

## **В І Д Г У К**

офіційного опонента **Савицького Миколи Васильовича**

на дисертаційну роботу

**Панченка Олександра Валентиновича**

***«Напружено-деформований стан залізобетонних балок, підсилених композитними матеріалами, за енергетичним підходом»***,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01– будівельні конструкції, будівлі та споруди

**Актуальність теми дисертації.** Дисертаційну роботу Панченка О.В. присвячено вирішенню важливої науково-технічної задачі розробці теоретично-експериментальної методики для оцінювання напружено-деформованого стану і розрахунку ресурсу роботи мостових залізобетонних балок, підсилених вуглепластиковими композитами при циклічних навантаженнях.

Ця проблема особливо актуальна у зв'язку із збільшенням вантажоперевезень, що приводить до різкого збільшення завантаженості на автодорожні мости та пришвидшує їх знос. Враховуючи, що середня зношеність мостів становить більше 50% тому для безаварійної експлуатації споруд, необхідно розробляти нові науково обґрунтовані способи підсилення елементів мостів при ремонтах і реконструкціях. Перспективним у цьому плані є застосування сучасних технологій з використанням композитних матеріалів, армованих вуглепластиковими волокнами в якості додаткового зовнішнього армування.

Вирішення вказаної науково-технічної проблеми спрямованої на розробку ефективних критеріїв та методів визначення напружено-деформованого стану, залишкового ресурсу із використанням технічних засобів контролю для оцінювання безпечного терміну експлуатації. Тому дисертаційна робота Панченка О.В. ***«Напружено-деформований стан залізобетонних балок, підсилених композитними матеріалами, за енергетичним підходом»***, є актуальною.

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

Робота виконана в рамках пріоритетного напрямку науки і техніки та згідно постанови уряду України «Про збереження надійності і безпечної експлуатації споруд, будівель та мереж».

Результати досліджень використані при виконанні науково-дослідних робіт:

- «Методика розрахунку напружено-деформованого стану та міцності мостових балок підсилених зовнішнім армуванням на основі деформаційної модулі М218-02071010-635:2007»; За комплексною програмою наукових досліджень НАН України: «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» за проектом «Методика визначення залишкового ресурсу залізобетонних мостових балок та розроблення технічних засобів моніторингу деформацій, номер державної реєстрації 0115U004015.

- «Методика розрахунку підсилення мостових залізобетонних балок додатковим зовнішнім армуванням з застосуванням металевих і композитних підсилюючих елементів М218-02071010-6-5-2006».

**Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Чітке формулювання проблеми визначення напружено-деформованого стану у мостових балках, підсилених композитною стрічкою на основі сформульованої розрахункової моделі руйнування при циклічних навантаженнях з використанням енергетичного підходу та експериментальне підтвердження кількості циклів до руйнування за величиною розмаху деформацій, встановленою методом цифрової кореляції зображень та діаграми циклічного руйнування, дозволяють зробити висновок про високу ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій досліджень, які вирішені в дисертації.

**Наукова новизна отриманих результатів.** В результаті опрацювання дисертаційної роботи було сформульовано наукову новизну:

- на основі енергетичного підходу сформульовано розрахункову модель руйнування залізобетонних балок підсилених композитними стрічками;
- за результатами експериментальних досліджень побудовано діаграми втоми для підсилених залізобетонних балок, на основі яких можна встановити кількість циклів до руйнування за величиною розмаху деформацій;
- з використанням методу цифрової кореляції зображень деформованої поверхні встановлено розподіл деформацій у згинальній залізобетонній балці;
- проведено серію експериментальних досліджень на діючих мостах і підземних переходах з метою встановлення їх залишкового ресурсу.

**Практичне значення отриманих результатів роботи** полягає у наступному:

- запропонована розрахункова модель руйнування підсилених залізобетонних балок при циклічних навантаженнях з використанням енергетичного підходу буде використана для оцінки терміну безпечної експлуатації мостів після її реконструкції;
- розроблена методика оцінки довговічності згинальних залізобетонних мостових балок, підсилених композитною стрічкою, буде використана при розробленні нормативно-технічної документації з визначення терміну експлуатації мостових конструкцій;
- оптико-цифрова система контролю буде використана при проведенні моніторингу деформацій несучих конструкцій мостів для реєстрації їх перевантажень.

**Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.** Наукові положення, висновки й рекомендації дисертаційної роботи в повному обсязі відображені в опублікованих працях і пройшли апробацію на міжнародних науково-практичних конференціях і симпозіумах.

За темою дисертації опубліковано 21 робота, з яких 3 у виданнях, що занесені до науково-метричних баз; 12 у фахових українських та закордонних виданнях; 5 – у інших виданнях.

Одноосібно дисертантом опублікована 1 робота у міжнародному журналі, що входить до науково-метричної бази даних.

**Оцінка змісту дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаних джерел із 128 найменувань на 13 сторінках, 8 додатків. Загальний обсяг основної частини становить 181 сторінку у тому числі містить 80 рисунків (1 з яких займає всю сторінку) і 20 таблиць.

У вступі дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету досліджень. Поставлені задачі для вирішення, вказана новизна та її практичне значення.

Подано апробацію отриманих результатів та особистий внесок здобувача.

У першому розділі розглянуто існуючі способи підсилення залізобетонних балок наклеєними металевими і композитними елементами. Проведено огляд відомих методів розрахунку підсилених залізобетонних згинальних елементів на міцність з використанням методу граничних станів. Наведено експериментальні дані випробувань, вказано причини і можливі моделі руйнування залізобетонних балок, підсилених композитними стрічками.

У другому розділі розроблено розрахункову модель для визначення довговічності підсилених залізобетонних балок. Згідно запропонованої моделі втрата несучої здатності настає коли у розтягнутій зоні арматури буде досягнуто межі текучості матеріалу з одночасним руйнуванням композитної стрічки та стиснутої зони бетону. Оцінювання втрати міцності в залізобетонній балці при циклічному її деформуванні здійснюють на основі гіпотези, яка базується на енергетичному підході і передбачає встановлення міри пошкодження в найбільш навантаженому місці. Тобто руйнування залізобетонної балки, підсиленої композитною стрічкою, відбувається тоді, коли енергія пружно-пластичного деформування досягає енергії руйнування композитної стрічки.

Визначення характеристик міцності композитної стрічки здійснено за розробленою методикою, згідно якої енергію руйнування визначали із повної діаграми розтягу. Величину деформації композитної стрічки за результатами вимірювань видовження в локальному об'ємі, де напружено-деформований стан є однорідний, з використанням методу цифрової кореляції зображень (ЦКЗ). Також цей метод використано при згині залізобетонних балки, який можна використовувати і для дистанційного визначення розподілу деформації по висоті балки, а також її прогину. Це дає можливість визначити напружено-деформований стан в процесі досліджень.

У третьому розділі розроблено методику експериментальних досліджень для визначення довговічності залізобетонних балок таврового перерізу підсилених композитною стрічкою. Описано методику та експериментальні дослідження, які проведено на непідсиленіх і підсиленіх композитною стрічкою залізобетонних балках таврового січення. Встановлено розподіл деформацій по висоті балки у композитній стрічці, арматурі і стиснутій зоні бетону. Проаналізовано розподіл деформацій, механізм руйнування підсилених балок та встановлено, що довговічність підсиленої балки зростає на 20% у порівнянні з непідсиленою. Характер руйнування при циклічному навантаженні наближений

до крихкого на відміну від статичного навантаження, де руйнування відбувається за в'язким (пластичним) механізмом.

Проведені дослідження втомної міцності зразків із арматури та їх зварних з'єднань. На основі побудованих діаграм встановлено, що втомна міцність зварних зразків є на 20% нижча ніж суцільної арматури.

Важливим з точки зору оптимального вибору розмірів приклеювання стрічки. Для цього у роботі проведено відповідні дослідження, встановлено необхідні розміри приклеювання стрічки з огляду на досягнення рівномірної конструкції.

Проведено розрахунок підсиленої композитною стрічкою залізобетонної балки з використанням методу скінченних елементів, які добре узгоджуються із експериментальними даними.

**У четвертому розділі** подано результати натурних випробувань мостових конструкцій. Зокрема встановлено розподіл локальних деформацій при статичному навантаженні моделі мосту з використання оптико-цифрового корелятора (ОЦК). Підтвердженням цим вимірюванням було визначено переміщень за допомогою індикаторів годинникового типу.

З використанням методу ЦКЗ проведено дослідження при випробуванні прогонової балки шляхопроводу на автомобільній дорозі Західний обхід м. Львова. Випробування проведено у відповідності з вимогами ДБН В.2.3.-В-2009 статичним навантаженням.

Встановлені прогини усіх балок методом ЦКЗ та стандартними методами добре корелюють між собою, що підтверджує можливість використання пропонованого підходу для практичного використання.

За отриманим розподілом деформацій встановлено величину напружень та за розробленою моделлю розраховано ресурс роботи, тобто число циклів до руйнування.

В роботі проведено обстеження технічного стану підземного переходу станції метро «Святошин» м. Київ, щодо можливості подальшої експлуатації з використанням технічних засобів контролю. В процесі обстеження переходу було визначено прогини, розраховано напружено-деформований стан перекриття з використанням МСЕ.

**У загальних висновках** стисло викладено основні результати та досягнення по дисертаційні роботі. Вказано що дана робота вирішає важливу науково-технічну задачу з оцінювання довговічності залізобетонних елементів підсилені композитними матеріалами та розробленні підходів і технічних засобів для моніторингу деформацій в мостових конструкціях. Відмічено, що використання таких систем контролю для мостових конструкцій попередить виникнення аварійних ситуацій.

### **Зауваження по роботі.**

1. В розрахунковій моделі врахована зміна напружено-деформованого стану від зовнішнього навантаження. Чи можливо врахувати вплив агресивного середовища?

2. Із дисертації невідомо чи враховано у дослідженні процеси старіння, які можуть відбуватись зокрема у клеєному шарі під дією зовнішнього впливу та навантаження?

3. В роботі наведено результати досліджень у випадку приклеювання композитної стрічки до нижньої площини балки. Чи можливо використовувати цю модель для інших схем наклеювання?

4. На рисунках, де показана залежність енергії руйнування від кількості циклів навантаження, не вказано границь розкиду експериментальних даних.

5. Із роботи не зрозуміло, на якій відстані можна встановлювати ОЦК для реєстрації переміщень мостових балок?

6. В роботі зустрічаються описки (стор. 49, 111, 119), а також різне скорочення одного і того ж методу скінченних елементів (МСЕ, МКЕ стор. 62).

### **Висновок**

В загальному дисертація Панченка О.В. **«Напружено-деформований стан залізобетонних балок, підсилених композитними матеріалами, за енергетичним підходом»** є завершеною науковою працею, в якій вирішено важливу науково-практичну проблему з оцінювання та продовження безпечного терміну експлуатації мостових балок підсилених шляхом зовнішнього армування композитними стрічками.

Матеріал роботи чітко структурований, викладений послідовно і лаконічно державною мовою. Наведені ілюстрації в достатній мірі є обґрунтовані для розуміння поданого матеріалу.

Оформлення дисертації відповідає вимогам Державного стандарту України та вимогам атестаційної комісії Міністерства освіти і науки України.

Автореферат дисертації в повному обсязі відображає основний зміст, положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи.

Вважаю, що дисертаційна робота Панченка Олександра Валентиновича **«Напружено-деформований стан залізобетонних балок, підсилених композитними матеріалами, за енергетичним підходом»**, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі і споруди.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор  
кафедри залізобетонних та  
кам'яних конструкцій,  
ректор Придніпровської державної  
академії будівництва та  
архітектури



Савицький М.В.