

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Горика Олексія Володимировича
на дисертаційну роботу **Сур'янінова Вячеслава Миколайовича**

«НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ТА ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ ФІБРОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ КІЛЬЦЕВОГО ПЕРЕРІЗУ»,

яка подана на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 192 будівництво та цивільна інженерія
Галузь знань 19 – Архітектура та будівництво

1. Актуальність теми

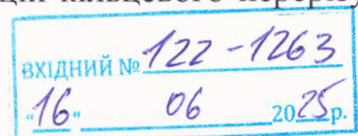
Дисертаційна робота В.М. Сур'янінова присвячена дослідженню актуального науково-практичного питання – підвищенню ефективності залізобетонних конструкцій кільцевого перерізу шляхом впровадження фібробетону як нового конструкційного матеріалу. Робота має чітко визначену мету, комплексно охоплює теоретичні, експериментальні й чисельні аспекти проблеми.

Конструкції кільцевого перерізу широко застосовуються в багатьох інженерних спорудах, таких як колодязні кільця, пропускні труби, опори, резервуари, тощо, завдяки їхній високій працездатності в умовах складного навантаження і агресивного середовища та ефективності використання матеріалів, коли мова йде про фібробетон. Традиційні залізобетонні рішення у цих випадках часто виявляються недостатньо ефективними у плані тріщиностійкості та опору крихкому руйнуванню. Конструкції кільцевого перерізу по суті є довгими циліндричними оболонками, основні аналітичні методи, яких розроблені давно (моментна, напівмоментна та безмоментна теорії), а ось особливості питань міцності та тріщиностійкості таких елементів, особливо фібробетонних, все більше привертають увагу науковців. Пояснюється це великою потребою таких конструкцій в будівництві й нестачею результатів їх досліджень. Останнє підвищує роль чисельних методів (насамперед методу скінченних елементів) та експериментальних.

У зв'язку з цим важливою науково-технічною задачею є пошук нових конструкційних рішень, які б дозволили підвищити несучу здатність та надійність таких елементів без суттєвого ускладнення технології виготовлення. Одним із перспективних шляхів є використання фібробетону — композитного матеріалу, армованого рівномірно розподіленими сталевими або полімерними волокнами, що істотно підвищують в'язкість і опір тріщиноутворенню.

Попри значну кількість досліджень з фібробетону, саме поведінка конструкцій кільцевого перерізу в умовах різного типу навантаження, зокрема динамічного чи нерівномірного, досліджена недостатньо. Існуючі розрахункові моделі часто не враховують специфіку волокнистої структури матеріалу й не забезпечують адекватної оцінки граничного стану.

Автор обґрунтовує вибір теми з позицій сучасних вимог до будівельних матеріалів, зокрема підвищеної тріщиностійкості, в'язкості руйнування, несучої здатності та довговічності конструкцій. Актуальність теми не викликає сумнівів, з огляду на широке використання конструкцій кільцевого перерізу у



сучасному будівництві (колодязі, труби, опори тощо) та перспективність застосування фібробетону в цих сферах.

У цьому контексті дослідження Сур'янінова В.М., присвячене аналізу несучої здатності та тріщиностійкості фібробетонних конструкцій кільцевого перерізу, є своєчасним, актуальним і практично значущим. Воно відповідає сучасним напрямкам розвитку будівельної науки, а його результати можуть бути безпосередньо впроваджені в інженерну практику проектування і виробництва.

2. Зміст дисертації

Розглянута дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 155 сторінок, з яких: 137 сторінки основного тексту, 57 рисунків і 10 таблиць, список використаних джерел зі 135 найменувань на 15 сторінках, а також додатки на 2 сторінках.

У *вступі* обґрунтовано вибір теми дослідження, її актуальність, показаний зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовані мета та задачі досліджень, наведені положення наукової новизни та практичного значення отриманих результатів, апробація результатів та їх впровадження.

Перший розділ дисертації присвячено огляду літератури, аналізу існуючих підходів та обґрунтуванню напрямів подальшого дослідження. Автор всебічно розглядає особливості роботи конструкцій кільцевого перерізу, які широко використовуються в інженерних спорудах. Підкреслено, що ці конструкції часто працюють в умовах складного навантаження та зазнають значного тріщиноутворення.

У розділі проаналізовано: класифікацію фібробетонів і види волокон (сталеві, скляні, полімерні); механізми підвищення тріщиностійкості фібробетону; існуючі розрахункові підходи для кільцевих конструкцій, зокрема з урахуванням пружної основи; досвід вітчизняних та зарубіжних дослідників у сфері підсилення бетонних елементів за допомогою дисперсного армування.

Значну увагу приділено аналізу нормативної бази, включаючи українські та міжнародні стандарти, які регламентують випробування та розрахунок залізобетонних і фібробетонних конструкцій.

У результаті огляду зроблено висновок про недостатню вивченість роботи фібробетонних конструкцій саме кільцевого перерізу, а також про потребу в уточненні розрахункових моделей, які враховують специфіку дисперсного армування.

У *другому розділі* автор обґрунтовує теоретичні підходи до моделювання роботи фібробетонних конструкцій кільцевого перерізу, враховуючи особливості дисперсного армування. Наводяться математичні моделі, що базуються на теорії оболонок і спрощених гіпотезах опору матеріалів, адаптованих до фібробетону.

Ключові положення розділу полягають у виведенні рівнянь статичної рівноваги та деформаційних залежностей для кільцевих елементів з урахуванням нерівномірної пружної основи та побудові аналітичних рішень для задач згину та стиснення оболонок з кільцевим поперечним перерізом. Також

розглянуто вплив механічних характеристик фібробетону (модуль пружності, коефіцієнт тріщиностійкості, в'язкість) на поведінку елементів та дано оцінку умов тріщиностійкого стану за критеріями граничних напружень і деформацій.

Розділ містить також порівняння розрахункових результатів з даними попередніх досліджень, що дозволяє перевірити адекватність моделей.

Таким чином, розділ створює аналітичну основу для подальших експериментальних і чисельних досліджень та формує методологію оцінки несучої здатності фібробетонних конструкцій.

У третьому розділі дисертаційної роботи Сур'янінов В.М. висвітлює результати експериментального дослідження несучої здатності та тріщиностійкості фібробетонних конструкцій кільцевого перерізу. Основна увага приділена виготовленню, випробуванню та аналізу зразків у вигляді залізобетонних і фібробетонних кілець, що імітують елементи колодязів та пропускних труб.

В експериментах досліджувались: вплив типу фібри (сталеві, анкерної, гачкоподібної) та її об'ємного вмісту на поведінку конструкцій; характер тріщиноутворення, розкриття тріщин та руйнування при поступовому навантаженні; сприйняття навантаження елементами з фібробетону у порівнянні з контрольними залізобетонними зразками.

Використано комплекс вимірювальної апаратури, у тому числі прилади для фіксації вертикальних переміщень, сили навантаження та розвитку тріщин. Результати експериментів подані у вигляді графіків, таблиць та фотографій зразків після випробувань.

Автором експериментально встановлено, що фібробетонні кільцеві елементи мали: підвищену тріщиностійкість (зменшення ширини розкриття тріщин до 2–3 разів); вищу деформаційну здатність і в'язкість руйнування; збільшення граничного навантаження на 10–25% залежно від типу волокна.

Таким чином, експериментальні дослідження підтвердили доцільність та ефективність застосування фібробетону у конструкціях кільцевого перерізу.

У четвертому розділі наведено результати натурних випробувань фібробетонних конструкцій трубчастого кільцевого перерізу, що працюють, як стверджує автор, в умовах, наближених до експлуатаційних. Метою дослідження було оцінити реальну роботу таких елементів у земляному ґрунті при впливі статичних та квазістатичних навантажень.

Випробування проводились на пропускних трубах довжиною 1 м, укладених на земляну призму з глинистого ґрунту. Дослідні зразки виготовлялися з традиційного залізобетону та фібробетону з різними типами сталевих волокон. Навантаження передавалося через сталеву плиту, що імітує тиск транспортного засобу.

Засобами вимірювання фіксувалися вертикальні та горизонтальні деформації (переміщення) кільця, ширина тріщин в залежності від навантаження та максимальні зусилля, які витримували зразки до руйнування.

Результати показали, що фібробетонні труби мають вищу несучу здатність (на 15–20%) і покращену тріщиностійкість у порівнянні з традиційними залізобетонними аналогами. Цим розділом дослідник підтвердив ефективність фібробетону в умовах складної взаємодії з ґрунтом.

П'ятий розділ присвячено чисельному моделюванню роботи фібробетонних конструкцій кільцевого перерізу з використанням сучасних програмних засобів (ANSYS, ЛІРА-САПР). Метою було перевірити адекватність аналітичних та експериментальних даних, а також дослідити вплив окремих параметрів (товщина стінки, тип армування, жорсткість основи) на поведінку конструкцій.

У процесі моделювання побудовано тривимірні моделі кільцевих елементів з різною геометрією та жорсткістю матеріалу. При цьому використано нелінійні моделі матеріалу, що враховують пластичність, тріщиноутворення та зниження жорсткості.

Проведеною валідацією результатів шляхом порівняння з експериментальними даними підтверджено основні закономірності, встановлені в попередніх розділах, зокрема: вплив типу фібри на розподіл напружень, покращення деформаційної рівномірності та опору зосередженим зусиллям, а формування зони пластичних деформацій у фібробетоні є більш поступовим, ніж у звичайному бетоні.

Результати чисельного моделювання підтвердили надійність та прогностичну здатність запропонованих підходів, що дає змогу рекомендувати їх для інженерної практики.

3. Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій

Обґрунтованість та достовірність наукових положень і результатів досліджень, висновків та рекомендацій обумовлена:

- використанням у розрахунках фундаментальних закономірностей будівельної механіки, опору матеріалів, методів розрахунку будівельних конструкцій;
- поєднанням теоретичного, експериментального та чисельного аналізу. Автор застосував класичні сучасні методи математичного моделювання, які пройшли валідацію шляхом порівняння з лабораторними та натурними експериментами.
- використанням сертифікованого обладнання та методик випробувань, які відповідають чинним нормативам України та міжнародним стандартам. Експериментальні дослідження проведено з використанням повторюваних серій зразків, що дозволило врахувати статистичну варіативність.
- чисельним моделюванням в ліцензованому програмному забезпеченні (ANSYS, ЛІРА-САПР) із врахуванням нелінійних деформацій, тріщиноутворення та особливостей поведінки фібробетону. Моделі калібровані за даними натурних випробувань.
- аналізом похибок і розбіжностей між розрахунковими, експериментальними та чисельними результатами показав, що відхилення знаходяться в допустимих межах (до 10–15%), що підтверджує вірогідність та надійність результату

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

4. Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна результатів дослідження полягає у побудові нової методики експериментального дослідження тріщиностійкості фібробетонних конструкцій кільцевого перерізу з використанням спеціально розробленого стенду, що дозволило експериментально дослідити окремі аспекти роботи зразків конструкцій кільцевого перерізу і зразків матеріалів.

Розроблено адаптовані чисельно-аналітичні моделі для таких конструкцій з урахуванням специфіки фіброармування.

Встановлено кількісне покращення показників несучої здатності фібробетонних конструкцій у порівнянні з залізобетонними.

Отримала подальший розвиток методика комп'ютерного моделювання циліндричних колодязів і водопропускних труб та визначення їх напружено-деформованого стану методом скінченних елементів.

5. Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення результатів дослідження важливої задачі в області будівельних конструкцій, будівель і споруд, спрямованої на визначення і обґрунтування експлуатаційної спроможності залізобетонних і сталеві фібробетонних конструкцій кільцевого перерізу полягає у доведенні отриманої ефективної методики визначення несучої здатності, деформативності та тріщиноутворення до рівня практичного використання в проектуванні й конструюванні важливих об'єктів будівельної та інших суміжних галузей.

Результати знайшли практичне запровадження до конструкторської практики ТОВ «Єкобуд»(м. Одеса) при проектуванні та розрахунках відповідних конструкцій. Також результати використовуються в навчальному процесі Одеської державної академії будівництва та архітектури при підготовці здобувачів вищої освіти за спеціальністю «Будівництво та цивільна інженерія».

6. Зауваження до дисертаційної роботи

1. На сторінці 3 недоречно (помилково) згадане прізвище Горик О.В. поряд з такими відомими науковцями як В.З. Власов, А.Л. Гольденвейзер та Е. Рейсснер, тим паче згаданий науковець не займався дослідженням оболонок.

2. У деяких випадках літературні джерела згадуються без аналізу їхніх недоліків або обґрунтування вибору саме цих підходів. Слід чіткіше визначити, які саме прогалини в дослідженнях фібробетонних конструкцій кільцевого перерізу стали підґрунтям для проведення дослідження. В огляді нормативної бази доцільно було б навести порівняльну таблицю норм України, ЄС і США.

3. Рівняння у другому розділі подані без детальних пояснень фізичного змісту окремих параметрів, що ускладнює сприйняття читачами без глибокої математичної підготовки. У розділі бракує прикладу чисельного розв'язання задачі хоча б з простими вхідними параметрами. Було б корисно доповнити розділ оцінкою похибки аналітичних методів порівняно з чисельними замість описання відомого методу розрахунку балки на пружній основі (2.4).

4. Порівняння абсолютних параметрів деформативності зразків серій не є характерним. Чому не оперувати фібробетоном як матеріалом з певними

механічними властивостями, а вивчати ефект додаткового армування фібрами? Тому й термінологія «фібробетон» і «сталефібробетон» подекуди вживається як синонімічна, хоча слід їх розрізняти.

5. Важливо уточнити, чому саме такі граничні умови, як шарнірне обпирання і пружне середовище вздовж лінії обпирання у вигляді шару глини під повздовжнім лінійно розподіленим навантаженням зразків, обрані як моделі для дослідження пропускних труб — чи є вони типовими в реальних умовах? Адже труба є зануреною в пружне середовище.

6. Не розглянуто питання збіжності результатів при зміні сітки скінченних елементів — це важливо для перевірки коректності чисельної моделі. Також було б доцільно розглянути чутливість моделі до зміни модуля пружності фібробетону.

7. Рисунки 5.5 і 5.6 ніякої наукової інформації не несуть. Загалом до більшості комп'ютерних рисунків відсутні пояснення і відповідний науково-дослідницький аналіз, який міг би суттєво доповнити загальні висновки.

7. Загальна оцінка дисертаційної роботи

Вказані недоліки не є принциповими і не зменшують значимість дисертаційної роботи, а отримані результати рекомендуються до використання при проектуванні та розрахунках конструкцій кільцевого перерізу.

Дисертаційна робота В.М. Сур'янінова є закінченою науково-дослідною роботою, в ній отримано нові науково-обґрунтовані результати в напрямку розрахунку будівельних конструкцій кільцевого перерізу.

Висновок

Дисертаційна робота Сур'янінова Вячеслава Миколайовича «**НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ТА ТРИЩИНІСТІЙКІСТЬ ФІБРОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ КІЛЬЦЕВОГО ПЕРЕРІЗУ**» за актуальністю, обсягом виконаних теоретичних та чисельних досліджень, змістом, рівнем новизни та практичним значенням, повнотою викладу результатів досліджень у фахових наукових виданнях є завершеною науковою працею та відповідає паспорту спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія і вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії...», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р.

Враховуючи належний науковий рівень виконання дисертаційної роботи вважаю, що її автор, Сур'янінов Вячеслав Миколайович заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
кафедри будівництва та професійної освіти

Полтавського державного аграрного університету

Олексій ГОРИК

