

В.Д. Кріпак, В.С. Жупаненко, Т.М. Рудий  
Київський національний університет будівництва та архітектури,  
кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій

## МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПЛИТ, ПІДСИЛЕНИХ ПРИ СФОРМОВАНОМУ НДС

© Кріпак В. Д., Жупаненко В. С., Рудий Т. М., 2010

Наведено методику виконання експериментальних досліджень підсиленних залізобетонних плит при сформованому напружено-деформованому стані. Розглядається підсилення методом одностороннього нарощування як в стисненій, так і розтягненій зонах.

**Ключові слова:** підсилення, залізобетонні плити, напружено-деформований стан

**The technique of execution of experimental researches of the strengthened ferro-concrete plates is presented at the condition generated tensely-deformations state. Strengthening by a method of unilateral escalating as in the compressed and stretched zones is considered.**

**Keywords:** strengthened, ferro-concrete plates, tensely-deformations state.

**Постановка проблеми.** Сьогодні в умовах значного зносу основних виробничих фондів та необхідності технічного переоснащення виробництва актуальним є питання максимального використання існуючих будівель та споруд при мінімізації капіталовкладень. У зв'язку з цим, практично у всіх країнах світу спостерігається тенденція до збільшення обсягів робіт з реконструкції будівель та споруд, зокрема з підсилення їх окремих конструктивних елементів, зокрема й плитних.

Підсилення плитних елементів можна виконувати, як у разі повного, так і часткового розвантаження. Варто зазначити, що повне розвантаження є доволі умовним, оскільки навіть при знятті експлуатаційного навантаження, конструкції залишаються навантаженими власною вагою, що в окремих випадках становить значну частину навантаження. Крім того, практичний інтерес становить питання підсилення плитних елементів без зупинення виробництва, тобто взагалі без їх розвантаження, а також особливості їх розрахунку з врахуванням сформованого на момент підсилення напружено-деформованого стану.

Існуючі нормативні підходи до розрахунку підсиленних залізобетонних конструкцій не повною мірою відображають вплив початкового напружено-деформованого стану на несучу здатність підсиленої конструкції, а також не враховують характер діаграм деформування бетону та арматури. Обґрунтовані способи врахування початкового напружено-деформованого стану у разі розрахунку міцності, а особливо деформативності та тріщиностійкості підсиленних плитних елементів, практично відсутні.

Ще однією актуальною проблемою є впровадження сучасних матеріалів для підсилення, зокрема полімербетону, а також розроблення методів розрахунку таких конструкцій. Незважаючи на значний обсяг теоретичних та експериментальних досліджень, істотно не вистачає пропозицій з розрахунків конструкцій, підсиленних полімербетонами та іншими сучасними матеріалами за другою групою граничних станів.

Отже, актуальною є проблема експериментального дослідження напружено-деформованого стану плит, підсиленних під навантаженням, та застосування при цьому як матеріалів підсилення полімербетонів. Розроблення методики виконання експериментальних досліджень плит, що підсилені під навантаженням в стисненій та розтягненій зонах, присвячена ця стаття.

**Аналіз останніх публікацій та досліджень.** Розрахунок міцності нормальних перерізів підсиленних елементів згідно з нормами [1] виконується як для заново проєктованих конструкцій. При цьому розглядаються два випадки: якщо навантаження до підсилення не перевищує 65 %

несучої здатності елемента, то виконується звичайний розрахунок; якщо перевищує, то вводяться коефіцієнти умов роботи арматури  $g_{sr1} = 0,9$  та бетону  $g_{br1} = 0,9$ . Врахування зазначених коефіцієнтів знижує несучу здатність приблизно на 20 %, як при навантаженні дещо більшому за 65 %, так і близькому до руйнуючого, а тому умовність такого підходу є очевидною.

У роботі [2] пропонується крім коефіцієнтів умов роботи враховувати навантаження до підсилення під час визначення величини граничної відносної висоти стисненої зони  $x_R$ . Для цього до напружень в арматурі  $S_{sR}$  додаються напруження в арматурі від зовнішнього навантаження до підсилення  $S_{1s}$  і приймається:

$$x_R = \frac{w}{1 + \frac{S_{sR} + S_{1s}}{S_{su}} \cdot \left(1 - \frac{w}{1.1}\right)}$$

Обґрунтування коефіцієнтів умов роботи  $g_{sr1}$  та  $g_{br1}$  не наведено.

Наведені в роботі [3] результати експериментальних досліджень плит показали, що рівень навантаження практично не впливає на несучу здатність малоармованих згинних елементів. У разі більшого процента армування експериментально встановлено ефект підвищення несучої здатності конструкцій, підсилених під час навантаження, що перевищує 65 % від розрахункового. Однак, цей ефект не був теоретично обґрунтованим.

У роботі [4] виконано експериментальні дослідження балок, які підсилені методом одностороннього нарощування в розтягненій зоні полімербетоном, фібробетоном та звичайним цементним бетоном. Результати експериментів показали, що найефективнішим матеріалом для підсилення розтягнутої зони є полімербетон, як з погляду підвищення міцності, так і жорсткості та тріщиностійкості. До того ж підсилені полімербетоном зразки зруйнувались по похилих перерізах. Це пояснюється його розшаруванням на опорах та значним збільшенням міцності нормальних перерізів у разі практично відсутнього збільшення міцності похилих перерізів. Підсилення та випробування зразків виконували за повного розвантаження.

У роботі [5] наводяться результати експериментальних досліджень балок, які підсилені та відновлені шаром полімербетону. Підсилення виконувалось як стисненої, так і розтягнутої зон з одночасним ін'єктуванням тріщин. При цьому дослідні зразки попередньо розвантажувалися. До того ж, була випробувана серія зразків, яка підсилювалась при рівні навантаження  $0,4M_u$ , але його вплив на міцність та деформативність балок не аналізувався.

Отже, залишається нез'ясованим питання впливу напружено-деформованого стану, що сформувався до підсилення, на міцність, тріщиностійкість та деформативність згинних елементів.

**Виклад основного матеріалу.** Для виконання експериментальних досліджень згинних елементів, які підсилюються під навантаженням в лабораторії кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій КНУБА було створено спеціальний стенд. Він дає змогу виконувати підсилення під навантаженням фрагментів плит як в стисненій, так і в розтягненій зонах.

Як прототип прийнято дослідний стенд Кріпака – Шинкарюка [6]. При використанні всіх переваг цього пристрою, стенд було істотно модернізовано. Зокрема домкрати, що моделювали опорну реакцію, замінено на "жорстку" опору, що не має вертикальних переміщень. Стенд додатково обладнано системою траверс та тяжів для фіксації та витримки конструкції під навантаженням.

Плита випробовується за балковою схемою і завантажена постійним моментом. Зона чистого згину моделюється за принципом двоконсольної балки, завантаженої на краях консолей. Конструктивно стенд вирішено так, що зона підсилення дослідного зразка плити розташована зверху, як у разі підсилення розтягнутої, так і у разі стисненої зони.

Технічні характеристики дослідної установки: розміри в плані –  $6 \times 6$  м, висота – 1,8 м, можливі розміри досліджуваних зразків фрагментів плит –  $0,9 \div 1,1 \times 0,9 \div 1,1 \times 0,1 \div 0,15$  м, діапазон фіксованих зосереджених навантажень на важелі –  $0,1 \div 100$  кН, величина створюваного погонного моменту по краю плити –  $0,1 \div 120$  кНм.

Випробувальний стенд для дослідження плит, підсилених в розтягненій зоні (рис. 1а) складається з опорної рами 4, важелів 2, що спираються на шарнірні опори 3, утримувальних тяжів 5 та траверси 6, завантажувальних домкратів 7. Силове устаткування стенда – гідростанція, здатна підтримувати тиск у гідросистемі до 200 атмосфер. При цьому зусилля, яке передається на важіль від домкрату, визначається як добуток тиску в гідросистемі  $P \left( \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \right)$  на площу гідроциліндра  $S \left( \text{см}^2 \right)$ :

$$F = P \cdot S.$$

Момент, що діє на плиту, визначається за формулою

$$M = F \cdot a,$$

де  $a$  – відстань між осями опори та завантажувального домкрата (рис. 1б).

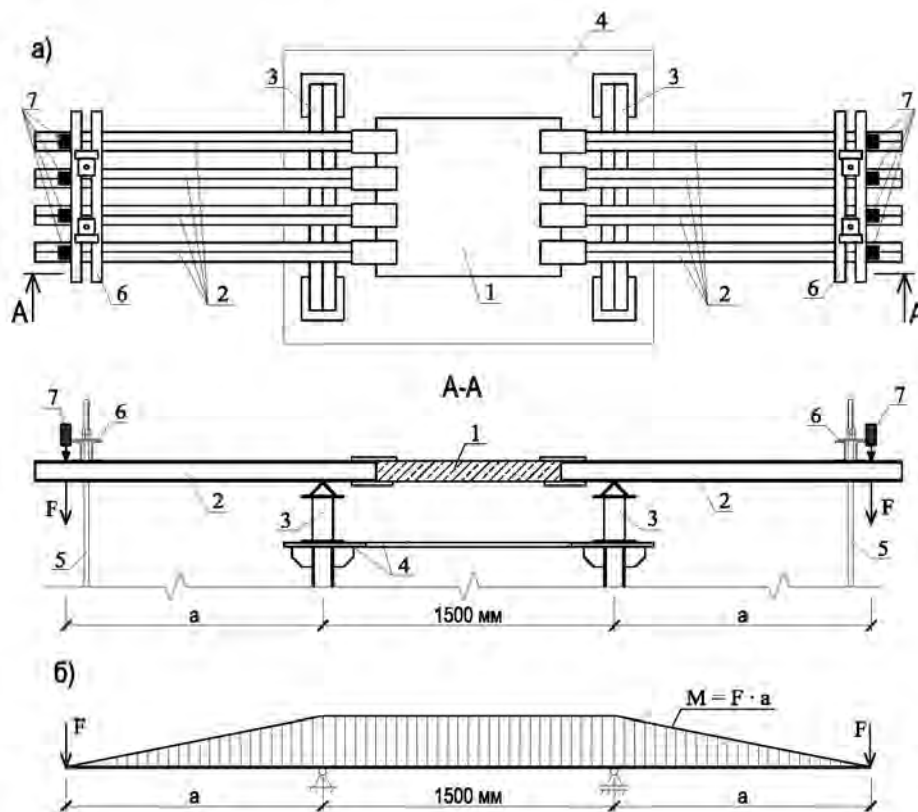


Рис. 1. Схема випробувального стенда при підсиленні плити в розтягненій зоні:

а) вигляд стенда згори та збоку; б) схема моделювання завантаження дослідного зразка.

1 – дослідний зразок; 2 – важелі; 3 – опори; 4 – опорна рама; 5 – утримувальні тяжі; 6 – траверси; 7 – завантажувальні домкрати

Всі заміри прикладених зусиль проводяться за манометрами, які попередньо таруються. Оскільки манометри для вимірювання високого тиску мають шкалу з низькою точністю, для контролю були застосовані динамометри ДОСМ-3.

Роботу стенда під час випробування зразків плит, підсилених у розтягненій зоні можна описати так: досліджуваний зразок 1 завантажується гідравлічними домкратами 7 до рівня заданого навантаження, що фіксується манометрами відповідних завантажувальних контурів та контролюється динамометрами ДОСМ-3. Після витримки навантаження для стабілізації деформацій та зняття необхідних відліків, важелі 2 фіксуються тяжами 5 та траверсами 6, утримуючи, отже, зразок у деформованому стані. Навантаження з домкратів після цього знімається. Надалі влаштовується шар підсилення. Після витримання до набору ним міцності випробування продовжується, при цьому навантаження знову створюється гідравлічними домкратами.

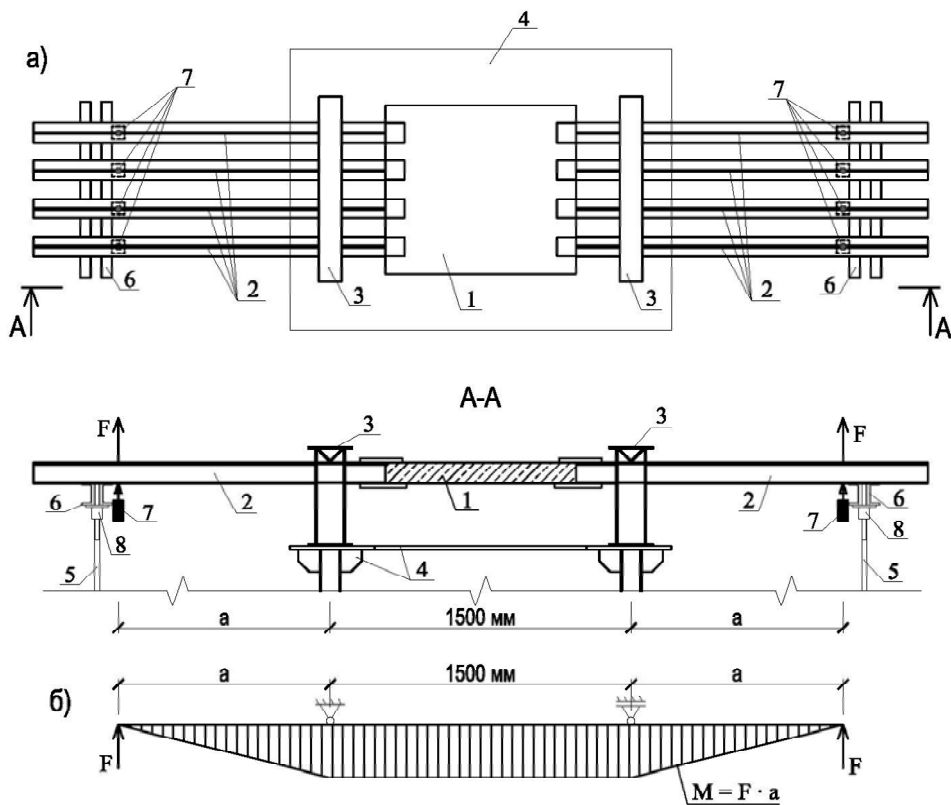


Рис. 2 Схема випробувального стенда при підсиленні плити в стисненій зоні: а) вигляд стенду згорита збоку; б) схема моделювання завантаження дослідного зразка. 1 – дослідний зразок; 2 – важелі; 3 – опори; 4 – опорна рама; 5 – підірні стійки; 6 – траверси; 7 – завантажувальні домкрати; 8 – вижимна муфта

Випробувальний стенд для дослідження плит, підсиленних в стисненій зоні (рис. 2а) складається з опорної рами 4, важелів 2, шарнірних опор 3, утримувальних тяжів 5, траверси 6, завантажувальних домкратів 7 та вижимних муфт 8.

Під час випробування плит, підсиленних в стисненій зоні, стенд працює аналогічно, але фіксація зразків у деформованому стані виконується за допомогою підірних стійок 5 та вижимної муфти 8. Подальше випробування виконується так само, як і зразків, підсиленних в розтягненій зоні.

Контроль рівня навантаження виконується за переміщеннями кінців важелів та прогинами дослідного зразка. З цією метою на кожному завантажувальному контурі встановлено по два прогиноміри. Додатково під дослідним зразком встановлюється напрямна по його осі з індикаторами годинникового типу ИЧ-50, які слугують для контролю незмінності деформацій.

Для замірів прогинів плити застосовуються індикатори годинникового типу ИЧ-10МН з ціною поділки 0,01мм. На полі плити (900 мм × 900 мм) по сітці 150 × 150 мм розміщені індикатори в спеціальній рамі, яка опирається на плиту трьома штангами (в трьох вузлах сітки, але закріплюється жорстко тільки одна). У цих місцях прогини фіксуються як “нулі”, а всі інші будуть змінюватися щодо площини, що проходить через три точки опирання штанг). Таке закріплення рами щодо досліджуваного зразка, а не щодо нерухомої базової станини, дає можливість уникнути похибок від згину та переміщень самих важелів.

Випробування дослідного зразка з розмірами 900 × 900 × 100 мм показало високу експлуатаційну надійність стенда. Зокрема, підтверджено можливість довготривалого витримування зразка під навантаженням, його підсилення та продовження подальших випробувань.

Крім того, виявлена доцільність додаткового контролю прикладених зусиль динамометрами, оскільки у разі невеликих зусиль (до 10 атмосфер) похибка на ширину стрілки манометра може становити близько 10% від ціни ділення шкали (що в процентному відношенні істотно за навантажень, співрозмірних з величиною градації манометра). При тиску в гідросистемі 50–150 атмосфер навантаження по динамометрах точно збігаються з теоретичними значеннями F.

Сьогодні автори виконують експериментальне дослідження плит, що підсилюються під навантаженням в розтягненій зоні. Разом планується випробувати 16 плит, з них: дві для налагодження та перевірки експлуатаційних якостей стенда; 14 – для виконання випробувань підсиленних плит, згідно з програмою, наведеною в таблиці.

Назва серії та кількість зразків	Матеріали дослідних зразків	Матеріали підсилення	Рівень навантаження на момент підсилення
ПН-1 (2 шт.)	Важкий бетон класу В20, сітка з арматури Ø 8 А 500С з чарункою 100 x 100 мм	Важкий бетон класу В25, арматура Ø 5 Вр-І або Ø 6÷8 А500С	Завантаження підсилюваної плити до рівня 0,8...0,85 М <sub>ц</sub> з подальшим повним розвантаженням
ПН-2 (2 шт.)		Епоксидний полімербетон, арматура Ø 5 Вр-І або Ø 6÷8 А500С	
ПБ-1 (3 шт.)		Важкий бетон класу В25, арматура Ø 5 Вр-І або Ø 6÷8 А500С	0,8...0,85 М <sub>ц</sub>
ПП-1 (3 шт.)		Епоксидний полімербетон, арматура Ø 5 Вр-І або Ø 6÷8 А500С	
ПБ-2 (3 шт.)		Важкий бетон класу В25, арматура Ø 5 Вр-І або Ø 6÷8 А500С	Завантаження підсилюваної плити до рівня 0,8...0,85 М <sub>ц</sub> з розвантаженням перед підсиленням до 0,3...0,4 М <sub>ц</sub> .
ПП-2 (3 шт.)		Епоксидний полімербетон, арматура Ø 5 Вр-І або Ø 6÷8 А500С	

В експериментах планується використати полімербетон, де як в'яжуче виступає епоксидна смола ЭД-20 російського або DER-331 німецького виробництва. Пластифікатором використовують диетиленгліколь ДЕГ-1, отверджувачем – поліетиленполіамін ПЕПА. Товщина шару підсилення становить 30 мм як при підсиленні важким бетоном, так і полімербетоном.

**Висновки.** Проведений аналіз публікацій показав необхідність виконання експериментальних досліджень згинних елементів, підсиленних під навантаженням. Крім того, замало досліджень з використання сучасних матеріалів, таких, як полімербетон.

Виконані дослідження, як правило, орієнтувались на розвантаження дослідних зразків перед підсиленням з повторним її навантаженням. У цій роботі за основу взято ідею збереження напружено-деформованого стану (повного або часткового) у разі підсилення дослідних зразків, тобто під навантаженням.

З цією метою було створено спеціальний експериментальний стенд. Простота створення та контролю за навантаженнями дала змогу значно розширити діапазон досліджень зразків залізо-бетонних плит та значно підвищити їх точність та надійність. Отримані результати свідчать про високі експлуатаційні якості стенда, можливість надійно створювати та контролювати задані навантаження тривалий час, змінювати їх під час експерименту за заданою програмою. Крім того, створено умови для виконання експериментальних досліджень плит, які підсилені під навантаженням.

1. СНиП 2. 03. 01 – 84\* Бетонные и железобетонные конструкции. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с. 2. Рекомендации по усилению железобетонных конструкций зданий и

сооружений под нагрузкой в условиях реконструкции / НИИСП Госстроя УССР. – К.: НИИСП, 1990. – 62 с. 3. Клевцов В. А., Юкневичюте Я. А., Богачюнас В. М. Провести исследования плит перекрытий многоэтажных зданий, усиленных путем создания неразрезности омоноличиванием при реконструкции и разработать рекомендации по их прочности // Отчет о НИР / НИИЖБ; Руководитель работы Клевцов В. А.; Шифр 24-VI6-I-86. – М., 1986. – 109 с. 4. Касасбех Абдельмажид, Мурашко Л. А. Прочность и жесткость железобетонных изгибаемых элементов, усиленных полимербетоном: Монография. – К.: КГТУСА, 1998. – 60 с. 5. Барашиков А. Я., Сунак О. П., Боярчук Б. А. Експериментальні дослідження згинальних залізобетонних елементів, підсилені різними способами // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: РДТУ, 2000. – Вип. 5. – С. 294 – 299. 6. Кріпак В. Д., Шинкарюк Ю. М., Адаменко В. М. Патент № 60606А. Універсальний стенд для досліджень залізобетонних плит. Україна, 15.10.2003, Бюл. № 10.

УДК 666. 96

Т.П. Кропивницька, У.Д. Марущак, М.М. Чекайло  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автомобільних шляхів

## СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ МОДИФІКОВАНИХ БУДІВЕЛЬНИХ РОЗЧИНІВ ДЛЯ МУРУВАЛЬНИХ РОБІТ

© Кропивницька Т.П., Марущак У.Д., Чекайло М.М., 2010

Показано вплив модифікаторів повітровтягувальної та прискорювальної дії на структуроутворення будівельних розчинів, встановлені фізико-хімічні закономірності формування мікроструктури цементного каменю. Виконано оптимізацію складів будівельних розчинів з комплексними модифікаторами повітровтягувальної дії, призначених для мурувальних робіт.

**Ключові слова:** будівельний розчин, структуроутворення, повітровтягувальна добавка, комплексний модифікатор, порова структура.

**The influence of additives of aerating and accelerating action on mortar structure formation has been shown. The optimization of masonry mortar compositions with complex modifiers of aerating action has been set. Physical-chemical bases of modifying cement stone microstructure formation have been established.**

**Keywords:** mortar, structure formation, aerating admixture, complex modifier, pore structure.

**Постановка проблеми.** Широке використання мурувальних розчинів у технології сучасного будівництва зумовлює підвищення вимог до якості розчинових сумішей та властивостей затверділого будівельного розчину, зокрема міцності та довговічності. Сьогодні для кам'яної кладки використовують переважно цементні або змішані розчини, які містять у своєму складі мінеральні пластифікуючі добавки (вапно кальцієве та магнезіальне), які вводять у суміші низькомарочних бетонів та розчинові суміші з метою забезпечення необхідної зручновкладальності та водоутримувальної здатності. Дло того ж такі будівельні розчини характеризуються значними усадочними деформаціями та невисокою морозостійкістю, тому їх не можна використовувати під час спорудження зовнішніх огорожувальних конструкцій. У зв'язку з цим, ефективності вирішення проблем у технології будівельних розчинів значною мірою сприяє впровадження групи хімічних модифікаторів – добавок повітровтягувальної, пластифікуючої та прискорювальної дії [1, 2].