

ВІДГУК

ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА НА ДИСЕРТАЦІЙНУ РОБОТУ

Вегера Павла Івановича

«Несуча здатність похилих перерізів залізобетонних балок, підсилених композитними матеріалами за дії навантаження», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Актуальність теми. Методи розрахунку залізобетонних конструкцій на дію поперечних сил, визначення граничної несучої здатності за поперечною силою, що представлені в європейських, американських та російських нормах істотно відрізняються один від одного. Така відмінність потребує вдосконалення розрахункової методики. Використання емпіричних або напівемпіричних залежностей в методиках існуючих будівельних норм не дозволяє повністю врахувати вплив основних конструктивних чинників та факторів зовнішньої дії на несучу здатність похилих перерізів залізобетонних елементів. Слід відзначити також, що деформаційна методика розрахунку похилих перерізів, на відміну від розрахунку нормальних перерізів, відсутня взагалі. З другого боку, при розробці розрахункової схеми приопорної ділянки залізобетонних елементів важко врахувати всі впливи та навантаження, а також їх можливі зміни в процесі експлуатації.

Практика показала, що обираючи спосіб підсилення залізобетонних конструкцій, необхідно урахувати не тільки параметри напружено-деформованого стану, а й матеріал, економічність та доцільність підсилення конструкції в даних умовах експлуатації. При цьому, збільшення несучої здатності методом нарощування перерізу за допомогою бетону та сталі є доволі ефективним. Проте, використання значної кількості матеріалів та трудомісткості призводить до пошуку матеріалів, за допомогою яких можна досягти більш високих показників відновлення і підвищення несучої здатності приопорних ділянок стиснуто-зігнутих залізобетонних елементів з меншими матеріальними і трудовими затратами.

В діючих вітчизняних нормах відсутні чіткі вказівки щодо проектування підсилення залізобетонних конструкцій композитними матеріалами. Отже, дослідження у вказаному напрямку є актуальними. Вони мають важливе наукове і практичне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами.

Дослідження здобувача виконані в межах науково-дослідних робіт кафедри будівельних конструкцій та мостів Національного університету «Львівська політехніка» за напрямком «Теоретичні та експериментальні дослідження звичайних та попередньо напружених залізобетонних, металевих, дерев'яних та інших конструкцій будівель, споруд, мостів і фундаментів та методів їх підсилення з урахуванням різних видів армування, бетонування, способів та інтенсивності навантаження, дії агресивного середовища, підвищених температур». Дисертація підготовлена в руслі держбюджетної теми: «Розроблення методик визначення несучої здатності та деформативності залізобетонних конструкцій, зміцнених новітніми матеріалами за дії навантаження» (номер державної реєстрації 0115U000436).

Об'єкт і предмет досліджень обрані здобувачем у відповідності з темою дисертації та сформульованими задачами роботи.

Методи досліджень. У дисертації використані експериментальні методи дослідження залізобетонних балкових елементів прямокутного поперечного перерізу із застосуванням кореляційного аналізу, а також теоретичні дослідження на основі рекомендацій чинних нормативних документів з обґрунтованими пропозиціями щодо їх вдосконалення.

Наукова новизна отриманих результатів. В якості наукової новизни результатів роботи слід визнати:

- нові результати експериментальних досліджень несучої здатності приопорних ділянок залізобетонних балок, підсилених композитною тканиною;
- вперше отримані експериментальні дані про те, що зі збільшенням півня діючого навантаження ефект підсилення похилих перерізів залізобетонних

балок композитною системою FRCCM спадає і при його експлуатаційних рівнях таке підсилення є недоцільним;

- набула подальшого розвитку методика розрахунку міцності похилих перерізів залізобетонних балок, в тому числі підсилених композитними матеріалами;

- пропорції щодо урахування впливу рівня діючого навантаження на міцність похилих перерізів залізобетонних балкових елементів, підсилених композитними стрічками, за допомогою емпіричного коефіцієнту γ_{yw}^{add} ;

- рекомендації щодо уточнення розрахункових значень міцності бетону на зріз $C_{Rd,c}$ та композитної арматури на розтяг f_{ywd}^{add} .

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості використання отриманих результатів експериментально-теоретичних досліджень при визначенні несучої здатності похилих перерізів залізобетонних балок, підсилених композитною системою FRCCM за дії навантаження, а також в можливості їх застосування при відновленні та реконструкції пошкоджених залізобетонних елементів.

Апробація результатів роботи. Основні результати досліджень та положення дисертаційної роботи озвучували й обговорювали на наукових форумах: Міжнародній науково-практичній виставці-конференції молодих вчених і студентів «Інновації в будівництві» (м. Луцьк, 20-22.11.2014 р.), XV International Scientific Conference “Current Issues of Civil and Environmental Engineering and Architecture” Rzeszow – Lviv – Kosice (Rzeszow, 09-10.09.2015), науково-практичній конференції «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції» (м. Київ, 02-03.06.2016 р.).

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на кафедрі Будівельних конструкцій та мостів, а також на міжкафедральному науковому семінарі Національного університету «Львівська політехніка» у 2017 році.

Публікації. За тематикою дисертації опубліковано 8 статей, зокрема 6 публікацій – у наукових фахових виданнях України та 2 публікації – у наукових періодичних виданнях іноземних держав.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі існуючих методів розрахунку залізобетонних елементів при поперечному згині, розробці методики проведення випробувань, виготовленні дослідних зразків-балок та спеціального лабораторного обладнання, проведенні експериментальних досліджень несучої здатності приопорних ділянок звичайних та підсилених композитною системою FRCM залізобетонних балкових елементів, обробці отриманих результатів та вдосконаленні існуючих методик розрахунку міцності їхніх похилих перерізів, що відображено в працях, опублікованих у співавторстві.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних літературних джерел та додатка. Загальний обсяг роботи складає 145 сторінок. Вона містить 71 ілюстрацію, 22 таблиці, 137 використаних літературних джерел на 16 сторінках, 1 додаток на 4 сторінках.

АНАЛІЗ ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, розкрито стан наукової проблеми, сформульовані мета, задачі досліджень, наукова новизна дисертації, її практичне значення для проектування і виробництва, предмет і об'єкт досліджень, методи досліджень, показано зв'язок теми дисертації з науковим напрямком та держбюджетною темою кафедри Будівельних конструкцій та мостів університету, наведено інформацію про апробацію роботи та дані про публікації.

У першому розділі наведений аналіз досліджень несучої здатності звичайних та підсилених під навантаженням залізобетонних балкових елементів композитними матеріалами та іншими способами, розглянуті основні методики розрахунку міцності їхніх похилих перерізів. Завдяки цьому аналізу автор дійшов закономірного висновку, що найбільш важливими чинниками, які

мають суттєвий вплив на несучу здатність похилих перерізів залізобетонних балок є характер і рівень діючого навантаження, параметри армування, відносний проліт зрізу, міцність бетону, робоча висота елемента та ін. При цьому, складний напружено-деформований стан приопорних ділянок, крихкість та раптовість вичерпання несучої здатності похилих перерізів зумовлює необхідність їх підсилення, зокрема новими ефективними композитними матеріалами за відсутності чітких рекомендацій в діючих нормах проектування залізобетонних конструкцій щодо розрахунку міцності підсилених перерізів.

Зауваження до першого розділу:

- відомо, що параметри поздовжнього армування мають суттєвий вплив на несучу здатність та характер руйнування приопорних ділянок прогінних залізобетонних конструкцій, але незрівнянно більший вплив на них має інтенсивність поперечного армування. Проте, цей фактор в роботі не названий;

- одна із задач досліджень – розробити оптимальну (з точки зору чого?) методику дослідження похилих перерізів (чого саме в цих перерізах?) залізобетонних балок ... – *редакційного плану*;

- розробити методику теоретичного розрахунку ... може практичного або інженерного розрахунку? ... – *дискусійного характеру*;

- провести аналіз отриманих ... даних з теоретичними результатами ... – *редакційного плану*;

- в третьому пункті наукової новизни вказано, що набула подальшого розвитку методика розрахунку похилих перерізів ... з використанням деформаційної моделі, проте жодного елемента цієї моделі в дисертації немає;

- композитні матеріали, зокрема РВО ... бажано було б на самому початку розшифрувати цю аббревіатуру;

- замість терміну «густина» доцільно було б вжити «середня щільність» – *дискусійного плану*;

- чисельні редакційні огріхи ...

У **другому розділі** представлено продуману програму та методику виконання експериментальних досліджень напружено-деформованого стану 16

напівнатурних дослідних зразків-балок, які були поділені на дві серії: 6 зразків першої серії без поперечного армування на приопорних ділянках і 10 зразків з поперечним армуванням. Геометричні розміри та міцнісні характеристики дослідних балок прийняті однаковими з дещо переармованою розтягнутою зоною: $\rho_l = 3,0\%$ у першій серії та $\rho_l = 4,3\%$ у другій серії для гарантованого руйнування дослідних зразків за похилими перерізами.

Програмою було передбачено випробування трьох залізобетонних балок з кожної серії як контрольних зразків зі змінними відносними прольотами зрізу $a/d = 1,0; 1,5; 2,0$.

Решту залізобетонних балок першої і другої серій випробували підсиленими за різними схемами та за різного рівня початкового навантаження. При цьому, дослідження проводили для кожної приопорної ділянки окремо з одночасним підсиленням попередньо напруженою обоймою іншої приопорної ділянки.

Композитною системою FRCM підсилювали балки з відносним прольотом зрізу $a/d = 2$ обох серій за оригінальною методикою на рівнях існуючого навантаження $0,0; 0,3; 0,5$ і $0,7 V_{Rd}$, тобто фактичної несучої здатності (міцності) контрольних зразків, за чотирма схемами у вигляді окремих смужок під різними кутами до їхньої поздовжньої осі та суцільних полотен по всій довжині прольотів зрізу.

Зауваження до другого розділу:

- на діаграмах розтягу арматурної сталі, зокрема на рис. 2.5, в, є питання щодо величин ε ;

- застосування металевої обойми на одній з приопорних ділянок для тимчасового її підсилення дозволяє суттєво зекономити кількість дослідних балок, з одного боку, а з другого боку, вона змінює жорсткість балок, що не може не вплинути на величину їхніх прогинів;

- при підготовці та проведенні експериментальних досліджень бажано було б застосувати теорію планування експерименту. Це дало б можливість оцінити

вплив не тільки кожного чинника чи фактору впливу зокрема, а й у їхній взаємодії, тобто виявити можливий синергетичний ефект.

У третьому розділі наведені результати експериментальних досліджень несучої здатності контрольних і підсилених залізобетонних балок за дії навантаження різних рівнів, представлені в табличній формі та у вигляді графічних і емпіричних залежностей. Дано обґрунтування зниження несучої здатності приопорних ділянок дослідних елементів зі збільшенням прольоту зрізу, рівня початкового навантаження, кута нахилу композитних стрічок, а також при зниженні інтенсивності поперечного армування.

Зроблено важливий висновок про те, що ефект підсилення залізобетонних балок при рівнях навантаження, що перевищують експлуатаційний, є незначним і їх підсилення у такому випадку є неефективним, а, отже, й недоцільним.

Показано, що підсилення балки по всій довжині прольоту зрізу обгорнутою композитною тканиною має переваги над підсиленням цієї ділянки балки окремими стрічками, оскільки воно повністю обгортає похилий переріз з можливою небезпечною похилою тріщиною, захищає бетон від впливу зовнішніх чинників та являється елементом підсилення як похилих, так і нормальних тріщин елемента.

Зауваження до третього розділу:

- очевидно, що на рис. 3.2 відображена не вигнута вісь балки, а її прогини;
- п. 3.2 і 3.3 «Дослідження (чого?) похилих перерізів ...»;
- деформації розтягу бетону ε_{crc} можуть сягати $(7 \dots 25) \cdot 10^{-5}$, а на рис. 3.7, 3.20, 3.30, 3.32 показано, що «деформації розтягу бетону похилого перерізу...» сягають $(517 \dots 737) \cdot 10^{-5}$. Очевидно, в назві цього рис. 3.7 доцільно було б написати «деформації приопорної ділянки з урахуванням розкриття похилих і нормальних тріщин ...» Далі в тексті дисертації так і написано. Проте, назва рис. 3.13 також є недосконалою;
- на стор. 78 і 79 дисертації помилково, на погляд опонента, написано, що в жодній з дослідних балок не було досягнуто текучості поперечної арматури,

деформації якої коливаються в межах $\varepsilon_{sw} = (201 \dots 299) \cdot 10^{-5}$. Проте, через ці стержні проходить небезпечна похила тріщина, ширина якої досягає 0,8мм і за якою, власне, відбувається руйнування балки. Використовуючи дані рис. 2.5, д з $\sigma_{yk, sw} = 380$ МПа і модуль пружності арматурної сталі А 240С отримаємо $\varepsilon_{sw}^{тек} \approx 180 \cdot 10^{-5}$.

- назви п. 3.3.2 «Несуча здатність похилих перерізів» і 3.3.3 «Опис результатів дослідження ...» бажано було б узгодити ...;

- цікаво, що автор мав на увазі під терміном «головні дотичні напруження» (стор. 97);

- у другому розділі автор писав про вимірювання ширини розкриття похилих і нормальних тріщин. Ці та інші дані бажано було б навести хоча б в табличній формі, оскільки вони вигідно поповнюють існуючий банк даних про цей параметр;

- на стор. 103 автор вжив новий термін «тканини суцільної або повної ширини» Очевидно мова йде про обгортання цим полотном всієї довжини прольоту зрізу.

Особливої уваги заслуговує представлене у **четвертому розділі** дисертації авторське бачення методики розрахунку несучої здатності похилих перерізів звичайних контрольних зрізків-балок та підсилених композитними матеріалами аналогічних елементів при різних рівнях їх навантаження.

Оригінальною виявилася методика визначення міцності бетону на зріз $C_{Rd, c}$ та несучої здатності похилого перерізу V_{Rd} звичайних балкових конструкцій, яка за аналогією з раніше діючими вітчизняними нормами складається із несучої здатності стиснутого бетонного підкосу і розтягнутої поперечної арматури, що у сукупності забезпечило задовільну збіжність розрахункових значень міцності похилих перерізів з дослідними даними.

Значний інтерес представляє запропонована авторами методика розрахунку несучої здатності елементів підсилення балок як додаткових розтягнутих елементів умовної решітки ферми, яка визначається як для поперечного армування за чинними нормами із застосуванням коефіцієнта

γ_{uw}^{add} , який ураховує рівень навантаження прогінних елементів під час їх підсилення. При цьому, міцність похилих перерізів залізобетонних балок, підсилених композитними матеріалами, рекомендується розраховувати по аналогії з раніше діючим СНиП 2.03.01-84* з задаванням міцності бетону стиснутих підкосів, розтягнутих стержнів поперечної арматури та композитних матеріалів з урахуванням понижуючого коефіцієнта γ_{uw}^{add} , що, в цілому, дозволило зблизити розрахункові та дослідні дані до прийнятого для практичних цілей рівня.

Зауваження до четвертого розділу:

- в порівняльних таблицях 4.2, 4.3, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 і рис. 4.10, 4.11 застосування терміну «теоретичні значення несучої здатності» ... є дискусійними ... Напевно, більше підійшов би термін «розрахункові значення»...;

- визначення несучої здатності похилих перерізів балкових конструкцій за діючими Нормами України (ДСТУ Б.В.2.6 – 156: 2010), а отже і за Єврокодо-2 не передбачає використання деформаційної моделі. Тут використана модифікована фермова аналогія.

Загальні висновки дисертації повністю відповідають поставленим завданням і розкривають її суть. Проте є **зауваження** редакційного характеру. Зокрема, в перших пунктах бажано відобразити, насамперед, основні наукові досягнення автора, за які, власне, він безумовно заслуговує присудження наукового ступеня. Словосполучення «максимальний ефект» ... вживають тричі для кожного конкретного випадку.

Список використаних джерел свідчить про те, що автор опрацював майже всі останні праці з обраного напрямку досліджень. При цьому, майже половина з них – новітні закордонні роботи, що заслуговує особливої уваги.

На жаль і тут є **зауваження**: п. 41 і 42 списку, очевидно, мають на увазі різні джерела.

**Висновки про відповідність дисертації вимогам «Порядку
присудження наукових ступенів та присвоєння вченого звання старшого
наукового співробітника»**

Дисертаційна робота Вегери Павла Івановича «Несуча здатність похилих перерізів залізобетонних балок, підсилених композитними матеріалами за дії навантаження» є закінченою науковою роботою, в якій отримані нові науково обґрунтовані теоретичні і практичні результати, для вирішення конкретної науково-технічної задачі визначення несучої здатності похилих перерізів залізобетонних балок, підсилених композитними матеріалами за дії навантаження.

Наведені за текстом дисертації критичні зауваження, в цілому, не знижують загальної позитивної оцінки роботи, носять, в основному, дискусійний характер і мають вигляд побажань.

Ураховуючи наведене вище, вважаю, що за актуальністю теми, науковою новизною, ступенем обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, їхньою достовірністю, апробацією та практичною значущістю дисертаційна робота відповідає кваліфікаційним вимогам «Порядку присудження наукових ступенів та присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор, Вегера Павло Іванович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – «Будівельні конструкції, будівлі та споруди»

Офіційний опонент,
доктор технічних наук,
професор кафедри Залізобетонних
і кам'яних конструкцій Одеської
державної академії будівництва
та архітектури

Підпис проф. Карпюка В.М. посвідчую
Начальник відділу кадрів ОДАБА



В.М. Карпюк

Л.П. Боровіна

7.04.2017