

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора **Пічугіна Сергія Федоровича**

на дисертаційну роботу **Юрченко Віталіни Віталіївни**

«УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ ФОРМИ ЛЕГКИХ КАРКАСІВ БУДІВЕЛЬ ІЗ ХОЛОДНОГНУТИХ ПРОФІЛІВ НА БАЗІ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ»,

подану до спеціалізованої вченої ради Д 26.056.04 Київського національного університету будівництва і архітектури на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Актуальність теми досліджень

Сучасний розвиток будівельної галузі України ставить перед дослідниками та проектувальниками задачі створення та застосування ефективних несучих й огорожувальних конструкцій. Такими, зокрема, є конструктивні системи із сталевих тонкостінних профілів, виготовлених шляхом холодного формування, які все ширше застосовуються у будівельній індустрії. Основними перевагами легких сталевих тонкостінних конструкцій (ЛСТК) є мала металомісткість, висока технологічність, легкість транспортування і монтажу та висока експлуатаційна надійність протягом життєвого циклу. Досвід будівництва в США, Європейському Союзі й інших країнах свідчить про успішне возведення із сталевих холодноформованих конструкцій як малоповерхових громадських та виробничих будівель, так і багатоповерхових житлових будинків. Між тим широке використання ЛСТК у практику вітчизняного будівництва конструкцій затримується недосконалістю нормативної бази та недостатністю вітчизняного досвіду економічного та надійного проектування таких конструкцій.

Економічність каркасів будівель із ЛСТК може бути підвищена застосуванням методів оптимізації, які зараз використовуються обмежено і потребують подальшого розвитку з врахуванням наближення їх до практичного попиту. Можна стверджувати, для методів оптимального проектування конструкцій, зокрема ЛСТК, відкриваються нові можливості завдяки широкому застосуванню систем автоматизованого проектування.

Тому представлена дисертаційна робота є **актуальною**, так як спрямована на вирішення важливої наукової проблеми розроблення методології пошуку

оптимальних проектних рішень будівельних конструкцій із тонкостінних холодногнутих профілів, яка включає дослідження принципів формоутворення поперечних рам каркасів будівель, колон та наскрізних ригелів, виконаних з тонкостінних стержнів відкритого профілю, при різноманітних граничних умовах та при дії навантажень, що обумовлюють стиснене кручення. Розроблення рекомендацій по розрахунку та проектуванню конструкцій поперечних рам каркасів будівель із тонкостінних холодногнутих профілів відкритого перерізу сприятиме ширшому впровадженню цього класу конструкцій.

Актуальність теми досліджень також підтверджується **зв'язком роботи з науковими програмами та темами**. Основні дослідження теоретичного і прикладного характеру виконані в межах держбюджетної науково-дослідної теми 7-ДБ-06 «Розвиток основи формоутворення і теорії розрахунку сталевих конструкцій із тонкостінних гнутих профілів несиметричного перерізу при розкріпленні в'язями зсуву» (№ держреєстрації 0106U000647), яка виконувалась КНУБА за дорученням Міністерства освіти і науки України. У зазначеній темі здобувачка брала участь як виконавець, їй належить розробка алгоритму пошуку оптимальної конструктивної форми досліджуваного класу систем.

Структура та обсяг дисертації задовольняє вимогам, що висуваються до докторських дисертацій. Представлена дисертаційна робота складається із вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел і додатку. Дисертація викладена на 466 сторінках, у тому числі 331 сторінка основного тексту, 70 повних сторінки з таблицями і рисунками, 61 сторінок списку використаних джерел, 4 сторінки додатку.

Аналіз основного змісту роботи

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету та задачі досліджень; визначено об'єкт та предмет, наукову новизну і практичне значення роботи; зазначено особистий внесок здобувача та розглянуто методи досліджень і відомості про публікації й апробацію результатів дисертаційної роботи. Вважаю такою, що відповідає рівню докторської дисертації, мету роботи: вирішення проблеми оптимального проектування легких каркасів будівель, виготовлених із тонкостінних холодногнутих профілів на основі

розроблення моделей, методів і ефективних алгоритмів реалізації підходу та дослідження властивостей конструкцій з оптимальними параметрами.

У першому розділі наведено огляд досліджень в галузі розроблення та впровадження ЛСТК, зокрема, в рамних каркасах будівель; розглянуті особливості роботи під навантаженням тонкостінних стержневих конструкцій із холодногнутих профілів; проаналізована закритична робота ЛСТК з врахуванням втрати місцевої стійкості та втрати стійкості форми перерізу. Розглянуті праці широкого кола дослідників з проблеми стійкості несучих елементів тонкостінних конструкцій та чисельного моделювання роботи тонкостінних стержневих елементів. Певну увагу здобувачка приділила аналізу досліджень вітчизняних та зарубіжних вчених з проблеми втрати місцевої стійкості тонких пластин та їх закритичної роботи. З достатньою повнотою у цьому розділі виконано огляд основних праць з проблеми оптимального проектування металевих стержневих систем. На закінчення розділу сформульовані мета та задачі досліджень.

У другому розділі наведені результати досліджень щодо оцінки депланацій перерізів, що примикають до конструкції вузлів, та розподілу депланацій та бімоментів у тонкостінних стержневих системах. Розглядалися оболонкові скінченно-елементні моделі стержневих конструкцій, навантажені зовнішнім крутним моментом із різноманітними умовами обпирання, причому тонкостінні стержні представлялись сукупністю плоских скінченних елементів. З використанням методу найменших квадратів виконана оцінка сумарних відхилень результатів числового розрахунку від теоретичного рішення Власова щодо депланацій та бімоментів. Відповідно до запропонованої методики досліджень був проведений ряд числових експериментів по оцінці депланацій перерізів, що примикають до вузлів. Результати виконаних числових досліджень засвідчили, що на розподіл депланацій та бімоментів у системі суттєво впливає конструкція жорсткого вузла сполучення та схема навантаження.

Третій розділ присвячений розв'язку задачі визначення дотичних напружень для довільного перерізу тонкостінного стержня, що може складатися з декількох замкнених контурів або із незамкнених ділянок. Внесок цих напружень є вагомим в оцінку несучої здатності ЛСТК за критерієм втрати місцевої стійкості або міцності за приведеним напруженнями. Для цього була вдало залучена теорія графів, згідно з якою переріз тонкостінного стержня

представлявся графом, вершини якого асоціювалися з характерними точками перерізу, ребра графа асоціювалися з ділянками перерізу, що не розгалужуються. Визначення дотичних напружень представлено як задача нелінійного програмування з пошуком таких значень невідомих потоків дотичних напружень у початкових точках ділянок перерізу, що не розгалужуються, які забезпечують мінімум критерію оптимальності – функціоналу Кастільяно – при забезпеченні умов рівноваги.

Слід відмітити, що здобувачкою виконана програмна реалізація запропонованого алгоритму у середовищі програми ТОНУС, що функціонує в складі обчислювального комплексу SCAD Office. На розглянутих прикладах доведена достовірність результатів, отриманих за допомогою розробленого алгоритмічного забезпечення.

У четвертому розділі розвинута методика нормативного розрахунку несучої здатності стержневих елементів конструкцій із холодногнутих профілів з врахуванням їх закритичної роботи, що полягає у побудові редукованих поперечних перерізів стержнів, що враховують втрату місцевої стійкості стиснутих елементів перерізу та втрату стійкості форми поперечного перерізу. У розділі розглядаються кілька варіантів перерізів ЛСТК, для яких запропоновані поліноміальні залежності для гнучкості елемента та його редукованої ширини. Адаптована таким чином методика нормативного розрахунку несучої здатності стержневих елементів конструкцій із холодногнутих профілів з врахуванням їх закритичної роботи увійшла у склад математичної моделі задачі оптимального проектування досліджуваного класу конструкцій.

У п'ятому розділі наводяться результати розроблення математичної моделі задачі оптимального проектування тонкостінних стержневих конструкцій із холодногнутих профілів. Використовувалися такі основні розрахункові передумови: матеріал конструкції є ідеально пружним; стержнева система є лінійно-деформованою; зовнішні навантаження, прикладені до стержневої системи, є квазістатичними.

Задача оптимізації досліджуваного класу конструкцій сформульована в дисертації наступним чином: при заданих топології стержневої конструкції із холодногнутих профілів, типах поперечних перерізів її елементів, умовах закріплення на опорах та схемі розрахункових навантажень визначити оптимальні параметри геометричної схеми та розміри поперечних перерізів з

врахуванням закритичної роботи стержневих елементів, обмежень функціонального об'єму та конструктивних вимог.

Для поперечних рам каркасів будівель із тонкостінних холодногнутих профілів розроблена нова математично і механічно коректна модель задачі оптимального проектування при змінних параметрах геометричної схеми та розмірах поперечних перерізів, що враховує закритичну роботу стержневих елементів, обмеження функціонального об'єму та конструктивні вимоги. В рамках розробленої математичної моделі вперше побудовано область несучої здатності стержневих елементів конструкцій із холодногнутих профілів, що враховують усі вимоги будівельних норм для першої групи граничних станів (рис. 8 автореферату). Виявилося, що ця область не є гладкою і випуклою, окремі її підобласті утворені різним набором обмежень, перехід між якими призводить до стрибкоподібної зміни несучої здатності перерізів стержневих елементів із холодногнутих профілів. Для параметричної оптимізації поперечних рам каркасів із холодногнутих профілів в якості ефективного методу розв'язку запропоновано генетичні алгоритми, які реалізують цілеспрямований перебір скінченої множини варіантів проектних рішень та дозволяють врахувати особливості області пошуку оптимальних проектних рішень досліджуваного класу конструкцій.

У шостому розділі роботи обґрунтовано новий ефективний алгоритм пошуку оптимальної конструктивної форми поперечних рам каркасів будівель із холодногнутих профілів з оптимізацією параметрів геометричної схеми та розмірів поперечних перерізів з врахуванням закритичної роботи стержневих елементів, обмежень функціонального об'єму та конструктивних вимог. При цьому в якості змінних стану розглянуті розрахункові навантаження, що діють на конструкцію та залежать від змінних параметрів геометричної схеми. Послідовність оптимізаційного розрахунку тонкостінних стержневих систем із холодногнутих профілів відповідно до методології пошуку, що описується гібридним генетичним алгоритмом, наочно ілюструється блок-схемою, представленою на рис. 10 автореферату.

У сьомому розділі на основі результатів виконаних досліджень обґрунтовано оптимальне рішення С-подібного холодногнутого тонкостінного перерізу, що сприятиме створенню ефективних національних сортаментів стандартних гнутих профілів. На основі аналізу конструкції великопролітної решітчастої поперечної рами виявлені нові закономірності формоутворення

оптимальних проектних рішень таких каркасів з із холодногнутих профілів.

У висновках чітко і вичерпно сформульовані основні результати дисертації.

Повнота викладу в опублікованих працях, апробація результатів

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 58 наукових працях, у тому числі: 2 монографії, 19 статей у наукових фахових виданнях, що входять до переліку МОН України, 9 статей, що включені до наукових періодичних видань інших держав та у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз даних, 28 основних публікацій по доповідям на міжнародних і вітчизняних конференціях.

Аналіз публікацій Юрченко В.В. свідчить, що вони всебічно і достатньо повно висвітлюють ідеї, наукові розробки і положення, аналітичні залежності та чисельні моделі, практичні результати, висновки та рекомендації що містяться в дисертації.

Матеріали дисертації були широко представлені на багатьох міжнародних та національних конференціях, симпозиумах, семінарах у тому числі у Німеччині, Угорщині, Швеції, Фінляндії, Польщі, Литві, Білорусі, де здобувачка приймала персональну участь. Особливо слід виділити доповіді Юрченко В.В. на VIII світовому конгресі зі структурної та багатодисциплінарної оптимізації (м. Лісабон, Португалія, 2009 р.) та щорічних міжнародних наукових семінарах METNET.

Зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Зміст автореферату і основних положень дисертації – ідентичний та в достатній мірі висвітлює її наукові положення, висновки і рекомендації.

Дисертація і автореферат Юрченко В.В. викладені на достатньому науково-технічному рівні і оформлені у відповідності з вимогами щодо структури і правил оформлення документації у сфері науки і техніки.

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій доведено

наступним:

- використанням аналітичних та числових методів класичної будівельної механіки стержневих систем, математичної статистики, комбінаторного числення;
- обґрунтованою постановкою і реалізацією математичної задачі оптимального проектування досліджуваного класу конструкцій як задачі нелінійного програмування;
- коректністю формулювання механічних моделей досліджуваного класу конструкцій;
- стійкістю отриманих чисельних розв'язків по відношенню до вихідних даних та подальшим аналізом збіжності ітераційного пошукового процесу;
- апробацією підходу на тестових задачах та порівняльним аналізом й узгодженням отриманих результатів досліджень із опублікованими результатами з подальшим математичним обґрунтуванням розроблених методів та запропонованих обчислювальних алгоритмів;
- впровадженням результатів дисертаційної роботи у практику розрахунків широкого кола конструкцій;
- апробацією отриманих результатів роботи на всеукраїнських і міжнародних науково-практичних конференціях.

Внаслідок цього, **обґрунтованість та достовірність отриманих в дисертаційній роботі результатів**, що захищаються автором, не викликає сумнівів.

Наукова новизна отриманих результатів

Сформульовані цілі і задачі дослідження в дисертаційній роботі Юрченко Віталіни Віталіївни вирішені на основі отриманих нових наукових результатів. Найважливішими з них є:

- вперше одержана числова оцінка депланацій перерізів, що примикають до вузлів, та виявлена роль конструктивного рішення вузлів на розподіл депланацій та бімоментів у тонкостінних стержневих системах;
- розроблено нове алгоритмічне забезпечення для чисельного розв'язку задачі пошуку потоків дотичних зусиль у довільному перерізі тонкостінного стержня для загального випадку навантаження;

- удосконалена методика розрахунку несучої здатності стержневих елементів конструкцій із холодногнутих профілів з врахуванням їх закритичної роботи, що обумовлена втратою стійкості стиснутих елементів перерізу та втратою стійкості форми поперечного перерізу;
- вперше побудовано і досліджено область несучої здатності стержневих елементів конструкцій із холодногнутих профілів з врахуванням їх роботи у закритичній стадії та виявлено стрибкоподібний характер її границь;
- розроблена нова методика пошуку оптимальних розмірів та виявлені нові закономірності формоутворення оптимальних поперечних перерізів тонкостінних стержневих елементів із холодногнутих профілів;
- вперше з єдиних позицій, що ґрунтуються на інтерпретації задачі оптимального проектування будівельних конструкцій як задачі нелінійного програмування та використанні еволюційних методів оптимізації для її розв'язку побудована нова математична модель задачі оптимального проектування плоских поперечних рам каркасів із холодногнутих профілів, що враховує особливості роботи та поведінки досліджуваного класу конструкцій під навантаженням;
- вперше запропоновано метод розв'язку сформульованої задачі оптимізації – гібридний генетичний алгоритм, який дозволяє врахувати особливості області пошуку оптимальних проектних рішень поперечних рам каркасів будівель із холодногнутих профілів;
- виявлені нові закономірності формоутворення оптимальних проектних рішень поперечних рам каркасів будівель із холодногнутих профілів залежно від умов проектування та параметрів навантаження.

Важливість отриманих автором дисертації результатів для науки і практики

Наукова цінність роботи полягає у подальшому розвитку математично коректного, ефективного і перспективного єдиного підходу, що ґрунтується на інтерпретації задачі оптимального проектування будівельних конструкцій як задачі нелінійного програмування та використанні методу скінчених елементів та еволюційних методів оптимізації для її розв'язку.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості:

- безпосереднього використання підходу як ефективного засобу

відшукування оптимальних проектних рішень з метою зниження витрат ресурсів на стадіях виготовлення і зведення поперечних рам каркасів будівель із тонкостінних холодногнутих профілів;

- застосування результатів (методологія, алгоритми, чисельні дослідження, оптимальні проектні рішення досліджуваного класу конструкцій) як наукової основи перспективних розробок прогнозування і створення легких конструкцій поперечних рам каркасів будівель із тонкостінних холодногнутих профілів із заданими властивостями.

Суттєве практичне значення отриманих результатів підтверджується їх використанням при розробленні обчислювального комплексу SCAD та програм-сателітів КРИСТАЛ, КОМЕТА і ТОНУС, що функціонують у складі програмного забезпечення інтегрованої системи SCAD Office, яка впроваджена у розрахункову практику близько 4000 вітчизняних і закордонних підприємств будівельної галузі різних форм власності.

Особливо слід відмітити, що результати дисертаційної роботи використані при розробці нормативних документів ДБН В.2.6-163:2010 (затверджено наказами Мінрегіонбуду України від 16.12.2010 р. №521, від 30.12.2010 р. №571 та від 22.08.2011 р. №93) і ДБН В.2.6-198:2014 (затверджено наказом Мінрегіонбуду України від 10.06.2014 р. №167), а також під час розробки національних додатків до частин 1-3, 1-5 та 1-8 Єврокоду 3, що введені в дію як: Зміна №1 ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012, Зміна №1 ДСТУ-Н Б EN 1993-1-5:2012 і Зміна №1 ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8:2011.

Окремі результати роботи впроваджено в навчальний процес на кафедрі металевих та дерев'яних конструкцій Київського національного університету будівництва та архітектури у вигляді спеціалізованого курсу лекцій, а також при виконанні дипломних та магістерських робіт студентів спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія».

Рекомендації щодо використання одержаних наукових результатів роботи

Одержані в дисертаційній роботі наукові результати можуть бути рекомендовані до використання для подальшого розроблення нормативно-технічної документації з проектування сталевих конструкцій з тонкостінних холодногнутих профілів; для розвитку програмного забезпечення розрахунку

цього перспективного класу металевих конструкцій; при виконанні науково-дослідних робіт аспірантами та науковими співробітниками, які займаються розв'язанням проблем, таких як оптимізація конструкцій, пошук засобів зниження матеріаломісткості конструкцій та ресурсозбереження в будівництві; у навчальному процесі будівельних спеціальностей вищих навчальних закладів.

Зауваження по роботі

1. У першому розділі дисертації, присвяченому огляду стану питання, деякі джерела наводяться у вигляді переліку без необхідного розгляду змісту і критичного аналізу. Не пов'язана зі змістом дисертації частина тексту п. 1.4.1 щодо оптимізації за критерієм надійності. Окремі параграфи інших розділів мають реферативний характер, і їх слід було включити у перший розділ (пп. 2.1, 3.1).

2. Формулювання мети роботи, наведене на початку дисертації (с. 26) не співпадає зі змістом вирішеної науково-технічної проблеми, наведеної у висновках (с. 395).

3. Четвертий розділ (73 стор.) перевантажений цитуванням формул з нормативної літератури та інформацією щодо перерізів ЛСТК, що не використовуються у подальшому у роботі.

4. На рис. 4.7.2, 4.7.3 і 4.7.4 по осі ординат помилково позначений коефіцієнт запасу стійкості замість критичної сили у ньютонках.

5. Висновки по 4-у розділу занадто короткі, бо містять всього два пункти

6. Незрозуміло, для чого у табл. 7.3.2 наводиться ринкова вартість «теплої» будівлі з урахуванням вартості утеплювача, пароізоляції і т.д., яка значно дорожче вартості «холодної» будівлі, і як це підтверджує ефективність проведеної оптимізації поперечної рами будівлі.

7. Формулюючи висновки по 7-му розділу, здобувачка стверджує, що «...як результат виконаних досліджень розроблені закономірності формоутворення оптимальних проектних рішень поперечних каркасів будівель із тонкостінних холодногнутих профілів». Представляється, що таке твердження є дещо передчасним, оскільки в дисертації розглядався, хоча і досить детально, тільки один варіант великопролітної решітчастої рами, і наведений загальний висновок потребує більшого обґрунтування. Можна у зв'язку з цим порекомендувати здобувачці продовжити дослідження цього

актуального питання.

8. Загальні висновки по роботі є в основному переліком поставлених і розв'язаних у дисертації задач, бажано, щоб у висновках були наведені конкретні результати, одержані здобувачкою.

9. Наведений у дисертації список використаних джерел, незважаючи на значну кількість у 452 джерела, є дещо неповним у частині публікацій останніх років. Зокрема, повз уваги здобувачки пройшла близька за тематикою докторська дисертація В.О. Семка (прізвище якого згадується у загальному списку в авторефераті) на тему «Надійність несучих та огорожувальних конструкцій із сталевих холодноформованих тонкостінних профілів», захищена у ПолтНТУ у 2017 р., його монографія на ту ж тему та роботи його учнів. Ці роботи, на мій погляд заслуговували на увагу і критичний розгляд.

10. У повному обсязі дисертація доповідалася лише на розширеному засіданні кафедри металевих і дерев'яних конструкцій КНУБА. Між тим зазвичай потенційні доктори наук попередньо знайомлять зі своєї роботою ведучі ВНЗ і НДІ. Такий порядок практикується, зокрема, у спеціалізованій вченій раді ПолтНТУ, а також інших ВНЗ, що сприяє підвищенню якості дисертацій, підготовлених до захисту.


Висновок

Вказані зауваження по дисертаційній роботі не знижують принципово наукового рівня і практичного значення отриманих автором результатів досліджень. Дисертація є завершеною науковою працею, що пройшла достатню апробацію і в повній мірі відповідає паспорту спеціальності 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди. Дисертаційна робота містить нові обґрунтовані теоретичні та чисельні результати, що в сукупності вирішують важливу науково-прикладну проблему створення оптимальних конструктивних форм легких поперечних рам каркасів будівель із холодногнутих профілів з врахуванням їх закритичної роботи, що відкриває шлях до зниження матеріаломісткості, енерго- та ресурсозбереження і має важливе народногосподарське значення.

Вважаю, що представлена дисертаційна робота «Удосконалення конструктивної форми легких каркасів будівель із холодногнутих профілів на базі рішення задачі оптимального проектування» за актуальністю, змістом,

науковою новизною, практичним значенням, достовірністю та обґрунтованістю одержаних результатів, повнотою опублікування результатів у наукових фахових виданнях, обсягом і оформленням повністю відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою кабінету Міністрів України №567, а її автор, Юрченко Віталіна Віталіївна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки,
завідувач кафедри конструкцій з металу, дерева і пластмас
Полтавського національного технічного університету
імені Юрія Кондратюка


С. Ф. Пічугін

Підпис проф. С.Ф. Пічугіна засвідчую
Проректор ПолтНТУ з наукової та міжнародної роботи,
доц., к.е.н.




С.П. Сівіцька