

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

**Хміля Романа Євгеновича**

на тему: **«Напружено-деформований стан та залишковий ресурс залізобетонних конструкцій, підсилених за дії навантаження»**

на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

за спеціальністю 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди,

19 – Архітектура та будівництво

яка прийнята до розгляду в спеціалізовану вчену раду Д 35.052.17

### **Актуальність теми дисертації**

На сьогоднішній день значна кількість залізобетонних конструкцій будівель та споруд експлуатуються тривалий час і мають необхідність в уточненні їх дійсного технічного стану та внаслідок зміни призначення будівель потребують підсилення. Слід зауважити що більшість конструкцій на час підсилення перебувають під дією навантаження того чи іншого рівня (власна вага, частина експлуатаційного навантаження чи при аварійних ситуаціях навіть більшого навантаження за допустиме), тому врахування цієї особливості є важливим для розуміння дійсного НДС підсилених залізобетонних конструкцій. Підсилення виконують багатьма способами, чому присвячено значну кількість наукових досліджень. Одним з ефективних способів підсилення є нарощування перерізу розтягнутого армування, бетону та одночасно армування і бетону (обойма) залізобетонної конструкції.

Існуючі методи розрахунку елементів підсилених конструкцій будівель і споруд сьогодні не повною мірою відображають дійсний напружено-деформований стан конструкції в стадії підсилення, відсутні адекватні рекомендації з оцінювання залишкової несучої здатності конструктивного елемента підсиленого за дії навантаження. Ймовірнісні методи розрахунку будівельних конструкцій можуть допомогти оцінити надійність підсилених конструкцій та стати основою для прогнозування залишкового ресурсу підсилених конструкцій.

Виходячи з цього, дисертаційна робота, яка присвячена вирішенню актуальної наукової проблеми встановлення дійсного напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій, підсилених за дії навантаження, має важливе наукове та практичне значення.

Практичне значення полягає в підвищенні ефективності використання матеріалів підсилення на стадії проєктування залізобетонних згинаних та стиснуто-згинаних конструкцій, підсилених способом нарощуванням перерізу за дії навантаження.

#### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертація відповідає напрямку науково-дослідної роботи кафедри будівельних конструкцій та мостів Національного університету «Львівська політехніка», а також виконувалася в межах держбюджетних науково-дослідних робіт за темами «Розроблення методів розрахунку залізобетонних конструкцій, підсилених за дії навантаження з експериментальним обґрунтуванням» (державна реєстрація №0113U001359) та «Розроблення методик визначення несучої здатності та деформативності залізобетонних конструкцій зміцнених новітніми матеріалами за дії навантаження» (державна реєстрація №0115U000436).

#### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність.**

Достовірність отриманих наукових результатів забезпечується використанням стандартних методів досліджень будівельних конструкцій, задовільною збіжністю теоретичних та експериментальних результатів, верифікацією методом скінчених елементів запропонованих підходів до розрахунку, а також застосуванням методів теорії надійності, теорії ймовірностей і математичної статистики.

#### **Наукова новизна проведених досліджень полягає у тому, що автором: вперше:**

- отримано нові дані щодо напружено-деформованого стану залізобетонних згинаних та стиснуто-згинаних конструкцій, що підсилюються способом нарощуванням перетину арматури, одночасно арматури і бетону під навантаженням в дійсних умовах експлуатації;

— експериментально-теоретичним шляхом визначено значення коефіцієнтів умов роботи дощаткової арматури  $\gamma_{ad,exp}^s$  і бетону  $\gamma_{ad,exp}^c$  залізобетонних конструкцій, підсилення за дії навантаження, які значно відрізняються від величин, рекомендованих нормами проектування ДСТУ Б В.3.1-2:2016;

— встановлені закономірності між коефіцієнтами умов роботи дощаткової арматури  $\gamma_{ad}^s$  і бетону  $\gamma_{ad}^c$  та величиною навантаження, за якого виконують підсилення, що дозволяє на стадії проектування проводити корегування кількості дощаткового армування, бетону для підвищення їхніх коефіцієнтів умов роботи та, як наслідок, ефективності використання матеріалів підсилення.

### **Набули подальшого розвитку та вдосконалені:**

— методи розрахунку залізобетонних згинаних та стиснуто-згинаних елементів, підсиленнях нарощуванням перетину арматури, одночасно арматури і бетону під навантаженням із використанням двох альтернативних моделей (силової та деформційної моделі розрахунку), при цьому передбачено врахування діючого на конструкцію навантаження в момент передачі на армування дощаткової конструкції навантаження в момент підсилення;

— критерій вичерпання несучої здатності комплексного перерізу підсиленої залізобетонної конструкції, якому відповідає момент досягнення напружень межі текучості в арматурі основного і дощаткового перерізів, що підвищує ефективність використання матеріалів підсилення;

— алгоритм побудови геометричної, фізичної кінцево-елементної моделі та моделі прикладання навантаження до залізобетонних конструкцій, підсиленнях під навантаженням у прикладних програмних комплексах, що використовують МСЕ;

— принципова методика визначення індексів надійності (дальності відмови)  $\beta$  та ймовірності безвідмовної роботи  $P(\beta)$  для згинаних та стиснуто-згинаних конструкцій, що підсилюються за дії навантаження. При цьому рівень діючого на час підсилення навантаження розглядається як доаткова, до загально прийнятих у теорії оцінювання надійності залізобетону, вищадкова величина;

- прогнозування залишкового ресурсу залізобетонних згинаних та стиснуто-згинаних елементів, підсилених за дії навантаження, використовуючи їхніпоказники надійності, що дозволяє визначити термін експлуатації підсилених конструкцій.

### **Цінність для науки і практики результатів досліджень автора.**

Основним результатом дисертації є вирішення наукової проблеми встановлення дійсного напружено-деформованого стану залізобетонних згинаних та стиснуто-згинаних конструкцій, підсилених за дії навантаження, створення розрахункових методик для проєктування та оцінювання надійності і залишкового ресурсу таких конструкцій.

Результати, отримані в дисертаційній роботі, впроваджені як при проєктуванні багатьох об'єктів, так і у навчальний процес НУ «Львівська політехніка».

### **Повнота викладу отриманих результатів в опублікованих працях.**

Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 51 друкованій праці, з них 24 статті у наукових фахових виданнях України, 15 статей у наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз (зокрема, 7 праць у НМБД Scopus), 1 патент на корисну модель, 11 публікацій апробаційного характеру.

Зміст та обсяг **публікації** достатньо повно відображає основні положення дисертації.

Дослідження автора **апробовані** більш ніж на 35-ти науково-практичних конференціях різного рівня в Україні та закордоном.

Автореферат ідентичний до змісту з основними положеннями дисертаційної роботи й достатньо повно відображає основні наукові результати, які були отримані здобувачем.

### **Оцінка змісту дисертації.**

Дисертація складається з анотації, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 408 найменувань та 4 додатків,. Робота викладена на 465 сторінках машинописного тексту, у тому числі містить 316 сторінок основного тексту, 43 сторінки списку використаних джерел, 53 таблиці,

96 рисунків та 77 сторінок додатків..

У **вступі** (10 с.) обґрунтовується актуальність теми, показано її зв'язок із науковими програмами, сформульовано мету та задачі дослідження, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, а також наведено дані про їх впровадження та рівень апробації.

**Перший розділ** дисертації (64 с.) присвячений вивченню існуючого стану та аналізу існуючих досліджень стосовно вивчення напружено-деформованого стану, методів оцінювання та прогнозування залишкової несучої здатності, як підсилених, так і не звичайних залізобетонних конструкцій. Крім того, виконано аналіз ймовірнісних методів розрахунку непідсилених та підсилених залізобетонних конструкцій, розглянуто стан питання розрахунку показників надійності елементів після підсилення. Зроблені відповідні висновки та поставлені задачі досліджень.

У **другому розділі** дисертації (41 с.) наведено та описано загальну програму й методики проведення експериментальних досліджень згинаних та стиснуто-згинаних залізобетонних конструкцій, підсилених прийнятими способами, а саме нарощуванням армування та одночасно армування і бетону (обоймою) за одночасної дії навантаження. Програмою передбачено експериментальні дослідження 32 великорозмірних моделей згинаних елементів з розмірами поперечного перерізу до підсилення  $100 \times 200$  мм та довжиною 2100 мм і 28 великорозмірних моделей стиснуто-згинаних елементів із розмірами поперечного перерізу до підсилення  $140 \times 180$  мм та довжиною 2200 мм. Складовою частиною програми експериментальних досліджень було дослідження поєднаних зварюванням арматурних стержнів (50 зразків), виконаних під навантаженням та дослідження сумісної роботи бетону існуючого і додаткового перерізів підсилених залізобетонних конструкцій.

**Третій розділ** дисертації (80 с.) присвячений аналізу отриманих експериментальних даних. Досліджено вплив на несучу здатність підсилених залізобетонних конструкцій рівня навантаження у момент підсилення, вплив діючого навантаження на ефективність розглянутих способів підсилення. Проаналізовано сумісну роботу існуючого бетону і бетону підсилення а також

сумісну роботу арматурних стержнів залежно від величини рівня навантаження у момент підсилення.

У **четвертому розділі** дисертації (55 с.) представлені методики визначення залишкової несучої здатності підсилених під навантаженням залізобетонних конструкцій за деформаційною та силовою моделлю розрахунку. Дані моделі прийнято з міркувань створення можливості для розрахунку підсилених конструкцій як за допомогою наближеного ручного розрахунку інженером, так із використанням точнішої, проте такої що потребує автоматизованих засобів, методики діючих норм проектування залізобетонних конструкцій.

В **п'ятому розділі** дисертації (17 с.) наведено моделювання роботи підсилених залізобетонних балок у програмних комплексах, які розроблені на базі методу скінченних елементів (МСЕ). Автором запропоновано алгоритм побудови геометричної, фізичної моделі та моделі прикладання навантаження до підсилених залізобетонних конструкцій, які б відображали дійсні умови їх експлуатації й підсилення. Виконано апробацію оцінки параметрів НДС залізобетонних елементів, підсилених за дії навантаження, оскільки такі алгоритми ще не застосовувалися, і рекомендацій від розробників ПК у літературі чи технічній документації прикладних програмних комплексів не зустрічається.

В **шостому розділі** дисертації (44 с.) наведено результати розробки та апробації пропонованої методики визначення індексів надійності (дальності відмови)  $\beta$  та імовірності безвідмовної роботи  $P(\beta)$  для згинаних та стиснуто-згинаних конструкцій, що підсилюються способом нарощування армування. При цьому рівень діючого на час підсилення навантаження розглядається як додаткова, до загальноприйнятих у теорії оцінювання надійності залізобетону, випадкова величина. Виходячи з передумов оцінки ймовірності безвідмовної роботи, розроблено пропозиції для визначення залишкового ресурсу підсилених залізобетонних конструкцій на основі ДБН В.12-14, як для нових конструкцій, або застосовуючи аналітичну модель життєвого циклу конструкції.

У **загальних висновках** (5 с.) автор підсумовує основні результати дисертаційної роботи.

### **Зауваження за змістом дисертації та автореферату:**

1. Які теоретичні передумови визначення коефіцієнтів умов роботи арматури, що наведені в таблиці 3.1? Не зрозуміло, чи використовувалась статистична обробка експериментальних даних при їх розрахунку.

2. Доцільним було б проведення порівняльного аналізу отриманих експериментальних даних щодо сумісної роботи бетону підсилення із бетоном підсилюваної конструкції із теоретичними даними згідно існуючих розрахункових методик. Яке відхилення між деформаціями бетону основного перерізу та бетону підсилення вважається гранично допустимим для забезпечення сумісної роботи?

3. З роботи не зрозуміло, якими технологічними прийомами забезпечувалась спільна робота «нового» бетону підсилення і «старого» бетону конструкції?

4. В таблицях отриманих експериментальних та теоретичних даних доцільним було б також привести результати статистичної обробки відхилень.

5. В розділі 3 слід було навести розміри поперечного перерізу, довжину між опорами та армування балок, підсиленних нарощуванням арматури, обоймою, прийнятих для випробувань.

6. Аналіз результатів за запропонованими методиками розрахунку залізобетонних конструкцій, підсиленних за дії навантаження, доцільно було провести не лише з використанням власних експериментальних даних, але й із даними інших авторів.

7. За критерій руйнування композитних конструкцій автор приймає досягнення напруженнями в арматурі межі текучості. Проте підсилені конструкції з додатковою арматурою, зазвичай, переходять в категорію перearмованих для яких критерієм руйнування є максимум функції рівноважних станів.

8. Автор для оцінки надійності використовує метод лінеаризації. Загальновідомо, що цей метод має похибки. На нашу думку, слід було б оцінити величину похибки для нелінійної функції несучої здатності конструкцій.

9. Метод лінеаризації використовується для функцій, заданих в явному вигляді аналітичними виразами, оскільки для вирахування статистичних

характеристик функції використовуються похідні цієї функції. Але найчастіше та чи інша властивість конструкцій описується в вигляді чисельних алгоритмів. Тоді незрозуміло як можливо отримати похідні таких функцій?

### **Загальний висновок по роботі.**

Дисертаційна робота Хміля Романа Євгеновича «Напружено-деформований стан та залишковий ресурс залізобетонних конструкцій, підсилених за дії навантаження» є закінченою науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані теоретичні і практичні результати, мета яких вирішити важливу науково-технічну проблему встановлення дійсного напружено-деформованого стану залізобетонних згинаних та стиснуто-згинаних конструкцій, підсилених за дії навантаження.

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи і не зменшують ступеня наукового обґрунтування, новизни та достовірності отриманих наукових результатів та висновків.

Дисертаційна робота Хміля Романа Євгеновича «Напружено-деформований стан та залишковий ресурс залізобетонних конструкцій, підсилених за дії навантаження» на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук є завершеною науковою працею та відповідає паспорту спеціальності 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди, вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого Постановою Кабміну України №56 від 24 липня 2013 року щодо вимог до докторських дисертацій, а її автор, безумовно, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент,

Ректор ДВНЗ «Придніпровська

державна академія будівництва та архітектури»,

д.т.н, професор



Микола САВИЦЬКИЙ