

**УДК 624.012.25**

**Ю. Пиндус, к.т.н., доцент, О. Конончук, к.т.н., ст. викладач**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

### **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ЗГІНАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ПІДСИЛЕНИХ ВУГЛЕЦЕВИМ ПОЛОТНОМ**

В останні роки у світовій практиці проведення наукових досліджень все частіше розширюється за рахунок застосування комп'ютерного моделювання. В Україні дані технології лише починають активно запроваджуватись, що викликає велику зацікавленість до можливостей які можна досягти за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ).

Однією з фундаментальних праць в напрямку чисельного моделювання поведінки складних залізобетонних конструкцій, зокрема підсилених полімерними композитними матеріалами є робота D. Kachlakev та його співавторів [1]. Ними з використанням комплексу ANSYS досліджено декілька моделей балок і запропоновано ряд способів їх підсилення композитними полімерами.

Метою даних досліджень є чисельне моделювання напружено-деформованого стану та оцінка міцнісних характеристик повномасштабних згинальних залізобетонних елементів до та після їх підсилення вуглецевим полотном Sika Wrap за дії одноразового навантаження. Провести порівняльний аналіз отриманих даних з експериментальними та встановити можливість застосування МСЕ для аналогічних досліджень при зміні параметрів зразків та силових впливів на них.

Даним дослідженням передували експериментальні випробування дванадцяти залізобетонних балок із бетону класу С 20/25, розмірами 100×160×2000 мм [2]. Зразки армувалися двома поздовжніми арматурними стержнями Ø10 А 500С та поперечними стержнями Ø6 А 240С з кроком 50 мм. Прийнята статична схема однопролітної вільно обпертої балки на двох опорах прольотом 1800 мм завантаженої двома симетрично зосередженими силами, відстань між якими 500 мм.

Частину балок доводили до граничного експлуатаційного навантаження без підсилення. Після розвантаження, їх та всі інші дослідні зразки підсилювали вуглецевим полотном Sika Wrap і випробовували при тому ж режимі навантаження з доведенням до повного руйнування [2]. У результаті підсилення отримали підвищення міцнісних характеристик балок (прогин, деформації матеріалів) до 40 %.

Повномасштабну тривимірну модель підсиленої вуглецевим полотном залізобетонної балки створювали з використанням скінченноелементного (СЕ) програмного комплексу ANSYS. З урахуванням умов симетрії, моделювали чверть залізобетонної балки. Для дискретизації моделі використано 17741 СЕ, що забезпечує задовільну точність розрахунків [1]. Детально методика побудови СЕ моделі підсиленої балки описана в працях [1, 3].

Програмно моделювали ступінчасте навантаження балки з кроком 1 кН×м (відповідно до експериментальних досліджень). Результати моделювання прогинів та деформацій компонентів залізобетонної балки подано на рис. 1 – 4. Експериментальні криві побудовані за усередненими даними натурних випробувань.

Криві, що подані нижче відображають роботу згинальних залізобетонних балок до підсилення (нижні криві) та після їх підсилення (верхні криві) вуглепластиковим ламінатом за дії одноразового навантаження. Проаналізувавши ці дані можна говорити про високу збіжність експериментальних результатів та отриманих МСЕ. В області нормальної експлуатації конструкції до рівня навантаження 0,8 – 0,9 від руйнівного

спостерігається найбільша збіжність розрахункових та експериментальних кривих у невідсиленних і в відсиленних зразках.

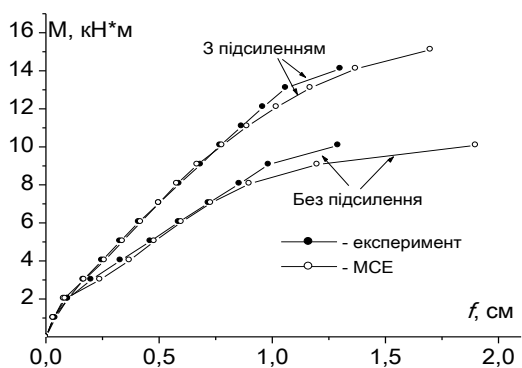


Рис. 1. Зміна величини прогину зразків до та після підсилення

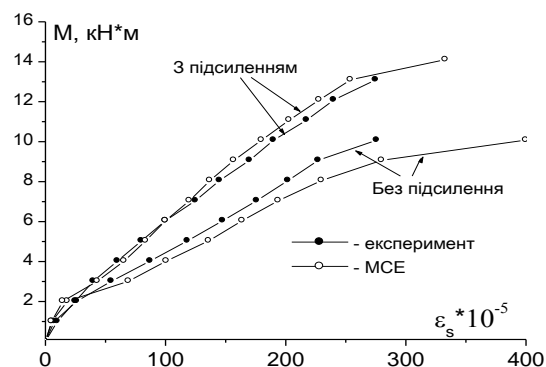


Рис. 2. Відносні деформації сталевий арматури зразків до та після підсилення

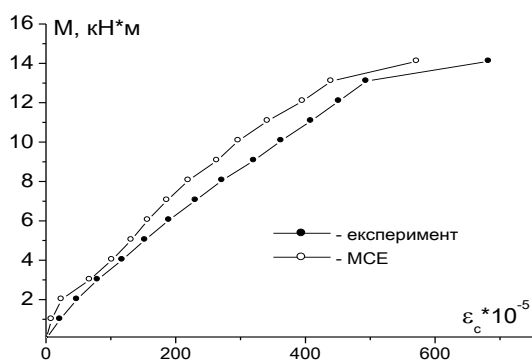


Рис. 3. Відносні деформації вуглепластикового ламінату в найбільш розтягненій точці

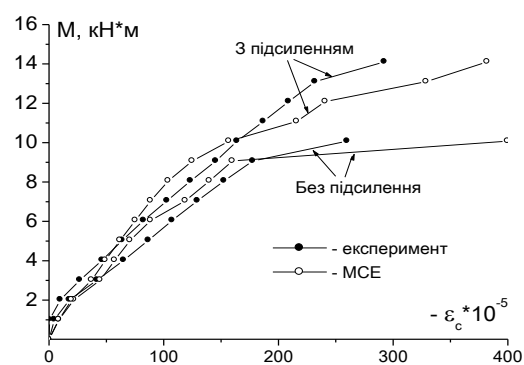


Рис. 4. Відносні деформації крайньої стиснутої фібри бетону балок до та після підсилення

**Висновки.** Застосування чисельного моделювання роботи згинальних залізобетонних елементів до та після їх підсилення показало ефективність даного методу. Задовільне узгодження експериментальних даних з теоретичними свідчить про можливість його використання для моделювання конструкцій такого типу при зміні міцнісних характеристик бетону, арматури, силових впливів, конструкційних факторів та ін. МСЕ дозволяє детально описати процес деформування та руйнування конструкції, оскільки експериментально встановити всі кінцеві деформації та переміщення є досить складним завданням.

1. D. Kachlakev. Finite Element Modelling of Reinforced Concrete Structures Strengthening with FRP Laminates / D. Kachlakev, T. Miller, S. Yim, K. Chansawat, T. Potisuk. Special Report SP316, Oregon Department Of Transportation, USA, May 2001. 113 p.
2. Борисюк О.П. Напружено-деформований стан нормальних перерізів згинальних залізобетонних елементів, підсиленних вуглепластиками за дії малоциклового навантаження / О.П. Борисюк, О.П. Конончук//Монографія.–Рівне: НУВГП,2014.–136 с.
3. Пиндус Ю.І. Скінченноелементне моделювання підсилення згинальних залізобетонних конструкцій вуглепластиковою стрічкою / Ю.І. Пиндус, О.П. Конончук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2014. – Вип. 29. – С. 621 – 629.