

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

Хміля Романа Євгеновича

«Напружено-деформований стан та залишковий ресурс залізобетонних конструкцій, підсилених за дії навантаження», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди

Дисертація складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 408 найменувань та чотирьох додатків.

Актуальність досліджень. Використання залізобетонних конструкцій при зведенні промислових, громадських будівель та інженерних споруд є надзвичайно поширеним, що пояснюється багатьма перевагами якими володіють ці конструкції. Проте внаслідок тривалої експлуатації конструкції часто стають фізично зношеними, а будівлі морально застарілими. Внаслідок чого постає необхідність реконструкції, модернізації або ремонту існуючих будівель та споруд, що в свою чергу викликає потребу у встановленні дійсного технічного стану існуючих залізобетонних конструкцій та можливого наступного їх ремонту або підсилення. Модернізація часто супроводжується зміною навантажень, на будівлі та споруди і також приводить до необхідності збільшення несучої здатності конструкцій, тобто їх підсилення.

Існуючі підходи до розрахунку підсилених залізобетонних конструкцій на даний час не в повній мірі відображають дійсний напружено-деформований стан конструкції в стадії експлуатації, що призводить до неточностей при проектуванні таких конструкцій. Недостатня кількість досліджень, особливо експериментальних досліджень за одночасної дії навантаження на конструкцію при підсиленні, не дає можливості оцінити дійсну несучу здатність вже підсиленого залізобетонного елемента.

Також останнім часом ймовірнісні методи розрахунку будівельних конструкцій привертають все більшу увагу, оскільки дозволяють підвищити надійність конструкцій з одночасним зниженням їх матеріалоємності внаслідок вдосконалення методів розрахунку і проектування конструкції. Для нових конструкцій такі підходи в науковій літературі і нормах наявні, проте для підсилених конструкцій, особливо тих що підсилені за дії навантаження, є

недостатня кількість досліджень.

Таким чином, дисертаційна робота, яка присвячена вирішенню актуальної наукової проблеми встановлення дійсного напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій, підсилених за дії навантаження є безумовно актуальною та має важливе практичне значення.

Дисертацію виконано в Національному університеті «Львівська політехніка», а її результати були реалізовані в межах держбюджетних науково-дослідних робіт: «Розроблення методів розрахунку залізобетонних конструкцій, підсилених за дії навантаження з експериментальним обґрунтуванням» (номер державної реєстрації №0113U001359) та «Розроблення методик визначення несучої здатності та деформативності залізобетонних конструкцій зміцнених новітніми матеріалами за дії навантаження» (номер державної реєстрації №0115U000436).

Дисертація відповідає напряму наукових досліджень кафедри будівельних конструкцій та мостів Національного університету «Львівська політехніка».

Оцінка змісту дисертації. В першому розділі наводиться аналіз існуючих методів підсилення залізобетонних конструкцій, на сам перед згинаних та стиснуто-згинаних елементах. Проведено аналіз експериментально-теоретичних досліджень напружено-деформованого стану підсилених залізобетонних конструкцій з акцентом на конструкціях підсилених за дії навантаження. Розглянуто основні підходи до розрахунку залишкової несучої здатності таких конструкцій. Окрім того в розділі проаналізовані дослідження та діючі нормативні документи щодо оцінювання надійності залізобетонних конструкцій, розглянуто стан питання кількісного розрахунку показників надійності елементів як нових, так і підсилених.

У другому розділі наведені комплексна програма та методики експериментальних досліджень залізобетонних згинаних та стиснуто-згинаних елементів, підсилення яких виконують при обов'язковій одночасній дії навантаження. Змінними параметрами програми експериментальних досліджень є величина рівня початкового навантаження на конструкції (склала 30%, 50%, 70% та 90% від максимального значення), а також способи підсилення конструкцій (нарощуванням перерізу армування, одночасно армування і бетону (обоймою). В результаті такої кількості змінних параметрів навантаження на конструкцію та різних способів підсилення наявний великий об'єм

експериментальних досліджень залізобетонних конструкцій.

У третьому розділі наведені результати експериментальних досліджень згинаних та стиснуто-згинаних залізобетонних конструкцій. В результаті встановлені залежності зміни несучої здатності для підсилених залізобетонних конструкцій від способу підсилення та рівня навантаження у момент підсилення. Оцінено ефект від підсилення конструкцій, сформовано уявлення про дійсні стадії напружено-деформованого стану колон та балок підсилених за допомогою залізобетонної обойми – найбільш ефективного способу підсилення. Досліджено сумісну роботу існуючого бетону і бетону підсилення а також арматурних стержнів основного та додаткового перерізів.

У четвертому розділі запропоновані методики визначення залишкової несучої здатності підсилених за дії навантаження залізобетонних конструкцій за двома моделями розрахунку (деформаційною та силовою), наведені переваги і недоліки в обох підходах до оцінки напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій. При застосуванні розрахунку конструкцій за силовою моделлю згідно з вказівками ДСТУ Б В.3.1-2:2016 отримано експериментальні значення коефіцієнтів умов роботи додаткової арматури $\gamma_s^{ad,exp}$ і бетону $\gamma_c^{ad,exp}$, які значно відрізняються від величин, рекомендованих даним нормативним документом. Запропонована деформаційна модель розрахунку балок та колон, підсилених залізобетонною обоймою дозволяє враховувати напружено-деформований стан основного перерізу елемента під час підсилення та моменти від впливів другого порядку і рекомендується розрахунок виконувати в два етапи. Проведений аналіз збіжності отриманих теоретичних результатів з експериментальними величинами.

У п'ятому розділі проведено дослідження НДС моделей балок підсилених під діючим навантаженням у ПК "Femap with NX Nastran". Запропоновано алгоритм побудови геометричної, фізичної моделі та моделі прикладання навантаження до підсилених залізобетонних конструкцій, які б відображали дійсні умови їх експлуатації та підсилення. Проведено порівняльний аналіз результатів дослідження роботи балок після підсилення, отриманих при розрахунку в програмних комплексах з результатами, отриманих згідно запропонованої у четвертому розділі методики розрахунку залізобетонних балок підсилених залізобетонною обоймою.

Шостий розділ присвячено оцінюванню параметрів надійності підсилених

залізобетонних конструкцій, а саме ймовірності їх безвідмовної роботи. Запропоновано при розрахунку індексу надійності врахування стохастичного параметра рівня навантаження конструкції в момент підсилення, а при визначенні розрахункової несучої здатності застосовано адаптовану деформаційну модель розрахунку. Виходячи з величин параметрів ймовірності безвідмовної роботи, розроблено пропозиції для визначення залишкового ресурсу підсилених конструкцій як на основі співставлення отриманих показників надійності з нормованими значеннями, наведеними в ДБН В.1.2-14:2018, так і з використанням аналітичної моделі життєвого циклу конструкції.

Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується використанням загальновизнаних методів досліджень будівельних конструкцій, задовільною збіжністю теоретичних та експериментальних результатів, верифікацією методом скінченних елементів запропонованих підходів до розрахунку, а також застосування методів граничних станів, теорії надійності, теорії ймовірностей.

Наукова новизна дисертації полягає в тому, що вперше: *отримано* нові дані щодо напружено-деформованого стану залізобетонних згинаних та стиснуто-згинаних конструкцій, що підсилюються способом нарощування армування, одночасно армування і бетону за дії навантаження в дійсних умовах експлуатації; експериментально-теоретичним шляхом визначено значення коефіцієнтів умов роботи додаткової арматури і бетону залізобетонних конструкцій, підсилених за дії навантаження, які значно відрізняються від величин, рекомендованих нормами проектування ДСТУ Б В.3.1-2:2016; встановлені закономірності між коефіцієнтами умов роботи додаткової арматури і бетону та величиною навантаження, при якому виконують підсилення, що дозволяє на стадії проектування проводити корегування кількості додаткового армування, бетону для підвищення ефективності використання матеріалів підсилення; *одержали* подальший розвиток методики розрахунку залізобетонних балок та колон, підсилених за дії навантаження з використанням двох альтернативних моделей (силової та деформаційної моделі розрахунку), *уточнено* критерій вичерпання несучої здатності комплексного перерізу підсиленої залізобетонної конструкції, якому відповідає момент досягнення напружень межі текучості в арматурі основного і додаткового перерізів, що підвищує ефективність використання матеріалів підсилення; *удосконалено* та

апробовано в прикладних програмних комплексах, що використовують МСЕ, алгоритм побудови геометричної, фізичної скінченно-елементної моделі та моделі прикладання навантаження до залізобетонних конструкцій, підсилених за дії навантаження; *набули* подальшого розвитку принципова методика визначення індексу надійності (дальності відмови) β та ймовірності безвідмовної роботи $P(\beta)$ для згинаних та стиснуто-згинаних конструкцій, що підсилюються за дії навантаження та спосіб прогнозування залишкового ресурсу означених конструкцій, використовуючи їх показники надійності.

Наукове та практичне значення результатів дисертації. Отримані науково-обґрунтовані результати в сукупності вирішують важливу проблему' встановлення дійсного напружено-деформованого стану залізобетонних згинаних та стиснуто-згинаних конструкцій, підсилених за дії навантаження. Створені та вдосконалені розрахункові методики для проектування та оцінювання надійності і залишкового ресурсу таких конструкцій дають можливість точніше оцінювати напружено-деформований стан підсилених конструкцій, що дозволяє підвищити ефективність використання матеріалів підсилення та спрогнозувати термін експлуатації підсилених конструкцій.

Публікації. Зміст дисертації досить повно викладено в 51 науковій праці, з яких 24 статті опубліковано у фахових виданнях України, 15 статей у закордонних періодичних виданнях, та виданнях, що входять до НМБД, з них 7 у виданнях, що індексуються в Scopus; 1 патент на корисну модель та 11 публікацій апробаційного характеру за матеріалами конференції.

Зауваження щодо змісту дисертації.

1. При вивченні запропонованої програми експериментальних досліджень (стор.104) не зрозуміло з яких міркувань автором обрано кількість зразків-близнюків для кожної серії? На наш погляд, для їх обґрунтування слід було застосувати метод математичного планування експерименту.
2. Яким чином перевірялась якість зварного шва при нарощуванні перерізу арматури приварюванням додаткових стрижнів (стор. 108)? Чи впливатиме на роботу конструкції зміна характеристик зварного шва чи його недосконалість?
3. Автором зазначено (стор. 114), що для збільшення перерізу арматури балок серій БПа_к та БПа використовували арматуру підсилення діаметром 10 мм класу А500С. Як обґрунтовано вибір зазначеного діаметру

арматури підсилення, адже в розділах 2.2. та 3.1. досліджувались арматурні пакети, в яких діаметр арматури підсилення змінювався від 8 до 16 мм?

4. Чи проводилось порівняння ефективності запропонованих автором варіантів підсилення дослідних балок та колон, обіймою (підпрограма 2.2 та 3.2) та збільшенням арматури перерізу (підпрограма 2.1 та 3.1.)? Яким чином вплинув на означену оцінку різних клас бетону конструкцій (таблиці 2.3 та 2.6, 2.8 та 2.10 відповідно)?
5. При визначенні значень коефіцієнту умов роботи арматури та ефекту підсилення по арматурі (таблиця 3.1) автору слід було прийняти більшу кількість дослідних зразків для забезпечення необхідної статистичної вірогідності та репрезентативності.
6. Не обґрунтованою є доцільність використання декількох програмних комплексів, що реалізують метод скінченних елементів для оцінки напружено-деформованого стану дослідних зразків при короткочасному навантаженні. На наш погляд слід було виконати скінченно-елементне моделювання конструкцій з урахуванням фізичної та генетичної нелінійності, в тому числі в умовах тривалого навантаження з урахуванням реологічних властивості бетону, малоциклових знакозмінних навантажень, тощо.
7. На жаль автор не розглядає вплив величини ексцентриситету прикладання навантаження на НДС колон (підпрограми 3.1 та 3.2.), а ні при експериментальній перевірці роботи конструкції, а ні при скінченно-елементному моделюванні.
8. Автором зазначено, що за рахунок використання запропонованої методики оцінки надійності згинаних та стиснуто-згинаних елементів стає можливим проектування підсилення залізобетонних конструкцій з заданим наперед рівнем надійності, прогнозування їх залишкового ресурсу та дозволить забезпечити при цьому більшу економічність та ефективність прийнятих конструктивних рішень з підсилення. В дисертації відсутні відповідні техніко-економічні розрахунки та дані, що підтверджують означене.
9. На жаль, в дисертаційній роботі наявні окремі описки, некоректні чи застарілі позначення досліджуваних величин та недоліки в оформленні використаних літературних джерел.

Висновок. Розглянута дисертація в цілому є закінченою науково-дослідною роботою. В ній отримані нові науково-обґрунтовані результати, які в сукупності дозволили вирішити актуальну науково-практичну проблему оцінювання напруженого стану, надійності та прогнозування залишкового ресурсу залізобетонних конструкцій, підсилених в умовах експлуатації. Наведені зауваження не впливають на загальну схвальну оцінку роботи. Вони можуть бути враховані при подальших дослідженнях автора.

Автореферат відповідає змісту дисертації. Оформлення дисертації виконано у відповідності до вимог пунктів 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567. Автор дисертації Хміль Роман Євгенович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент,
проректор з наукової роботи
Українського державного університету
залізничного транспорту,
д.т.н., професор

Г.Л. Ватуля



Особистий підпис
засвідчую _____ 20 __ р.
Завідуючий канцелярією
УкрДУЗТ

Ватуля Г.Л.