

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Джанова Любомира Володимировича**

на тему: «**Раціональні сталеві балки змінного перерізу**»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 19 – Архітектура та будівництво

спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Детальний аналіз дисертаційної роботи Джанова Любомира Володимировича на тему «Раціональні сталеві балки змінного перерізу» та розгляд його представлених наукових публікацій дозволяє сформулювати наступні висновки, а також надати загальну оцінку виконаного дисертаційного дослідження за обраною тематикою.

**Актуальність теми дисертації.** Дисертаційна робота Джанова Любомира Володимировича присвячена дослідженню несної здатності сталевих двотаврових балок рамних конструкцій каркасів будівель і споруд зі змінною висотою стінки та змінною шириною полиці за вимогами граничних станів при роботі під навантаженням, а також в умовах обмежених динамічних впливів, з метою теоретичного узагальнення та розвитку підходів до визначення їх раціональної конструктивної форми.

Питанням дослідження роботи сталевих балок двотаврового перерізу присвячено значну кількість наукових праць вітчизняних і зарубіжних учених, у яких розглянуто проблеми міцності, стійкості та оптимального проектування таких конструкцій. Водночас задача вибору оптимальної конструктивної форми сталевих балок змінного перерізу (зокрема зі змінними за довжиною розмірами перерізу (залишається актуальною через широке впровадження таких конструкцій у практику проектування і будівництва).

Актуальність теми дисертаційного дослідження Джанова Любомира Володимировича зумовлена потребами сучасної будівельної галузі та інженерної спільноти у вдосконаленні науково обґрунтованих підходів до

проектування раціональних балкових конструкцій з мінімальними витратами сталі, що сприяє зниженню матеріалоемності конструкцій і вартості будівництва в цілому. Додатково актуальність обраної теми підтверджується її тісним зв'язком з науково-дослідною роботою кафедри металевих та дерев'яних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури на тему: «Розвиток теорії вибору раціональних ресурсозберігаючих конструкцій сталевих рам з використанням ефективних двотаврових профілів енергоекономічних будівель» (номер державної реєстрації 0121U111715), що виконується відповідно до наказу КНУБА від 03.06.2021 № 243

**Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій та достовірність отриманих теоретичних результатів** дисертації забезпечуються відповідністю сформульованої мети та поставлених завдань розробленій послідовній методології дослідження. Запропонована методологія ґрунтується на використанні відомих і апробованих методів будівельної механіки та теорії формоутворення металевих конструкцій, аналітичних методів визначення оптимальних і раціональних геометричних параметрів зварних сталевих двотаврів, а також методів аналізу та синтезу. У числових дослідженнях відтворено розрахункові моделі зварних сталевих двотаврів змінного перерізу по довжині елемента з дотриманням основних положень механіки твердого деформованого тіла.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації також підтверджується точністю та достовірністю вихідних даних, узгодженістю отриманих аналітичних рішень з результатами числових експериментів, а також їх зіставленням з результатами досліджень, наведеними у працях інших авторів.

З урахуванням наведеного можна зробити висновок про наукову обґрунтованість і достовірність основних положень дисертаційного дослідження та їх повну відповідність заявленим меті й завданням роботи.

**Наукова новизна результатів** полягає у наступному:

*Уперше:*

1. Отримано аналітичні залежності вибору раціональної конструктивної форми зварних сталевих двотаврових балок з одночасною змінною висотою стінки та шириною полиць за критерієм мінімальних витрат сталі з урахуванням вимог першого і другого граничних станів.

2. Встановлено закономірності впливу обмежень за прогинами на оптимальну форму балки змінного перерізу, які зумовлюють зміщення небезпечних перерізів відносно перерізу з максимальним згинальним моментом.

3. Визначено граничні значення градієнтів змінності перерізу, за яких забезпечується виконання умов міцності для всіх перерізів балки при різних схемах навантаження.

*Удосконалено:*

1. Методологію оптимального проектування сталевих балок змінного перерізу на основі методу множників Лагранжа, рівнянь Ейлера–Лагранжа та умов Каруша–Куна–Такера з урахуванням змінності геометричних параметрів по довжині елемента.

2. Підходи до визначення оптимальної висоти перерізу зварних двотаврових балок при спільній дії згинального моменту та повздовжньої сили.

*Отримали подальший розвиток:*

1. Теорія раціонального розподілу матеріалу в балкових елементах рамних сталевих конструкцій з урахуванням сучасних технологічних можливостей їх виготовлення.

2. Методи числового аналізу напружено-деформованого стану сталевих балок змінного перерізу при складних схемах навантажень

### **Практичне значення одержаних результатів**

Теоретичне значення дисертаційної наукової роботи полягає у подальшому розвитку теорії оптимального проектування сталевих балок змінного перерізу, встановленні аналітичних закономірностей раціональних параметрів зварних сталевих двотаврових елементів за критерієм мінімальних витрат сталі та умов жорсткості.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні науково обґрунтованих підходів:

- визначення оптимальної висоти перерізу зварного сталевих балки в зоні дії максимального згинального моменту на перших стадіях варіантного проектування;
- методологія вибору раціонального градієнта змінності висоти стінки та ширини полиць за вимогами першого і другого граничних станів;
- використання результатів при проектуванні сталевих рамних конструкцій будівель і споруд значних прольотів.

Результати дослідження апробовано та впроваджено при проектуванні навісів над трибунами стадіонів із використанням балкових елементів змінного перерізу; розробленні конструктивних рішень універсальних сталевих рамних каркасів складських будівель; виконанні дипломних проєктів (розділ «Конструкції будівельні») на кафедрі металевих і дерев'яних конструкцій КНУБА.

**Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації в опублікованих працях.** Наукові результати дисертації висвітлені у 11 наукових працях, у тому числі статтях у фахових виданнях України категорій «А» і «Б», а також у вигляді матеріалів міжнародних конференцій.

Кількість публікацій, обсяг, якість, повнота висвітлення результатів та розкриття змісту дисертації відповідає вимогам «Порядку присудження наукового ступеня доктора філософії». Зазначені публікації повною мірою висвітлюють основні наукові положення дисертації.

**Оцінка змісту, стилю та мови дисертації, її завершеності, оформлення**

Представлена на рецензію дисертаційна робота написана українською мовою та оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації». Дисертація складається з анотації, списку публікацій здобувача за темою дисертації, вступу, чотирьох розділів і висновків до них, загальних висновків,

списку використаної літератури і одного додатку. Загальний обсяг дисертації складає 191 сторінку, в тому числі 167 сторінок основного тексту, список використаних джерел на 21 сторінці.

У **вступі** визначено та обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, окреслено її взаємозв'язок із науковими програмами, планами й тематикою досліджень. Сформульовано мету роботи, наведено об'єкт і предмет. Описано застосовані основні методи та підходи наукового дослідження. Актуальність та огляд літературних наукових джерел у першому розділі дозволили сформулювати основні завдання дослідження. Подано положення щодо наукової новизни та практичної значущості отриманих результатів. Також висвітлено особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію результатів і представлено інформацію щодо публікацій за темою дисертації.

У **першому розділі** «Ефективні конструктивні рішення сталевих балок та критерії щодо визначення оптимальної висоти перерізів зварних двотаврів» виконано оглядом винаходів та нових сталевих конструкцій рамного типу з використанням двотаврів змінного перерізу каркасів універсального призначення, встановлено тенденції розвитку у світі. Виявлено, що головними напрямками розвитку металевого будівництва є використання ефективних сталевих конструкцій з оптимальними витратами сталі, які мають високу технологічність виготовлення та мінімізованими транспортними витратами. Одним із типів ефективних за витратами сталі є сталеві рами із зварних двотаврів з постійним і змінним перерізом. Показано, що одним із напрямків підвищення ефективності використання сталі зварних двотаврів із змінною висотою стінки і змінною шириною полиці. Це і стало основою для формулювання наукових завдань дослідження.

Також у першому розділі виконано обґрунтування вибору методики дослідження сталевих двотаврів змінного перерізу. Показано, що важливим етапом проектування є варіантне проектування, а пошук аналітичної залежності оптимальної висоти сталевих двотаврів змінного перерізу, де діє максимальний згинальний момент є актуальною задачею.

Також висвітлено і відповідно обґрунтовано, що найбільш поширеними методом оптимального проектування сталевих зварних двотаврів є методи нелінійного програмування невизначених множників Лагранжа та метод Ейлера – Лагранжа.

У другому розділі «Раціональні металеві балки із змінною висотою стінки та змінною шириною полки за критерієм мінімізації витрат сталі» розглянуто ефективний клас сталевих балок із змінною шириною полиць та змінною висотою та товщиною стінки. Розділ присвячений вибору оптимальної та раціональної конструктивної форми сталевих балкових елементів змінного перерізу, як елементів консольних та порталних рамних конструкцій каркасних будівель і споруд.

Для оптимального проектування змодельована зварна сталева балка двотаврового симетричного перерізу складена з верхньої та нижньої полиці змінного перерізу, які між собою з'єднані стінкою змінної товщини та висоти. Задача визначення оптимальної конструктивної форми двотаврової сталеві балки із змінним перерізом вирішена за допомогою метода невизначених множників Лагранжа за критерієм мінімальних витрат сталі, як задача нелінійного програмування. Також використані достатні умови оптимального проектування Каруша-Куна-Такера. Автором отримані нові аналітичні залежності визначення оптимальної висоти перерізу зварного двотавра із змінною площею перерізу і шириною полиці в залежності, які описують нові закономірності залежності оптимальної висоти перерізу сталевого двотавра в залежності від закономірності зміни згинального моменту стінки та оптимального співвідношення площі перерізу полиць і стінки. Достовірність отриманих теоретичних досліджень підтверджена тестовою задачею. Так в аналітичних формулах при переході від двотавра змінного перерізу до зварного двотавра із постійною висотою і шириною полиці приходимо до відомих формул для визначення оптимальної висоти двотавра з постійним по довжині перерізом. Автором проведено серію числових досліджень зміни раціонального градієнту змінності перерізу сталевого двотавра змінного, розроблена відповідна методика визначення

раціонального градієнта змінності перерізу при виконанні умов міцності в кожному перерізі балки.

**У третьому розділі** «Визначення раціональної конструкції металевих двотаврових балок із змінною висотою стінки і змінною шириною полки за умовами виконання умов жорсткості за другим граничним станом». Проведені нові наукові дослідження оптимальної конструктивної форми сталевій зварній балці симетричного перерізу із змінною висотою стінки і змінною шириною полиці за вимогами другого граничного стану. Задача вирішується за методом Ейлер–Лагранжа, як задача нелінійного програмування. При отриманні нові закономірності визначення оптимальної висоти зварного сталевих двотавра зі змінною висотою стінки і змінною шириною полиці, при виконанні вимог граничних прогинів та умов міцності.

**У четвертому розділі** «Вплив поздовжньої сили на проектування раціональних сталевих елементів порталних рам із двотаврів із змінною висотою стінки і шириною полиці змінного перерізу» проведені нові дослідження впливу одночасної дії згинального моменту поздовжньої сили на вибір оптимальної висоти зварного сталевих двотавра із змінним перерізом. Автор обмежився дослідженнями, які характерні для відносного ексцентриситету порталних рам:  $m_x > 15$ . Тому для досліджень стійкості елементів такого типу використана формула Тимошенка-Ясинського. Прийнято, що обмеження за міцністю за дією поперечної сили не є активними. Також не активними вважаються обмеження за умовами стійкості стінки і полиць. За критерій оптимального проектування вибрано критерій мінімальних витрат сталі елемента рами. Задача оптимального проектування вирішується методом невизначених множників Лагранжа, з використанням достатніх умов Каруша-Куна-Такера. Отримана нова аналітична формула, яка описує закономірність визначення оптимальної висоти перерізу сталевих двотавра змінного перерізу. На основі числових досліджень елемента порталної рами встановлено, що для зварних двотаврів із змінною висотою стінки і шириною полиці при однакових градієнтах їх змінності існує граничне значення градієнта раціональної конструктивної

форми сталевих двотаврів змінного перерізу, при якому умови міцності виконуються для кожного перерізу в залежності від співвідношення згинальних моментів, що діють на опорах з обох кінців балки. Отримані результати вибору раціональної висоти сталевих двотаврів змінного перерізу достатньо добре співпадають із значеннями оптимальних конструкцій елементів рам отриманими в роботах інших авторів.

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

**Додаток** містить довідку про впровадження результатів наукової праці, які були використані під час виконання робіт з технічного обстеження.

**Дискусійні положення та зауваження по дисертаційній роботі.** У процесі аналізу змісту дисертації виникли зауваження щодо некоректного використання у дисертації деяких термінів, зокрема:

1. Використання терміну «топологія» (стор. 5, 7, 24, 26, 28, 36, 48, 52, 54, 58, 112, 133, 138, 146, 154, 156, 162) у задачах пошуку оптимальних розмірів двотаврового перерізу моносталевих стержневого несучого елемента є помилковим. У випадку, коли розміри поперечного перерізу стержневого елемента змінюються за довжиною і при цьому тип поперечного перерізу залишається сталим, розглянутий у дисертації клас задач відноситься до задачі оптимізації конструктивної форми.

2. Використання терміну «градієнт» для коефіцієнтів  $\gamma_b$ ,  $\gamma_h$ , які є фактично коефіцієнтами збільшення/зменшення розміру відповідно полиці чи стінки відносно розміру початкового перерізу, вбачається некоректним. Ці коефіцієнти використовуються у функціях зміни розміру (ширини полиці або висоти стінки) за довжиною несучого елемента. Термін «градієнт» відноситься до швидкості зміни функції і, як правило, передбачає її диференціювання.

3. Використання терміну «чутливість» (стор. 5, 9, 92, 101, 165) у дисертаційній роботі є помилковим. Аналіз чутливості передбачає дослідження відгуку системи на малі збурення її параметрів. У дисертації, що

розглядається, такий аналіз чутливості не виконувався. Натомість виконувались дослідження впливу схеми навантаження (і відповідно типу епюри згинальних моментів) на величину коефіцієнту  $\gamma_h$ , що визначає збільшення/зменшення висоти стінки відносно початкового перерізу балки.

Також у результаті виконаного детального аналізу дисертації виникли зауваження щодо її змістовного наповнення, зокрема:

4. Розглянуті у дисертації задачі пошуку оптимальних розмірів двотаврового перерізу моносталевого стержневого несучого елементу розв'язуються методом множників Лагранжа із використанням умов Каруша-Куна-Такера. У зв'язку з цим було б доцільно дослідити функції обмежень та критерію оптимальності математичної моделі на опуклість, що дозволить зробити висновок про глобальний характер отриманих оптимальних розв'язків.

5. Розглянуті у роботі несучі елементи, як правило, працюють в складі просторових каркасів будівель. Зміна ширини полиці за довжиною несучого елемента поперечних рам таких каркасів обумовлює необхідність застосування декількох типорозмірів для поздовжніх елементів каркасу (прогонів, елементів стінового фахверку, елементів в'язей тощо), що, вочевидь, ускладнює впровадження запропонованих конструктивних рішень у практику проектування. З огляду на це вбачається доцільним розглянути задачу пошуку оптимальної конструктивної форми рамних несучих елементів двотаврового перерізу при сталій ширині полиці та варіації висоти і товщини стінки, а також товщини полиці.

6. У розділі 2 розглянута задача пошуку оптимальної конструктивної форми моносталевої балки двотаврового перерізу при змінних (за степеневим законом) по довжині балки висоти стінки, ширині полиці та товщині стінки. При варіації ширини полиці необхідно було б розглянути у складі математичної моделі задачі оптимізації обмеження у вигляді умови місцевої стійкості стиснутого звису полиці. У випадку, коли змінною проектування розглядається товщина стінки, до складу математичної моделі необхідно

було б включити обмеження у вигляді умови місцевої стійкості стінки (хоча б у формі обмеження гнучкості стінки). Адже цілком очевидно, що в точці оптимуму для розглянутого класу задач обмеження місцевої стійкості поряд із обмеженнями міцності будуть активними.

7. Зрештою у тексті дисертації присутня значна кількість орфографічних та граматичних помилок редакційного характеру.

Зазначені зауваження не знижують позитивної оцінки дисертації та можуть розглядатись як рекомендації для подальшої роботи в обраному напрямі досліджень. Вважаю, що ці зауваження не є визначальними, не применшують наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів і не впливають на загальну позитивну оцінку виконаного дослідження.

**Оцінка відповідності освітньо-науковій програмі підготовки.** Під час виконання дисертаційної роботи Джанов Любомир Володимирович провів самостійне наукове дослідження та опублікував його основні результати. Аналіз змісту роботи та підсумків впровадження отриманих даних засвідчив, що наукова праця здобувача Джанова Любомира Володимировича відповідає науковому напрямку освітньо-наукової програми КНУБА для підготовки фахівців третього (освітньо-наукового) рівня за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

**Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії...».** Дисертація Джанова Любомира Володимировича «Раціональні сталеві балки змінного перерізу» відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в пп. 5 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії...», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

**Дотримання принципів академічної доброчесності.** Дисертаційна робота Джанова Любомира Володимировича є результатом самостійних досліджень здобувача; вона не містить ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації чи компіляції. Усі використані ідеї, результати та тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні першоджерела.

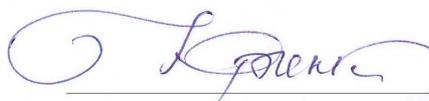
## **Загальний висновок про дисертаційну роботу**

За підсумками викладеного вище можна констатувати при високий рівень виконання здобувачем поставленого наукового завдання та ґрунтовне опанування методологічних засад науково-дослідної роботи.

Вважаю, що кваліфікаційна наукова праця «Раціональні сталеві балки змінного перерізу», подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, є завершеною і самостійно виконаною науковою працею, містить нові науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати та відповідає вимогам пп. 5 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії...», затвердженого 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.

### **Рецензент:**

Професор кафедри металевих і  
дерев'яних конструкцій  
Київського національного університету  
будівництва і архітектури  
доктор технічних наук,  
професор



(підпис)

Віталіна ЮРЧЕНКО