

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛТАВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА

ГОГОЛЬ МИРОН ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 624.014.2.04(02)

**РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ
КОМБІНОВАНИХ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Полтава - 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант: член - кореспондент НАН України,
доктор технічних наук, професор
Шимановський Олександр Віталійович,
заслужений діяч науки і техніки України,
генеральний директор ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського» (м.Київ)

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Білик Сергій Іванович,
Київський національний університет будівництва і архітектури, завідувач кафедри металевих та дерев'яних конструкцій

доктор технічних наук, професор
Єгоров Євгеній Аркадійович,
ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (м. Дніпро), завідувач кафедри металевих, дерев'яних і пластмасових конструкцій

доктор технічних наук, доцент
Гібаленко Олександр Миколайович,
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (м. Маріуполь), завідувач кафедри будівництва, технічної експлуатації і реконструкції

Захист дисертації відбудеться « 02 » липня 2019 р. о 11³⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 44.052.02 при Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка за адресою: 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, ауд. 218.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка за адресою: 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24 та на сайті <https://pntu.edu.ua>.

Автореферат розісланий « 31 » травня 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 44.052.02

Т. А. Галінська

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сьогодні провідним напрямком ефективного металобудівництва є використання легких сталевих конструкцій в перекриттях і покриттях промислового, цивільного і сільськогосподарського призначення. Одним із шляхів підвищення ефективності і економічності сталевих будівельних конструкцій покриттів і перекриттів є розробка нових, більш раціональних (з низькими матеріаломісткістю і трудомісткістю виготовлення) конструктивних форм за рахунок концентрації матеріалу, малоелементності, вдосконалення методів розрахунку, вибору розрахункових моделей з врахуванням геометричної і фізичної нелінійностей системи і використання попереднього напруження.

Останнім часом проектувальники через певні технологічні складності все частіше відмовляються від попереднього напруження шляхом заміни його розрахунковим перерозподілом зусиль і регулюванням напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій, ідея якого полягає в забезпеченні заздалегідь вибраного раціонального розподілу зусиль в елементах шляхом адаптації параметрів конструкції до визначеного кінцевого результату. Насамперед йдеться про варіювання геометричних і жорсткісних характеристик перерізів елементів, геометричних і топологічних характеристик систем і параметрів граничних умов. Такі прийоми дозволяють зменшувати розрахункові зусилля в одних елементах (перерізах) конструкції за рахунок збільшення зусиль в інших елементах (перерізах) і проектувати рівнонапружені конструкції, як найбільш раціональні системи. Поставленій проблемі найбільшою мірою відповідають комбіновані (шпренгельні, вантові, висячі) конструкції покриттів і перекриттів, основним робочим елементом яких є балка жорсткості, від металоємкості якої значною мірою залежать техніко-економічні показники усієї системи. Саме умови проектування балки жорсткості надають можливість регулювання зусиль у всій системі.

Розкриття потенціалу регулювання, який є характерним для таких комбінованих систем шляхом раціонального формування НДС в перерізах конструкції вже на стадії проектування забезпечить якісно більш високий їх рівень і створює підстави для розроблення наукових основ одержання конструкцій нової генерації.

Отже, актуальність даної роботи полягає у розробленні теоретичних основ розрахунку і проектування раціональних (з високими техніко-економічними показниками) комбінованих сталевих конструкцій покриттів і перекриттів, що є важливою науково-технічною проблемою в галузі будівництва.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконана робота є одним із етапів досліджень, що проводяться інститутом будівництва та інженерії довікля 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), де автор був відповідальним виконавцем. 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 виконувались за дорученням Міністерства освіти і науки України. Авторський внесок - розробка основ теорії раціонального проектування.

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

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні **наукові задачі**.

1. Визначити та науково обґрунтувати основні напрямки удосконалення комбінованих сталевих конструкцій покриттів і перекриттів та доцільність використання розрахункового методу регулювання їх НДС.

2. Узагальнити та розвинути метод розрахунку комбінованих систем на основі енерговаріаційних принципів з врахуванням деформованого стану балки жорсткості: запропонувати єдину розрахункову модель комбінованих систем; розробити узагальнену розрахункову і математичну моделі комбінованих конструкцій з врахуванням деформованої схеми.

3. На основі удосконаленого методу розрахунку комбінованих систем розробити розрахунковий метод і алгоритм регулювання НДС комбінованих конструкцій.

4. Розробити теорію розрахунку нерозрізної балки жорсткості комбінованої ферми під час роботи в області обмежених пластичних деформацій.

5. Виконати дослідження параметрів комбінованих сталевих систем з розрахунковим регулюванням НДС.

6. Провести комплексні експериментальні дослідження комбінованих сталевих і металодерев'яних конструкцій з розрахунковим регулюванням НДС.

7. Провести числові і експериментальні дослідження балок на нахилених опорах, які створюють розвантажуючі опорні моменти.

8. Розробити узагальнену методика проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій і на цій підставі запропонувати нові конструктивні рішення.

9. Впровадити результати досліджень при проектуванні реальних об'єктів, розробити рекомендації з проектування сталевих комбінованих конструкцій і проаналізувати економічну ефективність.

Об'єкт досліджень. Комбіновані сталеві стержневі несучі конструкції покриттів і перекриттів, які працюють на статичні навантаження.

Предмет досліджень. Метод розрахункового регулювання НДС і проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій покриттів і перекриттів.

Методи дослідження: методи будівельної механіки і теорії надійності сталевих конструкцій; методи вибору раціональних конструктивних форм; стандартні методики випробування сталевих конструкцій.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що вперше:

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 сформувати 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 і 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 і вантових систем тощо, в якості конструктивних елементів яких застосовані балки, стержні та ванти.

Практичне значення одержаних результатів. Результати досліджень

доведені до практичних методик розрахункового регулювання НДС, визначенні раціональних параметрів, розрахунку і проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій.

1. Розроблений метод розрахункового регулювання НДС і узагальнена методика проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій відкрила широкі можливості для відновлення масового застосування ефективних комбінованих конструкцій і розширення області їх використання.

2. Запропонована модель, удосконалений метод розрахунку комбінованих конструкцій з врахуванням деформованого стану балки жорсткості і створений єдиний алгоритм дозволили вирішити актуальну науково-технічну проблему зниження витрат сталі при виготовленні несучих комбінованих конструкцій покриттів і перекриттів, системно підвищувати їх ефективність, міцність і надійність, що дозволяє проектувати економічні конструкції.

3. Сформульована і обґрунтована методика розрахунку раціональних геометричних параметрів, критерії раціональності (мінімум потенціальної енергії деформації), вимоги до НДС і принципи формоутворення дозволили одержати рівномірні конструкції, тобто найбільш раціональні системи.

4. На основі вивчення закономірностей роботи і впливу різноманітних факторів конструювання, виготовлення та експлуатації на комбіновані сталеві конструкції запропоновані їх нові конструктивні рішення, три з яких захищені патентами України №№ 46983, 48841 і 50014.

5. За результатами аналізу досліджень НДС комбінованих сталевих конструкцій розроблені “Рекомендації з проектування раціональних металевих несучих конструкцій перекриттів та покриттів”, 2006 і альбом “Шпренгельні ферми”, 2017.

6. Ефективність, технологічна і економічна доцільність використання комбінованих сталевих конструкцій в об’єктах проектування і будівництва, що реалізовані за участю автора в спорудах: при будівництві цеху бетонних виробів ТзОВ “Магік”, с. Милятичі, Пустомитівський район, Львівська область; в 5-ти зірковому санаторно-готельному комплексу Royal Hotels & SPA Resort, корпус “Женева” в м. Трускавець Львівської області (2007 р.); при будівництві бізнес-центру “Лемберг” (2007 р.); на Львівському заводі експериментальних механічних випробувань у 2004 р.; на заводі Карпатська кераміка, м. Калуш, Івано-Франківська обл., 2011 р.; фізкультурно-оздоровчого комплексу, вул. Зубрівська, м. Львів, 2012 р.; при проектуванні реконструкції надземного переходу нафтопроводу і газопроводу через р.Стрий на Стинівській ділянці Стрийського р-ну, 2010 р. та інші, підтверджені техніко-економічними розрахунками.

7. 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”.

Достовірність результатів роботи забезпечується обґрунтованістю узагальненої розрахункової моделі комбінованих сталевих конструкцій і постановки задачі, використанням апробованих аналітичних і чисельних методів вищої математики та будівельної механіки, а також задовільною збіжністю отриманих теоретичних результатів і експериментальних досліджень.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану проблеми, науковому обґрунтуванні та формулюванні мети, завдань, основних напрямків дисертаційних досліджень. Наукові положення дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримані здобувачем особисто і викладені в індивідуальних публікаціях [1, 4, 5-8, 10, 16-18, 20-22, 26, 27, 30, 32-38, 62, 63], в яких власне автору належить: 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; основні критерії і принципи формоутворення нових типів раціональних комбінованих конструкцій. В публікаціях у співавторстві [11-14, 54, 58] здобувачу належить участь у проведенні випробувань, оброблення та аналіз одержаних результатів; у працях [2, 3, 19, 23-25, 28-31] - в огляді сучасного стану проблеми, у аналізі конструктивних рішень комбінованих систем, розробленні математичної основи і розрахункового методу регулювання; у роботах [9, 27] - у дослідженні раціональних параметрів комбінованих конструкцій; у публікаціях [15, 47, 50-55, 57] – у розробленні аналітичних залежностей, які визначають НДС комбінованих систем; у працях [48, 49, 56, 59-61, 64, 65] - розробка методики проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій; у працях і патентах [40-46] - розробка нових конструктивних форм комбінованих конструкцій.

Дисертація не містить матеріалів кандидатської дисертаційної роботи.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати досліджень були представлені на конференціях та семінарах: Problemy budownictwa i inzynierij srodowiska (Rzeszow, Poland, 1995); Современные проблемы совершенствования и развития металлических, деревянных, пластмассовых конструкций в строительстве и на транспорте (Самара, 2002); Міжнародному семінарі «Прогнозирование в материаловедении» (Одеса, 2002); Міжнародній конференції «Захист від корозії і моніторинг залишкового ресурсу промислових будівель, споруд та інженерних мереж» (Донецьк, 2003); VII, X International Scientific Conference of Faculty of civil engineering (Kosice, Slovakia, 2002, 2005); Міжнародних науково-технічних конференціях «Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення» (Київ, 2004, 2006); V Міжнародній науково-технічній конференції «Будівельні металеві конструкції: сьогодення та перспективи розвитку» (Київ, 2006); Міжнародній науково-технічній конференції «Наука и инновации в современном строительстве – 2007» (Санкт-Петербург, 2007); VII, VIII і IX Українських республіканських конференціях з металевих конструкцій (м. Дніпропетровськ, 2000, Київ, 2004, 2008); Міжнародній науково-практичній конференції «Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології» (Макіївка, 2009); науково-технічній конференції «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика» (Дніпропетровськ, 2012); Міжнародній українсько-польській науково-технічній конференції «Металеві конструкції просторових спортивних споруд» (Київ, 2012); V, IX, XII, XV International scientific conference “Current issues of civil and environmental engineering Rzechów – Lviv – Kosice” (Rzeszów, Poland, 2000, 2004,

2009, 2015); International Conference «BUILDING INNOVATIONS – 2018» (Baku, Azerbaijan, May 24-25, 2018); I International Scientific and Practical Conference «TECHNOLOGY, ENGINEERING AND SCIENCE – 2018» (London, 2018) та 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 симпозиумі „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, Vaz Tech, ResearchBib), 3 патенти, 20 публікацій апробаційного характеру, альбом шпренгельних ферм.

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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, що вирішується у дисертаційній роботі, визначені мета, основні задачі досліджень та шляхи їх розв'язання. Наведено наукову новизну та практичне значення. Вказані зв'язок роботи з науковими програмами, відомості про апробацію, публікації, структуру і обсяг дисертації.

Перший розділ присвячено огляду і аналізу наукових праць з проблеми раціонального проектування комбінованих сталевих конструкцій, вивченню світового досвіду. У ньому розглянуто стан і перспективи застосування регулювання НДС сталевих конструкцій. Надано аналіз розвитку конструктивних форм і методів розрахунку комбінованих сталевих конструкцій. Показано, що такі конструкції є найперспективнішими і в них криється великий потенціал, але на сьогодні масового використання вони не знайшли. Відмічено, що для підвищення їх ефективності, індустріальності і конкурентності необхідно забезпечити відповідний, сучасний рівень їхнього проектування.

Дослідження критеріїв під час вибору ефективної конструктивної форми, що завжди нерозривно пов'язано з різними методами регулювання НДС сталевих конструкцій, одержало подальший розвиток в роботах. В Україні: Баженова В. А., Бабича Є. М., Білика С. І., Большакова В. И., Ватулі Г. Л., Гібаленка О. М.,

Голоднова О.І., Гордєєва В.М., Городецького О.С., Давиденка О.І., Демчини Б.Г., Єгорова Є.А., Ермоленка Д.А., Клименка Є.В., Лапенка О.І., Павлікова А.М., Перельмутера А. В., Пермькова В.О., Пічугіна С.Ф., Савицького М.В., Семка О.В., Семка В.О., Стороженка Л.І., Стоянова В. В., Трофимовича В.В., Шебаніна В.С., Шимановського В.М., Шимановського О.В., Шмуклера В.С. та інших.

В інших країнах у цьому напрямі проводили дослідження: Абовский Н. П., Aparicio A.C., Armand Fürst, Беленя Є. І., Biegus A., Brodka J., Гайдаров Ю.В., Goremikins Vadims, Гребенюк Г.И., Єгоров В.В., Єремєєв П.Г., Забродін М.П., Ferjencik P., Ishii Kazuo, Janušaitis Rolandas, Juozapaitis Algirdas, Kelso R., Kus S., Коробко В.И., Корсун Н.Д., Кравчук В.А., Lubinski M., Maslowski E., Madrazo-Aguirre Fernando, Мельников Н.П., Москалев Н.С., Муханов К.К., Morel J., Reddy J., Rosens Karlis, Ruiz-Teran A.M., Стрелецький Н. С., Williamg A., Tochcek M., та інші.

Принципи формування розрахункових моделей, що адекватно враховують умови роботи будівельних конструкцій присвячені праці: Бамбури А.М., Барашнікова А.Я., Бліхарського З.Я., Володимирського В.О., Гнідця Б.Г., Дорофєєва В.С., Карпюка В.М., Кваші В.Г., Корольова В.П., Кулябко В.В., Лавриненко Л.І., Лучко Й.Й., Михайлова В.В., Налепи О.І., Немчинова Ю.І., Нілова О.О., Оглоблі О.І., Пашинського В.А., Погрібного Я.Ф., Шагіна О.Л., Юрєєва А.Г., Юрченко В.В., Яременко О.Ф.

Аналіз сучасних тенденцій в регулюванні НДС сталевих конструкцій силовими способами, які висвітлено в працях Більського М.Р., Бірюльова В.В., Гайдарова Ю. В., Єгорова В. В., Забродина М. П., Іваніка І. Г., Ізбаша М.Ю., Кваші В.Г., Лашенка М.Н., Лозового Ю.І., Пелешко І.Д., Поповича Б.С., Романюка В. В., Сперанського Б. А., та інших, дозволяє зробити висновок про можливість підвищення ефективності і економічності сталевих комбінованих конструкцій вже на стадії проектування шляхом виключення ускладнень технології попереднього напруження, виготовлення конструкцій, витрат на експлуатацію, які привели до суттєвого обмеження їх використання і рівень застосування знизився майже до нуля.

Проаналізовано і узагальнено методи і способи регулювання НДС, які розділено на дві основні групи:

перша - **силові способи регулювання НДС** в процесі виготовлення, монтажу або експлуатації;

друга - **розрахункові методи регулювання НДС** в процесі проектування.

В першу групу входять такі способи: попереднього напруження зтяжками; початкового деформування конструкцій; зміна статичної схеми.

З метою підвищення ефективності і економічності та конкурентоспроможності сталевих конструкцій з досягненням аналогічної ефективності як від попереднього напруження, але без додаткових витрат праці та енергоресурсів, **пропонується альтернатива** - заміна попереднього напруження розрахунковим перерозподілом зусиль (регулюванням) на стадії проектування.

Встановлено, що найбільші резерви регулювання НДС і удосконалення конструктивних форм приховані в комбінованих конструкціях, розкриття яких шляхом раціонального формування НДС в перерізах конструкції вже на стадії проектування значно підвищить їх ефективність і економічність.

Аналіз літературних джерел показав, що в спеціальній літературі недостатньо висвітлено проблему їх раціонального проектування, а також відсутні дослідження щодо розрахункового регулювання НДС за винятком окремих елементів, які не дають повної картини, а наявний досвід її вирішення недостатньо узагальнений.

Для підвищення ефективності і економічності сталевих комбінованих конструкцій і розширення областей їх використання висувається **наукова гіпотеза** про можливість досягнення рівнонапруженого стану в балці жорсткості тільки за рахунок розрахункового раціонального підбору жорсткості пружних опор, які моделюють систему підкріплення.

З розвитком цієї гіпотези було розроблено **розрахунковий метод регулювання НДС** комбінованих конструкцій (друга група), де вперше систематизовано відомі розрахункові методики НДС.

Обґрунтовано шляхи підвищення ефективності комбінованих конструкцій і переваги розрахункового методу регулювання НДС: малоелементність, концентрація основної маси системи в балці жорсткості, відсутність зовнішньої розпірності, врахування деформованого стану балки жорсткості на основі енерговаріаційного методу Лагранжа, виключення силових способів, забезпечення рівнонапруженого стану балки жорсткості тільки раціональним підбором жорсткостей елементів системи.

Раціональною вважається конструкція, яка має мінімальну масу, технологічність і мінімальну трудомісткість її виготовлення. Мінімальні витрати матеріалів, праці і часу визначають поняття технологічності конструкції. Доведення комбінованих сталевих конструкцій до стадії легких і раціональних дозволить використати існуючу будівельну базу і забезпечить високі техніко-економічні показники їх застосування. Пропонується класифікація раціональних сталевих комбінованих конструкцій (рис. 1).

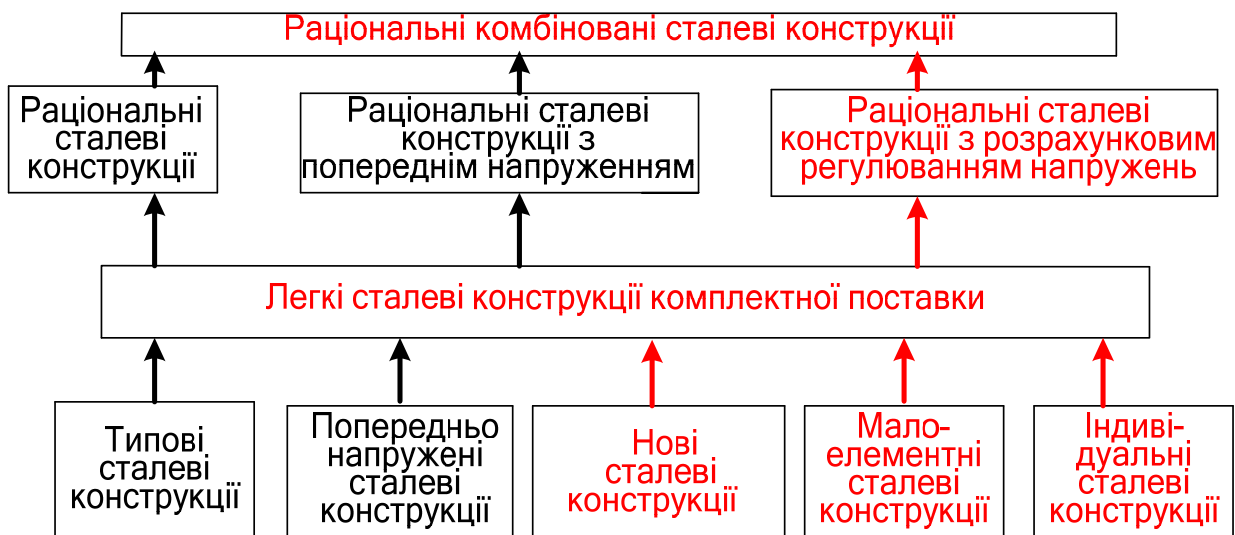
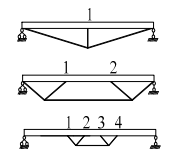
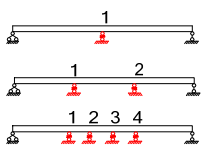
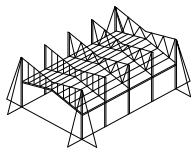
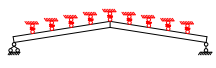
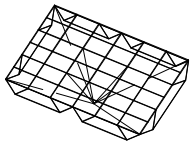
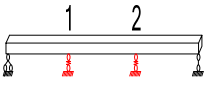
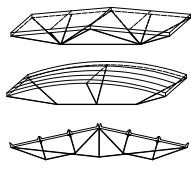
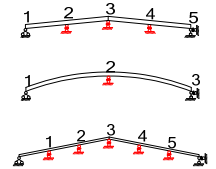
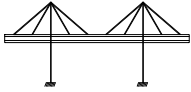
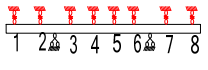
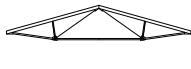
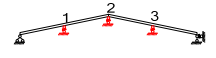
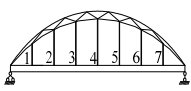
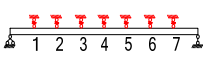
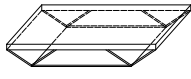
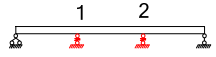
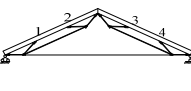
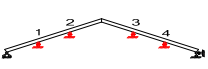
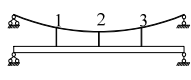
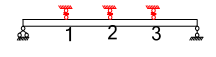


Рисунок 1 - Класифікація раціональних комбінованих сталевих конструкцій

Виділено широкий клас комбінованих сталевих конструкцій масового практичного застосування в яких доцільно регулювати НДС розрахунковим методом і які мають таку спільну властивість, що їх розрахункову схему балки жорсткості можна моделювати балкою на пружних опорах (табл. 1).

В кінці розділу визначені напрямки їх подальшого удосконалення шляхом розроблення методів розрахунку з врахуванням деформованої схеми і раціональних конструктивних форм та регулювання НДС розрахунковим методом на стадії проектування.

Таблиця 1 - Комбіновані конструкції для раціонального проектування

| № п/п | Назва системи | Конструктивна схема | Розрахункова схема балки жорсткості | № п/п | Назва системи | Конструктивна схема | Розрахункова схема балки жорсткості |
|-------|----------------------------|---|---|-------|-------------------------------------|---|---|
| 1 | Шпренгельні системи |  |  | 6 | Підвісні вантові покриття |  |  |
| 2 | Перехресні сталеві системи |  |  | 7 | Панельно-шпренгельні системи |  |  |
| 3 | Вантові системи |  |  | 8 | Системи з сталобетонними елементами |  |  |
| 4 | Підвісні покриття |  |  | 9 | Блок ферми |  |  |
| 5 | Системи с/г будівель |  |  | 10 | Системи з жорсткими вантами |  |  |

За результатами виконаного аналізу і для реалізації наукової гіпотези сформульовані мета, основні задачі досліджень, які спрямовані на вирішення актуальної науково-технічної проблеми.

У другому розділі наведено обґрунтування нового підходу для розрахунку комбінованих систем з врахуванням їх деформованої схеми. Удосконалено на основі енерговаріаційного принципу Лагранжа **узагальнений метод розрахунку комбінованих конструкцій з врахуванням їх деформованого стану.**

Вперше запропоновано єдину розрахункову модель комбінованих систем у вигляді балки на пружних опорах, в якій балка моделює балку жорсткості, а пружні опори – систему підкріплення (рис. 2). Для пружних опор запропоновано використовувати модель основи Вінклера-Фусса, за якою реакція пружної основи “ R ” пропорційна величині її осідання “ Δ ”

$$R = k_i \Delta_i \quad (i = \overline{1, m}), \quad (1)$$

де k_i – коефіцієнт жорсткості пружної опори “ i ”.

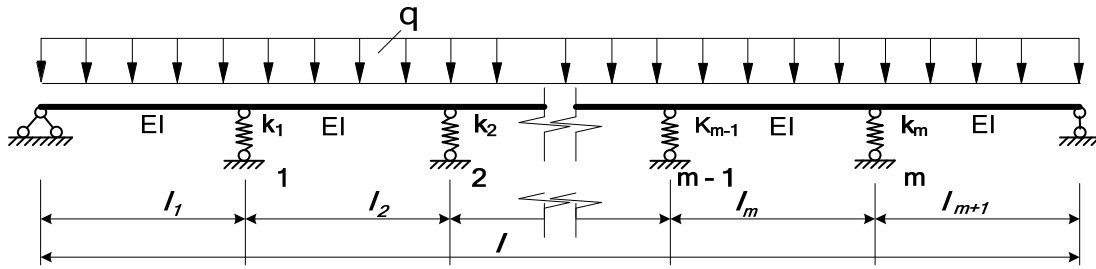


Рисунок 2 - Схема узагальненої розрахункової моделі

Розроблено фізичну та узагальнену математичну модель для розрахунку балки жорсткості з врахуванням її деформованого стану, придатну для розрахунку всіх можливих типів балки жорсткості.

За допомогою декомпозиції комбіновану систему розділено на дві підсистеми – балку жорсткості на проміжних пружних опорах і підтримувальну підсистему, деформації якої відповідають осіданню пружних опор.

Запропоновано енерговаріаційний метод поетапного розв’язання узагальненої математичної моделі балки жорсткості за допомогою принципу Лагранжа, суть якого є в наступному.

Обпираючись на класичні теоретичні передумови для запису математичної моделі узагальненої задачі розрахунку комбінованих конструкцій використано енергетичні принципи будівельної механіки. Тоді повна потенційна енергія “ E_p ” системи запишеться

$$E_p = U + P_e = \int_0^l \left(\frac{1}{2} EJ_x \left(\frac{d^2 v_x}{dx^2} \right)^2 - v_x q \right) dx + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{m-1} K_i V_i^2 \quad (2)$$

де: v_x - функція прогинів вздовж балки у всіх її точках; E - модуль деформації матеріалу балки; K_i - коефіцієнт жорсткості пружної опори “ i ”; I_x - момент інерції перерізу балки; V_i - величина осідання пружної опори “ i ”.

Це рівняння здатне описати деформований стан узагальненої розрахункової моделі при будь-яких значеннях “ q ” та “ K_i ” ($i = \overline{1, m}$).

За енерговаріаційним принципом Лагранжа деформований стан системи буде дійсним тоді, коли нескінченно мала зміна функцій v_x – її варіація δv_x – дасть нескінченно малу зміну повної енергії системи $\delta \varepsilon$. Цей принцип за умови рівноваги системи записано так

$$\delta \varepsilon (v_x) = 0. \quad (3)$$

Рівняння (2) і (3) є математичною моделлю для узагальненої розрахункової моделі, що на рис. 3.

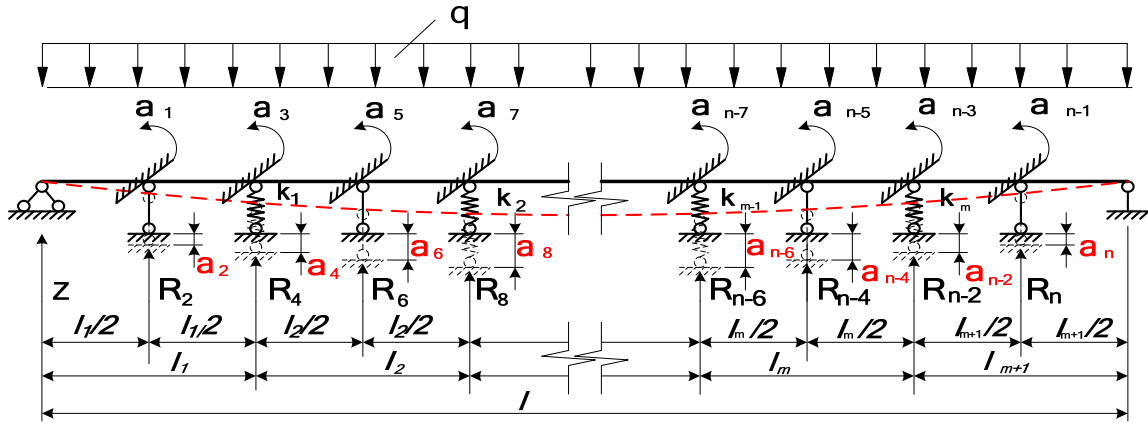


Рисунок 3 - Перетворена розрахункова модель

Енерговаріаційний метод розв'язування математичної моделі. Вибрано випадок стійкої рівноваги, що відповідає мінімуму потенційної енергії системи, тобто

$$\delta\varepsilon = 0; \delta^2\varepsilon > 0 \Rightarrow \varepsilon = \varepsilon_{min}.$$

Для цього невідому функцію v_x задавали скінченним рядом

$$v_x = \sum_{i=1}^n \varphi_i a_{\varphi_i}, \quad (4)$$

де φ_i - задані функції, що задовольняють граничні та краєві умови що на рис. 2;

a_{φ_i} - невідомі числа, завдяки яким ряд (4) задовільняє функцію v_x .

Кожний член ряду (4), було подано як функцію $\bar{\varphi}_i (i = \overline{1, n})$ при $a_{\varphi_i} = 1$, помножену на інше число таке, щоб

$$\varphi_i a_{\varphi_i} = \bar{\varphi}_i a_i, \quad (i = \overline{1, n}). \quad (5)$$

Наклавши на розрахункову модель (рис. 2) зв'язки, як показано на рис. 3, замість ряду (5), було одержано ряд

$$v_x = \sum_{i=1}^n \bar{\varphi}_i a_i. \quad (6)$$

На основі класичного методу переміщень, задаючись за принципом суперпозиції одиничними значеннями чисел $a_i (i = \overline{1, n})$, отримано функції $\bar{\varphi}_i (i = \overline{1, n})$, які апроксимують функцію v_x і мають неперервні перші похідні.

Після підстановки апроксимованої рядом (5) функцію v_x у формулу (1) отримано величину "ε" у вигляді функції

$$\varepsilon = \varepsilon (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, P). \quad (7)$$

На підставі законів варіаційного числення умову (4) представлено у вигляді

$$\delta\varepsilon = \frac{\partial\varepsilon}{\partial a_1} \delta a_1 + \frac{\partial\varepsilon}{\partial a_2} \delta a_2 + \dots + \frac{\partial\varepsilon}{\partial a_n} \delta a_n = 0 \quad (8)$$

При довільних і незалежних варіаціях $\delta a_i (i = \overline{1, n})$ рівняння (8) може бути витримане лише за умови

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial a_1} &= \frac{\partial U}{\partial a_1} + \frac{\partial P_e}{\partial a_1} = 0 \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial a_2} &= \frac{\partial U}{\partial a_2} + \frac{\partial P_e}{\partial a_2} = 0 \\ \dots & \dots \dots \dots \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial a_n} &= \frac{\partial U}{\partial a_n} + \frac{\partial P_e}{\partial a_n} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Із системи рівнянь (9) визначено всі невідомі параметри a_i ($i = \overline{1, n}$) Потенційна енергія деформації “ U ” вимірюється, як відомо, роботою “ A ”, яка виконується при переведенні системи із деформованого стану у початковий, недеформований, тобто

$$U = A = \frac{1}{2}(N_1\Delta_1 + N_2\Delta_2 + \dots + N_n\Delta_n) = \frac{1}{2}[N_1 \ N_2 \ \dots \ N_n] \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta_n \end{bmatrix} = \frac{1}{2}(\vec{N})^T \vec{\Delta} = \frac{1}{2}(\vec{\Delta})^T \vec{N}, \quad (10)$$

де N_i – відповідно узагальнені сили, прикладені до системи у точках i та Δ_i – відповідні переміщення цих точок.

Розрахунок деформованого стану балки жорсткості. Якщо на точки “ i ” балки жорсткості накласти відповідні зв’язки, то, використавши принципи суперпозиції, одержали

$$U = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n r_{ij} \Delta_j \right) \Delta_i. \quad (11)$$

Для однорідного поля зовнішніх консервативних сил (а таким є наше навантаження q) потенціал “ P_e ” залежить від Δ_i ($i = \overline{1, n}$) лінійно

$$P_e = - \sum_{i=1}^n N_i \Delta_i, \quad (12)$$

де $N_i = q dx$ – елементарні зовнішні сили від рівнорозподіленого навантаження, що діють на переміщеннях Δ_i ($i = \overline{1, n}$).

Тоді для дискретної лінійної системи із “ n ” незалежними узагальненими переміщеннями Δ_i ($i = \overline{1, n}$) повна енергія системи дорівнює

$$E_{\Pi} = U + P_e = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n r_{ij} \Delta_j \right) \Delta_i - \sum_{i=1}^n N_i \Delta_i. \quad (13)$$

У нашій задачі функція переміщень v_x задана рядом (3) у якому $\bar{\varphi}_i$ ($i = \overline{1, n}$) є задані нами функції переміщень, а невідомі a_i ($i = \overline{1, n}$) трактували як переміщення Δ_i ($i = \overline{1, n}$). Тоді

$$\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n r_{ij} a_j + R_{iq} \right) = 0, \quad (14)$$

де активні сили $N_i (i = \overline{1, n})$ заміщені відповідними реактивними $R_i (i = \overline{1, n})$ з відповідною зміною знаку “мінус” на “плюс”.

Різниця між запропонованим і класичним методом полягає у тому, що у значення відповідних реактивних зусиль $r_{ii} (i = 4, 8, 12, \dots, n-2)$ додаються значення коефіцієнтів Вінклера-Фусса - k_{κ} , тобто коефіцієнт жорсткості пружної опори “ κ ”.

Реактивне зусилля з врахуванням пружності опори у накладеному зв’язку буде

$$r_{ii} = 96EI_{\kappa} / l_{\kappa}^3 + 96EI_{\kappa+1} / l_{\kappa+1}^3 + k_{\kappa}. \quad (15)$$

Синтез системи і визначення її напружено-деформованого стану. За реактивними зусиллями у зв’язках системи знаходили невідомі параметри $a_i (i = \overline{1, n})$. Отже, у матричній формі рівняння (14) має вигляд

$$R \vec{A} + \vec{R}_q = 0, \quad (16)$$

де: R – кодіагональна матриця елементів $r_{ij} (i, j = \overline{1, n})$ від одиничних переміщень $a_i (i = \overline{1, n})$; \vec{A} – вектор невідомих переміщень $a_i (i = \overline{1, n})$; \vec{R}_q – вектор від навантаження $R_{iq} (i = \overline{1, n})$ від навантаження „ q ”.

Розв’язок рівняння (16) є наступним

$$\vec{A} = -R^{-1} \vec{R}_q, \quad (17)$$

де вектор \vec{A} дає деформативний стан балки жорсткості. За значеннями a_i і a_j знаходимо реакції \vec{R}_j пружних опор за формулою Вінклера-Фусса

$$R_j = k_i a_j (i = 1, 2; j = 4, 8), \quad (18)$$

а по значеннях \vec{R}_j знаходимо нормальні сили в елементах системи. Моменти у балці жорсткості знаходимо за формулою

$$M_i = M_{iq}^o + \sum_{j=1}^n \overline{M}_{ij} a_j \quad (i = \overline{1, s}); \quad (19)$$

де \overline{M}_{ij} - значення одиничного моменту від переміщення \overline{a}_i у перерізі „ j ”, s – кількість перерізів у балці, в яких визначаємо значення M .

В удосконаленому методі розрахунку комбінованих систем з врахуванням деформованого стану балки жорсткості **на відміну від традиційної методики: спочатку визначали прогини** (по формулі 17), **а на їх основі – зусилля** (по формулам 18, 19), тобто змогли одержати деформований стан балки, ще не знаючи зусиль у ній.

Проведена перевірка точності розрахунку комбінованих систем з врахуванням деформованого стану балки жорсткості на прикладі однопрогонової балки, де одержано такі самі функціональні залежності як і за класичним методом.

Оцінено вплив деформованого стану балки жорсткості на розподіл зусиль в

системі: розрахункове регулювання НДС і врахування деформованого стану балки жорсткості в одностояковій шпренгельній системі дало змогу не тільки зменшити опорні моменти, але і нормальні зусилля, що призвело до зменшення загальної маси системи до 15%.

Виконано зіставлення результатів розрахунку малоелементної ферми запропонованим методом і програмними комплексами “Міраж” і “SCAD”, які показали, що різниця одержаних результатів не перевищує 1%.

Показано, що розроблену розрахункову модель нерозрізної балки на проміжних пружних опорах можна застосувати також для розрахунку однопрогонової шарнірно опертої балки, багатопрогонової нерозрізної балки на жорстких опорах, балок на пружній основі за моделлю Вінклера-Фусса, на жорсткій основі, з опорними стояками і нахиленою опорою.

В третьому розділі розглянуто регулювання НДС в комбінованих конструкціях. Показано, що розрахунок кожного виду таких конструкцій відомими методами дає нерівномірний напружений стан вздовж основного елемента – балки жорсткості, який полягає у істотній різниці між опорними і прольотними моментами. Це спричиняє те, що відомі комбіновані конструкції не завжди раціональні і економічні.

Сформульовано задачу регулювання НДС в комбінованих сталевих конструкціях, суть якої полягає в тому, що за заданої топології комбінованих конструкцій, умов закріплення на опорах і зовнішніх навантажень необхідно визначити параметри геометричної схеми конструкції, розподіл внутрішніх зусиль без їх силового регулювання і розміри поперечних перерізів елементів системи за умови досягнення нею мінімальної вартості і дотримання заданих експлуатаційних вимог.

Відзначено, що ефективність роботи балки жорсткості комбінованих систем залежить від схеми розміщення підтримувальних елементів, характеру їх приєднання до балки і величини впливу цих елементів на деформації балки.

Розроблено розрахунковий метод регулювання НДС, який базується на удосконаленому узагальненому методі розрахунку комбінованих сталевих конструкцій, тобто синтезовано розрахунок самої конструкції із процесом регулювання її НДС. Це дає можливість саме на стадії проектування знайти раціональні і форму конструкції, і розподіл внутрішніх зусиль в ній відповідно до схеми прикладання зовнішнього навантаження при мінімальних затратах матеріалу. Розрахункове регулювання НДС у балці жорсткості зводиться до одержання рівнонапруженого стану в розрахункових перерізах.

Суть його полягає в раціональному виборі топології конструкцій, характеру закріплень на опорах, розрахунку її геометричних параметрів і жорсткісних характеристик стержневих елементів. У разі збільшення зовнішнього навантаження в ній відбувається раціональний розподіл внутрішніх зусиль між елементами з одержанням НДС, аналогічного як від дії попереднього напруження.

Розрахунковий метод регулювання НДС комбінованих конструкцій полягає в наступному (рис. 4): спочатку на основі методу декомпозиції системи, розділяти систему на дві підсистеми – головну, балку жорсткості на пружних опорах, які моделюють систему підкріплення і допоміжну, конструкцію шпренгеля чи ванта.

Пружними опорами вважали елементи (вертикальні і похилі) комбінованої конструкції (системи). Для розрахунку використовували енерговаріаційні принципи, зокрема принцип Лагранжа. Критерієм раціональності виступав енергетичний критерій раціонального проектування, а також вимоги до НДС: рівнонапруженість, рівномоментність, максимальна жорсткість, або мінімальна маса конструкції.

Регулювання НДС комбінованих конструкцій за поданим методом проводили у два етапи (рис. 4). На відміну від традиційних методів, спочатку визначено деформований стан балки, який потім враховували, визначаючи зусилля у всій системі. На першому етапі розглядали тільки балку жорсткості з урахуванням усіх впливів, що діють на неї. Виконували регулювання згинальних моментів у балці жорсткості в результаті розрахунку цієї балки як балки на проміжних пружних опорах на основі розв'язку матричного рівняння та визначення згинальних моментів.

Регулювання НДС в комбінованій системі складається з двох умов – це регулювання напружень і вертикальних переміщень пружних опор. Першою умовою здійснення регулювання НДС є досягнення рівноміцності в розрахункових перерізах (рівності напружень), при цьому $\sigma_i \leq R_y$, $f_i \leq [f]$. Другою умовою здійснення регулювання НДС системи є досягнення рівності деформацій – вертикальних переміщень балки жорсткості в точці пружної опори - a_1 при розрахунку його в системі нерозрізної балки і вертикальних переміщень балки жорсткості в тій же точці пружної опори – f , при розрахунку його (після синтезу конструкції) в об'єднаній системі.

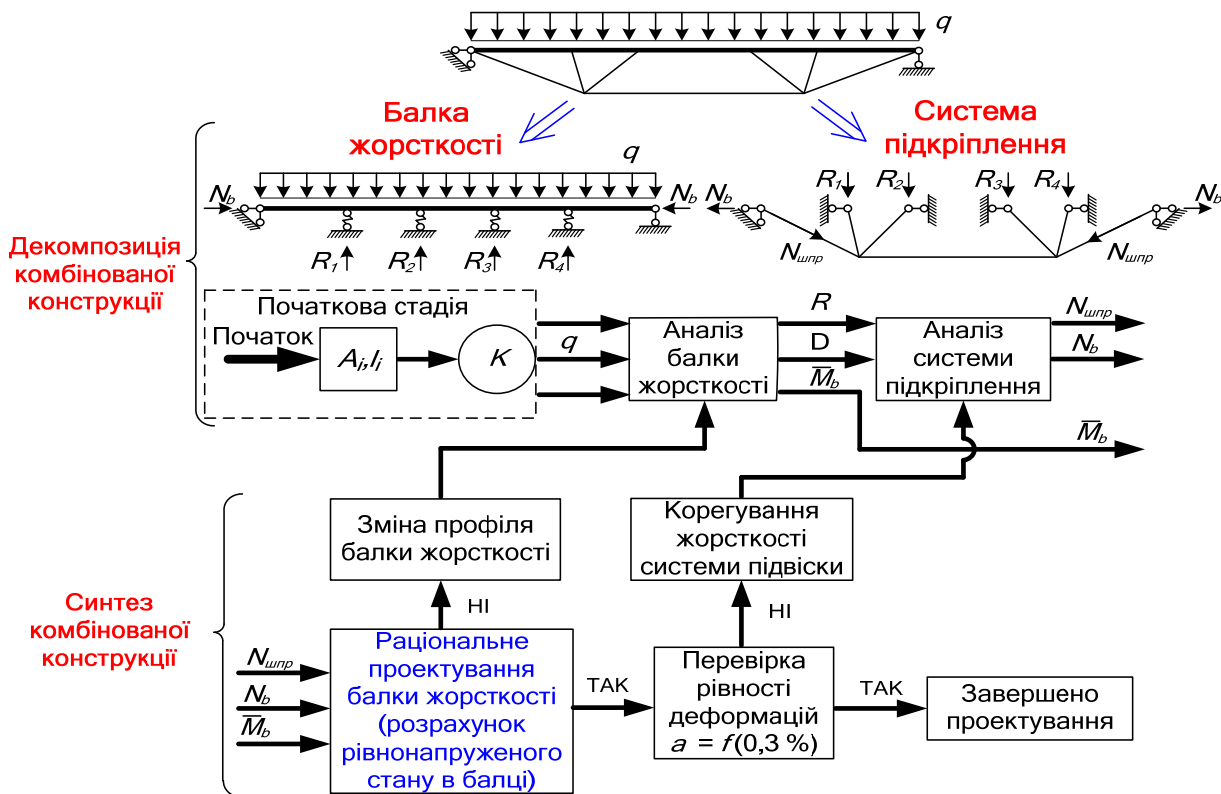


Рисунок 4 - Схема математичної моделі ітераційного процесу проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій

Розроблено алгоритм і програмне забезпечення розрахункового регулювання НДС в балці жорсткості комбінованих сталевих конструкцій з досягненням рівнонапруженого стану в розрахункових перерізах. Далі, використавши синтез системи, розраховували нормальні зусилля в усій системі. Розроблено також узагальнений алгоритм розрахункового регулювання НДС раціональних комбінованих сталевих систем (рис. 5).

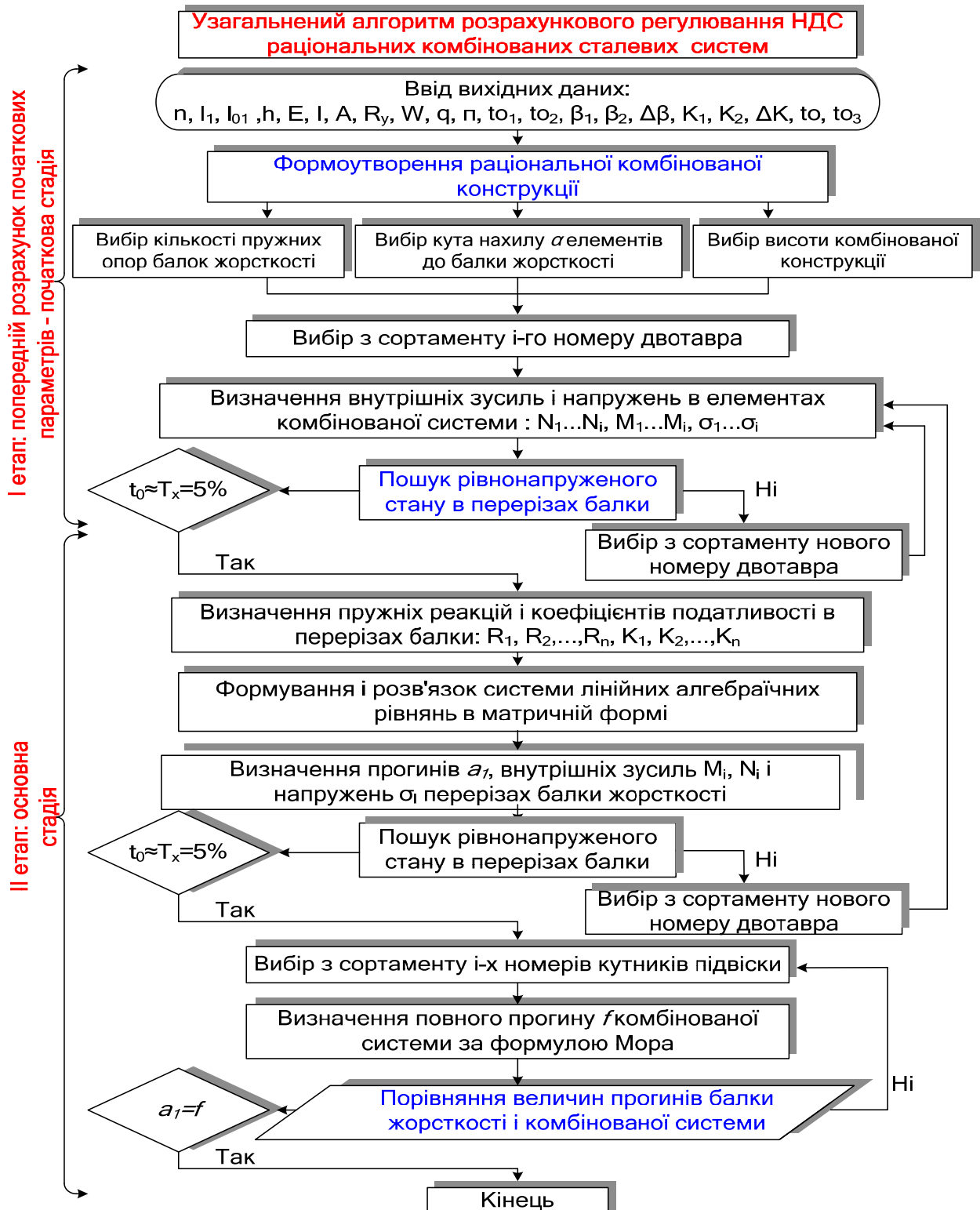


Рисунок 5 - Узагальнений алгоритм розрахункового регулювання НДС раціональних комбінованих сталевих систем

Показані особливості алгоритмів для шпренгельних, фермових, вантових і висячих систем. Оцінено ефективність регулювання зусиль розрахунковим методом (це економить сталь до 16 % при меншій вартості до 35.6 % порівняно з іншими конструкціями): на прикладі одностоякової шпренгельної балки $l = 6$ м, комбінованої і типової ферм $l = 18$ м, а також шпренгельного прогону $l = 12$ м. Комбінована малоелементна ферма з розрахунковим регулюванням НДС $l = 18$ м має не тільки кращу топологію (у три рази менше елементів та вузлів) аналогічної типової ферми, більшу жорсткість під час транспортування та монтажу, але й меншу на 13,3% масу. Наведені також результати техніко-економічних порівнянь раціональних комбінованих конструкцій і типових: ферми $l = 24$ м і балки з гнучкою стінкою, економія металу становить 21,5%, а ферми $l = 12$ м і балки з перфорованою стінкою – 2.2% за явно меншої працездатності виготовлення ферми.

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 обмежених пластичних деформацій ($\varepsilon_{ip,lin} \leq 0,002$), що забезпечує одночасне досягнення граничних розрахункових напружень в балці жорсткості та елементах підвіски (рис. 6).

Висоту зони пластичної деформації визначено

$$\xi = \frac{h(\varepsilon_c - \varepsilon_{yn})}{\varepsilon_c + \varepsilon_t}. \quad (20)$$

Надалі перевіряли виконання двох наступних умов: $\xi \leq h_f$; $\varepsilon_c \leq \varepsilon_{ip,lin} = 0,002$.

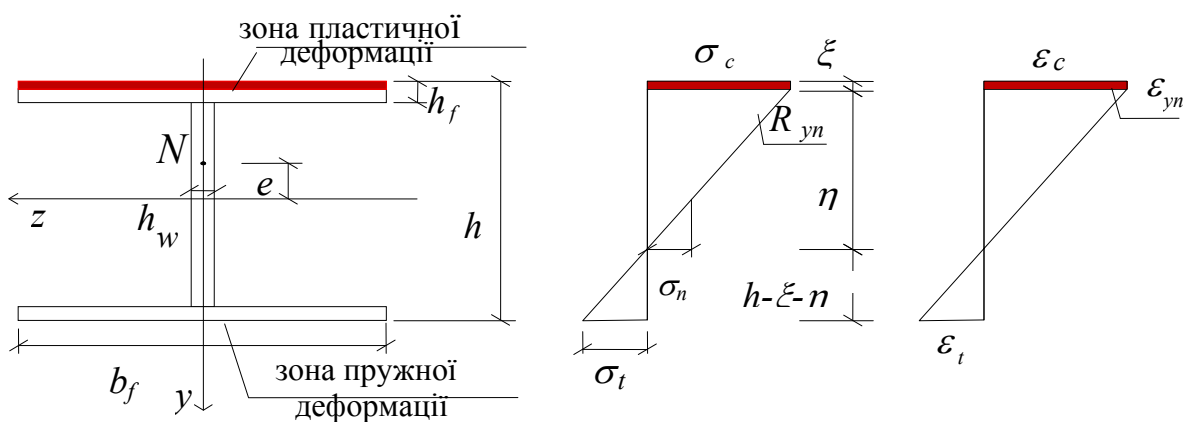


Рисунок 6 - Поперечний переріз і епюри напружень (σ) і деформацій (ε) в балці жорсткості

Якщо хоч одна з цих умов не виконується, тоді, використовуючи ітераційний процес, визначали нові значення N і M , за яких ці умови виконуються. Це дає змогу проектувати рівномірну конструкцію, збільшує економію сталі і ця методика може бути поширена на різні комбіновані системи.

Запропоновано методику оцінки доцільності застосування розрахункового методу регулювання НДС у стержневих конструкціях за допомогою коефіцієнтів повноти епюри матеріалу. Це дало можливість виявити, що найперспективнішими для регулювання НДС є комбіновані конструкції.

Наведено теоретичне обґрунтування регулювання НДС у балкових конструкціях з похилими опорами (розпірні конструкції) для підвищення їх

ефективності. В конструкціях такого типу горизонтальна складова опорної реакції прикладена до балки з ексцентриситетом і створює цим момент, що протидіє моменту від зовнішнього навантаження. Приведена методика їх розрахунку і регулювання НДС. Наведені нові ефективні конструктивні форми: розпірної однопрогонної балки, розпірної рами і малоелементної ферми, а також комбінованих розпірних балково-вантової і фермових конструкцій. Розпірні конструкції за витратою матеріалу дещо вигідніші від безрозпірних, але вони вимагають таких опор, які здатні сприйняти розпір.

У четвертому розділі сформульовано критерій раціональності комбінованих сталевих конструкцій і умови досягнення його під час проектування з розрахунковим регулюванням НДС: топологія, концентрація матеріалу в балці жорсткості, мінімальна кількість вузлів і елементів, розрахункове регулювання НДС і використання ефективних прокатних профілів.

На основі енергетичних принципів будівельної механіки одержано функціональну залежність між енергією деформації U_δ при згині звичайної балки і енергією деформації U при згині нерозрізної балки жорсткості на проміжних пружних опорах з рівноекстремальною епюрою M_x і кількістю її прогонів n (без врахування енергії опор):

$$U \cong \frac{U_b}{4,6n^4}, \text{ або } \lim U = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{U_b}{4,6n^4} = 0. \quad (21)$$

Таким чином, із зростанням кількості “ n ” прогонів балки жорсткості (що відповідає $n-1$ кількості її підкріплень вантами чи стояками шпренгельної системи) до нескінченності, енергія деформації такої балки зменшується до нуля, тобто балка перетворюється у жорсткий стержень на твердій основі, в якому відсутні деформації згину.

Отримана також аналітична залежність маси прольоту балки на двох опорах m_b при трансформації її в нерозрізну балку з n -ою кількістю прогонів m_c і, відповідно, епюри M_x із моноекстремальної у рівноекстремальну за допомогою n - проміжних пружних опор (рис. 7, а)

$$m_c = \frac{m_b}{2n^2}. \quad (22)$$

Встановлено, що маса прогону балки на двох опорах під час трансформації її в нерозрізну балку на проміжних пружних опорах інтенсивно зменшується лише до трьох проміжних пружних опор. Деформативність балки зменшується значно інтенсивніше ніж зростає її міцність, а саме, деформативність зменшується у $\sim(2n)^2$ разів швидше, ніж зростає міцність балки. Отже, зроблено висновок: під час регулювання зусиль у балці конструкція змінюється якісно, у ній визначальним показником стає не деформативність, а міцність.

Для забезпечення мінімальної маси комбінованих конструкцій визначено раціональні кути нахилу підкосів, тяжів і вант. Мінімальна маса затяжки забезпечується при кутах нахилу в діапазоні $30 - 60^\circ$ (рис. 7, б). На прикладі комбінованої ферми, встановлено, що розрахункове регулювання НДС ферми при

співвідношенні її висоти до прольоту $H \leq l/10$, є найбільш раціональним, при цьому розрахунок достатньо здійснювати тільки на симетричне навантаження.

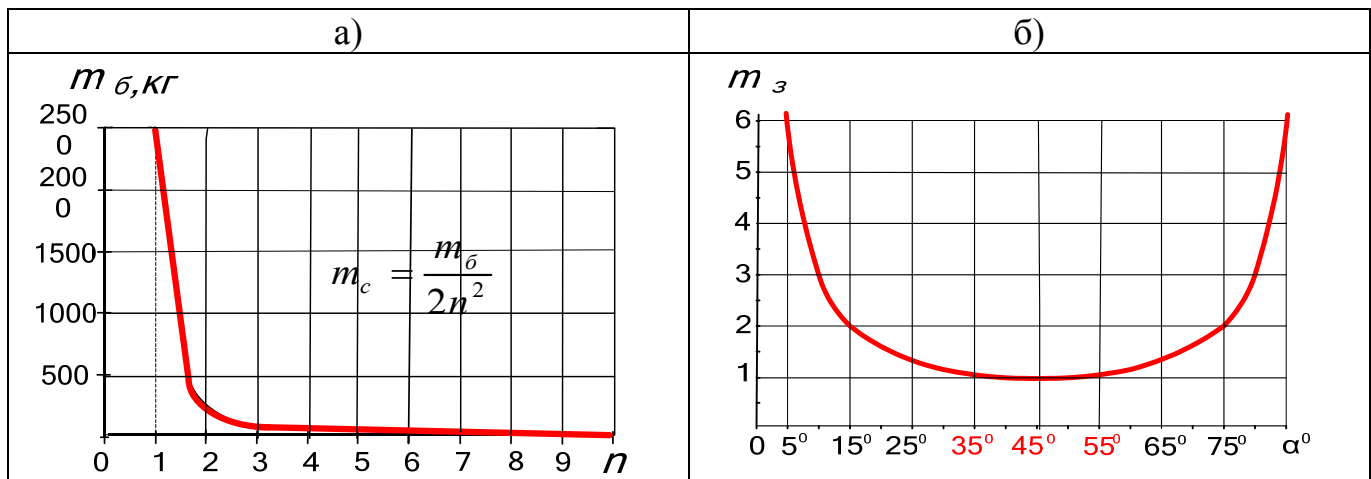


Рисунок 7 - Зміна маси m_b прогону нерозрізної балки на пружних опорах від кількості прогонів n (а); графік залежності маси зтяжки m_z одностоякової шпренгельної балки від кута нахилу підкосів, тяжів α (б)

Проведено оцінку раціональних параметрів комбінованої сталевій шпренгельної ферми прогоном 18 м методом математичного планування експерименту (рис. 8). Максимальні значення σ_2 одержано при довжині панелі l_1 рівній 6 м, відповідно при коефіцієнті жорсткості K рівному 5000, або 3000 кН/м (рис. 8, б).

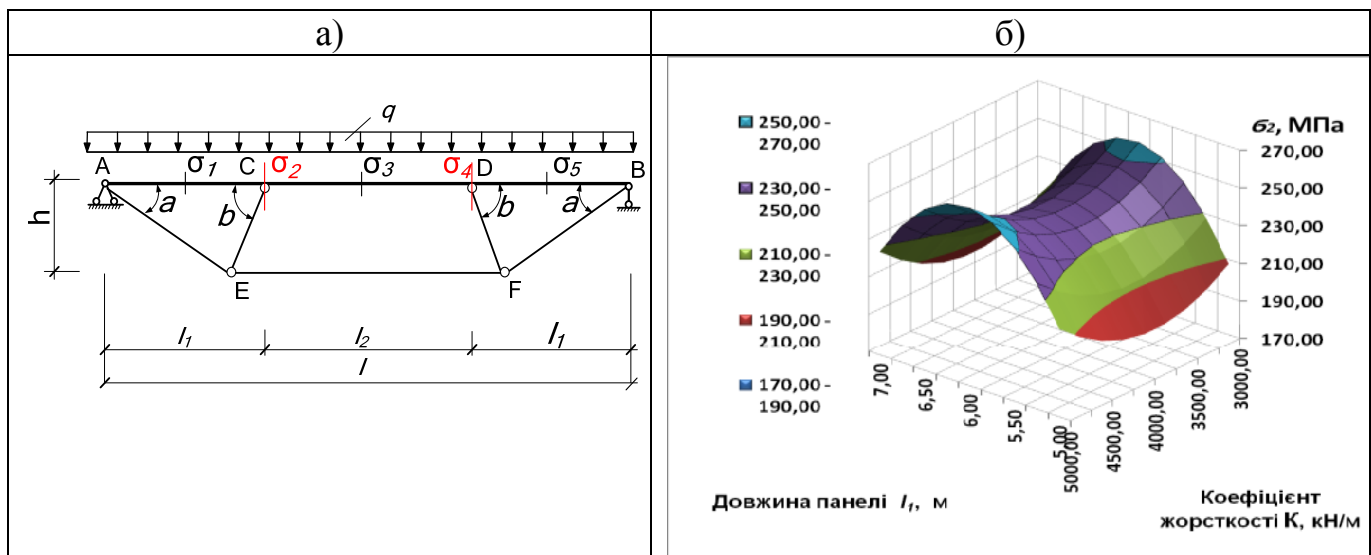


Рисунок 8 - Схема комбінованої ферми прогоном 18 м (а); ізопараметрична діаграма зміни величин напружень σ_2 балки жорсткості в залежності від довжини першої панелі l_1 і коефіцієнта жорсткості K пружних опор (б)

Виконано аналіз впливу формоутворення на матеріалоемність комбінованих сталевих конструкцій з розрахунковим регулюванням НДС. На основі числових досліджень показано, що вибір геометричних параметрів комбінованих конструкцій за запропонованою методикою дозволяє зменшувати їх матеріаломісткість до 11,2%.

Визначено раціональні параметри балок з нахиленими опорами. Показано, що максимальне зменшення площі поперечного перерізу оптимізованої балки з нахиленою опорою перебуває в межах до 15% (рис. 9, а) при прогонах 3–12 м. Незалежно від величини навантаження, прикладеного до балки, вже за прогонів довжиною більше ніж 6 м спостерігається однакове для всіх типів балок зменшення прогинів більше ніж на 40% порівняно з еталонними балками (рис. 9, б). Оптимальні кути опирання знаходяться в межах $69\text{--}85^\circ$ (рис. 9, в). Чим більшим є навантаження, тим менше значення потрібне для оптимального кута опирання.

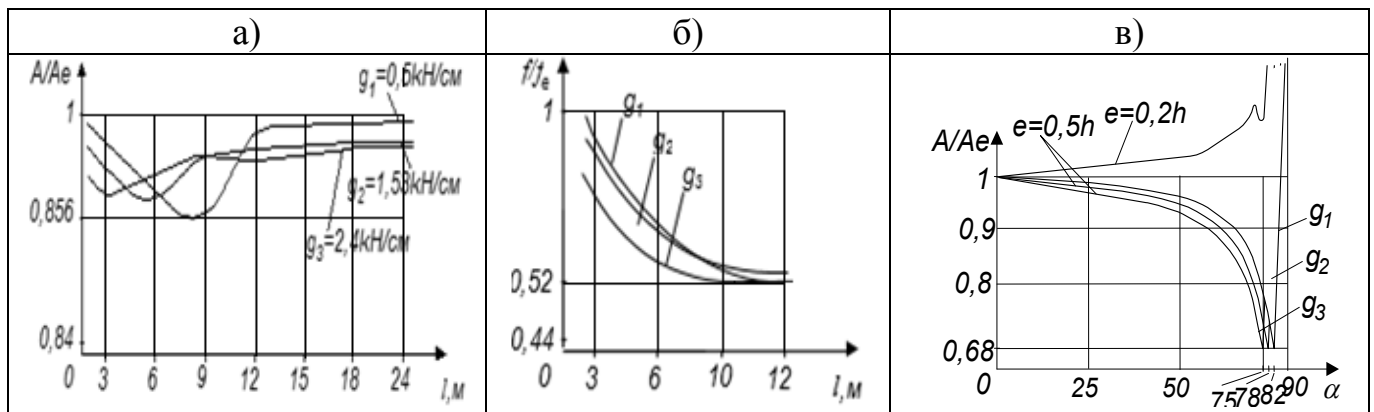


Рисунок 9 - Залежність відношення: а) площ поперечного перерізу балок з нахиленими опорами та еталонної від величини прогону; б) прогинів балок з нахиленими опорами та еталонної від величини прогону; в) площ поперечного перерізу балок з нахиленими опорами та еталонної від кута обпирання; l – прогон; A , A_e – площі поперечних перерізів балок з нахиленими опорами та еталонної; f , f_e – прогини балок з нахиленими опорами та еталонної; α – кут обпирання; e – ексцентриситет прикладання розпору; h – висота балки

Показано універсальність і виконано порівняльний аналіз розрахункового методу регулювання НДС для різних комбінованих конструкцій. На прикладі розрахунку балки на двох шарнірних опорах запропонованим методом одержано формули для визначення максимального моменту і прогину. Встановлено, що найвигіднішим для застосування є шпренгельна балка з трикутним шпренгелем і трьома стояками та запантована малоелентна шпренгельна ферма, для яких наведено алгоритми розрахункового регулювання НДС.

Доведено, що запропоновану узагальнену методику деформаційного розрахунку балкових конструкцій та систем і розроблену на її основі методику розрахункового регулювання НДС конструкцій можна застосовувати як для простих, так і комбінованих конструкцій – і не лише шпренгельних та фермових, але й вантових. Показано, що розрахунок балки на пружних опорах з врахуванням деформованого стану є базовим для всіх видів конструкцій.

У п'ятому розділі подаються методика та результати експериментальних досліджень 3-х серій комбінованих конструкцій з розрахунковим регулюванням НДС, метою яких було виявлення особливостей їх дійсної роботи і перевірка результатів теоретичних досліджень.

Випробування модельних зразків комбінованих малелементних ферм (серія 1). Для перевірки і уточнення результатів теоретичних досліджень була

виготовлена модель комбінованої шпренгельної ферми (рис.10), що мала однакові габарити з моделлю типової ферми (еталоном) – прогоном 3,2 м, висотою 0,4 м. Результати випробовувань показали, що несуча здатність еталонної ферми менша несучої здатності комбінованої ферми на 11%, але вага комбінованої ферми дорівнювала 57 кг, а еталонної 70 кг, майже на 20% менша (рис. 11).

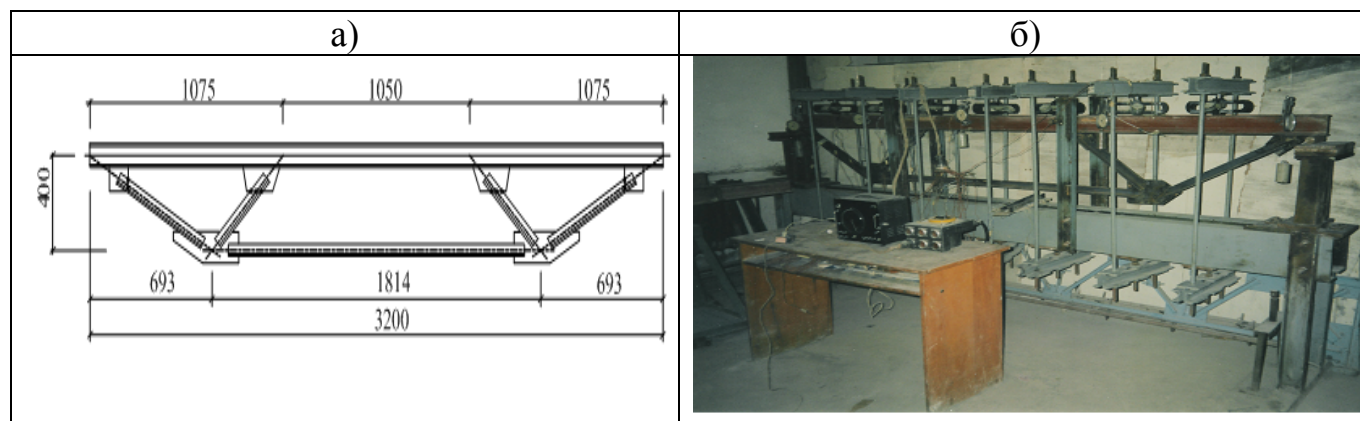


Рисунок 10 – Комбінована малоелементна шпренгельна ферма прогоном 3,2 м: а) загальний вигляд; б) випробування на симетричне навантаження

Деформативність ферм при симетричному навантаженні практично збігалась, а розходження з теоретичними прогинами становило 5,7-14%, що свідчить про достовірність розробленого розрахункового методу регулювання НДС.

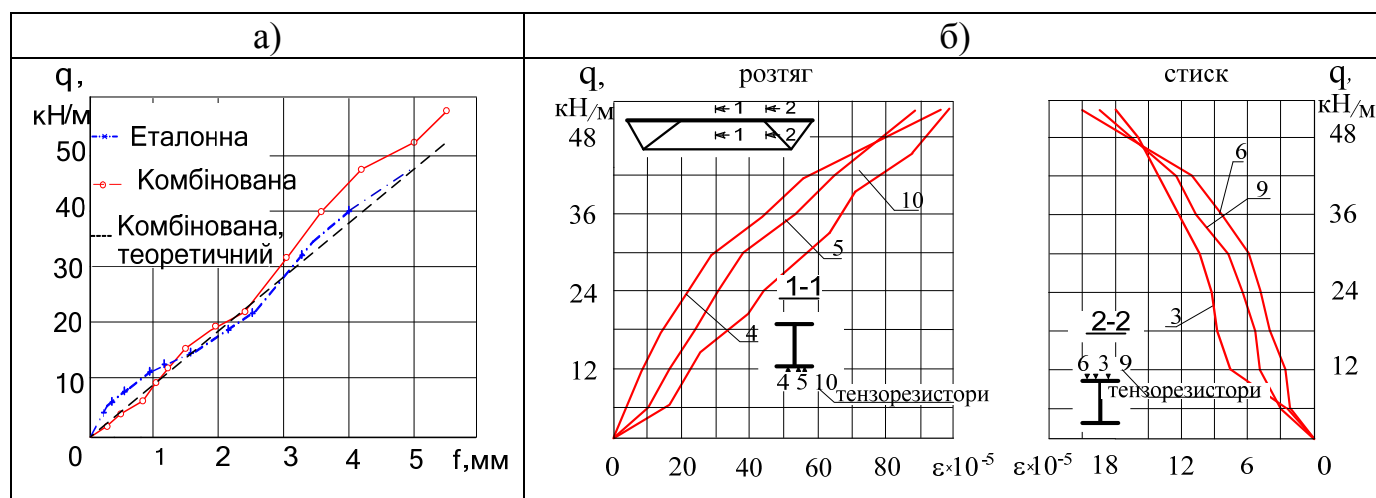
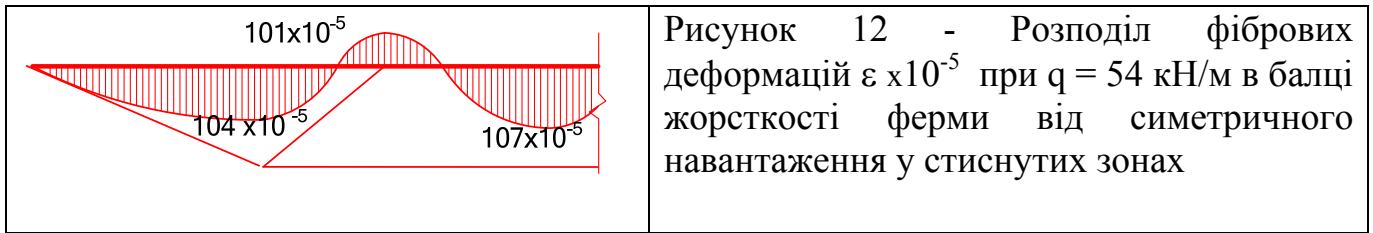


Рисунок 11 - Графіки прогинів (симетричне навантаження, а); графіки зміни відносних фібрових деформацій в залежності від навантаження в комбінованій фермі (б)

Із графіків зміни фібрових деформацій в балці жорсткості комбінованої ферми в залежності від симетричного навантаження (рис. 11, б) видно, що при максимальному навантаженні $q = 54$ кН/м, фіброві деформації в розрахункових перерізах (в середньому і опорному перерізах прогона) незначно відрізнялись між собою. Розбіжність складала: для стиснутих зон від $\epsilon = 101 \times 10^{-5}$ до $\epsilon = 107 \times 10^{-5}$ (що відповідає напруженням $\sigma_{max, експ.} = 212,1$ МПа при $\sigma_{max, розр.} = 237,2$ МПа до $\sigma_{max, експ.} = 224,7$ МПа при $\sigma_{max, розр.} = 230,3$ МПа), тобто 6% (рис. 12).



Отже, було отримано практично рівнонапружені розрахункові перерізи, а це свідчить про ефективність і достовірність запропонованої методики розрахункового регулювання НДС, тобто одержана раціональна конструкція.

Результати випробувань комбінованої ферми на несиметричне навантаження показали, що несуча здатність ферми становила $q = 54$ кН/м при меншому прогині $f = 4,7$ мм, порівняно з симетричним навантаженням. Зусилля в стержнях підтримуючої системи (шпренгеля), у разі несиметричного навантаження ферми мають такі ж знаки як і симетричного, а також встановлено, що в процесі навантаження зміни стиску на розтяг, чи навпаки, не відбувалось. Втрат стійкості та геометричної незмінності ферми під час випробувань на несиметричне навантаження не спостерігалось.

Випробування металодерев'яної ферми прогоном 12 м “рамного” виду (серія 2). Верхній пояс ферми запроектований, як сталева нерозрізна балка на 5-ти опорах, в тому числі на 3-х (середніх) пружних опорах, щоб регулювати НДС з метою вирівнювання напружень в його характерних перерізах. Ферма є металодерев'яною, в якій середня стійка і дві пари розкосів – дерев'яні (рис. 13).

Метою експериментальних досліджень була перевірка достовірності запропонованої методики розрахункового регулювання НДС для отримання рівнонапружених розрахункових перерізів.

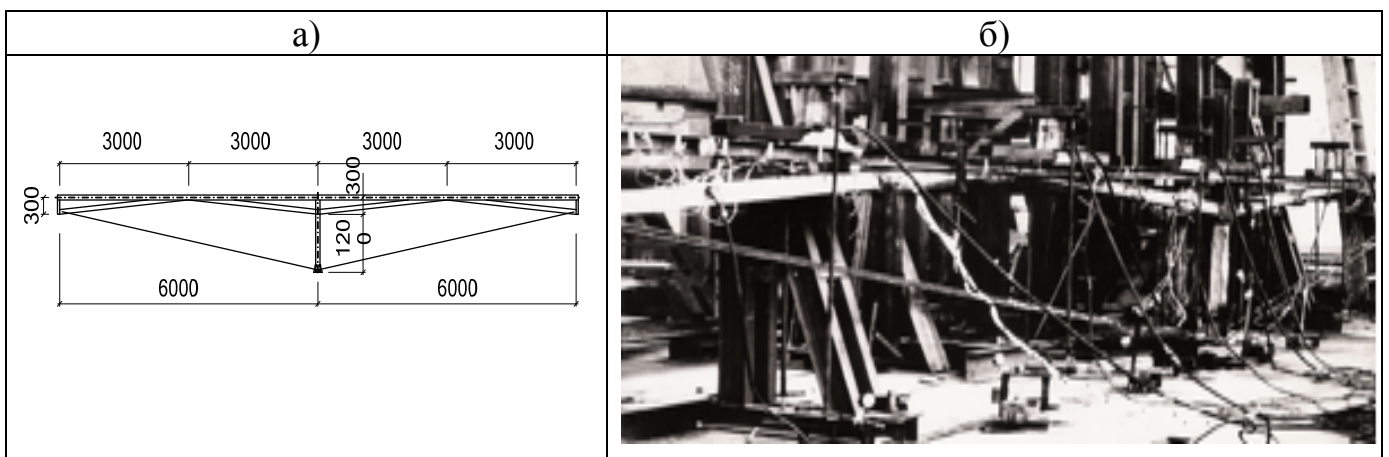


Рисунок 13 – Комбінована металодерев'яна ферма прогоном 12 м: а) загальний вигляд; б) випробування

З метою вибору люфтів і максимального виключення впливу зминання деревини навантаження проводилось циклами (навантаження-розвантаження, рис. 14, а). Із графіків видно (рис. 14 б, в), що при розрахунковому навантаженні $q = 3,5$ кН/м, фіброві деформації в розрахункових перерізах верхнього нерозрізного

поясу ферми незначно відрізнялись між собою. Розбіжність складала до 15,6 %.

Отже, у верхньому сталевому нерозрізному поясу ферми, в процесі навантаження відбувалось регулювання НДС, яке практично призвело до вирівнювання напружень у його розрахункових перерізах. А це і є експериментальним підтвердженням запропонованої методики регулювання НДС.

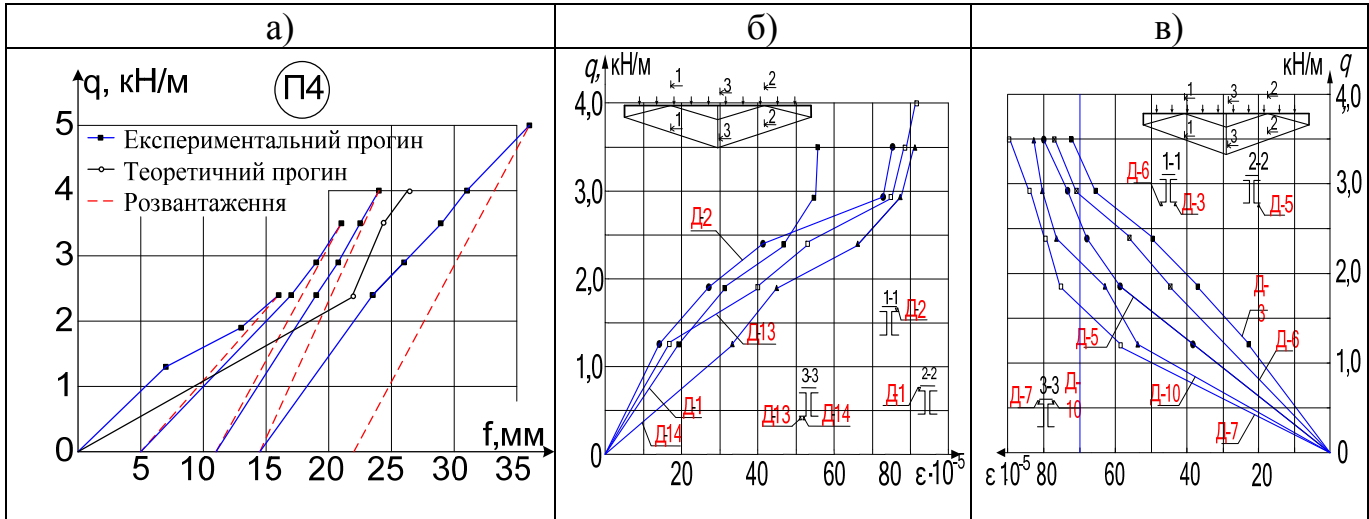


Рисунок 14 - Графіки прогинів металодерев'яної ферми прогоном 12 м (а); графік фібрових деформацій балки жорсткості в розтягнутих (б) і стиснутих зонах (в)

Випробовування балок на нахилених опорах (серія 3). Метою дослідження було виявлення дійсних параметрів регулювання НДС балок з нахиленими опорами та їх порівняння з теоретичними. Для порівняння випробовувалась також еталонна (традиційна) балка. Всі балки (з регулюванням зусиль та еталонна) однопрогонові, прогонами 3,6 м, виготовлені з прокатного двотавра № 10. Балки випробовувались на силовому стенді зосередженою силою N в середині прогону. Загальна схема випробувань показана на рис. 15.

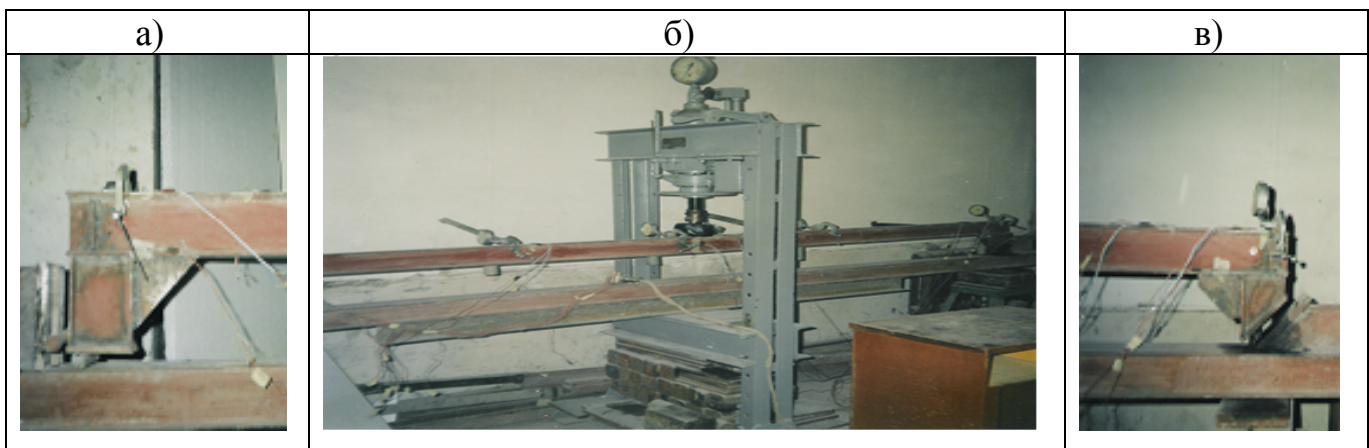


Рисунок 15 - Схема стенду по випробуванню балок: а) фрагмент вузла з шарнірно-нерухоною опорою; б) загальний вигляд; в) фрагмент вузла з шарнірно-рухоною нахиленою опорою

Несуча здатність балки на нахилених опорах з ексцентриситетом прикладання горизонтальної реакції $e = 19,5$ см більша від такої ж балки з ексцентриситетом

$e = 17$ см на 8% і порівняно з еталонною балкою зростає на 30,5% (рис. 16).

Із рис. 16, б видно, що експериментальні величини нормальних напружень у балках при максимальних прогинах не перевищували границю пружної роботи сталі і вони добре узгоджуються з їх теоретичними значеннями. Якісно і кількісно підтверджено достовірність теоретичних результатів, одержаних на основі запропонованої теорії з розрахунку балок на нахилених опорах, а несуча здатність балок на нахилених опорах залежить від величини заданого ексцентриситету прикладання горизонтальної реакції.

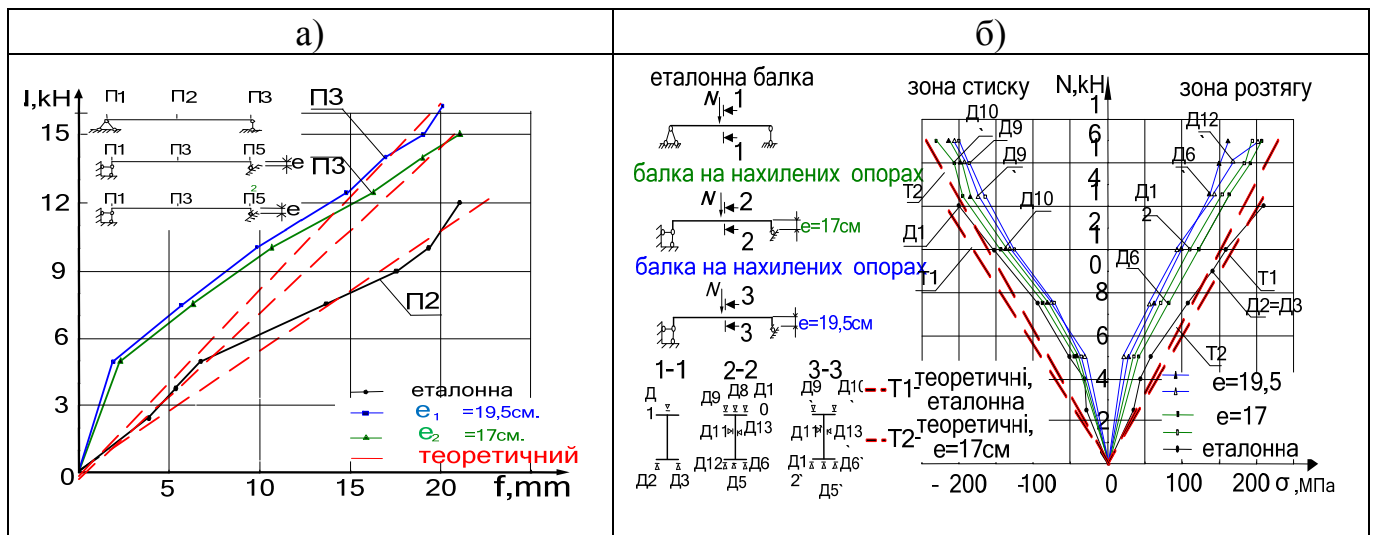


Рисунок 16 – Прогини балок від навантаження прогону (а); графіки напружень у поперечних перерізах прогону (б)

У шостому розділі розроблено методику інженерного розрахунку комбінованих конструкцій, як статично визначених систем, для визначення поперечних перерізів елементів шпренгельних, вантових систем та металодерев'яних ферм для подальшого розрахунку за узагальненою методикою. Показані особливості роботи і наведено методику розрахунку конструктивних елементів та систем на нахилених опорах (розпірні конструкції) - балки, рами, комбінована шпренгельна ферма.

На сьогодні, для аналізу НДС при проектуванні конструкцій найчастіше використовують шлях багаторазового перерахунку параметрів конструкцій, що суттєво ускладнює процес і викликає великі труднощі. У цих умовах все зростає значення мають методи раціонального проектування конструкцій.

Сформульована в загальному вигляді задача проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій за критерієм мінімальних витрат сталі. Раціональне проектування комбінованих сталевих конструкцій являє собою метод науково обґрунтованого конструювання, при чому його кінцева мета досягається синтезом раціональних конструктивних форм, що забезпечують раціональне використання міцнісних характеристик матеріалів. Вона базується на розроблених трьох основних складових: удосконаленому методі розрахунку комбінованих конструкцій з врахуванням деформованого стану балки жорсткості; розрахунковому методі регулювання НДС таких конструкцій, а також на отриманих нових аналітичних залежностях для визначення раціональних конструктивних параметрів.

Метою розробки методики раціонального проектування комбінованих сталевих конструкцій було дати інженеру-проектувальнику в простому, доступному і наочному вигляді теорію для проектування найвигідніших раціональних конструкцій, тобто організацію такого процесу проектування, в якому, поряд з досягненням основної вимоги - мінімуму маси конструкції - передбачається також врахування таких вимог, як технологічність, мінімум вартості, різні обмеження в ресурсах, матеріалах та інше. Виконані дослідження засвідчили, що раціональну конструкцію можна розробити лише за умови тісного взаємозв'язку між розробленням конструкції та її розрахунком.

З метою надання процесу раціонального проектування комбінованих сталевих конструкцій необхідної наукової обґрунтованості і зведення до мінімуму елементу суб'єктивності при виборі проектних рішень визначено основні методологічні принципи такого проектування і його послідовність (рис. 17).

На початковому етапі необхідно сформулювати основну задачу – визначити критерій раціональності. В якості критерія раціональності може виступати енергетичний критерій раціонального проектування, а також вимоги до НДС: рівнонапруженість, рівномоментність, максимальна жорсткість, або мінімальна маса конструкції.

Розроблені принципи проектування базуються на двох основних групах. У першу з них входять структурні, конструктивні параметри і функції, що описують просторовий розподіл і фізичні властивості матеріалу, а в другу - параметри і функції НДС системи.

Порядок проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій наступний. Спочатку необхідно вибрати раціональний тип запропонованих (див. п. 1, рис. 17) комбінованих сталевих конструкцій. Після цього, з метою одержання всіх елементів рівноміцними, необхідно забезпечити раціональні геометричні параметри (п. 2, рис. 17): кількість опор балки жорсткості - кількості підкріплень у балці жорсткості не більше трьох, а у разі симетричних вантових систем їх може бути не більше чотирьох, а також величини кутів нахилу підкосів, тяжів, вант, та раціональну висоту комбінованої конструкції і мати якомога менше елементів та вузлів їх з'єднання. Отже, після цього необхідно застосувати до цієї системи (конструкції) розроблені критерії раціональності і вимоги до НДС (п. 3, рис. 17) - здійснити регулювання НДС розрахунковим методом.

Це можна забезпечити, проводячи перевірку конструкції на відповідність розробленим основним принципам формоутворення раціональних комбінованих систем (п. 4, рис. 17). Отже, раціональною буде певна проміжна конструкція, що матиме у своєму складі таку балку, яка вимагатиме мінімум фермових елементів. Тобто, це буде синтез параметрів малої маси ферми та малих технологічних затрат балки. Такими конструкціями є комбіновані – шпренгельні та вантові. І щоб оцінити економічну ефективність, необхідно порівняти приведені затрати раціональної комбінованої конструкції з типовими (п. 5, рис. 17). У подальшому проектування не відрізняється від традиційно проєктованих конструкцій без попереднього напруження. Отримані таким чином проекти раціональних комбінованих сталевих систем з конструктивними формами, адаптованими до дійсного їх НДС, мають на

17-32% меншу вартість і матеріаломісткість, а кількість вузлів і елементів зменшена у кілька разів.

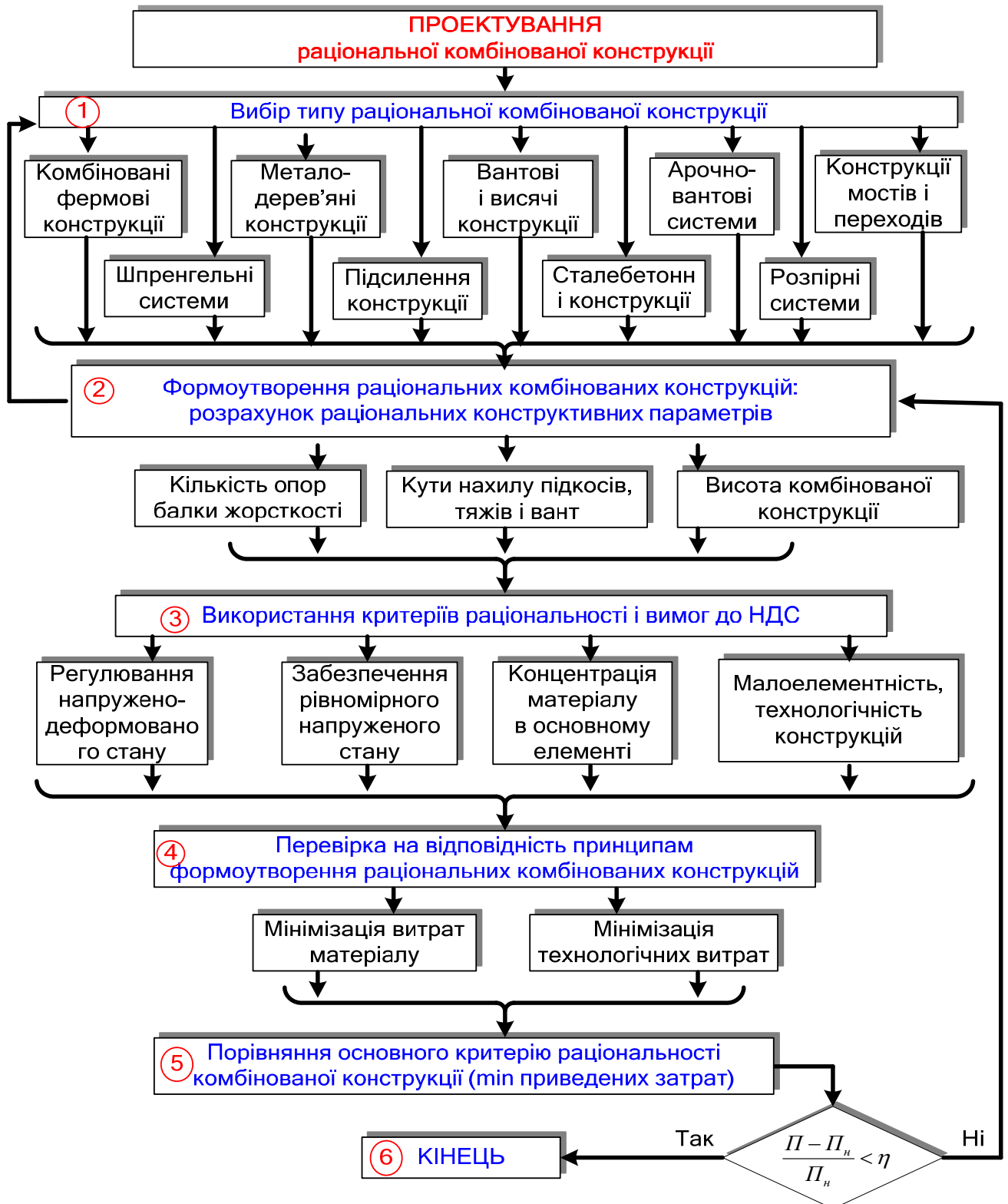


Рисунок 17 - Блок – схема методики проектування раціональної комбінованої конструкції

Для прикладу наведено конструктивне вирішення раціональної крокв'яної ферми (рис. 18).

РАЦІОНАЛЬНА СТАЛЕВА КОМБІНОВАНА ФЕРМА

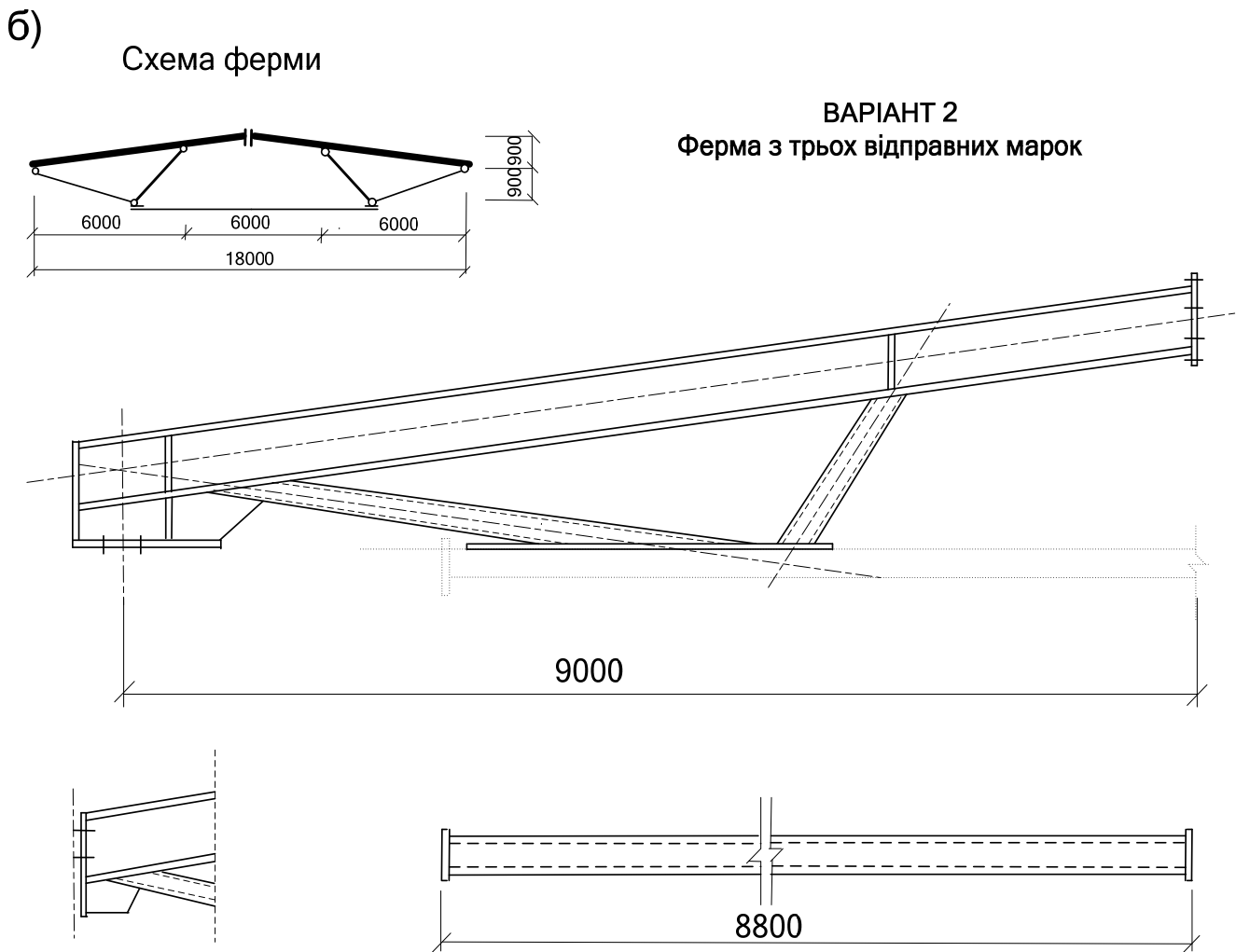
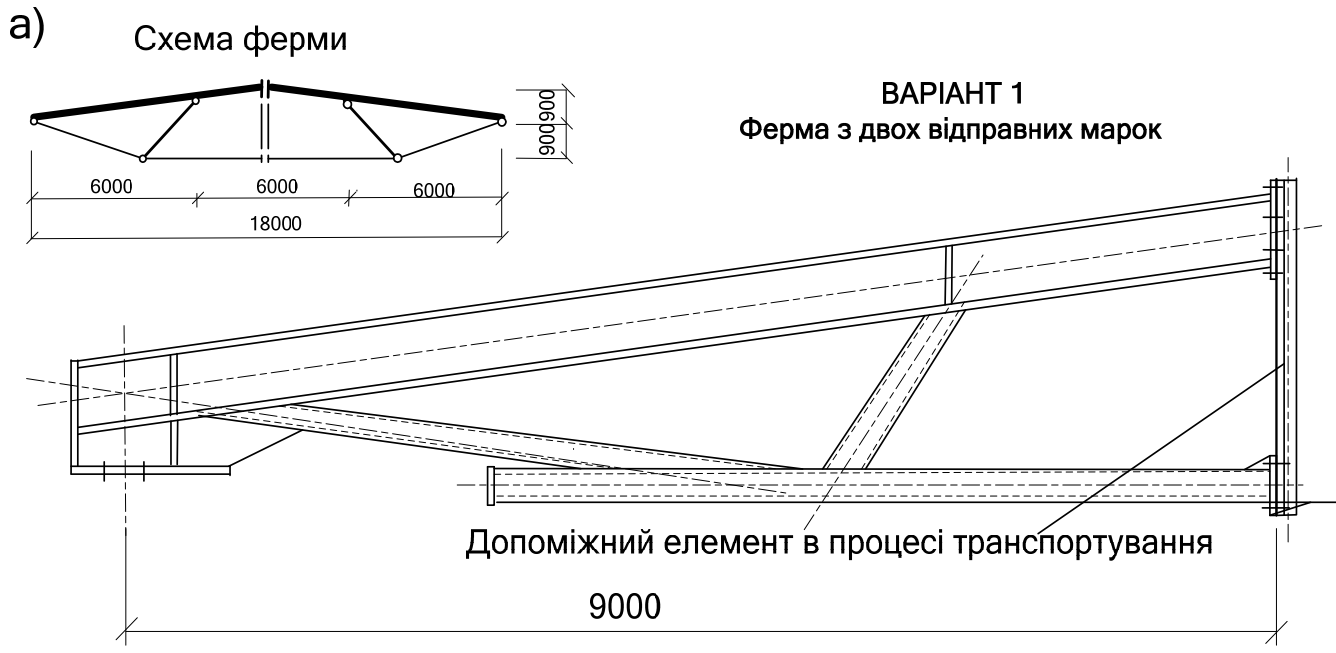
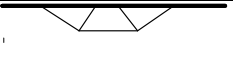
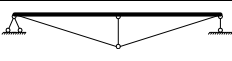

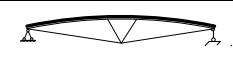
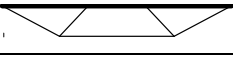
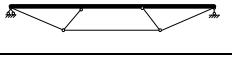


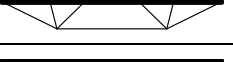







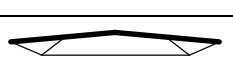


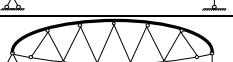

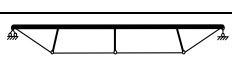
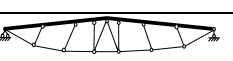
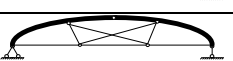

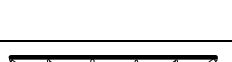


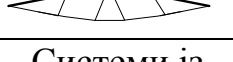
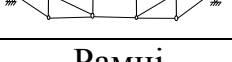
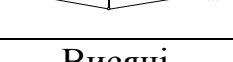
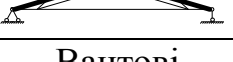
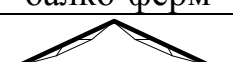


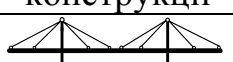
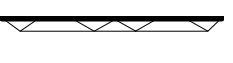







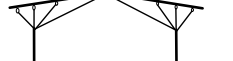

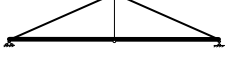
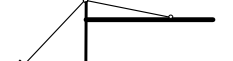
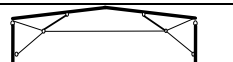
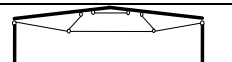
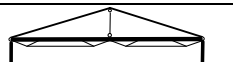
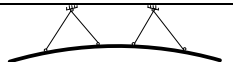
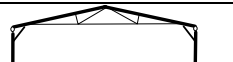





Рисунок 18 – Конструктивне вирішення комбінованої раціональної сталеві кроквяної ферми прогоном 18 м: а – варіант 1; б – варіант 2

На основі даної методики розроблені нові конструктивні форми комбінованих систем меншою масою до 20%, які захищені патентами України № 50014, № 46383, № 48841 і нові науково обгрунтовані конструктивні форми раціональних комбінованих сталевих конструкцій (табл. 2), та визначено їх раціональну область використання.

Таблиця 2 - Види раціональних комбінованих сталевих конструкцій

| № | Балко-ферми | № | Шпренгельні балки | № | Шпренгельні ферми | № | Арки |
|----|---|----|---|----|--|----|---|
| 1 |  | 15 |  | 29 |  | 43 |  |
| 2 |  | 16 |  | 30 |  | 44 |  |
| 3 |  | 17 |  | 31 |  | 45 |  |
| 4 |  | 18 |  | 32 |  | 46 |  |
| 5 |  | 19 |  | 33 |  | 47 |  |
| 6 |  | 20 |  | 34 |  | 48 |  |
| 7 |  | 21 |  | 35 |  | 49 |  |
| 8 |  | 22 |  | 36 |  | 50 |  |
| | Системи із балко-ферм | | Рамні конструкції | | Висячі конструкції | | Вантові конструкції |
| 9 |  | 23 |  | 37 |  | 51 |  |
| 10 |  | 24 |  | 38 |  | 52 |  |
| 11 |  | 25 |  | 39 |  | 53 |  |
| 12 |  | 26 |  | 40 |  | 54 |  |
| 13 |  | 27 |  | 41 |  | 55 |  |
| 14 |  | 28 |  | 42 |  | 56 |  |

Результати роботи (рекомендації, альбом “Шпренгельні ферми”) використані у проектних організаціях - Львівдіпрокомунбуд, Львівагропроект, управлінням капітального будівництва Львівської міської ради, при виконанні госпдоговірних тем Національного університету “Львівська політехніка” і у навчальному процесі під час викладання дисциплін “Технологія реконструктивних та будівельно-ремонтних робіт”, “Реконструкція будівель та споруд”, “Технологія виготовлення металевих конструкцій і виробів”, “Металеві конструкції”.

Результати досліджень впроваджено при будівництві цеху бетонних виробів як

комбінованих систем з нерозрізним верхнім поясом прогоном 18 м зменшеної висоти і вартості у порівнянні з типовими конструкціями; на 5-ти зірковому санаторно-готельному комплексу Royal Hotels & SPA Resort, корпус “Женева” в м. Трускавець Львівської області у 2007 р. (рис. 19, б) - малоелементні ферми прогонами 12 і 18 м підвищеної технологічності і зменшеної працемісткості; на будівництві бізнес-центру “Лемберг” (м. Львів, 2007 р.) під час монтажу перекриттів з комбінованих ферм з розрахунковим регулюванням зусиль прогонами 12 і 18 м із значним скороченням термінів будівельно-монтажних робіт; комбіновані підкрюкв’яні ферми прогоном 12 м з регулюванням НДС на Львівському заводі експериментальних механічних випробувань у 2004 р. (рис. 19, а); комбіновані малоелементні ферми прогонам 18 м на будівництві заводу “Карпатська кераміка” (м. Калуш, Івано-Франківська обл., 2011 р.) і фізкультурно-оздоровчого комплексу (м. Львів, вул. Зубрівська, 2012 р.).



Рисунок 19 – Підкрюкв’яні комбіновані ферми $L=12\text{м}$ з розрахунковим регулюванням НДС, завод експериментальних механічних випробувань м. Львів, 2004 р. (а) – автори: Гоголь М.В., Гладишев Г.М.; малоелементні комбіновані ферми $L=18\text{м}$ з розрахунковим регулюванням НДС, 5-ти зірковий санаторно-готельний комплекс Royal Hotels & SPA Resort, корпус “Женева” м. Трускавець Львівської області, 2007 р. (б) – автори: Іваник І.Г., Гоголь М.В., Вибранець Ю.Ю., Віхоть С.І.

Також оцінювання техніко-економічної ефективності розробленої методики проведено на прикладі проектування реконструкції надземного переходу нафтопроводу і газопроводу через р. Стрий на Стинівській ділянці. За рахунок раціонального проектування - врахування пружної податливості опор (коефіцієнтами жорсткості пружної опори), середню довжину додаткових прогонів переходу збільшили на 13,06 %. Економічний ефект від впровадження, наприклад 18 м малоелементної шпренгельної ферми, становить 16412 грн – 152,0 грн. на 1 м² покриття в цінах на червень 2018 р.

У розділі обґрунтовано техніко-економічну ефективність раціональних комбінованих сталевих конструкцій покриттів і перекриттів, наприклад приведена вартість раціональної комбінованої ферми без регулювання НДС менша на 21,1% порівняно з типовою фермою типу “Молодечно”, а з розрахунковим регулюванням НДС менша на 31,74%.

У додатках наведено аналіз ефективності запропонованого методу розрахунку

комбінованих конструкцій (числові дослідження), приклади розрахунку, альбом “Шпренгельні ферми”, блок – схема, програма і приклад розрахунку раціональної шпренгельної ферми, локальні кошториси на комбіновані ферми, довідки та фотографії впроваджень результатів роботи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертації вирішена важлива **науково-технічна проблема** із розроблення теоретичних основ розрахунку і проектування раціональних (зі зменшеними витратами сталі та працемісткості виготовлення) комбінованих сталевих конструкцій покриттів і перекриттів, а також вдосконалення їх конструктивних форм.

Одержані нові наукові і практичні результати та розвинуто теорію раціонального проектування комбінованих сталевих конструкцій, що дозволяє системно підвищити їхню ефективність і економічність. **Основні висновки і результати роботи** зводяться до наступного:

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. Визначені напрямки їх подальшого удосконалення шляхом розробки методів розрахунку з врахуванням деформованої схеми і раціональних конструктивних форм та регулювання НДС розрахунковим методом на стадії проектування. Встановлено, що задачу розрахунку комбінованих конструкцій, насамперед, потрібно ставити як проблему їхнього раціонального проектування.

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).

Запропоновано єдину розрахункову модель балки жорсткості комбінованих систем – у вигляді балки на пружних опорах, що моделює балку жорсткості, а пружні опори – систему підкріплення.

Розроблено математичну модель узагальненої задачі розрахунку комбінованих систем і отримано її розв’язок на основі енергетичних принципів будівельної механіки. Отримані залежності для визначення величин деформацій і 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 ($\varepsilon_{ip, \lim} \leq 0,002$), 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 - 63м) 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 $30 - 60^\circ$. 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 застосувати замість типових конструкцій покриттів і перекриттів. Запропоновані нові конструктивні форми комбінованих систем меншою масою до 20%, які захищені патентами України: № 50014, № 46383, № 48841.

Розроблено і видано альбом шпренгельних ферм та практичні рекомендації щодо методів розрахунку і регулювання НДС комбінованих конструкцій. Результати роботи впроваджені згідно розроблених Рекомендацій у період з 2003 р по 2018 р.

під час проектування будівництва та реконструкції таких об'єктів, як: завод експериментальних механічних випробувань (м. Львів), бізнес-центр “Підзамче”, (м. Львів), санаторій “Женева”, (м. Трускавець, Львівська обл.), завод “Карпатська кераміка”, (м. Калуш, Івано-Франківська обл.), фізкультурно-оздоровчий комплекс, (м. Львів, вул. Зубрівська) тощо.

Економічний ефект від впровадження раціональних комбінованих ферм з розрахунковим регулюванням їх НДС порівняно з типовими конструкціями становить до 9017 грн. на 1 тону сталі конструкції, тобто їх вартість менша на 31,74%, або в перерахунку на 1 м² покриття рівна 152,0 грн. в цінах 2018 р. Загальний економічний ефект з врахуванням експлуатації будівель і зменшення будівельного об'єму становить 6118271 грн.

11. Результати досліджень відкрили широкі можливості цілеспрямованого проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій, дають можливість приймати всебічно обгрунтовані 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 криється в комбінованих системах, створило підстави для розробки наукових основ одержання конструкцій нової генерації.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гоголь М. В. Регулювання напружень у сталевих комбінованих конструкціях: Монографія / М. В. Гоголь. – К.: Вид-во «Сталь», 2018. – 222 с., рис. 148, табл. 25. ISBN 978-617-676-136-5.

2. Проектування раціональних комбінованих металевих конструкцій / [Пермяков В. О, Гоголь М. В., Пелешко І. Д., Більський М. Р., Чайка Б. С.]; за ред. проф. В.О. Пермякова: Посібник. – Львів: Видавництво Національного університету „Львівська політехніка”, 2005. – 180 с. ISBN 966-553-500-5.

3. Рекомендації з проектування раціональних металевих несучих конструкцій перекриття та покриття / В. О. Пермяков, М. В. Гоголь. – Львів: Видавництво Національного університету „Львівська політехніка”, 2006.–24 с.

4. Альбом шпренгельних ферм. Малоелементні шпренгельні ферми прогонами 12, 18, 24, 30 м з розрахунковим регулюванням зусиль для покриття промислових будівель. Креслення КМ. / М. В. Гоголь. Кафедра будівельного виробництва Національного університету „Львівська політехніка”, 2017. – 14 аркушів.

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз:

5. Miron Gogol. Shaping of effective steel structures/ Miron Gogol // Budownictwo i inzynieria srodowiska: Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej. – 2009. – Z. 52. - Nr 264 - S. 43-56. ISSN 0209-2646. (Baz Tech).

6. Гоголь М. В. Методика і алгоритм раціонального проектування комбінованих металевих конструкцій / М. В. Гоголь // Металеві конструкції. – 2014. – Том 20. – № 1. – С. 29–43. ISSN 1814-5566. (Iconda).

7. Гоголь М. В. Розрахунок і проектування раціональних комбінованих

металевих конструкцій / М. В. Гоголь // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2014. – Том 10. – № 1. – С. 79–90. ISSN 1993-3495. (Iconda).

8. Gogol Miron. The combined metal structures of the estimated regulation efforts / Miron Gogol // Czasopismo inżynierii lądowej, środowiska i architektury. Journal of civil engineering, environment and architecture, JCEEA. – Rzeszow, Poland. Rzeszow University of Technology, 2015. - t. XXXII. - z. 62 (4/15). - S. 107-118. ISSN 2300-5130. (Index Copernicus).

9. Мирон Гоголь. Снижение материалоемкости комбинированных металлических конструкций / Мирон Гоголь, Беата Ордон-Беска // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. - Czestochowska, Poland. 1(15) 2015. – S. 61-69. ISSN 2299-8535. (Index Copernicus, Baz Tech).

10. Гоголь М. В. Вплив деформованого стану балки жорсткості на розподіл зусиль в системі / М. В. Гоголь // International Scientific Journal (Міжнародний науковий журнал)— 2017. — №11(33). – С. 45-47. DOI: 10.25313/2520-2057-1-11-2771. ISSN 2520-2057. (ResearchBib).

11. Myron Gogol. New effective combined steel structures / Myron Gogol, Alina Zygun, Natalia Maksiuta // International Journal of Engineering and Technology; Vol 7, No 3.2 (2018) – P. 343-348. ISSN 2227-524X. DOI:10.14419/ijet.v7i3.2.14432 (Scopus).

12. Myron Gogol. Innovative combined truss: experimental and numerical research / Myron Gogol, Tatyana Galinska, Tatyana Kropyvnytska // International Journal of Engineering and Technology; Vol 7, No 4.8 (2018) – P. 84- 90. ISSN 2227-524X. DOI:10.14419 / ijet. v7i4.8.27219.

Статті у наукових фахових виданнях України:

13. Гоголь М. В. Експериментальні дослідження нової конструкції малоелементних металодерев'яних ферм / М. В. Гоголь, А. Я. Пенцак // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наук. праць Рівненського держ. техн. ун-ту. – Рівне, 1999. – Вип. 2. – С. 80–85.

14. Гоголь М. В. Регулювання напружень та деформацій у балкових конструкціях / М. В. Гоголь, О. М. Гайда // Теорія і практика будівництва: вісник нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – Львів, 2000. – № 409. – С. 41–50.

15. Гоголь М. В. Особливості розрахунку комбінованих конструкцій з регулюванням зусиль / М. В. Гоголь, О. М. Гайда // Архітектура і сільськогосподарське будівництво: вісник Львівського держ. аграрного ун-ту. – Львів, 2001. – Вип. 2. – С. 42–47.

16. Гоголь М. В. Основні принципи формоутворення нових типів конструкцій з регулюванням зусиль / М. В. Гоголь // Теорія і практика будівництва: вісник нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – Львів, 2002. – № 441. – С. 53–58.

17. Гоголь М. В. Узагальнений метод розрахунку металевих конструкцій з регулюванням зусиль / М. В. Гоголь // Теорія і практика будівництва: вісник нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – Львів, 2002. – № 462. – С. 25–34.

18. Гоголь М. В. Особливості розрахунку будівельних конструкцій із регулюванням зусиль / М. В. Гоголь // Будівельні конструкції: міжвід. наук. збірник / НДІБК. – К., 2003. – Вип. 59. – Книга 1. – С. 271–278.

19. Пермяков В. О. Проблема регулювання напружено-деформованого стану плоских стержневих металевих конструкцій / В. О. Пермяков, М. В. Гоголь // Теорія

і практика будівництва: вісник нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – Львів, 2004. – № 495.– С. 154–157.

20. Гоголь М. В. Проблема економічності несучих металоконструкцій перекриття та покриття / М.В. Гоголь // Теорія і практика будівництва: вісник нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – Львів, 2004. – № 520. – С. 42–45.

21. Гоголь М. В. Робота балко-ферми під навантаженням / М. В. Гоголь // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць Рівненського держ. техн. ун-ту.– Рівне, 2004. –Вип. 11. – С. 153–160.

22. Гоголь М. В. Розрахунок балко-ферми при роботі в області обмежених пластичних деформацій / М. В. Гоголь // Теорія і практика будівництва: вісник нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – Львів, 2005. – № 545. – С. 32–35.

23. Іваник І. Розрахунок рівномоментного стану в статично невизначених комбінованих конструкціях / І. Іваник, М. Гоголь, С. Віхоть // Архітектура і сільськогосподарське будівництво: вісник Львівського держ. аграрного ун-ту. – Львів, 2006. – № 7. — С. 261–265.

24. Гоголь М. В. Проектування і розрахунок комбінованих металевих конструкцій з регулюванням зусиль / М. В. Гоголь, М. Р. Більський, І. Д. Пелешко // Современные строительные конструкции из металла и древесины: сб. научн. трудов Одесской гос. академии строительства и архитектуры. Часть 1. – Одесса, 2006. – С. 34–39.

25. Іваник І. Г. Розрахунок статично невизначених комбінованих конструкцій / І. Г. Іваник, М. В. Гоголь, С. І. Віхоть // Дороги і мости: зб. наук. праць держ. дорожнього наук. – дослід. ін-ту ім. М.П. Шульгіна. – К., 2006. – Вип. 6. – С. 33–42.

26. Гоголь М. В. Особливості роботи балко-ферм при несиметричному навантаженні / М. В. Гоголь // Теорія і практика будівництва: вісник нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – Львів, 2007. – № 600. – С. 63–67.

27. Гоголь М. В. Дослідження раціональних параметрів комбінованих конструкцій / М. В. Гоголь // Теорія і практика будівництва: вісник нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – Львів, 2007. – № 602. – С. 14–18.

28. Гоголь М. В. Оптимальне проектування комбінованих малоелементних ферм / М. В. Гоголь, І. Д. Пелешко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наук. праць Рівненського нац. ун-ту водного господарства та природокористування. Част. 2. – Рівне, 2008. – Вип. 16. – С. 99–104.

29. Гоголь М. В. Ефективність регулювання зусиль в металевих конструкціях / М. В. Гоголь, І. Д. Пелешко, М. Р. Більський // Збірник наук. праць УкрНДІпроектстальконструкція ім. В. М. Шимановського. – К.: Вид-во «Сталь», 2008, вип. 1 – С. 127–132.

30. Гоголь М. В. Комбіновані металеві конструкції будівель і споруд (дослідження, розрахунок, виготовлення і монтаж) / М. В. Гоголь // Теорія і практика будівництва: вісник нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – Львів, 2008. - №. 627.– С. 58–63.

31. Гоголь М. В. Особливості регулювання напружено-деформованого стану комбінованих сталевих конструкцій / М. В. Гоголь, М. Р. Більський // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2009. – № 1. – С. 6–9.

32. Гоголь М. В. Розрахунковий метод регулювання зусиль в металевих

конструкціях – ефективний напрямок їх раціонального проектування / М. В. Гоголь // Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології: вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2009-4(78). – С. 149–154.

33. Гоголь М. В. Практична реалізація розрахункового методу регулювання НДС в комбінованих конструкціях / М. В. Гоголь // Теорія і практика будівництва: вісник нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – Львів, 2009. – № 655. – С. 58–66.

34. Гоголь М. В. Ефективні комбіновані конструкції будівель та мостів / М. В. Гоголь // Теорія і практика будівництва: вісник нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – Львів, 2010. – № 662. – С. 142–149.

35. Гоголь М. В. Ефективні комбіновані металеві конструкції / М. В. Гоголь // Современные строительные конструкции из металла и древесины: сб. научн. трудов Одесской гос. академии строительства и архитектуры. Часть 1. – Одесса, 2010. – № 14. – С. 63–68.

36. Гоголь М. В. Теорія і практика регулювання напружено-деформованого стану комбінованих металевих конструкцій / М. В. Гоголь // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2010. – № 2. – С. 2–4.

37. Гоголь М. В. Раціональний спосіб підвищення ефективності комбінованих металевих конструкцій / М. В. Гоголь // Вісник Одеської держ. академії будівництва та архітектури: збірник наукових праць. – Одеса, 2010. – № 38. – С. 155–161.

38. Гоголь М. В. Підвищення ефективності комбінованих металевих конструкцій / М. В. Гоголь // Теорія і практика будівництва: вісник нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – Львів, 2011. – № 697. – С. 76–80.

39. Гоголь М. В. Розрахунковий метод регулювання зусиль у статично невизначених системах сталевих конструкцій / М. В. Гоголь, М. Р. Більський // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – № 39. – С. 37–46.

40. Гоголь М.В. Регулювання зусиль в металевих конструкціях / М. В. Гоголь, М. Р. Більський, С. І. Віхоть, М. М. Гоголь // Теорія і практика будівництва: вісник нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – Львів, 2012. – №.–737. - С. 64–70.

41. Гоголь М.В. Проектування і розрахунок комбінованих мостових переходів / М. В. Гоголь, М. Р. Більський, І. Д. Пелешко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика: збірник наук. праць Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 3. – С. 33–38.

42. Гоголь М.В. Теорія і практика раціонального проектування сталевих мостових переходів / М. В. Гоголь, Я. Й. Коцій // Теорія і практика будівництва: вісник нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – Львів, 2013. – №.–755. - С. 88–94.

Патенти:

43. Деклараційний патент 50014 А Україна, МКИ 7 Е 04 С 3/10 В 66 С17/00. Балкова конструкція / М. В. Гоголь, О. М. Гайда; власник ДУ«Львівська політехніка». – № 99127148; заявл. 28.12.99; опубл. 15.10.02, Бюл. № 10. – 2 с.

44. Деклараційний патент 46983 А Україна, МКИ 7 Е 04 С3/10. Прогінна конструкція / М. В. Гоголь, О. М. Гайда, Б. С. Чайка; власник НУ «Львівська політехніка». - № 2001031714; заявл. 14.03.01; опубл. 17.06.02, Бюл. № 6. – 2 с.

45. Деклараційний патент 48841 А Україна, МКИ 7 Е 04 С 3/08. Шпренгельна балка / М.В. Гоголь, Б.С. Чайка, О.М. Гайда, І.В. Надала; власник НУ «Львівська

політехніка». – № 2001128874; заявл. 21.12.01; опубл. 15.08. 02, Бюл. № 8. – 2 с.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

46. Гоголь М. В. Легкие металлодеревянные конструкции покрытий / М. В. Гоголь, А. Я. Пенцак, О. М. Гайда // Problemy budownictwa i inzynierij srodowiska: – cz. 1. – Budownictwo. – Rzeszow (Poland) – 1995. – С. 95–100.

47. Гоголь М. В. Регулювання напружень та деформацій в металевих конструкціях / М. В. Гоголь, О. М. Гайда // Металеві конструкції: VII Українська наук.-техн. конф. – Дніпропетровськ: 2000. – С. 53–55.

48. Гоголь М. В. Підвищення ефективності роботи сталевих та металодерев'яних конструкцій / М. Гоголь, О. Петренко, А. Пенцак // Current issues of civil and environmental engineering: – Civil Engineering. – Budownictwo i inzynieria srodowiska, Rzeszow (Poland) – 2000. – z. 32. – С. 117–124.

49. Гоголь М. Особливості роботи та розрахунку прогінних комбінованих конструкцій / [Гоголь М., Пенцак А., Гайда О., Надала І.] // Актуальні проблеми будівництва та інженерії доквілля: збірник матеріалів Міжнар. конф.– Львів: Видавництво НУ “Львівська політехніка”, 2001. – С. 96–102.

50. Гоголь М. В. Регулирование усилий в металлических конструкциях / М. В. Гоголь, О.М. Гайда // Современные проблемы совершенствования и развития металлических, деревянных, пластмассовых конструкций в строительстве и на транспорте: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – С., 2002. – С. 41.

51. Гоголь М. В. Особливості оптимізації металевих конструкцій з внутрішнім регулюванням зусиль / М. В. Гоголь, О. М. Гайда // Прогнозирование в материаловедении: (МОК'41). – Одеса: Астропринт. – 2002. – С. 173.

52. Gogol M. Steel structure parameters optimization with force regulation / M. Gogol, O. Gajda, I. Nadala // Pri prilezitosti 25. Vyrocia zalozenia Stavebnej fakulty a 50. Vyrocia zalozenia Technickej univerzity v Kosiciach: VII Vedecka konferencia s medzinarodnou ucastou. – Kosice (Slovakia). – 2002. – s. 63–64.

53. Гоголь М. В. Реконструкція металевого каркасу промислового будинку / М. В. Гоголь, М. Р. Більський // Захист від корозії і моніторинг залишкового ресурсу промислових будівель, споруд та інженерних мереж: Міжнародна науково-практична конференція. – Донецьк. – 2003. – С.383-385.

54. Myron Gogol. Steel structures with force regulation / Gogol Miron, Gajda Olexiy // IX International Scientific Conference «Current issues of civil and environmental engineering». Rzeszow, Poland. – 2004. – Z. 37. - Nr 211 - P. 93-95.

55. Гоголь М. В. Регулювання напружень у металевих конструкціях / М. В. Гоголь, М. Р. Більський, І. Д. Пелешко // Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее: сб. докл. VIII Украинской наук.-техн. конф. – К.: Сталь, 2004. – Ч. I. – С. 220–225.

56. Гоголь М. В. Розрахунок комбінованої металодерев'яної ферми з врахуванням деформацій верхнього поясу / М. В. Гоголь, А. Я. Пенцак // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць Рівненського держ. техн. ун-ту.– Рівне, 2004. –Вип. 11. – С. 161–169.

57. Gogol Myron. Experimental Research of Work of Steel Structures with Force Regulation / Myron Gogol, Olexij Gajda // State of Art, Trends of Development and

Challenges in Civil Engineersng: 10 Scientific Conference Rzeszow-Lviv-Kosice. - Kosice, Slovakia, 2005. – С.18.

58. Гоголь М. В. Експериментальне дослідження роботи балкових конструкцій з регулюванням зусиль / М. В. Гоголь, О. М. Гайда // Теорія і практика будівництва: вісник нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – Львів, 2005. – № 545. – С. 36-41.

59. Гоголь М. В. Регулювання зусиль у стержневих металевих конструкціях / М. В. Гоголь, І. Д. Пелешко, М. Р. Більський // Будівельні металеві конструкції: сьогодення та перспективи розвитку: V Міжнар. наук.-техн. конф. – К.: Сталь, 2006. – С. 93–95.

60. Пермяков В. А. Комбинированные металлические конструкции с регулированием и их оптимизация / В. А. Пермяков, М. В. Гоголь, И. Д. Пелешко // Наука и инновации в современном строительстве: Междунар. научн.-практ. конф. – СПб., 2007. – С. 142–145.

61. Гоголь М. В. Ефективність регулювання зусиль в металевих конструкціях / М. В. Гоголь, І. Д. Пелешко, М. Р. Більський // Металеві конструкції: сьогодення та перспективи розвитку: тези доп. IX Української наук.-техн. конф. – К.: Сталь, 2008. – С. 88–89.

62. Gogol Miron. Shaping of steel structures / Miron Gogol // Current issues of civil and environmental engineering: XII International Scientific Conference. Rzeszow-Lviv-Kosice. – Rzeszow, Poland. - 2009. – S. 26.

63. Gogol Miron. The combined metal structures of the estimated regulation efforts / Miron Gogol // Current issues of civil and environmental engineering and architecture: XV International Scientific Conference. Rzeszow-Lviv-Kosice. – Rzeszow, Poland. - 2015. – S. 28-29.

64. Шимановський О.В. Комбіновані сталеві конструкції нової генерації / О.В. Шимановський, М.В. Гоголь // International Conference «BUILDING INNOVATIONS – 2018». - Baku, Azerbaijan. – 2018. - S. 219-221.

65. Шимановський О. В. Новий підхід до проектування ефективних комбінованих сталевих ферм / Шимановський О.В., Гоголь М.В // I International Scientific and Practical Conference «TECHNOLOGY, ENGINEERING AND SCIENCE – 2018». – London. - 2018. – S. 16-18.

АНОТАЦІЯ

Гоголь М.В. Регулювання напружено-деформованого стану комбінованих сталевих конструкцій. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 “Будівельні конструкції, будівлі та споруди” (19 – архітектура та будівництво). – Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, 2019.

Метою дисертації є вирішення важливої науково-технічної проблеми із розроблення теоретичних основ розрахунку і проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій покриттів і перекриттів, а також вдосконалення їх конструктивних форм. Отримані нові наукові і практичні результати та

розвинуто теорію раціонального проектування комбінованих сталевих конструкцій, що дозволяє системно підвищити їхню ефективність і економічність.

Удосконалено на основі енерговаріаційного принципу (принципу Лагранжа) узагальнений метод розрахунку комбінованих сталевих конструкцій з врахуванням деформованого стану балки жорсткості.

Розроблено і науково обґрунтовано новий розрахунковий метод регулювання НДС для проектування раціональних конструкцій. Визначено раціональну висоту, кути нахилу підкосів, тяжів і вант комбінованих конструкцій, кількість проміжних опор балки жорсткості і показано ефективність розрахункового методу регулювання НДС. Удосконалено конструктивні форми комбінованих раціональних сталевих конструкцій і розширено область їх застосування. Результати досліджень впроваджено в практику будівництва.

Ключові слова: раціональне проектування, комбіновані конструкції, НДС, енерговаріаційний принцип, балка жорсткості, розрахунковий метод регулювання, конструктивні форми.

ANNOTATION

Gogol M. V. Regulation of the stress-strain state of combined steel structures. - Qualifying scientific work as manuscript.

The thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences on specialty 05.23.01 "Building constructions, buildings and structures" (19 – Architecture and Construction). – Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, 2019.

The dissertation is devoted to the decision of an important scientific and technical problem on the development of theoretical bases of calculation and design of rational combined steel structures, cover and block.

The introduction substantiates the relevance of the work, its novelty and the importance of the identified issues and the ways of their solution is indicated. The scientific novelty is given and practical value for the national economy of the country and its general characteristics are presented.

Section 1 gives an overview of literary sources. It discusses the state and prospects of applying the regulation of the stress deformation state (SDS) of steel structures. The analysis of development of constructive forms of combined steel structures is given. The methods and ways of regulating the SDS are analyzed and summarized.

On the basis of the analysis of the results of a survey of theoretical studies and the development of the theory of constructive forms of combined structures defined directions for their further improvement.

In **Section 2**, the generalized method of calculating combined structures with respect to their deformed state is improved on the basis of the Lagrange energy-efficiency principle. For the first time a single calculation model of combined systems in the form of a beam on elastic supports is proposed.

A physical and generalized mathematical model for calculating the stiffening beam, taking into account its deformed state, has been developed, suitable for calculating all possible types of beam. The energy-efficiency method of the step-by-step solving of the

generalized mathematical model of the beam of stiffness with the help of the Lagrange principle is proposed.

The analysis of the results and verification of the accuracy of the calculation of combined steel structures, taking into account the deformed state of the beam of rigidity, was carried out. It is shown how the developed design model of a non-split beam on intermediate elastic supports can also be used to calculate a single-span hinged beam, multi-core non-split beam on rigid supports, beams on an elastic basis based on the Winkler model, on a solid basis, with support posts and a tilted moving support.

Section 3 discusses the problem of regulating SDS in combined structures and shows, that the calculation of each type of such structures by known methods gives an uneven tense state along the length of the main element - the beams of rigidity. The method of regulation of SDS in combined structures is developed, which is based on an improved method for calculating such structures, taking into account the deformed state of the beam of stiffness.

The algorithm of the calculation of the regulation of the SDS of combined steel structures, block diagram is developed. The checks of the proposed method of calculation have been performed and the effectiveness of the regulation of efforts according to the calculated method is estimated.

We consider systems with sloping supports, which allow to achieve such regulation of SDS, for which the general deformations of the structures will be several times smaller than the deformations of the typical structures, at the same time saving steel.

Section 4 sets out the conditions for the achievement of the design of a combined steel structure rationality criterion. Functional dependences are obtained for determining the rational parameters of combined structures.

Based on the energy principles of building mechanics, the analytical dependences of the deformation energy of the beam on elastic supports and its mass from the number of its panels are obtained.

The estimation of rational parameters of a combined steel sprengel truss with a run of 18 m was carried out by the method of mathematical planning of the experiment.

It is proved that the most advantageous for use is a sprawn beam with a triangular sprengel and three risers and beam- truss.

Section 5 is devoted to the experimental verification of the work of combined structures on model and samples of large (natural) sizes.

The theoretically calculated intensity of inclusion in the work of metal on the length of elements at the expense of the settlement regulation of SDS is confirmed, that is, a rational structure is obtained.

Adjusting the SDS by inclined rails in the beams increases their bearing capacity and stiffness compared to the beams with traditional supports. The theoretical results obtained by the developed methods showed satisfactory convergence with the results of the experiment.

Section 6 developed a method for rational design of combined steel structures and defined the basic criteria of rationality.

The practical methods of providing rational number of supports, rational angles of inclination of slopes, straps and guards and height of combined structures are given. New constructive forms of rational combined metallic sprengel truss and truss coverings that

are protected by patents of Ukraine for inventions are developed and proposed and defined types of combined steel structures for rational design.

Keywords: rational design, rational structures, combined metal structures, regulation SDS, energy variation principle, calculation method of regulation, equi-stress.

АННОТАЦИЯ

Гоголь М.В. Регулирование напряженно-деформированного состояния комбинированных стальных конструкций. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.01 “Строительные конструкции, здания и сооружения” (19 – архитектура и строительство). - Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Полтава, 2019.

Целью диссертации является решение важной научно-технической проблемы по разработке теоретических основ расчета и проектирования рациональных комбинированных стальных конструкций покрытий и перекрытий, а также совершенствование их конструктивных форм.

Получены новые научные и практические результаты и развита теория рационального проектирования комбинированных стальных конструкций позволяет системно повысить их эффективность и экономичность.

Усовершенствован на основе энерговариационного принципа (принципа Лагранжа) обобщенный метод расчета комбинированных стальных конструкций с учетом деформированного состояния балки жесткости.

Разработан и научно обоснован новый расчетный метод регулирования НДС для проектирования рациональных конструкций. Определены рациональная высота, углы наклона подкосов, тяжей и вант комбинированных конструкций, количество промежуточных опор балки жесткости и показана эффективность расчетного метода регулирования НДС. Усовершенствованы конструктивные формы комбинированных рациональных стальных конструкций и расширена область их применения. Результаты исследований внедрены в практику строительства.

Ключевые слова: рациональное проектирование, комбинированные конструкции, НДС, энерговариационный принцип, балка жесткости, расчетный метод регулирования, конструктивные формы.

Підписано до друку 30.05.2019 р.
Формат 60×90 1/16. Папір офсетний.
Друк на різнографі. Умовн. друк. арк. 2,2. Обл.-видав. арк. 1,7.
Тираж 100 прим. Зам. 190944.

Поліграфічний центр
Видавництва Національного університету “Львівська політехніка”
вул. Ф.Колесси, 4, 79013, Львів
Реєстраційне свідоцтво серії ДК № 4459 від 27.12.2012 р.