УДК 624.012.45:691.175

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф., М.О. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, доц.,
В.С.МАЛАШЕНКО, аспірант
Криворізький національний університет

ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПІДСИЛЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ВИГОТОВЛЕНИХ НА ДРІБНИХ ЗАПОВНЮВАЧАХ ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНИХ РУД З ВИКОРИСТАННЯМ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

У сучасній практиці підсилення залізобетонних балок найпоширенішими залишаються системи зовнішнього композитного підсилення, що працюють переважно в розтягнутій зоні. Саме ці схеми найбільш детально описані в оглядових роботах і нормативно-методичних документах, а основні дослідницькі акценти зосереджені на міцності, жорсткості, анкеруванні та запобіганні передчасному відшаруванню композиту від бетону. Отже, наявна база знань достатньо ґрунтовно охоплює підсилення балки в нижній її частині, але значно слабше розкриває роботу елемента у випадках, коли граничний стан визначається властивостями бетону стиснутої зони.

Аналіз сучасних оглядів з використанням композитного армування показує, що для балок із композитною арматурою типовими є два крихкі сценарії граничного стану — розрив арматури або зминання бетону, причому саме руйнування за стиснутою зоною часто розглядається як бажаніше з погляду безпеки, оскільки воно є менш раптовим, ніж розрив композиту. Водночас лінійно-пружна робота композитної арматури, нижчий модуль пружності порівняно зі сталлю та інші особливості деформування змінюють положення нейтральної осі, тріщиноутворення і розподіл напружень у перерізі. Це означає, що при підсиленні лише розтягнутої зони резерв міцності балки може обмежуватися не арматурою, а саме станом стиснутого бетону, який і потребує цілеспрямованого підсилення.

Саме інтеграція композитної арматури в підсилюючий шар, а не лише її зовнішнє наклеювання, поки що залишається фрагментарно дослідженою. У новіших роботах уже з'являються підходи, де BFRP-стрижні використовують як зовнішні елементи для підсилення балок. Такі результати демонструють помітне зростання несучої здатності й деформативності, однак водночас виявляють нові проблеми: локальне розтріскування підсилюючого шару, відрив накладки в зоні обриву стрижнів, невизначеність у роботі контактної зони старий бетон — новий бетон — композитна арматура. Показово, що чинні документи окремо регламентують зовнішні FRP-системи для підсилення і окремо — бетонні елементи з BFRP-стрижнями, тоді як для комбінованих схем підсилення з композитною арматурою в набетонці або стиснутій зоні узгоджена розрахункова база ще не сформована.

Отже, з аналізу публікацій випливає, що найбільш опрацьованим напрямом є підсилення розтягнутої зони балок FRP-листами, ламелями та зовнішніми елементами, тоді як підсилення стиснутої зони з одночасним введенням композитної арматури до складу нового шару бетону ще не отримало достатнього теоретичного й експериментального обґрунтування. Саме тут вбачається наукова прогалина: необхідно уточнити механізм сумісної роботи існуючої балки та підсилюючого шару, оцінити вплив композитної арматури на напружено-деформований стан стиснутої зони, встановити закономірності тріщиноутворення й руйнування, а також розробити розрахункові підходи для таких конструктивних рішень. Саме ці завдання і формують актуальність подальших досліджень за темою дисертації.

Список літератури

1. **Alkhateeb M.** Y. et al. Strengthening Reinforced Concrete Beams through Integration of CFRP Bars, Mechanical Anchorage System, and Concrete Jacketing. Materials, 2024, 17(12), 2794.

2. **Dziomdziora P., Smarzewski P.** Reinforced Concrete Beams with FRP and Hybrid Steel–FRP Composite Bars: Load–Deflection Response, Failure Mechanisms, and Design Implications. Materials, 2025, 18(18), 4381.