

## Відгук офіційного опонента

кандидата технічних наук, професора Ковалю Петра Миколайовича  
на дисертаційну роботу

Петрова Олексія Миколайовича «Міцність, деформативність та тріщиностійкість прогінних залізобетонних елементів при їх згині з крученням», яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю  
05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.

**Структура роботи.** Розглянута дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків та додатків. Основний текст роботи викладено на 174 сторінках, Дисертація містить усього 45 рисунків та 7 таблиць. Список літератури із 145 найменувань викладено на 18 сторінках.

Дисертацію оформлено в одному томі. Повний обсяг дисертації разом з додатком, списком літератури, рисунками і таблицями складає 332 сторінки.

**Актуальність теми.** Проблема опору залізобетонних конструкцій сумісній дії згинальних і крутних моментів, а також поперечних сил є однією із найважливіших у теорії розрахунку залізобетону. Вона займає дослідників понад сто років, але не розв'язана до кінця ще й досі. Відомо, що за наявності таких внутрішніх силових факторів руйнування прогінних залізобетонних елементів відбувається за складними просторовими перерізами. Такий випадок руйнування є одним із найбільш складних у теорії розрахунку складно завантажених і напружених залізобетонних конструкцій.

Дисертаційна робота О. М. Петрова присвячена експериментальним та аналітичним дослідженням несучої здатності, деформативності та тріщиностійкості прогінних залізобетонних елементів при їх згині з крученням, вивченню впливу конструктивних чинників та фактора зовнішньої дії, тобто крутного моменту, на ці параметри працездатності таких конструкцій, виявленню нових схем руйнування та вдосконаленню існуючих методів розрахунку їхньої несучої здатності.

Актуальність теми дисертації визначається наступним:

- по-перше, необхідністю удосконалення фізичної моделі роботи залізобетонних балок при їх згині з крученням і розробки адекватної розрахункової моделі їхньої несучої здатності;

- по-друге, необхідністю вивчення впливу таких конструктивних чинників як проліт зрізу, кількість поперечної, поздовжньої робочої та монтажної арматури, а також величини крутного моменту на міцність, тріщиностійкість та деформативність дослідних елементів;



- по-третє, необхідністю удосконалення існуючих інженерних методів розрахунку несучої здатності прогінних залізобетонних конструкцій, що зазнають згину з крученням, з метою забезпечення їхньої надійності на стадії проектування та подальшої безпечної експлуатації.

Робота виконана в межах науково-дослідних робіт за держбюджетними темами «Розробка розрахункових моделей прогінних залізобетонних конструкцій при складному напружено-деформованому стані приопорних ділянок» (номер держреєстрації 0108U000559), «Розв'язок прикладних інженерних задач за допомогою методів теорії споруд» (номер держреєстрації 0107U000809).

**Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджена наступним:**

- проведенням експериментальних досліджень на дослідних зразках-балках, що мають напівнатурні розміри й дозволяють у повній мірі дослідити механізм їх деформування, тріщиноутворення та руйнування без застосування методів теорії подібності для переносу отриманих результатів на інші елементи;

- використанням апробованих методів механічних досліджень матеріалів та конструкцій відповідно до існуючих стандартів, зокрема математичної теорії планування, програмного комплексу «Лира-САПР» та ін.;

- добрим збігом результатів теоретичних розрахунків з дослідними даними, отриманими під час проведення натурних і числових експериментів;

- позитивними результатами апробації та використання запропонованих розробок та рекомендацій у навчальному процесі та у практиці проектування реальних об'єктів.

Сформульовані автором висновки та рекомендації ґрунтуються на отриманих в процесі досліджень результатах та не викликають сумніву.

**Наукова новизна результатів полягає у наступному:**

- завдяки виконанню автором комплексних лабораторних досліджень за оригінальною методикою, що базується на теорії планування експерименту, отримані нові дані про стиснене та вільне кручення дослідних залізобетонних балок аж до їх руйнування, в результаті чого вперше комплексно вивчений системний вплив на основні параметри їхньої несучої здатності зазначених вище конструктивних чинників та величини відносного крутного моменту, що дало змогу побудувати відповідні математичні моделі;

- виявлений, при цьому, механізм та нові схеми руйнування дослідних елементів і вперше встановлено їх залежність від відповідного співвідношення дослідних факторів;

- отримані нові дані про особливості деформування, тріщиноутворення, та руйнування дослідних зразків дозволили автору розробити нову інженерну методичку розрахунку міцності їхніх просторових перерізів, що зазнають деформації згину з крученням;

- отримала подальший розвиток нелінійна деформаційна модель стержневої залізобетонної конструкції, яка з єдиних позицій механіки залізобетону дозволяє урахувати особливості сумісної роботи бетону й арматури на всіх стадіях, включаючи руйнування, за одночасної дії поперечної сили, згинального та крутного моментів;

- запропонований автором варіант моделювання складного напружено-деформованого стану залізобетонних балок при їх згині з крученням шляхом нелінійного скінчено елементного розрахунку з використанням реальних діаграм стану матеріалів та сучасних феноменологічних критеріїв міцності дає можливість чисельно відтворити результати експерименту за допомогою сучасних програмних комплексів, зокрема, «Лира-САПР»;

- зроблена оцінка достовірності прогнозу міцності просторових перерізів дослідних конструкцій за нормативними документами розвинутих країн світу.

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

- запропонована автором інженерна методика розрахунку міцності просторових перерізів залізобетонних конструкцій при їх згині з крученням забезпечує достовірний прогноз їх несучої здатності завдяки більш точному, порівняно з іншими методами, урахуванню впливу конструктивних чинників та факторів зовнішньої дії;

- удосконалена автором нелінійна деформаційна модель напружено-деформованого стану стержневих залізобетонних конструкцій є розвитком та доповненням загального деформаційного методу розрахунку, закладеного в діючі вітчизняні норми. Вона дозволяє виконувати розрахунок таких конструкцій за з I і II групами граничних станів з єдиних методологічних позицій;

- запропонований варіант моделювання складного напружено-деформованого стану дослідних балок шляхом нелінійного скінчено-елементного розрахунку розкриває додаткові можливості ПК «Лира-САПР» у частині розв'язку зворотної задачі;

- результати експериментально-теоретичних досліджень дисертаційної роботи впроваджені в практику проектування реальних об'єктів у м. Одесі, а також у навчальний процес Одеської державної академії будівництва та архітектури при підготовці магістрів напрямку «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізації «Промислове та цивільне будівництво».

**Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях.** Основні положення дисертаційної роботи висвітлені у достатній кількості публікацій, а саме в 16 наукових працях, з них 1-монографія, 12 робіт-в рекомендованих вітчизняних фахових виданнях, 3-в зарубіжних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних.

Робота пройшла широку апробацію, вона доповідалася на 18 наукових конференціях.

## **Щодо основного тексту дисертації.**

**У вступі** автор обґрунтував актуальність теми, сформулював мету, основні задачі та методи досліджень, навів основні характеристики дисертації.

**У першому розділі** виконано огляд досліджень, присвячених вивченню деформацій кручення зі згином залізобетонних конструкцій. Розглянуто експериментальні дослідження різних науковців, наведено теоретичні підходи до вирішення проблеми, що розглядається, проаналізовано запропоновані методи розрахунку міцності, деформативності, тріщиностійкості залізобетонних елементів при їх згині скрученням. За результатами огляду та аналізу літературних джерел сформульовано мету досліджень і поставлено задачі для її досягнення. Варто зауважити, що обсяг розділу 1 дещо зavelикий, варто було б більш концентровано викласти матеріал цього розділу.

**У другому розділі** приведена конструкція дослідних залізобетонних зразків – балок, а також схеми їх армування. Позитивним є значна кількість зразків – 57 шт., що дозволяє отримати достовірні експериментальні дані. Виконано планування п'ятифакторного експерименту з дослідження напружено-деформованого стану прогінних залізобетонних елементів, що зазнають згину скрученням. Наведено схеми розміщення п'єзодатчиків, описано технологію наклеювання тензорезисторів на бетон і арматуру. Обчислення результатів експериментів та обробка їх даних виконання за допомогою комп'ютерних технологій.

**У третьому розділі** виконано аналіз експериментальних досліджень, отриманих при випробуванні дослідних зразків залізобетонних балок. Описано процеси утворення і розвитку тріщин, виявлено схеми руйнування та особливості роботи балок при різних рівнях навантаження. Визначено вплив конструктивних чинників на тріщиностійкість, деформативність та міцність залізобетонних балок при їх згині скрученням. Важливим є висновок, що крутний момент може не тільки суттєво (майже у два рази) зменшувати несучу здатність балок, а й підвищує прогин елементів до 70%.

**У четвертому розділі** розглянуто розрахункову модель залізобетонної балки прямокутного перерізу при згині скручення і врахуванні фізичної нелінійності матеріалів. Визначені основні гіпотези і передумови для розрахунку таких конструкцій. Несучу здатність балок при згині скрученням пропонується визначати традиційним способом за допомогою деформаційного методу та врахування ряду відповідних рекомендацій. Застосовані триінваріантний критерій В. М. Круглова і п'ятипараметровий критерій М. І. Карпенка міцності бетону, дозволили дослідити просторовий напружено-деформований стан елементів.

**У п'ятому розділі** наведені результати порівняння експериментальних і розрахункових даних міцності просторових похилих перерізів дослідних залізобетонних балок, які були розраховані за рекомендаціями норм проектування

інших країн, що показало їх незадовільну сходиність. Викладено розроблену автором інженерну методику розрахунку міцності просторових похилих перерізів при їх згині скрученням, яка інтегрально враховує вплив на них різних факторів.

**У висновках** сформульовано основні результати проведених досліджень прогінних залізобетонних елементів при їх згині з крученням.

**По роботі є такі зауваження:**

1. Об'єкт дослідження (стор.24) треба було визначити згідно з вимогами до дисертації: об'єкт дослідження – це процес або явище, яке розглядається в роботі.

2. Чим обгрунтована "думка М. І. Карпенка" (стор.76) про придатність формул на стор. 74 – 75 для розрахунку елементів після утворення тріщин?

3. Яка доцільність розгляду розрахунків кручення трубчатих і кільцевих елементів (стор.76 - 79)?

4. У висновках до розділу 1 (стор.79) автор відмічає, що роботи ряду науковців "дають можливість оцінити вплив не пружних властивостей матеріалів на роботу конструкцій...", і робить висновок, що "...ці положення ще знайшли відображення у діючих нормах проектування залізобетонних елементів, що зазнають кручення". Варто конкретизувати цей висновок.

5. У формулах визначення площ стержнів помилково вказано  $p$  замість  $\pi$  (стор. 191).

6. В розділі 2 (стор. 104) є посилання на рис. 2.6 осереднені діаграми бетонних призм – він не відповідає назві та на рис. 2.7 осереднені значення коефіцієнта Пуассона – він відсутній у цьому розділі.

7. В розділі 2 відсутні фізико-механічні характеристики бетону та арматури дослідних зразків або посилання, де їх можна розглянути.

8. В методиці експериментального дослідження (п. 2.3) треба було привести дані щодо ступеней, якими прикладалося випробувальне навантаження, швидкість його прикладання та які витримки навантаження були на кожній ступені для зняття показів по приладах.

9. Варто пояснити висновок за результатами досліджень балок про те, що зі збільшенням коефіцієнта поздовжнього робочого армування разом з ростом міцності припорних ділянок зростають і їх прогини на 6... 24 % (стор. 144). Це при однаковому навантаженні?

10. Не є коректним висновок "Встановлено, що збільшення міцності бетону з метою підвищення несучої здатності припорних ділянок є економічно необгрунтованим і відповідний клас бетону слід приймати з урахуванням всіх конструктивних та технологічних вимог до конструкції", тому що в ряді випадків це є економічно доцільним, а те, що треба враховувати всі вимоги було відомо і до виконання цієї роботи.

11. Треба пояснити, чому у якості критерію руйнування бетону була прийнята феноменологічна умова міцності В.М. Круглова (стор.154).

12. Автор пропонує вдосконалити інженерну методику для визначення поперечної сили за виразом 5.1 (стор. 209), де  $T$  – сталі значення крутного моменту згідно плану експерименту. Варто пояснити, як саме використовувати ці значення  $T$  для розрахунку реальних конструкцій.

Вказані недоліки та запитання до автора, в основному, носять дискусійний характер і не зменшують значущість дисертаційної роботи.

Автореферат повністю відповідає основним положенням дисертації.

#### **Висновок.**

Дисертаційна робота О. М. Петрова є завершеною науково-дослідною роботою, в якій здійснено нові науково-обґрунтовані розробки в напрямку вивчення реального стану складно навантажених залізобетонних конструкцій за сумісної дії поперечних сил, згинальних і крутних моментів, а також розробки адекватних фізичних і розрахункових моделей для визначення основних параметрів їхньої працездатності.

Представлена робота за актуальністю, змістом, науковою новизною та практичним значенням відповідає вимогам до дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а її автор О. М. Петров заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди.

#### **Офіційний опонент :**

кандидат технічних наук, професор,  
завідувач кафедри «Архітектурні  
конструкції» Національної академії  
образотворчого мистецтва і архітектури



П. М. Коваль

21.03.2018

Підпис професора Ковалю П. М. засвідчую  
проректор з наукової роботи,  
кандидат мистецтвознавства, доцент



О. В. Ковальчук