67-72-58/1
29.04.16

ВІДГУК

офіційного опонента д.т.н., професора Білика Сергія Івановича
на дисертаційну роботу **Балука Ігоря Мирославовича**
"Оптимальне проектування реконструкції та підсилення стрижневих металевих конструкцій",
поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди

Актуальність обраної теми. В сучасному світі економічного розвитку одним із напрямків промислового виробництва є удосконалення існуючих будівель і споруд з позицій пристосування їх під нові природні та технологічні навантаження і впливи, а також організація нового функціонального об'єму. Вирішення вказаної важливої господарської науково-технічної проблеми насамперед пов'язані з трьома напрямками задач: 1) Задачі пов'язані з відновленням несучої спроможності основних і допоміжних несучих конструкцій, те що виконується в обсягах капітального ремонту; 2) підвищення несучої спроможності несучих конструкцій внаслідок зміни технологічного навантаження і архітектурно-планувальних рішень, без суттєвої зміни конструктивної схеми будівлі і основних несучих конструкцій; 3) зміна частково будівельного об'єму і суттєва зміна конструктивної схеми будівлі. Вирішення кожної із задач вимагає суттєвих матеріальних витрат, які можуть перевищувати вартість будівництва нової будівлі і споруди, але внаслідок збільшення термінів будівництва і вартості грошей у часі, приймається рішення з капітального ремонту або реконструкції. Якщо під час капітального ремонту основним фактором необхідності підсилення є зношеність будівельних конструкцій, втрата площі перерізу внаслідок корозії, прогини та вигини, отримані під час експлуатації, то при реконструкції основним фактором є необхідність підсилення конструкцій в результаті збільшення несучої спроможності конструкції та зміна конструктивної схеми внаслідок непередбачених першим проектом змін технологічного процесу виробництва та ваги устаткування, зміна функціонального об'єму. Серед будівельних конструкцій, що застосовують у промислових об'єктах, значне місце посідають металеві конструкції. Тому розробка та практичне застосування ефективних методів проектування металевих конструкцій під час капітального ремонту і реконструкції має велике значення, а з цих позицій тема дисертації вельми актуальна і важлива.

Для уникнення перевитрат ресурсів, йдуть шляхом створення використання обчислювальних алгоритмів та програм оптимізації, що дозволяють визначити оптимальні параметри під час реконструкції та відновлення несучої спроможності сталевих металевих конструкцій (СМК), з урахуванням особливостей їх виготовлення і монтажу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно з тематикою наукових досліджень кафедри «Будівельне виробництво» Національного університету «Львівська політехніка»: «Технологія будівництва, дослідження прогресивних конструкцій і методів зведення будівель і споруд, сучасні технології енергоефективного будівництва, бетонів

поліфункціонального призначення та ефективних оздоблювальних, гідроізоляційних, антикорозійних матеріалів».

Ряд досліджень виконані в межах держбюджетної науково-дослідної роботи «Оптимальне проектування стержневих металевих конструкцій», виконаної на замовлення МОН України, №держреєстр. НДР 0107U009437. Особистий внесок автора роботи: розробка елементів підсилення автоматизованого проектування реконструкції та підсилення сталевих конструкцій.

В дисертації обґрунтована і сформульована мета роботи та задачі досліджень. Метою роботи є розробка методики оптимального проектування під час реконструкції та відновлення несучої спроможності металевих конструкцій з урахуванням конструктивних, технологічних, експлуатаційних та економічних вимог.

Задачі, сформульовані у відповідності з метою досліджень, відповідають у подальшому змісту наукової роботи, що представлена:

- розробка математичної моделі процесу реконструкції та підсилення СМК будівель і споруд;
- удосконалення методики визначення напружено-деформованого стану СМК та оптимізації параметрів конструкцій підсилення та регулювання зусиль з урахуванням змін розрахункової схеми, способів і послідовності реконструкції та підсилення;
- розробка програмного забезпечення для оптимального проектування реконструкції та підсилення СМК, що реалізує запропоновані методики;
- виконання числових досліджень для виявлення техніко-економічної ефективності використання розробленої методики оптимального проектування реконструкції та підсилення СМК.

Об'єктом досліджень стали плоскі та просторові сталеві конструкції в завершеному процесі реконструкції та підсилення.

Предмет дослідження в дисертації описаний, як знаходження оптимальної геометрії, розподілу зусиль, матеріалу, вибір способу реконструкції та послідовності виконання робіт з урахуванням конструктивних, технологічних, експлуатаційних та економічних вимог за певним критерієм.

Основний зміст дисертації.

Структура і стислий зміст роботи. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаної літератури з 171 позицій, 2-х додатків, повністю викладена на 176 сторінках і містить 39 рисунків, 10 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, об'єкт і предмет досліджень, вказано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету і задачі досліджень, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів; приведені дані про реалізацію і обсяг роботи, вказано на особистий внесок автора роботи у наукові дослідження, наведено дані з апробації роботи, структуру та об'єм дисертації.

У першому розділі розглянуто сучасний стан проблеми оптимального проектування металевих конструкцій, які перебувають в процесі реконструкції, підвищення несучої спроможності. Вказано, що за допомогою підсилення сталевих конструкцій, виникає ряд задач, що передбачають зміни розрахункових схем та

навантажень, є задачі зі зміною конструктивної схеми під час виконання будівельно-монтажних робіт.

На основі проведеного аналізу показано, що під час формалізації задачі оптимального проектування виникає необхідність описувати значну кількість типів параметрів в процесі реконструкції і відновлення несучої спроможності: величини навантажень; кількість і типи в'язей, кількість і типи поперечних перерізів елементів підсилення та інші параметри. Важливими є параметри, що описують розташування елементів підсилення відносно існуючих елементів; значення регульованих зусиль і переміщень. Окремо виділено геометричні параметри, прив'язки місць регулювання зусиль і переміщень.

Описані і проаналізовані ряд методів оптимізації, які використовуються при розв'язуванні задач оптимізації металевих конструкцій: градієнтний метод, генетичний алгоритм і метод пошуку гармонії. Показано, що ці методи оптимізації можна використовувати під час розв'язування задач оптимального проектування сталевих конструкцій при зміні конструктивної схеми та підсиленні в залежності від типу змінних проектування.

Виконано аналіз джерел, які описують методики, способи і теореми для врахування змін розрахункової схеми металевих несучих конструкцій. Також зроблено аналіз будівельних програм, які призначені для аналізу напружено-деформованого стану металевих несучих конструкцій та їхнього проектування. Ці дослідження відкрили необхідність створення нового узагальнюючого програмного забезпечення, що надає можливості задавати існуючу конструкцію і визначати оптимальні способи й конструктивні рішення підсилення та зміни конструктивної схеми при забезпеченні несучої здатності, а також обрати послідовність реконструкції та підсилення за прийнятим техніко-економічним показником, враховуючи вимоги будівельних норм і параметри, зумовлені технічним завданням.

Другий розділ. Представлено розроблену нову узагальнену фізико-математичну технічну модель процесу проектування стрижневих металевих конструкцій під час реконструкції, яка враховує зміну конструкції, вплив послідовності та способу виконання будівельно-монтажних робіт з підсилення конструкцій. Особливістю цього підходу є те, що враховується поступова зміна напружено-деформованого стану конструкції під час послідовної зміни конструктивної схеми, що саме є узагальненням моделювання реконструкції на всіх етапах будівництва від проекту до реалізації. Пропонується досліджувати ці процеси на етапі проектування, включаючи можливість оптимізації цих процесів.

Автор формалізував представлення розрахункових схем конструкцій, що необхідно реконструювати. Для цього запропоновано використовувати розрахункові схеми, які містять у проектному положенні всі стрижні конструкції (існуючі, додані, тимчасові та ті, що будуть видалені). Ці схеми відрізняються між собою жорсткісними характеристиками підсилюваних стрижнів і множиною накладених додаткових внутрішніх в'язей. Для зручності опису множини варіантів конструктивних і розрахункових схем, що з'являються під час моделювання процесу реконструкції, автор роботи ввів поняття етапу реконструкції – впорядкованої неподільної найкоротшої сукупності змін розрахункової схеми і навантажень, а також відповідних перевірок.

Запропоновано новий алгоритм аналізу конструкцій під час реконструкції, який передбачає розрахунок металевих конструкцій на кожному етапі реконструкції. Розроблено блок-схему алгоритму визначення напружено-деформованого стану конструкцій під час їх реконструкції по встановленим етапам розрахунку.

У третьому розділі автор розробив удосконалену методику та новий алгоритм послідовного визначення напружено-деформованого стану конструкцій під час їхньої реконструкції або відновленні несучої спроможності. Методика описана достатньо ретельно.

Запропонована методика базується на підході використання принципу суперпозиції. Так прийнято для певного варіанту базової схеми конструкцій формувати і розв'язувати одну систему рівнянь методу скінченних елементів (МСЕ) з декількома правими частинами. За методикою враховується дискретність сортаменту елементів підсилення.

В подальшому при визначенні напружено-деформованого стану конструкцій для інших подібних схем, що відрізняються між собою лише множинами накладених в'язей і характеристиками жорсткості підсилювальних стрижнів, пропонується враховувати і використовувати властивості зусиль та переміщень у розрахованих базових системах. Такий підхід, як показано, суттєво скоротив час обчислення.

У четвертому розділі дисертації наведено наукове обґрунтування та розробка нової узагальненої методики оптимального проектування.

За методикою спочатку відбувається вибір варіантів реконструкції існуючої металевої конструкції. Потім задаються елементи математичної моделі реконструкції або відновлення металевої конструкції, параметри, необхідні для вирішення задачі оптимізації. В заключному етапі розв'язується поставлена задача і приймається проектне рішення.

Для задач з реконструкції металевих конструкцій сформульовано систему обмежень задачі оптимізації, до якої залучено нормативні обмеження для існуючих елементів підсилення з урахуванням вимог щодо електрозварювання під навантаженням.

Традиційно розроблено і описано критерії для оптимального проектування реконструкції й відновлення несучої здатності для металевих конструкцій.

Важливим є удосконалення мови для запису задач оптимізації металевих конструкцій, і розширено множину спеціальних функцій цієї мови для забезпечення формулювання задач оптимізації реконструкції та відновлення. Оригінально розроблено спосіб запису нормативних вимог щодо снігових навантажень на конструкції покриття для систем оптимізації металевих конструкцій для будь-яких задач.

В п'ятому розділі представлені рішення практичних задач і впровадження наукових результатів дисертації. Описано і залучено до відомої програми OptCAD розроблену систему для оптимального проектування металевих конструкцій під час реконструкції та відновлення. Виконано числові дослідження для виявлення її техніко-економічної ефективності. Для користувачів розроблено

вікно «Реконструкція та підсилення» і модифіковано деякі з існуючих вікон програми OptCAD для можливості проектувальнику задавати БРС і процес реконструкції, враховувати елементи і технологію підсилення поперечних перерізів стрижнів.

Значно удосконалено автором роботи існуючий алгоритм перевірки нормативних і додаткових обмежень, що висуваються під час реконструкції та відновлення до елементів металевих конструкцій.

Автор наукової праці приділив велику увагу удосконаленню схеми організації алгоритмів і потоків даних у програмі оптимізації OptCAD через використання алгоритму аналізу реконструкції та відновлення металевих конструкцій, що включає існуючий у програмі алгоритм аналізу конструкції і розроблений алгоритм визначення зусиль та переміщень.

Важливим для демонстрації переваг досліджень, та їх достовірності в дисертації з метою визначення ефективності підсистеми автоматизованого проектування реконструкції та відновлення металевих конструкцій було сформульовано і розв'язано дві задачі оптимального проектування конструкцій покриття і одну задачу оптимізації її реконструкції.

У загальних висновках приводяться нові наукові і практичні результати, отримані автором у процесі виконання наукових досліджень у дисертаційній роботі.

У додатку приведено акти про впровадження нових наукових результатів дисертаційної роботи.

Зміст автореферату відбиває основні положення дисертації.

Методи досліджень, і **ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій,** сформульованих у дисертаційній роботі, обумовлюється: використанням відомих методів будівельної механіки під час розрахунків сталевих структурних конструкцій; використанням методів математичного моделювання процесів напруженого стану у сталевих конструкціях, чисельними дослідженнями напружено-деформованого стану конструкцій, що зазнають реконструкції або відновлення.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується значним обсягом аналітичних та числових досліджень, використанням теорії металевих конструкцій для моделювання напруженого деформованого стану конструкцій, що відновлюються або зазнають реконструкції, доброю відповідністю результатів числових досліджень результатам досліджень, отриманих іншими авторами на подібних конструкціях.

Всі наукові результати, висновки та положення, які містяться в дисертаційній роботі, достатньо обґрунтовані, наведені рекомендації носять практичний характер. Вони базуються на аналітичних результатах, що отримані в ході проведення наукових досліджень; числових дослідженнях пошуку оптимальних конструкцій.

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

Достовірність та новизна наукових положень, висновків та рекомендацій. Результати роботи достовірні, оскільки вони отримані в ході проведення комплексу теоретичних та числових досліджень з тестуванням програмного комплексу на

відомих задачах. Ступінь достовірності результатів проведених досліджень обумовлено достатньо високим співпадінням результатів моделювання пошуку оптимальних металевих конструкцій за розробленим програмним комплексом та результатами інших авторів.

Достовірність основних положень та результатів дисертації доведена:

- математичним обґрунтуванням розроблених методик на основі принципів розрахунку за граничними станами;
- використанням відомих розрахункових методів при моделюванні напружено-деформованого стану сталевих балок на основі методу скінченних елементів;
- порівнянням з рішеннями, отриманими за допомогою чисельних досліджень оптимальних сталевих конструкцій за програмним комплексом з рішеннями отриманими іншими авторами.
- Впровадженням результатів роботи.

Наукову новизну отриманих результатів складають такі положення:

- вперше розроблено фізико-технічну математичну модель процесу реконструкції та підсилення СМК у вигляді діаграм, які відображають можливі поєднання змін розрахункової схеми, поперечних перерізів стрижнів і навантажень;
- удосконалено методику визначення напружено-деформованого стану СМК, що враховує зміни розрахункової схеми у процесі реконструкції та підсилення, розв'язуючи одну систему рівнянь методу скінченних елементів;
- набула подальшого розвитку мова запису задач оптимізації СМК залученням нових елементів, що забезпечують формулювання задач оптимізації реконструкції та підсилення;
- розроблено математичну модель задачі оптимізації реконструкції та підсилення СМК, що при заданих параметрах існуючої СМК дозволяє розраховувати оптимальні параметри конструкції підсилення, елементів підсилення, регулювання зусиль і навантажень, а також параметрів, що задають способи підсилення і послідовність виконання будівельно-монтажних робіт.

Практичне значення отриманих результатів – розробка програмного забезпечення, призначеного для автоматизованого проектування та оптимізації реконструкції й відновлення металевих конструкцій.

Результати досліджень можна використовувати під час розробки ефективного, за витратами сталі, автоматизованого проектування та оптимізації реконструкції й відновлення металевих конструкцій.

Доведено, що прийнятий підхід для опису комп'ютерних фізико-математичних технічних моделей достатньо точно відображає напружено-деформований стан металевих конструкцій на всіх етапах реконструкції та відновлення і включає особливості напружено-деформованого стану під час будівництва.

Важливою стала ідея досліджувати процес підсилення конструкцій в певній послідовності в автоматизованому режимі, а також автоматично обирати найкращу таку послідовність.

Результати досліджень практично знайшли втілення у програмі оптимізації OptCAD для оптимального проектування металевих конструкцій під час реконструкції та відновленні.

На практичних прикладах показано ефективність обраного підходу та нових наукових результатів дисертації, які дозволяють досліджувати металеві конструкції на всіх етапах проектування та будівництва, тим самим уникнути непередбаченого напружено-деформованого стану.

Особистий внесок здобувача: Основні наукові результати отримані здобувачем самостійно, про що свідчать публікації у фахових виданнях. Здобувачу належать наступні наукові дослідження:

- розроблено фізико-технічну модель процесу реконструкції та відновлення металевих конструкцій стрижневих систем будівель, які відображають можливі поєднання змін розрахункової схеми, поперечних перерізів стрижнів і навантажень, а також враховує всі зміни напружено-деформованого стану, що виникають при виконанні будівельних робіт під час процесу підсилення.
- узагальнено і удосконалено методику визначення напружено-деформованого стану металевих конструкцій, що враховує зміни розрахункової схеми у процесі реконструкції та відновленні.
- аналіз та обробка отриманих результатів числових досліджень пошуку оптимальних стрижневих конструкцій при реконструкції та підсиленні на ряді конструктивних рішень.

Повнота викладених основних результатів дисертаційної роботи в опублікованих працях. Апробація роботи. Результати роботи опубліковані у 14-и наукових статтях, 12 з яких у фахових наукових збірниках. Зроблені публічні доклади на кількох науково-практичних конференціях у тому числі і міжнародній.

Зауваження по роботі.

Першу групу зауважень складають зауваження редакційного характеру:

1. Загальне зауваження: слід було сформулювати додаткові пояснення щодо класу конструкцій, що досліджуються, наприклад, пояснити можливість використання досліджень для оптимального проектування рамних плоских стрижневих і просторових конструкцій або для балкових і плитних стрижневих просторових конструкцій (структури, балки, перехресні системи ферм і балок). А чи можна досліджувати решітчасті полігональні і кругові арки, сітчасті оболонки?
2. Відсутні перехресні посилання. Слід було на початку пояснити технічні терміни. Реконструкція передбачає в першу чергу підвищення несучої спроможності конструкцій через зміну конструктивної схеми і підсилення, а капітальний ремонт тільки відновлення несучої спроможності конструкцій, як правило, через підсилення, і тільки в крайньому випадку, через зміну конструктивної схеми. Це різні класи задач. Програмний комплекс це передбачає через описування типу змінних проектування, але про це вказано в інших розділах роботи, а слід було описати на початку дисертації.
3. Описуючи процес пошуку оптимальної конструкції підсилення слід було вказати на підкласи задач, що вирішуються під час реконструкції і відновленні несучої спроможності конструкцій, пов'язані з підвищенням внутрішньої статичної

невизначуваності або підвищення зовнішньої статичної невизначуваності. В першому випадку це конструкції, в яких фактично не змінюється загальний абрис конструкції: ферми залишаються фермами, а в другому випадку ферма, яка шарнірно обпирається на колони, і яка підсилюється підкосами переходить разом з колонами в рамну систему з напівжорсткими карнизними вузлами. Фактично це описано частково в першому, другому і третьому розділах дисертації, але слід було навести приклади зміни конструктивної схеми, яка приводить не тільки до перерозподілу зусиль, але і може привести до зміни навантажень.

Другу групу зауважень складають зауваження до положень роботи, що потребують додаткового пояснення або не чітко сформульовані.

Зауваження, щодо опису нових наукових результатів дисертаційної роботи.

1. Процес реконструкції включає і зміну функціонального об'єму будівлі, тому пошук мінімізації будівельного об'єму при заданому функціональному об'ємі є окрема наукова задача, про це слід було вказати в 1-й главі дисертації (див. роботи проф. Білика С.І). Також слід було вказати чи вирішує такий клас задач розроблений програмний комплекс.

2. В другому розділі описано спосіб введення додаткових елементів паралельно існуючим, але слід було пояснити рисунком, а також навести формулу зміни жорсткості конструкції і надати граничні значення відношення стрижнів, що вводяться в конструкцію, і що підсилюються або вилучаються з розрахунку.

3. В другому розділі також при описі фізико-математичної технічної моделі реконструкції несучих систем слід було вказати як враховується зміна навантажень і впливів, зокрема температури, під час якої відбувається зміна конструктивної схеми і статичної невизначуваності конструкції під час реконструкції та відновлення несучої здатності.

4. В третьому розділі дисертації бажано було навести числовий приклад реалізації алгоритму підсилення конструкції ферми на стандартній системі із 10 стрижнів. Наведений у табл. 3.1 час на обчислення рами за відомою роботою (91) відноситься до проектування нових конструкцій.

5. Бажано було дати опис обмежень міцності балкових елементів з урахуванням локальних напружень, а також показати обмеження щодо дотичних напружень при максимальних згинальних моментах.

Загальна оцінка дисертаційної роботи.

1. Дисертація є завершеною науковою працею, в якій вирішено важливу науково-технічну задачу розробки методів пошуку оптимальних сталевих стрижневих конструкцій будівель і споруд, що зазнають реконструкції або відновлення через підсилення або зміну конструктивної схеми. Робота має актуальність і практичне значення та відповідає спеціальності 05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди. Результати роботи достовірні.

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

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

Робота містить нові наукові теоретичні та чисельні результати пошуку оптимальних стрижневих металевих конструкцій під час реконструкції і відновленні будівель, має практичну цінність, які є суттєвими в області створення оптимальних металевих стрижневих конструкцій під час реконструкції та відновлені покриття будівель.

4. Враховуючи висловлене, вважаю, що дисертаційна робота на тему: "Оптимальне проектування реконструкції та підсилення стрижневих металевих конструкцій", за рівнем отриманих наукових результатів та змістом і обсягом є завершеною працею, а також, відповідає вимогам ДАК щодо кандидатських дисертацій (п. 13 Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань), а її автор, Балук Ігор Мирославович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент,
доктор техн. наук, професор,
завідувач кафедри металевих та
дерев'яних конструкцій Київського
національного університету
будівництва і архітектури. С.І. Білик

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

Вчений секретар КНУБА
к.т.н, доцент О.С. Петренко