

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора, виконуючого обов'язки завідувача
кафедри Інформаційних технологій та прикладної математики
Одеської державної академії будівництва та архітектури

Кругля Юрія Сергійовича

на дисертаційну роботу **Метлицького Віталія Вікторовича**

«Несуча здатність та тріщиностійкість фібробетонних
циліндричних оболонок»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія
галузі знань 19 Архітектура та будівництво

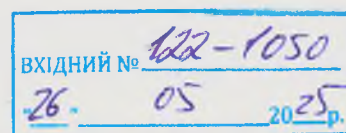
Актуальність теми дослідження.

Огляд досліджень вітчизняних і зарубіжних вчених показав, що сталеві фібробетон має фізико-механічні властивості, істотно кращі, ніж у традиційного бетону. Однак широкого застосування сталеві фібробетонні конструкції у вітчизняній практиці будівництва на сьогоднішній день немає. Область застосування сталеві фібробетону в будівельних конструкціях в Україні свідчить про обмежене застосування фібрового армування. В першу чергу, ці обмеження відображають недостатку критеріїв для забезпечення конструкцій заданими експлуатаційними характеристиками.

У сучасних дослідженнях частіше розглядається покращення властивостей бетону за рахунок дисперсного армування, а дослідження сталеві фібробетонні конструкції не мають системного характеру, як це має місце при дослідженні залізобетонних або металевих конструкцій, і здебільшого стосуються балок. У нормативних документах немає чітких вказівок щодо вибору матеріалів і технологій, а також щодо їх ув'язування з вимогами, що пред'являються до конкретної конструкції. Ця обставина є однією з причин незначного застосування сталеві фібробетонні конструкції, зокрема, оболонок, у будівельній практиці нашої країни.

Аналіз літератури показує, що дослідженням несучої здатності та тріщиностійкості фібробетонних довгих циліндричних оболонок приділяється занадто мало уваги, тому цей напрямок досліджень є **актуальним**.

Актуальність теми також підтверджується виконанням роботи в рамках держбюджетної теми Міністерства освіти і науки України «Аналітичні, експериментальні та комп'ютерні дослідження стрижневих систем, плит і оболонок з сталеві фібробетону» (номер державної реєстрації: 0121U111757),



що виконується на кафедрі будівельної механіки Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Склад і структура дисертації.

Структура дисертації включає анотацію, вступ, чотири розділи, висновки до кожного з розділів, загальні висновки, список використаної літератури та додатки. Робота викладена на 188 сторінках, в тому числі містить 128 сторінок основного тексту, 13 сторінок використаних джерел, 8 таблиць, 60 рисунків, 60 сторінок додатків.

Аналіз основного змісту дисертації, її наукової новизни, ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.

Наукова новизна роботи полягає в наступному. **Вперше** запропоновано методику експериментальних досліджень несучої здатності, деформативності та тріщиностійкості залізобетонних і сталевібробетонних довгих циліндричних оболонок при рівномірно розподіленому навантаженні; експериментально досліджено несучу здатність, деформативність та тріщиноутворення залізобетонних і сталевібробетонних довгих циліндричних оболонок при рівномірно розподіленому навантаженні; запропоновано аналітичний метод розрахунку довгої циліндричної оболонки, підкріпленої двома однаковими бортовими елементами та навантаженої вертикальним навантаженням. **Отримала подальший розвиток** методика комп'ютерного моделювання довгих циліндричних оболонок та визначення їх напружено-деформованого стану методом скінчених елементів. **Удосконалено** методику експериментальних досліджень механічних властивостей сталевібробетону.

Практична цінність отриманих результатів полягає в наступному: результати експериментальних та теоретичних досліджень дали можливість розробити нескладну та ефективну методику дослідження несучої здатності, деформативності та тріщино утворення залізобетонних і сталевібробетонних довгих циліндричних оболонок, підкріплених двома однаковими бортовими елементами, при вертикальному навантаженні. Результати досліджень сприяють більш широкому впровадженню вібробетонних конструкцій в будівельній практиці, а також можуть бути використані для підготовки нормативних документів, стандартів та методичних рекомендацій з проектування, розрахунку та експлуатації вібробетонних конструкцій.

У *вступі* обґрунтовано вибір теми дослідження, сформульовано мету та завдання, визначено наукову новизну та практичне значення роботи, представлено її загальну характеристику та зв'язок із науковими темами та програмами, а також описано апробацію та впровадження результатів

дисертаційного дослідження в конструкторську практику та до навчального процесу.

У *першому розділі* дисертації представлений огляд існуючих досліджень стосовно основних методів аналізу роботи довгих циліндричних оболонок. Особливу увагу приділено питанням міцності та тріщиностійкості залізобетонних та фібробетонних циліндричних оболонок. В ході проведеного аналізу встановлено, що у сучасних дослідженнях частіше розглядається покращення властивостей бетону за рахунок дисперсного армування, а дослідження сталевібробетонних конструкцій, особливо оболонок, не мають системного характеру. Проаналізовано нормативну базу України, Європи та США. У нормативних документах немає чітких вказівок щодо вибору матеріалів і технологій, а також щодо їх ув'язування з вимогами, що пред'являються до конкретної конструкції. Ця обставина є однією з причин незначного застосування сталевібробетонних конструкцій, зокрема, оболонок, у будівельній практиці нашої країни.

Аналіз літератури показує, що дослідженням несучої здатності та тріщиностійкості фібробетонних довгих циліндричних оболонок приділяється занадто мало уваги, тому цей напрямок досліджень є актуальним.

У *другому розділі* роботи запропоновано метод розрахунку довгої циліндричної оболонки, підкріпленої двома однаковими бортовими елементами та навантаженої вертикальним навантаженням. Як показали натурні та лабораторні експериментальні дослідження довгих циліндричних оболонок, що зазвичай застосовуються в практиці будівництва покриттів виробничих будівель, для яких характерні опирання конструкцій по кутах, рівномірно розподілені навантаження, досить велика жорсткість поперечних ребер і контуру оболонки, взаємний вплив поперечних згинальних і нормальних сил відсутній або цей вплив настільки незначний, що для спрощення розрахунку їм можна знехтувати. Розраховувати такі оболонки можна окремо в поздовжньому, а потім у поперечному напрямку, причому в поздовжньому напрямку оболонки розраховуються як балки коритоподібного перерізу, а в поперечному — як арки (у вигляді елементарної смужки, вирізаної в межах довжини оболонки). Запропоновано аналітичний метод розрахунку довгої циліндричної оболонки, підкріпленої двома однаковими бортовими елементами прямокутного поперечного перерізу та навантаженим вертикальним навантаженням. Розглянуто випадок, коли оболонка шарнірно оперта на криволінійних краях, та надано рекомендації з обліку інших граничних умов. У випадку на форму і розміри поперечного перерізу бортового елемента не накладається жодних обмежень.

Запропонований алгоритм передбачає можливість реалізації двох підходів — розрахунок за загальною напівбезмоментною теорією та розрахунок зі спрощуючими гіпотезами для пологих оболонок середньої довжини.

У дисертаційній роботі розглянуто перший підхід. Математично завдання зводиться до системи чотирьох лінійних рівнянь. Вирішуючи цю систему, можна визначити зусилля та переміщення, зумовлені дією додаткових крайових зусиль, а складаючи їх з відповідними компонентами безмоментного напруженого стану, отримати повні зусилля та переміщення у циліндричній оболонці.

Розглянуто два окремі випадки: пологі циліндричні оболонки середньої довжини (використовуються метод сил та метод переміщень) та багатохвильові оболонки, у яких бортовий елемент навантажений крайовими зусиллями з обох боків (використовується метод сил, розглянуто симетричне та косиметричне навантаження).

Третій розділ дисертації присвячений експериментальним та чисельним дослідженням несучої здатності довгих циліндричних оболонок. Описано конструкцію спеціального стенду, який було розроблено для проведення експериментальних досліджень. Описано процес виготовлення зразків матеріалу та дослідних зразків оболонок. Викладено методику досліджень. Виготовлено 4 моделі циліндричної оболонки із залізобетону та 4 моделі із фібробетону. Всі зразки мали постійну довжину та радіус поперечного перерізу, а варіювалися товщина оболонки та розміри поперечного перерізу бортових елементів. Розподілене вертикальне навантаження було прикладене по чотирьох смугах, шириною 13 см кожна, і лише тілом оболонки, тобто бортові елементи не навантажені. Оболонка шарнірно спирається з кутів на пластини 100x100мм. З метою отримання повної картини деформації поверхні оболонки у кожному з трьох зон, розташованих між ланцюгами навантаження, закріплені по чотири індикатори годинного типу з ціною поділу 0,01мм. Три індикатори (перший, п'ятий та дев'ятий) закріплені на бортовому елементі оболонки. Кожен четвертий з дванадцяти закріплений на гребені оболонки. Два середні індикатори з кожної четвірки (2 і 3; 6 і 7; 10 і 11) розташовані на рівнях $1/3$ і $2/3$ стріли підйому оболонки відповідно.

Крім індикаторів, на оболонку наклеєні тензOMETричні датчики, за допомогою яких відстежувалися деформації на верхній та нижній поверхнях. Процес навантаження закінчувався тоді, коли оболонка втрачала здатність чинити опір зовнішньому навантаженню. Величина навантаження, що відповідає цьому моменту, бралася за несучу здатність оболонки. Для усіх восьми випробуваних оболонок наведено несучу здатність та навантаження

на початку тріщиноутворення. За показаннями вимірювальних приладів побудовано графіки зміни деформацій та прогинів під дією зростаючого навантаження. Виконано чисельні дослідження несучої здатності довгих циліндричних оболонок. Для комп'ютерного моделювання оболонок та визначення їх напружено-деформованого стану використано програмний комплекс Autodesk Robot Structural Analysis. Визначені напруження, прогини та погонні внутрішні зусилля в оболонках.

У четвертому розділі дисертаційної роботи представлені результати експериментального дослідження тріщиностійкості циліндричних оболонок та виконане порівняння результатів експериментальних та чисельних досліджень. Передбачена при проектуванні конструкції експериментального стенду система навантаження дозволяє вимірювати деформації на різних рівнях поверхні оболонки та й відстежувати процес утворення та розвитку тріщин на всіх етапах навантаження з можливістю вимірювання ширини їх розкриття. На кожному етапі витримували певний час, необхідний для зняття показань приборів, знаходження і фіксування тріщин, а також для замірів довжини, ширини їх розкриття. Здійснено фотофіксацію тріщиноутворення та на її основі — схематичне зображення тріщин у кожній з восьми оболонок. У процесі випробувань фіксувалася поява тріщин, кількість та характер їхнього розкриття. Для усіх випробуваних залізобетонних і фібробетонних оболонок наведені наступні експериментально визначені величини: несуча здатність та навантаження, при якому утворилася перша тріщина, навантаження зразків по ступенях, початкова ширина та кінцева ширина розкриття тріщин. Виходячи з показань приладів, при проведенні експериментальних досліджень було встановлено, що максимальні напруження та прогини у всіх випробуваних оболонках спостерігаються в одній зоні. Такі ж результати отримані при скінченно-елементному аналізі в програмі Robot Structural Analysis. Наведене порівняння результатів експериментальних досліджень з результатами скінченно-елементного аналізу. З порівняння випливає, що максимальна розбіжність у прогинах складає 7,4 %, в той час, як максимальна розбіжність у величинах напружень складає 13,8 %. Можна також побачити, що додаткове дисперсне армування практично не впливає на прогини оболонок.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.

У дисертаційній роботі Метлицького В.В. не виявлено ознак академічного плагіату чи інших порушень, які могли б поставити під сумнів самостійність виконаного дослідження та дотримання норм академічної доброчесності.

Повнота відображення основних положень дисертації в опублікованих працях.

Наукові результати дисертації опубліковані у 12 друкованих роботах, 5 з яких – в фахових збірниках наукових праць, 2 – за кордоном, 1 індексується в наукометричній базі Scopus, а також у багатьох тезах доповідей у збірках наукових конференцій. Опубліковані матеріали достатньо повно висвітлюють основні положення роботи.

Ступінь достовірності результатів проведених досліджень.

Робота виконана із використанням сучасного обладнання, методик та технологій. Достовірність наукових положень, експериментальних результатів, висновків та рекомендацій, викладених у дисертації, підтверджена кваліфікованим плануванням експерименту та професіональним проведенням досліджень, сучасними методами комп'ютерного моделювання та втіленням результатів дисертаційної роботи в практичних умовах. Представлені результати є науково-обґрунтованими, а зроблені висновки – достовірними.

За змістом дисертаційної роботи можна зробити наступні зауваження:

1. В огляді недостатньо уваги приділено дослідженням тріщиностійкості, деформативності та несучої здатності циліндричних фібробетонних оболонок, що виконані закордонними дослідниками.

2. Було б корисним виконати деякі експериментальні дослідження з фіброю іншого типу (наприклад, базальтовою) та порівняти результати.

Наведені зауваження не мають принципового значення і можуть бути враховані автором у майбутніх дослідженнях. Дисертаційна робота Метлицького В.В. відзначається великим обсягом досліджень, їх якістю та новизною, представляє собою завершену науково-дослідну роботу, що принесла нові теоретично обґрунтовані та практично цінні результати.

Висновок. Дисертаційна робота Метлицького Віталія Вікторовича «Несуча здатність та тріщиностійкість фібробетонних циліндричних оболонок» є завершеною науковою працею і відповідає вимогам Наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12 січня 2022 року №44, а її автор

заслуговує на присудження ступеня доктор філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Рецензент:

доктор технічних наук, професор,
виконуючий обов'язки завідувача
кафедри Інформаційних технологій
та прикладної математики
Одеської державної академії
будівництва та архітектури



Юрій КРУТІЙ

