

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

ДЖАНОВА ЛЮБОМИРА ВОЛОДИМИРОВИЧА

на тему: «**РАЦІОНАЛЬНІ СТАЛЕВІ БАЛКИ ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ**»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
192 – будівництво та цивільна інженерія,
галузь знань 19 – Архітектура та будівництво

Детальний аналіз дисертації Джанова Любомира Володимировича «Рациональні сталеві балки змінного перерізу» дозволяє сформулювати наступні узагальнені висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості основних наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності, наукової новизни, практичного значення, а також загальної оцінки роботи.

Актуальність теми дисертаційного дослідження

Проектування будівельних конструкцій завжди ставило за мету, крім вимог безпеки і надійності, вимогу отримання економічної конструкції. Зазвичай, критерієм економічності є вартість конструкції, яка безпосередньо пов'язана із її масою. Визначення найбільш ефективної конструкції за критерієм мінімуму маси або вартості є задачею оптимізації.

Поява нових типів сталевих конструкцій, таких як балки з розвинутих двотаврів з перфорованою стінкою постійної і змінної висоти перерізу, балки з гофрованою стінкою, балки з гнучкою стінкою, тонкостінні профілі, а також зварні двотаври зі змінною висотою стінки, так само підпадають під цю вимогу. Тому, проведення досліджень з оптимального проектування балкових елементів зі змінною висотою стінки і одночасно зі змінною шириною полиці, а також змінною товщиною стінки є актуальним дослідженням, яке відповідає основним вимогам проектування.

Доцільність вибору теми дослідження та її актуальність підтверджується тим, що вона відповідає науковому напрямку кафедри в межах науково-дослідної теми: «Розвиток теорії вибору раціональних ресурсозберігаючих конструкцій сталевих рам з використанням ефективних двотаврових профілів енергоекономічних будівель» (номер держреєстрації: 0121U111715), що виконується на підставі наказу КНУБА від 03.06.2021 № 243.

Наукова новизна одержаних результатів

Як наукову новизну слід відзначити:

1. Отримала розвиток теорія оптимального проектування для вирішення задач оптимального проектування сталевих балок двотаврового перерізу із змінною висотою стінки та шириною полиці.

2. Вперше отримані аналітичні залежності вибору оптимальної топології сталевої балки двотаврового перерізу: визначення оптимальної висоти перерізу, закономірності розподілу сталі по перерізу, взаємозв'язок функцій градієнтів змінності висоти стінки і ширини полиці при оптимальному проектуванні.

3. Вперше встановлені закономірності впливу га оптимальну топологію сталевої балки двотаврового перерізу умов міцності і умов обмеження за прогинами за вимогами другого граничного стану.

4. Встановлено вплив схеми навантаження при комбінації рівномірно розподіленого і зосередженого навантаження на оптимальну топологію балки двотаврового перерізу із змінною висотою стінки і шириною полиці. Встановлено, що в залежності від схеми навантаження максимальні напруження виникають в перерізі, де не діє максимальний згинальний момент. На підставі числового експерименту за критерієм відношення напружень від згинального моменту до міцності сталі за границю текучості встановлено закономірність градієнту змінності перерізу від максимального згинального моменту для перерізів балки.

5. Отримано аналітичні залежності вибору оптимального перерізу двотаврового балкового елемента та градієнта змінності перерізу по довжині елемента сталевих рам під час дії згинального моменту і повздовжньої сили при відносному ексцентриситеті $m_x > 15$.

Практичне значення результатів досліджень

Практичне значення і цінність результатів роботи полягає у встановленні узагальнених закономірностей вибору оптимальної топології сталевих балок із зварних двотаврів зі змінною висотою стінки і змінною шириною полиці. Окрім того, отримані аналітичні залежності, дозволяють напряму під час проектування визначити оптимальну висоту перерізу, де діє максимальний згинальний момент, а результати числових досліджень дають змогу призначити оптимальний градієнт змінності перерізу стінки і полиці за двома граничними станами.

Результати досліджень апробовано під час проектування декількох будівельних об'єктів.

Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та перевірних розрахунках сталевих конструкцій балкового.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Обґрунтованість наукових положень і достовірність теоретичних результатів, висновків і рекомендацій полягає в тому, що вони підтверджуються прийнятими вихідними передумовами, гіпотезами та методиками, що ґрунтуються на фундаментальних основах будівельної механіки, теорії пружності, опору матеріалів. Результати узгоджені під час порівняння рішення тестових задач визначення оптимальної висоти зварних двотаврів з результатами, які були виконані іншими авторами, достовірним співпадінням числових експериментів з результатами аналітичних розрахунків.

Дисертація вміщує достатню кількість розрахункових моделей, графічного пояснювального матеріалу та таблиць. Це свідчить про ґрунтовний підхід до отриманих теоретичних результатів, достатню обумовленість висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Аналіз змісту та завершеності дисертації

Дисертація, підготовлена Джановим Л.В. складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаної літератури (160 найменувань). Загальний обсяг роботи становить 191 сторінку, у тому числі 151 сторінка основного тексту,

Зміст анотацій українською та англійською мовами є ідентичним і повною мірою відображає зміст дисертації та достатньо висвітлює її основні результати та висновки.

У *вступі* ґрунтовно викладено актуальність теми, показаний в'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, науково сформульовано мету, яка відповідає обраній темі, та розкрита у завданнях, викладено об'єкт та предмет дослідження, публікації та апробацію наукових розробок.

У *першому розділі* автор виконав огляд проблематики та сучасного стану досліджень конструкцій сталевих рам будівель різного призначення із каркасами будівель із зварних та розвинутих двотаврів з постійним і змінним перерізом.

Виконано огляд методологічних підходів пошуку раціональних сталевих рамних конструкції балкового типу під час проєктування та огляд методів пошуку оптимального перерізу зварних двотаврів та елементів рам змінного перерізу. Показано, що важливим етапом проєктування є варіантне і оптимальне проєктування для вибору конструктивної форми балкового елемента за критеріями мінімуму маси.

Показано, що в силу нескладних крайових умов закріплення в системі просторового каркасу, найбільш поширеним і ефективним способом оптимального проєктування є континуальний підхід щодо моделювання балкового сталевих елемента двотаврового перерізу. Також висвітлено і відповідно обґрунтовано, що найбільш поширеними методом оптимального проєктування сталевих зварних двотаврів є методи нелінійного програмування за невизначеними множниками Лагранжа, та метод Ейлера – Лагранжа.

На основі виконаного огляду сформульовані висновки, які підтверджують визначені цілі та завдання дисертаційної роботи.

У *другому розділі* розглянутий вибір оптимальної топології сталевих балок із змінною шириною полиць та змінною висотою та товщиною стінки.

Для оптимального проєктування моделюється зварна сталева балка двотаврового симетричного перерізу, яка складена з верхньої та нижньої полиці змінного перерізу та поєднані між собою стінкою змінної товщини та висоти. Розроблена континуальна модель оптимального проєктування такої балки. Задача визначення оптимальної конструктивної форми двотаврової сталевих балки із змінним перерізом вирішена за допомогою метода невизначених множників Лагранжа за критерієм мінімальних витрат сталі, як задача нелінійного програмування.

Задача оптимальної топології балки із зварного двотавра змінного перерізу вирішена за умовами міцності балки при згині для двох випадків: за умов змінності товщини стінки по довжині конструкції при постійній гнучкості стінки та за умов зміни висоти стінки і полиці із змінною товщині стінки. Задачі вирішені в узагальненому виді методом нелінійного програмування невизначених множників Лагранжа та достатніх умов оптимального проєктування Каруша- Куна-Такера. Критерій оптимізації - мінімальні витрати сталі.

Отримані нові аналітичні залежності оптимальної висоти перерізу зварного двотавра із змінною площею перерізу і шириною полиці в залежності від зміни згинального моменту. Показана достовірність отриманих аналітичних залежностей при переході від двотавра змінного перерізу до зварного двотавра із постійної висотою і шириною полиці.

Виконані числові дослідження щодо схем навантаження конструкції. Запропонована послідовність визначення градієнта змінності висоти перерізу і ширини полиць при дії рівномірно-розподіленого навантаження і зосередженої сили.

На прикладі консольної балки проведені числові дослідження визначення градієнта змінності ширини полиці і висоти стінки двотавра при постійній товщині стінки при дії

статичного навантаження рівномірно-розподіленого і зосередженої сили. Встановлено мінімальне значення градієнта змінності перерізу, при яких умова міцності виконується в кожному перерізі. Визначення оптимальні значення градієнта змінності висоти стінки і ширини полиці при постійній товщині стінки.

У *третьому розділі* виконані дослідження оптимальної конструктивної форми сталевий зварної балки симетричного перерізу із змінною висотою стінки і змінною шириною полиці за вимогами другого граничного стану - виконанням вимог обмежень за прогинами.

Задача сформульована при континуальному моделювання за методом Ейлера – Лагранжа, як задача нелінійного програмування при виконанні вимог міцності для кожного перерізу та за критерієм мінімальних витрат сталі. Отримані нові аналітичні залежності оптимальної висоти зварного сталевий двотавра зі змінною висотою стінки і змінною шириною полиці для перерізу, де дії максимальний згинальний момент при виконанні вимог граничних прогинів.

У *четвертому розділі* проведені дослідження практичного застосування сталевий конструкцій із зварних двотаврів із змінною висотою стінки і змінної ширини полиці.

Розглянута задача і оптимальної конструктивної форми елемента порталної рами, який виготовлений із зварного двотавра із змінною висотою стінки, та при змінній ширині полиці з урахуванням дії згинального моменту і повздовжньої сили при відносному ексцентриситеті $m_x > 15$. Сформульована задача нелінійного математичного програмування, яка описується в просторі змінних геометричних характеристик перерізу сталевий елемента із двотавра змінного перерізу та обмежувальними функціями у вигляді умов забезпечення міцності для кожного перерізу. Прийняті вимоги до системи обмежень Задача оптимального проектування вирішується методом невизначених множників Лагранжа, з використанням достатніх умов Каруша-Куна-Такера. За критерій оптимального проектування вибрано критерій мінімальних витрат сталі. На підставі вирішення задачі оптимізації отримана нова аналітична формула оптимальної висоти перерізу двотавра по довжині елемента рами з урахуванням впливу повздовжньої сили.

Проведені числові дослідження визначення градієнта раціональної конструктивної форми сталевий двотавра змінного перерізу із зміною перерізу стінки і полиці. Встановлено, що для зварних двотаврів із змінною висотою стінки і шириною полиці при однакових градієнтах змінності існує його граничне значення, при якому умови міцності виконуються для кожного перерізу в залежності від співвідношення згинальних моментів, що діють на опорах з обох кінців балки. Встановлена закономірність впливу відношення кінцевих згинальних моментів на вибір раціональної топології сталевий балки змінного перерізу.

Достовірність отриманих результатів оптимальної висоти перерізу та створеною фізико-математичної континуальної моделі елемента порталної рами зварного двотавра змінного перерізу при дії згинальних моментів і повздовжніх сил, підтверджена шляхом аналізу співставлення з результатами робіт інших дослідників.

У *загальних висновках* сформульовано основні наукові результати дослідження відповідно до поставлених завдань.

У дисертаційній роботі відсутні ознаки порушення академічної доброчесності. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів має посилання на відповідне джерело.

Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації в опублікованих працях

Основні результати, наукові положення, висновки та рекомендації достатньо повно відображено у 12 працях (з яких 2 – одноосібні), 1 стаття у науковому виданні, що включена до переліку наукових фахових видань України категорії «А», яке цитується у реферативній базі Web of Science, 5 статей опубліковані в наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України категорії «Б» та 6 тез та публікацій міжнародних конференцій.

Наукові публікації Джанова Л.В відповідають вимогам п. 8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії...», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року.

Наведені у дисертації розробки пройшли апробацію на конференціях міжнародного рівня, де доповідалися основні положення та результати досліджень.

Дискусійні положення та зауваження до дисертації.

1. Наявні помилки в переліку літератури, є невідповідність вимогам ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.

2. Стор. 43. Фраза «А також експертним можливостями продавати і перевозити такі конструкції на 1000 км від заводу виробника до об'єкта будівництва». Така відстань транспортування зведе нанівець всю економію оптимізації.

3. Стор. 43. Фраза «Останні роки науковці вказують на ще більшу ефективні металевих конструкцій за рахунок зменшення викидів CO₂...». Не зрозуміло зв'язок із задачею дослідження.

4. Стор. 43, 44. Не зрозумілі посилання на роботи Галілея, Леонардо да Вінчі, Гука, Юнга, Ейлера, Бернуллі, Коши. Тим більше, що посилання йде не на роботи цих вчених, а на роботи інших авторів.

5. Стор. 44. Фраза «На сьогодні розрахунок балок та визначення їх напружено-деформованого стану базується на принципах Коши...». Тоді треба згадати і Ньютона і Мора і Сен-Венана і ще десятки механіків. Це загальні правила розрахунків конструкцій.

6. Стор. 45-46. Навіщо перераховувати всі гіпотези теорії опору матеріалів?

7. Стор. 49-50. Фраза: «Важливим етапом оптимального проектування є формулювання задачі оптимального проектування і запис цільової функцій, а також вибір критерію оптимального проектування». Критерій оптимального проектування і цільова функція те одне і те саме.

8. Стор. 60. На рис. 2.3. на балці немає ребр жорсткості, на які вказано в тексті.

9. Посилання на роботи. Так, зі сторінки 39 до сторінки 42 є 12 посилань або згадувань робіт Білика С.І. Це забагато. Так само, дублювання посилань на інших авторів (W. Prager, J. E. Taylor, стор 51, інші). Посилання на літературні джерела не завжди коректні. По-перше, посилання на вказаного автора не співпадає із переліком у списку використаної літератури (наприклад, стор. 41, посилання 103; 74 – не нормативний документ (стор. 46), інші, а по-друге, йдуть загальні посилання на ствердження автора (стор. 33, 39, 39, 46, 47, 49, 51...). Незрозуміло, чому відсутні посилання на діючі нормативні документи.

10. Деякі фразеологічні обороти важко зрозуміти. Наприклад, фраза (стор. 5): «Отримані нові аналітичні залежності оптимальної висоти перерізу зварного двотавра із змінною площі

перерізу і шириною полиці в залежності від ступеня змінності перерізу зміни висоти перерізу балки в залежності від закономірності зміни згинального моменту». На 27 слів слово «залежність» застосовано три рази, слово «зміна» - чотири. І аналогічних випадків багато за текстом.

11. Помилки у формулах під час їх перетворення (стор. 63, 65...), надання формул важке для перевірки їхньої правильності.

12. Оформлення формул та рисунків не за вимогами ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання.

13. Правила правопису вступних слів, причетних та дієприслівникових оборотів за текстом часто не виконані - не виділені комами: наприклад, стор. 35, 36, 37, 38 і далі.

Але, всі вище перелічені зауваження мають переважно редакційний характер та потребують орфографічного і синтаксичного корегування.

Принциповими зауваженнями стосовно змісту роботи з мого боку є наступне:

1. Немає посилання і аналізу робіт Трофимовича В.В є тільки згадування стор. 25, вступ. Свого часу, його роботи (КІБІ) у співавторстві і з В.О. Пермяковим були основою для досліджень у галузі оптимізації для будівельників із спеціалізацією по сталевим конструкціям.

2. Що таке «перший етап проектування», «перший етап варіантного проектування» (стор. 29, 25, 49, 50, 51, 55. У главі 1 (стор. 54) автор, посилаючись на дослідження Білика С.І., зробив спробу надати пояснення щодо етапів та підетапів проектування, в тому числі оптимального, але чітко це не було визначено, та не зрозуміло, який саме етап (або підетап) стосується дослідження автора.

3. Вживання понять «раціональне» та «оптимальне» щодо конструкцій та проектування (стор. 4, 23, 25, 58). На мій погляд, потрібно чітко розмежування цих понять у визначеннях цієї наукової роботи.

4. Стор. 48-49. Не згоден із фразою: «За оглядом наукових праць і відповідно до методів оптимального проектування розвиваються два різних методологічних підходи: дискретна оптимізація і континуальна оптимізація». Підходи і методологія однакові, просто безперервність або дискретність потребує відповідного прийняття значень для рішення задачі з визначеного набору даних, наприклад, з сортаменту профілів прокату сталі.

5. З точки зору математики, а методи оптимізації – це математичні методи, використання фраз типу «метод дає суттєві можливості», «певні обмеження цільової функції», «достатні можливості для отримання оптимального рішення», «достатньо полого функція», «методи достатньо сильно розвиваються» (стор. 49-54) не є коректними. Потрібні чіткі визначення із відповідними посиланнями або на свої, або на раніше виконані дослідження інших науковців.

6. Фраза «Основна задача всіх підходів оптимального проектування це - необхідність доведення, що отримане рішення є глобальним оптимумом, а не локальним» (стор. 52) не є коректною. По-перше, немає підходу оптимального проектування, є задача, а пошук глобального оптимуму є окремою задачею, рішення якої базується на загальній задачі оптимізації. Крім того, для прикладного проектування, отримання результатів, які відповідають глобальному оптимуму можуть бути неприйнятними з урахуванням дискретності сортаментів та технологічних можливостей виготовлення, монтажу та експлуатації.

7. Стор. 61, пояснення до формули 2.1. Не можна при оптимізації приймати висоту стінки балки такою, що вона дорівнює тільки висоті стінки.

8. Прийнятий для досліджень метод нелінійного програмування невизначених множників Лагранжа та достатніх умов оптимального проектування Каруша- Куна-Такера є, на мій погляд, дуже складним аналітичним методом щодо пошуку рішень прикладної задачі оптимізації. Для отримання результатів потрібно виконати розв'язання систем диференційних рівнянь, що, з урахуванням наявності великої кількості змінних, є важкою процедурою. Для балкових конструкцій значно легшим було б застосування одного з методів мінімізації без обмежень або методу штрафних функцій (див. Д. Химмельблау. «Прикладное нелинейное программирование. М., Мир 1975., 536 С., або David M. Himmelblau Applied Nonlinear Programming. McGraw-Hill Book Company. 1972). Можливо, як розвиток цієї роботи, автор у майбутньому застосує один з запропонованих методів і зробить порівняння отриманих результатів з наявними.

9. Надання результатів оптимізації у вигляді рекомендації для проєктувальників. Автор посилається на те, що конструкції, що досліджуються, широко застосовуються. Було б логічним та доречним, як результат роботи, зробити відповідні прості рекомендації для проєктувальників у вигляді схем, графіків та/або таблиць. Результати у тому вигляді, як надано у розділах 4.2 та 4.3, складні для практичного застосування.

Загальний висновок

Результати аналізу дисертації, анотацій українською та англійською мовами, опублікованих праць, дають підстави для висновку про те, що дослідження Джанова Любомира Володимировича «Раціональні сталеві балки змінного перерізу», представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, галузь знань 19 – Архітектура та будівництво є завершеним самостійним науковим дослідженням.

За рівнем наукової новизни отриманих результатів та їхнього практичного значення дисертація «Раціональні сталеві балки змінного перерізу» містить наукову новизну, має теоретичне та практичне значення, розв'язані в роботі задачі мають практичне значення для будівельної галузі знань.

Дисертація відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії...» (із змінами), затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, а її автор – Джанов Любомир Володимирович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри «Будівельні конструкції,
будівлі та споруди» Івано-Франківського
національного технічного університету нафти і газу
Міністерства освіти і науки України



Сергій Колесніченко

Підпис Сергія Колесніченка засвідчую
Проректор з наукової роботи
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу,
професор



Олександр Кондрат