧА
на дисертаційну роботу
ГОГОЛЯ МИРОНА ВАСИЛЬОВИЧА
«РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ
КОМБІНОВАНИХ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ»
представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди

1. СТУПІНЬ АКТУАЛЬНОСТІ ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Ступінь розвитку кожної держави у сучасному світі в пріоритетних напрямках науково-технічного прогресу та суспільного розвитку визначається рядом техніко-економічних показників, до яких відносять об'єм використання металевих конструкцій та використання енергозберігаючих технологій, у тому числі на будівлі промислового та цивільного призначення. Тому актуальною проблемою в металобудівництві є не тільки створення нових раціональних та оптимальних конструкцій, а й конструкцій які у сумарних витратах потребують менше енергетичних витрат на виготовлення та експлуатацію. В цьому аспекті однією з важливих науково-технічних проблем є розробка нових конструктивних рішень металевих конструкцій та вдосконалення теорії їх розрахунку. Без сумніву комбіновані сталеві конструкції відносять до таких прогресивних металевих конструкцій, а розвиток теорії їх створення і розрахунку є суттєво необхідним та актуальним.

Обрана тема дисертації направлена на вирішення саме такої комплексної науково-технічної проблеми, а саме: розробка нових конструктивних рішень комбінованих металевих конструкцій та розвиток теорії їх розрахунку через регулювання напружено-деформованого стану.

Слід одразу підкреслити головну новизну представленої роботи про створення нового підходу щодо вибору оптимальної металевої конструкції: вибір раціональних параметрів через регулювання напружено-деформованого стану як з попереднім напруженням так, і що важливо, без попереднього напруження: за рахунок перерозподілення жорсткості елементів конструкцій.

Тому тема докторської дисертації актуальна, оскільки присвячена вирішенню важливої наукової технічної проблеми: розробка та розвиток основних наукових положень теорії розрахунку та проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій перекриттів і покриттів при регулюванні напружено-деформованого стану із вдосконаленням їх конструктивної форми.

2. ЗВ'ЯЗОК РОБОТИ З НАУКОВИМИ ПРОГРАМАМИ, ПЛАНАМИ, ТЕМАМИ

Виконана робота, де автор був відповідальним виконавцем, є вагомим етапом досліджень, які проводяться інститутом будівництва та інженерії доквілля Національного університету "Львівська політехніка" за напрямком: "Технологія

будівництва, дослідження прогресивних конструкцій та методів зведення будівель та споруд”, в рамках НДР І ДКР (РК) “Регулювання напружено-деформованого стану комбінованих металевих конструкцій” (№ держреєстрації 0107U009436). Частково дослідження теоретичного і прикладного характеру виконані в межах держбюджетної тематики: 5-ДБ-200 “Розробка основ теорії формоутворення і теоретично-експериментальних методів розрахунку сталевих рам із зварних двотаврів змінного перерізу для будівель універсального призначення в умовах нерівномірних деформацій ґрунтової основи під фундаментами” (№ держреєстрації 0197U005389), яка виконувалась за дорученням Міністерства освіти і науки України, авторський внесок – це розробка основ теорії раціонального проектування комбінованих металевих конструкцій.

3. МЕТА РОБОТИ. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ. ПРЕДМЕТ ТА ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мета роботи. Головною метою роботи стало вирішення важливої науково-технічної проблеми із розроблення теоретичних основ розрахунку і проектування раціональних (зі зменшеними витратами сталі та працемісткості виготовлення) комбінованих сталевих конструкцій перекриттів і покриттів, а також вдосконалення їх конструктивних форм.

Автором дисертації для досягнення мети роботи сформульовані основні наукові задачі та завдання досліджень, які успішно в подальшому вирішені.

В дисертації описано об’єкт дослідження – робота комбінованих сталевих стержневих несучих конструкцій перекриттів і покриттів, які працюють на статичні навантаження.

Предмет досліджень докторської дисертації – напружено-деформований стан (НДС) комбінованих сталевих конструкцій перекриттів і покриттів при реалізації теоретичних підходів розрахункового регулювання НДС зі створення раціональних комбінованих сталевих конструкцій.

Методи дослідження: методи будівельної механіки, теорії розрахунку і проектування металевих конструкцій, теорії надійності сталевих конструкцій; методи вибору раціональних конструктивних форм; стандартні методики випробовування сталевих конструкцій при експериментальних дослідженнях.

4. НАУКОВА НОВИЗНА РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Офіційний опонент погоджується з основними положеннями наукової новизни представленої докторської дисертації. Наукова новизна докторської дисертаційної роботи отримана і обґрунтована за новими результатами комплексних наукових теоретичних та експериментальних досліджень, і сформульована в дисертації таким чином:

1. Запропоновано і обґрунтовано узагальнену розрахункову модель комбінованих сталевих конструкцій у вигляді нерозрізної балки (відображає балку жорсткості) на проміжних пружних опорах (які відображають систему підкріплення балки), врахування взаємовпливу складових, якої дозволяє підвищити ефективність конструкцій, у тому числі за рахунок зменшення їх висоти.

2. Сформульовано нові теоретичні засади і створений загальний розрахунковий метод регулювання НДС комбінованих сталевих конструкцій на основі енерговаріаційних принципів (зокрема, принципу Лагранжа) та з урахуванням деформованого стану балки жорсткості, що дозволяє не тільки визначити раціональну топологію та жорсткісні характеристики поперечних перерізів конструктивних елементів, а й регулювати розподіл зусиль у балці жорсткості таким чином, щоб їх граничні значення досягалися одночасно не в одному, а в багатьох поперечних перерізах, тобто одержали раціональну конструкцію.

3. Розроблено нові наукові теоретичні основи єдиного алгоритму розрахункового регулювання НДС і раціонального проектування комбінованих сталевих конструкцій із заданими показниками несучої здатності та надійності.

4. Одержано результати теоретичних досліджень комбінованих конструкцій у процесі регулювання їх НДС при довільних навантаженнях, впливах, граничних умовах, що дозволило не тільки визначити принципи і фактори їх формоутворення та раціональні значення геометричних параметрів, а й сформулювати новий критерій раціональності комбінованих сталевих конструкцій.

5. Встановлені нові закономірності НДС комбінованих сталевих конструкцій при виборі раціональних параметрів, що дає змогу сформулювати новий підклас комбінованих конструкцій. Отримано нові закономірності створення рівнонапруженого стану в розрахункових перерізах за результатами експериментальних досліджень раціональних комбінованих сталевих конструкцій (малоеlementні шпренгельні й металодерев'яні ферми), які були розраховані й запроектовані розробленим методом з розрахунковим регулюванням їх НДС.

Розроблено і удосконалено нові наукові положення:

1. Методики проектування комбінованих сталевих конструкцій (на основі отриманих результатів теоретичних і експериментальних досліджень) та визначені принципи їх використання замість типових конструкцій, а також розширена область раціонального застосування.

2. Конструктивні рішення комбінованих сталевих конструкцій на основі встановлених нових наукових принципів і факторів їх конструювання, розрахунку, пошуку ефективних раціональних значень геометричних параметрів.

Набуло подальший розвиток:

1. Аналітично-експериментальний підхід методу розрахунку комбінованих сталевих конструкцій, як статично визначених систем, який дозволив суттєво спростити розрахункові залежності та звести методику розрахунку до простих і зручних у використанні рішень.

2. Комплекс нових науково-обґрунтованих методик дав змогу створити програми розрахунку, регулювання НДС і раціонального проектування комбінованих сталевих конструкцій покриттів і перекриттів будівель і споруд, висячих та вантових систем тощо, в якості конструктивних елементів яких застосовані балки, стержні та ванти.

5. ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність положень дисертації, сформульовано мету, сформульовано науково-технічну проблематику, на яку направлені

дослідження, описано об'єкт та встановлено предмет досліджень, описані основні положення, що подаються до захисту, наукова новизна отриманих результатів, приведені дані про реалізацію результатів роботи, наведена практична цінність роботи та вказано на особистий внесок автора роботи у наукові дослідження, наведено дані про апробацію роботи, структуру та об'єм дисертації.

У першому розділі розкрито актуальність і зміст науково-технічної проблеми на основі проведеного аналізу розвитку будівельних сталевих конструкцій будівель та споруд. Показано, що традиційне регулювання НДС сталевих конструкцій за допомогою попереднього напруження не завжди раціонально, оскільки приводить до збільшення вартості їх при будівництві й експлуатації, а зменшення вартості конструкцій за рахунок економії сталі під час проектування втрачається під час монтажу конструкцій.

Узагальнено класифікацію силових способів та розрахункових методів регулювання НДС сталевих конструкцій, сталевих конструкцій перекриттів і покриттів. Показано, що відомі в літературі розрахункові підходи регулювання НДС сталевих конструкцій переважно не забезпечують одночасного досягнення рівнонапруженого стану у всіх їхніх розрахункових перерізах.

Важливим є те, що вибір напрямку досліджень детально обґрунтовано проведеним техніко-економічним аналізом показників порівняння сталевих балок і шпренгельних балок попередньо-напружених зтяжкою та аналогічних без попереднього напруження.

Виконаний аналіз способів регулювання напружено-деформованого стану сталевих конструкцій, визначено раціональні способи і методи регулювання НДС, серед яких, автор обрав, як найефективніший – розрахунковий метод пошуку раціональної конструктивної форми комбінованих сталевих конструкцій при перерозподіленні жорсткостей елементів і виборі раціональної топології в цілому. Це і стало основним напрямком наукових досліджень дисертації та основною робочою гіпотезою.

Обґрунтовані напрямки досліджень дозволили сформулювати нові наукові задачі для розкриття мети дисертації та вирішення важливої науково-технічної проблеми.

Другий розділ присвячений розробці удосконаленого підходу щодо розрахунку раціональних комбінованих сталевих систем. Розроблено фізичну та узагальнену математичну модель шпренгельної системи, яка складається з балки жорсткості на пружних опорах і підкріплюючих елементів, та дозволяє врахувати деформований стан конструкції. Таким чином, використовуючи принцип нерозривності деформацій та декомпозиції, комбіновану систему розділено на дві підсистеми – балку жорсткості на проміжних пружних опорах і підтримувальну підсистему, переміщення окремих елементів якої, у точках приєднання, відповідають осіданню пружних опор балки жорсткості.

Відповідно запропоновано розрахунок проводити двома етапами. На першому етапі виконати розрахунок верхнього поясу балки в узагальненому виді, як балки на пружних опорах з визначенням апроксимуючих функцій прогинів. А на другому етапі виконати об'єднаний розрахунок (методологія синтезу) всієї системи з урахуванням впливу жорсткості нижнього поясу і шпренгельних елементів. Особливістю і новизною запропонованого підходу для розрахунку комбінованих сталевих конструкцій є використання енерговаріаційного принципу

Лагранжа, який дозволяє врахувати деформований стан конструкції. Такий підхід, за оглядом літератури, вперше застосований для дослідження шпренгельних сталевих конструкцій покриття і перекриття. За критерій пошуку раціональної конструктивної форми прийнято критерій мінімуму повної потенційної енергії системи, а знак другої варіації повної потенційної енергії визначається знаком другої варіації потенціальної енергії пружної деформації, для визначення стійкої рівноваги. Для вирішення цієї складної нелінійної задачі, автором запропоновано апроксимацію функції переміщень прогинів балки скінченим рядом функцій, що задовольняють граничним умовам, і мають неперервні перші похідні. Далі, використовуючи класичний метод переміщень, стає можливим отримати значення невідомих функцій, які апроксимують функцію прогинів при невідомих коефіцієнтах.

У розділі аналітичними дослідженнями доказано, що умова при якій повна потенційна енергія системи приймає стаціонарне значення, зводиться до системи алгебраїчних рівнянь з невідомими коефіцієнтами апроксимуючих функцій прогинів. Ця система отримується, як система рівнянь перших похідних повної потенційної енергії по змінним, які є невідомі коефіцієнти апроксимуючих функцій прогинів. Рішення цієї системи дає числові значення невідомих коефіцієнтів, і отже, найкраще конструктивне рішення для даної топології конструкції. Але таке рішення може бути використано для розрахунку комбінованої системи довільної конструктивної форми при відомій геометрії топології.

У розділі доказана достовірність отриманого аналітичного підходу через добре співпадіння результатів з тестовими аналітичними прикладами і результатами розрахунку малоелементної шпренгельної ферми запропонованим методом та розрахованих за програмними комплексами “Міраж” і “Scad”, різниця між одержаними результатами не перевищила 1%.

Таким чином, теоретично обґрунтовано новий підхід до визначення НДС комбінованих сталевих систем та моделей з урахуванням їх деформованої схеми на основі розробленої узагальненої фізико-математичної моделі.

У розділі на конкретних прикладах показано, що відкрита можливість вибору найкращого конструктивного рішення при заданих геометричних розмірах моделі комбінованої балкової системи, а це дає змогу суттєво зменшити витрати сталі.

Показано також можливість використання розробленого підходу для рішення інших класів задач, що підкреслює його універсальність і фундаментальність.

У третьому розділі продовжено теоретичні дослідження з метою розвитку нового підходу щодо вибору найкращої топології конструкції через регулювання напружено-деформованого стану сталеві системи розрахунковим способом. Таким чином, в розділі розробка нового розрахункового способу набула завершеного виду. Суть нового методологічного підходу регулювання НДС полягає у виборі найкращої раціональної комбінованої сталеві конструкції, визначення раціональних конструктивних параметрів через використання критеріїв раціональності. Автором розроблена схема математичної моделі процесу проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій, розроблено алгоритм розрахункового регулювання НДС в балці жорсткості з досягненням рівнонапруженого стану в розрахункових перерізах, розроблено узагальнений алгоритм розрахункового регулювання НДС раціональних

комбінованих сталевих систем. Таким чином, критерієм раціональності прийнято рівнонапруженість перерізів балки жорсткості верхнього поясу комбінованої системи, а обмеженнями є дискретний сортамент, прогини конструкції, міцність сталі, міцність та стійкість шпренгельних елементів. Особливістю узагальненого алгоритму є використання методології синтезу складових комбінованої конструкції, яка ґрунтується на тому, що задовольняються статичні й кінематичні умови для всієї системи та виконання умови сумісності деформацій в точках з'єднання балки жорсткості і підтримувальної системи.

Реалізація цієї нової методології пошуку раціональної конструктивної форми комбінованої системи дає можливість саме на стадії проектування знайти і форму конструкції і розподіл внутрішніх зусиль у ній відповідно до схеми прикладання зовнішнього навантаження за мінімальних затрат матеріалу. З метою встановлення доцільності застосування розрахункового способу регулювання НДС у стержневих конструкціях запропоновано методика оцінювання за допомогою коефіцієнтів повноти епюри матеріалу.

Показано універсальність нового методологічного підходу пошуку раціональних за витратами сталі комбінованих систем. Так розроблено алгоритм регулювання зусиль у комбінованих конструкціях – шпренгельному прогоні, малоелементних шпренгельних ферм та вантових конструкціях. Показано, що на стадії проектування регулювання НДС досягають істотного економічного ефекту.

Автор виконав співставлення результатів розрахунку різних конструкцій за запропонованим новим підходом та за відомими методами, що підтверджує достовірність отриманих нових результатів наукових досліджень.

В роботі приведено важливий техніко-економічний аналіз ефективності використання нового розрахункового способу регулювання зусиль в комбінованих шпренгельних системах, та виконано порівняння техніко-економічних показників різних конструктивних форм покриттів і раціональної комбінованої малоелементної конструкції, топологія якої отримана за результатами, отриманими в дисертації.

Суттєвим результатом дисертації є можливість використання розробленого нового розрахункового способу регулювання НДС при пошуку раціональних конструкцій балкового типу і стрижневих систем з попереднім напруженням, що додатково вказую на фундаментальність отриманих результатів.

У **четвертому розділі** приведені результати параметричних досліджень топології різних комбінованих металевих конструкцій і отримані нові наукові результати. Зокрема сформульовано умови досягнення, під час проектування комбінованих сталевих конструкцій, критерію раціональності: топологія, концентрація матеріалу в балці жорсткості, мінімальна кількість вузлів і елементів, розрахункове регулювання НДС і використання ефективних прокатних профілів. Одержані функціональні залежності для визначення раціональних параметрів комбінованих конструкцій. Викрита закономірність: деформативність балки на пружних опорах знижується швидше ніж зменшується її маса в залежності від кількості прогонів, визначальним обмеженням стає не деформативність, а міцність.

В розділі також наведені результати досліджень раціональних параметрів комбінованої сталеві шпренгельної ферми прогоном 18 м методом математичного планування експерименту.

Встановлено важлива також закономірність пологості залежності витрат сталі на шпренгеля від кута його нахилу до балки жорсткості, встановлена пологість екстремума, що важливо для проектування різних конструктивних форм.

Важливими є дослідження, які показують універсальність та достовірність розробленого нового способу розрахунку з регулювання напружено-деформованого стану без попереднього напруження конструкцій на прикладах як простих, так і комбінованих конструкцій, у тому числі вантових.

У п'ятому розділі наведено нові результати оригінальних експериментальних досліджень. Експериментальні дослідження проведені на основі методики, яку розробив автор дисертації.

Проведений комплекс нових експериментальних досліджень на модельних і натурних зразках підтвердив висунуту наукову гіпотезу про можливість регулювання напружено-деформованого стану конструкції за рахунок і досягнення рівнонапруженого стану в розрахункових перерізах.

Експериментально виявлені особливості деформування комбінованих сталевих балко-ферми, металодерев'яної ферми, балки.

Експериментальні дослідження підтвердили достовірність теоретичних досліджень, показана добра узгодженість з аналітичними дослідженнями. Так встановлено експериментально, що якісна картина деформованого стану комбінованих конструкцій на всіх етапах навантаження відповідає розрахунковим даним.

У шостому розділі розроблено узагальнену нову методику попереднього розрахунку комбінованих конструкцій для проектувальників, на основі проведених досліджень, з метою вибору найкращої конструкції при варіантному проектуванні, та вибору першого розрахункового варіанту при подальшому пошуку й уточненні найкращої конструкції. Ці дослідження важливі, як з позицій теоретичних положень, так і для практичного проектування. Відомо – чим кращий перший варіант для пошуку раціонального рішення, тим швидше і кращим буде остаточний варіант конструкції.

Дослідження, представлені в розділі, є також узагальненими рекомендаціями з розрахунку, проектування та використання комбінованих сталевих конструкцій при пошуку найкращої конструктивної форми за рахунок регулювання НДС. Розроблена схема блок – схема методики проектування раціональної комбінованої конструкції. У розділі сформульована в загальному вигляді задача проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій за критерієм мінімальних витрат сталі та за критерієм найменшої вартості "у ділі".

Виконані дослідження в попередніх розділах дисертації дозволили автору уточнити і розвинути основні принципи проектування комбінованих сталевих конструкцій для покриттів будівель і споруд, визначити конкретні параметри раціональних конструктивних рішень, що важливо для практики проектування.

Важливість виконаних комплексних досліджень підтверджується ефективністю розроблених нових сталевих конструкцій, суттєвим зменшення вартості конструкцій. Автором захищені три патенти № 50014, № 46383, № 48841

на нові науково-обґрунтовані конструктивні форми раціональних комбінованих сталевих конструкцій (табл. 2), та визначено їх раціональну область використання.

В розділі також наведені результати впровадження результатів досліджень.

У дисертації в додатках наведено аналіз ефективності запропонованого нового способу розрахунку комбінованих конструкцій (числові дослідження) з регулюванням НДС, приклади розрахунку, альбом шпренгельних ферм, програма і приклад розрахунку раціональної шпренгельної ферми, локальні кошториси на комбіновані ферми, довідки та фотографії впровадження результатів роботи.

Підсумовуючи виконані дослідження слід зауважити, що проведені комплексні дослідження відкрили можливість до створення нового класу комбінованих конструкцій сталевих покриттів і перекриттів будівель і споруд раціональної конструктивної форми з регулюванням напружено-деформованого стану при врахуванні деформованої схеми конструкції.

Основні результати роботи й загальні висновки

У загальних висновках приводяться нові наукові й практичні результати, отримані автором у процесі виконання дисертаційної роботи, а також рекомендації щодо використання отриманих результатів, показано практичне їх застосування і важливість для науки.

У дисертаційній роботі доказано, що вирішено важливу науково-технічну проблему розробки та розвитку основних наукових положень теорії розрахунку та проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій перекриттів і покриттів при регулюванні напружено-деформованого стану із вдосконаленням їх конструктивної форми. Виконані нові наукові дослідження дозволили зробити автору наступні висновки за результатами роботи:

1. Науково обґрунтована доцільність розрахункового методу регулювання НДС комбінованих сталевих конструкцій. Виявлено, що найбільші резерви регулювання НДС і удосконалення конструктивних форм містяться в комбінованих конструкціях.

2. Теоретично обґрунтовано новий підхід до розрахунку комбінованих систем з врахуванням їх деформованої схеми. Удосконалено метод розрахунку комбінованих сталевих конструкцій з врахуванням деформованого стану балки жорсткості на основі енерговаріаційного принципу (принципу Лагранжа).

Розроблено математичну модель узагальненої задачі розрахунку комбінованих систем і отримано її розв'язок на основі енергетичних принципів будівельної механіки. Отримані аналітичні залежності для визначення величин деформацій та осідання пружних опор балки жорсткості в матричній формі і запропоновані розрахункові формули для визначення НДС комбінованих конструкцій. Показано, що врахування деформованого стану балки жорсткості, забезпечує економією сталі до 15%. Доведено, що узагальнена розрахункова модель балки жорсткості комбінованих систем, у вигляді балки на пружних опорах, придатна для розрахунку всіх можливих типів балок жорсткості.

3. На базі удосконаленого методу розрахунку комбінованих сталевих конструкцій запропоновано і розроблено новий підхід до найбільш повної реалізації потенційних можливостей таких конструкцій – розрахунковий метод регулювання НДС комбінованих конструкцій визначенням раціональної топології та жорсткісних характеристик поперечних перерізів елементів. Це забезпечило можливість регулювання НДС у балці жорсткості за її довжиною для одержання рівних напружень в розрахункових опорних і прольотних перерізах.

4. У межах методу обмежених пластичних деформацій, на прикладі комбінованої малоелементної ферми, удосконалена теорія розрахунку прокатної нерозрізної балки жорсткості цієї ферми під час роботи в області малих пластичних деформацій, що забезпечує одночасне досягнення граничних розрахункових напружень в балці жорсткості та системі підвіски. Це дає змогу проектувати рівномірну конструкцію, збільшує економію сталі і може бути екстрапольоване на різні комбіновані системи.

5. На основі запропонованого енергетичного критерію раціональності комбінованих сталевих конструкцій доведено, що маса прогону балки на двох опорах під час трансформації її в нерозрізну балку (прогоном до 45-63 м) на проміжних пружних опорах з n -ю кількістю прогонів інтенсивно зменшується лише до кількості прогонів $n \leq 4$. Визначено раціональні кути нахилу підкосів, тяжів і вант комбінованих конструкцій по відношенню до їх маси в діапазоні 30-60°. Врахування ефекту пружності опор дає можливість зменшити висоту комбінованої конструкції.

6. Результати комплексних експериментальних досліджень, проведених на великогабаритних і натурних моделях комбінованих конструкцій, якісно і кількісно підтвердили достовірність теоретичних результатів, отриманих на основі запропонованої теорії. Підтверджено прийнятність запропонованої узагальненої розрахункової схеми комбінованих конструкцій, можливість регулювання НДС розрахунковим методом і досягнення рівнонапруженого стану в балці жорсткості.

7. Розроблено методику попереднього інженерного розрахунку комбінованих конструкцій, як статично визначених систем, для визначення поперечних перерізів елементів шпренгельних і вантових систем та металодерев'яних ферм.

8. Запропонована методика регулювання НДС в комбінованих сталевих конструкціях дає змогу зменшити витрати сталі до 20-27 % та вартість їх виготовлення, що в результаті дає зменшення собівартості до 31 %, порівняно з типовими конструкціями аналогічних прогонів. Використання розробленої методики регулювання НДС дає змогу виявити резерв несучої спроможності існуючих комбінованих сталевих конструкцій, який може сягати до 15 %.

9. Розвинута теорія раціонального проектування, нові положення якої є основою для подальшого розвитку комбінованих сталевих конструкцій. Розроблено основи проектування, виготовлення і реалізації запропонованих раціональних сталевих конструкцій.

10. Удосконалено конструктивні форми раціональних комбінованих сталевих конструкцій на основі розрахункового методу регулювання НДС, які доцільно застосовувати замість типових конструкцій покриттів і перекриттів.

Запропоновані нові конструктивні форми комбінованих систем меншою масою до 20 %, які захищені патентами України: № 50014, № 46383, № 48841.

11. Результати досліджень відкрили широкі можливості цілеспрямованого проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій, дають можливість приймати всебічно обґрунтовані рішення, що забезпечить якісніше проектування, реалізацію конкурентоздатних вирішень і розширення області їх використання, що призведе до відновлення масового використання таких ефективних конструкцій і забезпечить загальний економічний ефект. Розкриття потенціалу регулювання НДС розрахунковим методом, що закладено в комбінованих системах, створило підстави для розробки наукових основ одержання конструкцій нової генерації. Створено новий тип комбінованих сталевих конструкцій з регулюванням НДС через раціональний перерозподіл жорсткостей і вибір раціональної конструктивної форми.

В дисертації наведені конкретні приклади практичного використання нових результатів наукової роботи, впровадження на реальних об'єктах та узагальнено в альбомах типових рішень. Показано економічний ефект від впровадження наукової роботи.

6. ОЦІНКА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ, ОФОРМЛЕННЯ ТА ЗАКІНЧЕНОСТІ В ЦІЛОМУ, ІДЕНТИЧНОСТІ ЗМІСТУ АВТОРЕФЕРАТУ ТА ОСНОВНИХ ПОЛОЖЕНЬ ДИСЕРТАЦІЇ.

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ. ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК ЗДОБУВАЧА

За змістом та оформленням дисертаційна робота й автореферат відповідають встановленим вимогам з атестації кадрів щодо обсягу і структури.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із анотації, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 336 найменувань і 5-ти додатків. Робота викладена на 524 сторінках, з яких 338 сторінок основного тексту, 181 рисунок, 45 таблиць, 35 повних сторінок з рисунками і таблицями, 37 сторінок списку використаних джерел та 149 сторінок додатків.

Вступ містить всі необхідні елементи загальної характеристики дисертації: сформульовано науково-технічну проблематику, якій присвячені дослідження дисертації, обґрунтована її важливість та актуальність, сформульована мета і основні завдання, викладена наукова новизна й практичне значення, підкреслено особистий внесок здобувача, наведені дані про апробацію роботи.

В розділах описані всі результати досліджень для розкриття теми дисертації, досягнення мети й отримання наукової новизни та нових наукових результатів. Розроблені теоретичні положення і експериментальні дослідження.

За результатами дослідження автор сформулював необхідні висновки, нові наукові результати, і розробив належні рекомендації щодо практичного використання отриманих даних. Загальні висновки роботи свідчать, що всі поставлені в дослідженні завдання виконані.

В анотації роботи стисло викладені основні наукові положення та результати дисертаційної роботи.

Зміст автореферату відбиває основні положення дисертації. Автореферат дисертації також в необхідній мірі розкриває мету, завдання та отримані в роботі результати, викладений якісною технічною мовою, досить повно і точно відображає основний зміст дисертації і свідчить про достатню професійну підготовку здобувача.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались й отримали підтримку на 22 міжнародних симпозіумах, семінарах, конференціях.

Результати дисертаційної роботи регулярно доповідались на конференціях професорсько-викладацького складу Національного університету “Львівська політехніка” 1994-2018 рр.

У повному обсязі дисертація доповідалась на міжкафедральному семінарі інституту будівництва та інженерії доквілля Національного університету “Львівська політехніка” (м. Львів), на міжнародному симпозіумі „Сучасні будівельні конструкції із металу і дерева” в ОДАБА, (м. Одеса), на засіданні НТР ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського» (м. Київ), на кафедрі металевих та дерев'яних конструкцій КНУБА (м. Київ, 24 жовтня 2018 р.), на кафедрі металевих, дерев'яних і пластмасових конструкцій ДВНЗ «ПДАБА» (м. Дніпро, 1 листопада 2018 р.), на розширеному засіданні кафедри конструкцій з металу, дерева та пластмас ПолтНТУ (м. Полтава, 22 листопада 2018 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 65 наукових праць: монографія, навчальний посібник, рекомендації з проектування раціональних металевих несучих конструкцій, 30 статей у наукових фахових виданнях України, 8 – у виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз (Scopus, Index Copernicus, Isonda, Baz Tech, ResearchBib), 3 патенти, 20 публікацій апробаційного характеру, альбом шпренгельних ферм.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану проблеми, науковому обґрунтуванні та формулюванні мети, завдань, основних напрямків дисертаційних досліджень, вирішенні всіх поставлених наукових задач, отриманні та формулюванні основних висновків та наукової новизни. Основні наукові результати й наукова новизна докторської дисертації, що виносяться на захист, отримані к.т.н. **Гоголем М.В.** самостійно та **викладені у 65 публікаціях.**

Наукові положення дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримані здобувачем особисто і викладені в індивідуальних публікаціях, в яких власне автору належить (далі за посиланнями на публікації в авторефераті і дисертації): [1,4,5-8,10,15-17,20-22,26,27,30,32-39,60-62,] обґрунтування доцільності регулювання НДС комбінованих сталевих конструкцій розрахунковим методом; удосконалення методу розрахунку комбінованих систем з врахуванням їхнього деформованого стану; розробка розрахункового методу регулювання їх НДС; математична модель узагальненої задачі розрахунку комбінованих систем та її розв'язок з використанням енерговаріаційного принципу будівельної механіки; нові диференційні залежності для визначення величин деформацій (осідання) пружних опор; отримані аналітичні залежності, які визначають НДС комбінованих систем; розроблені основні критерії і принципи формоутворення нових типів раціональних комбінованих конструкцій. У наукових працях, що опубліковані у співавторстві [2,3,9,11-14,18,19,23-25,28,29,31,40-43,47-60],

здобувачеві належать теоретичні розробки, організація та участь у проведенні експериментальних досліджень, оброблення та аналіз одержаних результатів. У патентах [44-46] автору належить розробка нових конструктивних форм, в яких враховано розрахунковий метод регулювання НДС.

У дисертації не використовувались матеріали кандидатської дисертації.

7. СТУПІНЬ ОБҐРУНТОВАНOSTІ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, ВИСНОВКІВ І РЕКОМЕНДАЦІЙ, СФОРМУЛЬОВАНИХ У ДИСЕРТАЦІЇ, ЇХ ДОСТОВІРНІСТЬ І ПОВНОТА. ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Достовірність та повнота наукових положень, висновків та рекомендацій. Результати роботи достовірні, оскільки вони отримані в ході проведення комплексу теоретичних й експериментальних досліджень. Достовірність та обґрунтованість результатів забезпечено розв'язанням необхідних нових наукових задач, з використанням фундаментальних закономірностей будівельної механіки, апробованих методів, способів, методик розрахунку сталевих конструкцій, обґрунтованістю вибору узагальненої розрахункової моделі комбінованих сталевих конструкцій, використанням апробованих аналітичних і чисельних методів вищої математики, а також достовірною збіжністю отриманих теоретичних результатів й експериментальних досліджень. Достовірність отриманих наукових висновків підтверджується добрим співпадінням при співставленні даних розрахунків за новою узагальненою фізико-математичною моделлю комбінованих сталевих конструкцій з результатами інших дослідників.

Основні наукові результати дисертаційної роботи, основні висновки і наукова новизна повністю відповідають темі дисертації, всі поставлені задачі і завдання вирішенні, мета дисертаційної роботи досягнута. Вирішені задачі в повній мірі розкривають вирішення науково-технічної проблеми: **розробка та розвиток основних наукових положень теорії розрахунку та проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій перекриттів і покриттів при регулюванні напружено-деформованого стану із вдосконаленням їх конструктивної форми.**

Практичне значення одержаних результатів. Результати досліджень доведені до практичних методик розрахункового регулювання напружено-деформованого стану комбінованих сталевих конструкцій, із визначенням їх раціональних параметрів. На основі вивчення закономірностей роботи і впливу різноманітних факторів конструювання, виготовлення та експлуатації на деформування комбінованих сталевих конструкцій запропоновані їх нові конструктивні рішення, три з яких захищені патентами України №№ 46983, 48841 і 50014. За результатами аналізу досліджень НДС комбінованих сталевих конструкцій розроблені «Рекомендації з проектування раціональних металевих несучих конструкцій перекриттів та покриттів», 2006 і альбом шпренгельних ферм, 2017. Ефективність, технологічна і економічна доцільність використання комбінованих сталевих конструкцій в об'єктах проектування і будівництва, що реалізовані за участю автора на ряді побудованих об'єктах. Результати роботи

впроваджені у навчальний процес при викладанні спеціальних курсів з металевих конструкцій і технології їх виготовлення для магістрів і спеціалістів, а також використані при підготовці навчального посібника “Проектування раціональних комбінованих металевих конструкцій”.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації та методи досліджень. Всі наукові результати та положення, які містяться в дисертаційній роботі, достатньо науково обґрунтовані, а отримані висновки і наведені рекомендації носять практичний характер та достовірні. Обґрунтованість досліджень, сформульованих у дисертаційній роботі висновків і рекомендацій, обумовлюється обраними загально-апробованими методами досліджень: використанням аналітичних процедурних підходів, системного аналізу, методів математичної статистики, теорії надійності, фундаментальних методів будівельної механіки, розрахунковими положення методики граничних станів будівельних конструкцій.

Наукові положення, висновки та рекомендації підтверджуються апробацією на наукових конференціях і конгресах, а також у публікаціях у фахових виданнях.

Враховуючи вище наведене, слід вважати ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій такою, що відповідає вимогам щодо дисертаційних робіт, представленим на отримання наукового ступеня доктора технічних наук.

Зауваження до змісту дисертації та автореферату дисертації.

1. На стор. 104 (2 розділ), слід було при наведенні прикладів відповідних розрахунків зробити посилання на формулу (2.33).
2. Вплив поздовжніх сил в шпренгельних конструкціях слід було проілюструвати конкретним числовим прикладом, тобто результати розрахунків, наведених у додатку А, розширено проілюструвати у основному тексті розділу 2.
3. В узагальненому алгоритмі розрахункового регулювання НДС раціональних комбінованих сталевих систем бажано було показати, як відбувається корегування висоти конструкції, остаточний вибір висоти і уточнення кутів нахилу шпренгельних елементів, та наскільки екстремум функції витрат сталі на комбіновану систему є пологим. З іншого боку, такі дослідження проведені у четвертому розділі, а для маси зтяжки встановлено пологість екстремума функції витрат сталі при зміні кута нахилу.
4. При використанні критерію рівнонапруженості перерізів балки жорсткості необхідно було дати числову оцінку впливу повздовжнього згину на вибір верхнього поясу раціонального перерізу, тим більше, за алгоритмом таке обмеження враховується.
5. У розділ 5 приведено експериментальні дослідження сталевої балко-ферми комбінованої конструкції, слід було при аналізі результатів досліджень стор. 249, рис. 5.9 вказати на схильність таких конструкцій до певного кососиметричного деформування при симетричному навантаженні.
6. В розділі 6, стор. 297 при прийнятті критерію раціонального проектування комбінованих сталевих конструкцій за мінімальними витратами під час виробництва та будівництва об'єкта «в ділі», слід було навести аналітичну

залежність цільової функції, або якщо ця аналітична залежність відома – надати посилання на літературні джерела.

ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ. ВИСНОВКИ ПРО ВІДПОВІДНІСТЬ ДИСЕРТАЦІЇ ВИМОГАМ ПОРЯДКУ ПРИСУДЖЕННЯ НАУКОВИХ СТУПЕНІВ

1. Представлена дисертація є завершеною науковою працею, в якій вирішено важливу науково-технічну проблему: **розробка та розвиток основних наукових положень теорії розрахунку та проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій перекриттів і покриттів при регулюванні напружено-деформованого стану із вдосконаленням їх конструктивної форми.** Робота актуальна, має наукову новизну, нові наукові результати і практичне значення. Результати роботи достовірні.

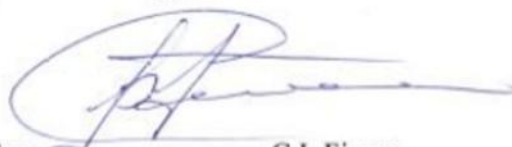
2. Висловлені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи, а лише підкреслюють її багатогранність, складність, узагальнення результатів виконаних досліджень і не знижують загальної оцінки роботи.

3. Автореферат відповідає змісту дисертації і розкриває її основні положення.

Враховуючи висловлене, вважаю, що дисертаційна робота **«Регулювання напружено-деформованого стану комбінованих сталевих конструкцій»**, за рівнем отриманих наукових результатів та змістом, обсягом є закінченою науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані теоретичні, експериментальні й практичні результати, і які в сукупності вирішують важливу науково-технічну проблему: **розробка та розвиток основних наукових положень теорії розрахунку та проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій перекриттів і покриттів при регулюванні напружено-деформованого стану із вдосконаленням їх конструктивної форми,** та відповідає кваліфікаційним вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» МОН України, а її автор, **Гоголь Мирон Васильович**, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – «Будівельні конструкції, будівлі та споруди».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри металевих та
дерев'яних конструкцій КНУБіА України



С.І. Білик

Підпис доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри металевих і дерев'яних конструкцій КНУБіА Білика С.І. підтверджую

Вчений секретар КНУБА
к.т.н., доцент



О.С. Петренко