

А.П. Крамарчук, Б.М. Ільницький, Т.В. Бобало
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра будівельних конструкцій та мостів

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ТА ДЕФОРМАТИВНОСТІ НОРМАЛЬНИХ ПЕРЕРІЗІВ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ У РОЗТЯГНУТІЙ ЗОНІ ДОДАТКОВОЮ СТРИЖНЕВОЮ АРМАТУРОЮ БЕЗ ЗЧЕПЛЕННЯ

© Крамарчук А.П., Ільницький Б.М., Бобало Т.В., 2013

Наведено результати експериментальних досліджень міцності та деформативності нормальних перерізів сталобетонних балок, підсилених у розтягнутій зоні додатковою стрижневою арматурою без зчеплення.

Ключові слова: сталобетонні балки, залізобетонні конструкції, змішане армування, зовнішнє армування, напружено-деформований стан.

The results of experimental studies of strength and deformability of normal sections beams of steel concrete reinforced in the stretched zone additional reinforcement without a grip.

Key words: beams of steel concrete, reinforce-concrete constructions, mixed re-enforcement, external re-enforcement, tensely deformed the state.

Вступ

Використання у практиці будівництва сталобетонних балок та інших комбінованих систем замість залізобетонних дозволяє при великих навантаженнях та обмежених розмірах перерізу збільшити прогони, що перекриваються, знизити витрати сталі та отримати значний економічний ефект. Збірні й монолітні залізобетонні конструкції із зовнішнім армуванням одержали поширення в різних галузях будівництва в нашій країні й за кордоном, чому сприяли розширення області застосування залізобетону (для спеціальних споруджень енергетичного й гідротехнічного будівництва й ін.), техніко-економічна ефективність їх, а також можливість використання зовнішньої арматури як опалубки при монолітному способі зведення споруд і для полегшення форм при виробництві збірного залізобетону. Концентроване розташування смугових, листових арматур на зовнішніх гранях перетину конструкцій дозволяє знизити їхню масу, зменшити розміри перетину порівняно із залізобетонними або одержати економію сталі за однакової висоти. Таке розміщення арматури також виключає її багаторядне розташування по висоті перетину, завдяки чому можна більш ощадливо використати сталь, значно спростити укладання й ущільнення бетону, а також знизити трудовитрати.

Підсилюють конструкції для підвищення несучої здатності і експлуатаційної придатності не тільки за зміни діючих на них навантажень, а також за появи дефектів і пошкоджень в конструкціях, які знижують їх несучу здатність. Практика свідчить, що підсилення за рахунок збільшення армування (нарощуванням) є найефективнішим для збільшення міцності згинаних елементів. Тим більше, що конструкції підсилюються, як правило, після тривалого часу експлуатації, що сприяє зміцненню стисненої зони за рахунок зростання міцності бетону, і є можливість довантаження стисненої зони за рахунок додаткової арматури. Підсилення згинаних елементів проводиться, як правило, за діючих навантажень різних рівнів, і додаткова арматура встановлюється за певних прогинів, що впливає на прогини елементів із встановленою додатковою арматурою. Згідно з нормами на підсилення конструкцій (ДБН В.3.1-1-2002), під час розрахунків підсилення конструкцій необхідно враховувати напружений стан конструкцій на час підсилення.

Підсилення згинаних сталобетонних елементів додатковою стрижневою арматурою без зчеплення є найбільш технологічно і конструктивно прийнятним варіантом підсилення. Під час підсилення стержневою арматурою без зчеплення використовується сумісна робота основної листової і додаткової арматури з певним рівнем напруження, що дозволяє відновити втрачену несучу здатність елемента або збільшити її до необхідного навантаження. Існуючі методи розрахунку підсилення ненапружених згинаних елементів додатковою напруженою арматурою, які перебувають під навантаженням, не враховують або враховують наближено напружений стан конструкції до підсилення, що робить підсилення не економічним, не визначає резервів міцності згинаних елементів та їх надійність. Розвантаження до будь-якого рівня перед встановленням стрижневої арматури без зчеплення зменшує напруження та деформації бетону і арматури згинаних елементів і підвищує ефективність використання додаткової арматури в сумісній роботі із основним армуванням. Тому необхідні дослідження для оцінювання залишкового напруженого стану згинаних елементів при розвантаженнях.

Отже, практичне значення отриманих результатів полягає в можливості використання експериментальних величин міцності при оцінці технічного стану, несучої здатності та експлуатаційної придатності сталобетонних балкових конструкцій, а також при проектуванні підвищення несучої здатності конструкцій, підсиленних додатковою напруженою арматурою без зчеплення під навантаженням різних рівнів та оцінити спільну роботу основного листового армування та додаткового.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Короткий історичний огляд методів підсилення

Перші спроби підсилити залізобетонні конструкції належать приблизно до 1912 р. Для відновлення застосовувалося нанесення рівномірного шару тинькування, вкладання армованого шару бетону, нанесення пензлем тонких шарів розчину (часто з додатками металічної тирси) і торкретування. Для підсилення залізобетонних балок, у яких присутні похилі тріщини, внаслідок недостатнього кроку та діаметрів хомутив, Анрі Лоссьє в 1936р. застосував хомути, які попередньо напружувалися. Він же рекомендував при недостатці поздовжньої арматури вкладати додаткову попередньо-напружену арматуру.

В 1938р. в Англії був запатентований спосіб підсилення балок за допомогою шпренгеля з попереднім його напруженням механічним способом натяжними болтами. Досить часто застосовувались також різноманітні обойми і розвантажувальні конструкції. Хоча питаннями підсилення займалось багато інженерів і вчених (Р. Залігер, Лапрехт, А. Клейнлегель, Е. Фрейсіне, А. Лоссьє та інші), їх досвід не узагальнювався. Необхідно зазначити, що практика підсилення ґрунтувалась на експериментальних дослідженнях. В 1933–1935 рр. під керівництвом проф. А.А. Гвоздева було вивчено зчеплення нового бетону з старим, що мало велике значення для впровадження підсилення за допомогою залізобетонних обойм.

І.М.Литвинов запропонував метод підсилення за допомогою одностороннього нарощення залізобетону. В 1937–1938 рр. в лабораторії Московського метрополітену інженер І.Ф.Шаров досліджував метод торкретування сорочок і накладок з додаванням горизонтальної арматури і хомутив. В 1938р. інженер А.А.Судариков випробував залізобетонні балки, підсилені додатковою горизонтальною та косою арматурою з подальшим нарощуванням перерізу бетонуванням. У 1939–1940 рр. під керівництвом В.В. Пинаджяна було вивчено залізобетонні балки, підсилені обоймами і додатковою арматурою. Балки піддавалися динамічним навантаженням, імітуючи навантаження мостових конструкцій. Результати досліджень показали, що залізобетонні конструкції, які за дії рухомих динамічних навантажень можна підсилювати обойми. Цей метод широко застосовувався при відновленні залізобетонних конструкцій, пошкоджених під час Другої світової війни (10).

У кінці 40-х рр. з'явилися способи підсилення конструкцій попередньо напруженими елементами. В 1948 р. Н.М. Онуфрієв запропонував підсилювати згинані залізобетонні елементи за допомогою попередньо напружених горизонтальних, шпренгельних чи комбінованих затяжок [26]. У 1948–1949 рр. інженер А.Д. Стрункин провів експериментальне дослідження залізобетонних балок, підсиленних стальними шпренгелями.

Починаючи з 1949 р. професор Ю.І. Лозовий розробляв і впроваджував на практиці способи підсилення залізобетонних конструкцій, які знаходяться під навантаженням. При цьому в більшості випадків існуючі конструкції підсилюють введенням нових елементів: додаткової арматури, просторових зв'язків обтиску, систем односторонніх зв'язків з початковими подовженнями або вкороченнями. Напружений стан елементів підсилення створюється термічним, електротермічним чи термомеханічними способами. Вони виявилися найпростішими. Був розроблений спосіб підсилення згинаних залізобетонних конструкцій шляхом місцевого напруження розтягнутої і стисненої зон та створення в них напруги, зворотних за знаком напруженням від експлуатаційного навантаження. Розроблено і опробовано способи підсилення однопролітних та багатопролітних рам введенням термонапружуваних односторонніх зв'язків. Простота отримання напруги необхідного знака термічним (електротермічним) методом створила можливість практичного здійснення ідсилення масивних неармованих конструкцій (фундаментів, резервуарів і т.д.).

Ю.І. Лозовий і Е.Р. Хило впровадив підсилення залізобетонних балок за допомогою попередньо напружених шарнірно-стрижневих ланцюгів і розвантажувальних підпружинних систем. Завдяки простоті і надійності ці способи знайшли широке застосування на багатьох підприємствах, серед яких Дрогобицький машинобудівельний завод, Львівський арматурний завод, Рівненський завод високовольтної апаратури, Здолбунівський азбоцементний завод, Тернопільський завод електроарматури, Балаківський комбінат хімічного волокна в Саратовській області, Чаплигинський агрегатний завод, Новоярославський нафтопереробний завод та ін.

Дослідженню згинаних елементів підсиленних в розтягнутій зоні присвячені роботи вчених: Н.М. Онуфрієва, А.Я. Барашикова, Б.А. Боярчука, С.В. Бондаренко, П.Ф. Вахненко, О.Б. Голишева, О.Л. Шагіна, Е.В. Горохова, П.І. Кривошеєва, Ю.І. Лозового, Є.Р. Хило, А.І. Мальганова, А.Г. Литвинова. У роботах Ф.Є.Клименка, В.М. Барабаша, А.П. Васильєва, Р.В. Воронкова показано перспективність сталобетонних конструкцій та їх технологічну зручність для підсилення, яке можна виконати без зупинки технологічного процесу, а методи кріплення додаткової арматури (зварювання, приклеювання) забезпечують сумісність роботи початкової і додаткової арматури. В роботах наведених авторів показано, що найекономічнішим методом збільшення міцності і жорсткості згинаних елементів є підсилення розтягнутої зони додатковою арматурою. Всі вчені підкреслюють, що для економічного вирішення підсилення та прогнозованого оцінювання напруженого стану згинаних елементів після підсилення необхідно враховувати напружений стан елементів до підсилення та забезпечувати сумісну роботу основної та додаткової арматури. Звертається особлива увага на необхідність визначення залишкового напруженого стану і його врахування при розрахунку додаткової арматури підсилення. Автори звертають увагу на необхідність проведення досліджень і розроблення методів розрахунку напруженого стану згинаних елементів із врахуванням залишкових напружень у бетоні і арматурі до встановлення додаткової арматури.

Мета та задачі досліджень

Бетон експериментальних зразків проектувався в межах С12/15, що за розрахунковим значенням міцності бетону на стиск становить $f_{cd} = 8.5 - 11.5 \text{ МПа}$. Фізико-механічні характеристики бетону (міцність, клас бетону) визначалися випробуванням кубів розміром 150x150x150 мм [7, 8]. Основна арматура балок прийнята листовая завтовшки $t = 3 \text{ мм}$ марки ВСтЗкп (С235), додаткова арматура підсилення стрижнева $\varnothing 10$ та $\varnothing 12$ мм класу А400С. Арматуру в стисненій зоні бетону прийнята $\varnothing 8$ А240С. Поперечну арматуру використано $\varnothing 8$ А240С. Фізико-механічні характеристики сталі визначалися випробуванням стандартних зразків сталі на розривній машині із одночасним записом діаграм залежності між деформаціями та напруженнями в сталі, результати випробування подано у табл. 1.

Деформації розтягнутої та стисненої зони бетону, деформації листової та стрижневої арматури замірялися мікроіндикаторами із ціною поділки 0,001 мм на базі 300 мм.

Фізико-механічні характеристики матеріалів дослідних зразків

Марка зразка	Балка Б-1	Балка Б-2	Балка Б-3	Розрах. харак. згідно нормативних документів
Важкий бетон, клас міцності С12/15 С16/20				ДБН В.2.6-98:2009
f_{cd} , МПа	10,3	10,3	10,3	8.5/11.5
E_{cd} , МПа	19335	19335	19335	16300/20000
Арматура розтягнутої зони – листові марки ВСтЗ				ГОСТ 27772-88
t , мм	3	3	3	-
f_{yd} , МПа	310	310	310	240
$E_s \times 10^5$, МПа	2,06	2,06	2,06	2,06
Клас	С245	С245	С245	С245
Арматура стисненої зони, поперечна – стержнева А240С				ДСТУ Б В.2.6-156: 2010
\varnothing , мм	8	8	8	-
f_{yd} , МПа	229	229	229	229
$E_s \times 10^5$, МПа	2,1	2,1	2,1	2,1
Клас	А240С	А240С	А240С	А240С
Додаткова арматура (підсилення) – стержнева А400С				ДСТУ Б В.2.6-156: 2010
\varnothing , мм	10	10	12	-
f_{yd} , МПа	405	405	436	364
$E_s \times 10^5$, МПа	2,1	2,1	2,1	2,1
Клас	А400С	А400С	А400С	А400С

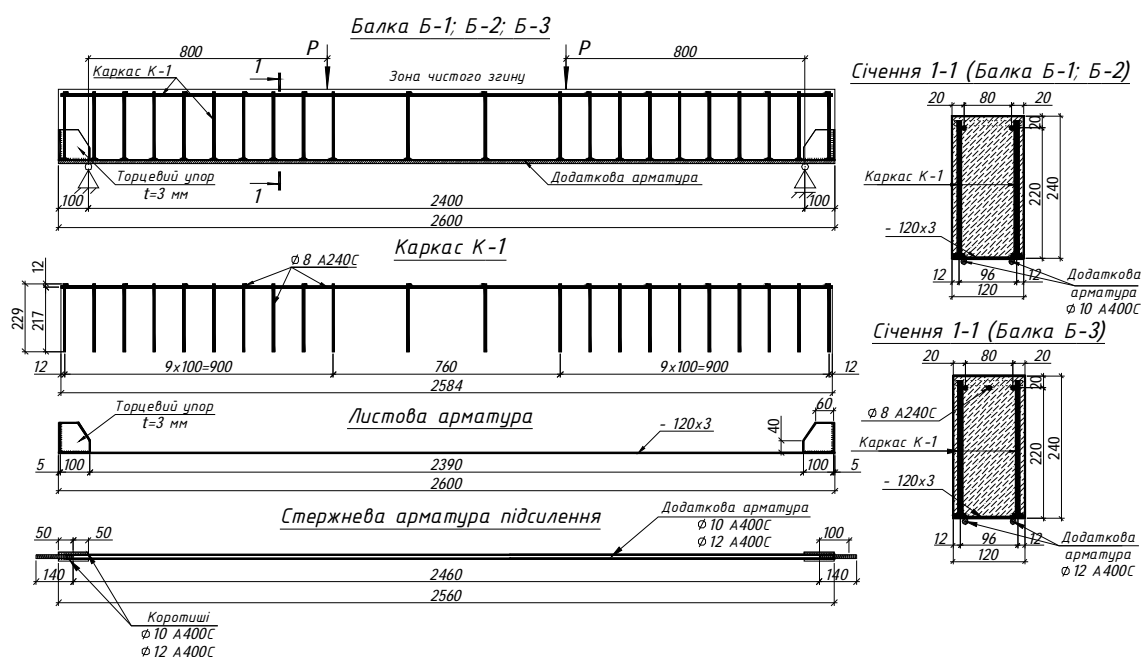


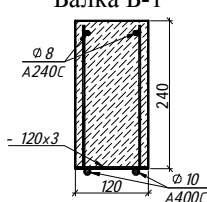
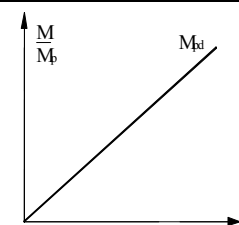
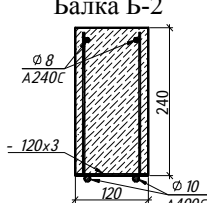
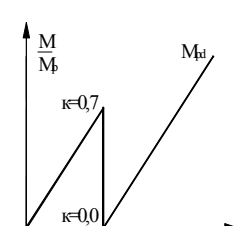
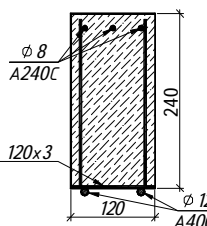
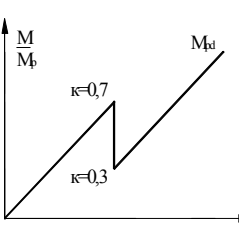
Рис. 1. Конструкція дослідних балок із додатковою арматурою

Елементи для встановлення приладів приклеювали до бетону балок за допомогою епоксидного клею, до листової та стрижневої арматури також було приклеєно перехідні елементи. Розміщення приладів по висоті балки дає можливість отримати розподілення деформацій по висоті балок при повних і часткових розвантаженнях і використати ці дані для встановлення розрахункової схеми зусиль при розвантаженнях. Прогини балок замірялися трьома індикаторами годинникового типу із ціною поділки 0,01 мм, які закріплювалися у перехідних елементах металевій рамки. Момент тріщиноутворення фіксувався за зміною деформацій та візуально за допомогою мікроскопа марки МПБ-2М із ціною поділки 0,05 мм. Ширина розкриття тріщин, а також їх висота відзначалась на кожній сходинці завантаження.

Для проведення експерименту як дослідні зразки було використано три балки заввишки 120 мм, завшишки 240 мм, завдовжки 2600 мм з робочим прольотом 2400 мм. Конструкція дослідних балок із додатковою арматурою показано на рис. 1. З конструктивних вимог та для сприйняття значних сил зсуву вздовж площини з'єднання основної листової арматури та бетону на опорних частинах дослідних елементів було запроєктовано жорсткі торцеві упори, що забезпечують монолітність поперечного перерізу сталобетонних балок. Торцевий упор був запроєктований із двома ребрами з товщиною ребра 3мм та довжиною 100 мм. Торцеву опорну пластину прикріплюють до ребер вертикальними лобовими швами.

Таблиця 2

Зміст експериментальних досліджень

№ п/п	Марка зразка	Армування <u>основне</u> <u>додаткове</u> $\text{см}^2 - R_f, \%$	Рівень навантаження до встановлення додаткової арматури $k = M / M_p$ M_{pd} – руйнуючий момент для елемента із додатковою арматурою	Мета дослідження
1	<p>Балка Б-1</p> 	$\frac{3,6 - 1,25}{1,57 - 0,55}$		Визначення міцності, деформацій бетону і арматури та прогинів балки при короткочасному випробуванні дослідних елементів з додатковою арматурою
2	<p>Балка Б-2</p> 	$\frac{3,6 - 1,25}{1,57 - 0,55}$		Визначення міцності, деформацій бетону і арматури та прогинів балок при короткочасному випробуванні при рівні навантаження $k=0,7$ і рівні розвантаження $k=0$ перед встановленням додаткової арматури.
3	<p>Балка Б-3</p> 	$\frac{3,6 - 1,25}{2,26 - 0,78}$		Визначення міцності, деформацій бетону і арматури та прогинів балок при короткочасному випробуванні при рівні завантаження $k=0,7$ і рівні розвантаження $k=0,31$ перед встановленням додаткової арматури.

Навантаження балок, момент їх розвантаження і підсилення додатковою арматурою без зчеплення різних діаметрів з подальшим доведенням їх ступенями до руйнування відображено у табл. 2.

Передбачені в експериментальних дослідженнях різні величини основного і додаткового армування, а також різні рівні навантаження перед встановленням додаткового армування дають можливість аналізувати напружено-деформований стан сталобетонних згинаних елементів, підсиленних додатковою розтягнутою напруженою арматурою без зчеплення при різних рівнях навантаження і сумісній роботі із основною листовою арматурою. Запропоноване в дослідженнях руйнування балок із стрижневою арматурою без зчеплення дає можливість визначити характер руйнування і величину руйнівального моменту залежно від рівня напруженого стану, при якому встановлюється додаткова арматура. Дослідні зразки спрощують кріплення додаткової арматури на поверхні навантаженого елемента і сприяють неперервності замірів деформацій: при навантаженні, при розвантаженні, довантаженні та доведенні сталобетонних балок до руйнування.



Рис. 2. Зразки для випробовування сталі



*Рис. 3. Випробовування кубів розміром 150*150*150 мм*



Рис. 4. Шарнірно нерухома опора. Стрижнева арматура підсилення без зчеплення



Рис. 5. Випробовувальна балка. Розміщення вимірювальних приладів

Експериментальні дослідження

На початкових рівнях навантаження досліджуваних зразків в основній арматурі та бетони в розтягнутій та стисненій зоні виникають переважно лише пружні деформації. Цей стан для дослідних зразків триває практично до появи перших тріщин. Це можна побачити на графіках прогинів, деформаціях бетону за висотою балки та на графіку деформацій основної арматури (рис. 6). Із подальшим збільшенням рівня навантаження до експлуатаційного, яке перебуває на рівні 0,65–0,75 від руйнівного навантаження, графіки прогинів та деформацій набувають яскраво вираженого криволінійного характеру, збільшується ширина розкриття тріщин та розвиток залишкових деформацій. Утворення тріщин відбувається завдяки деформаціям розтягу бетону, які викликані дією згинальних моментів.

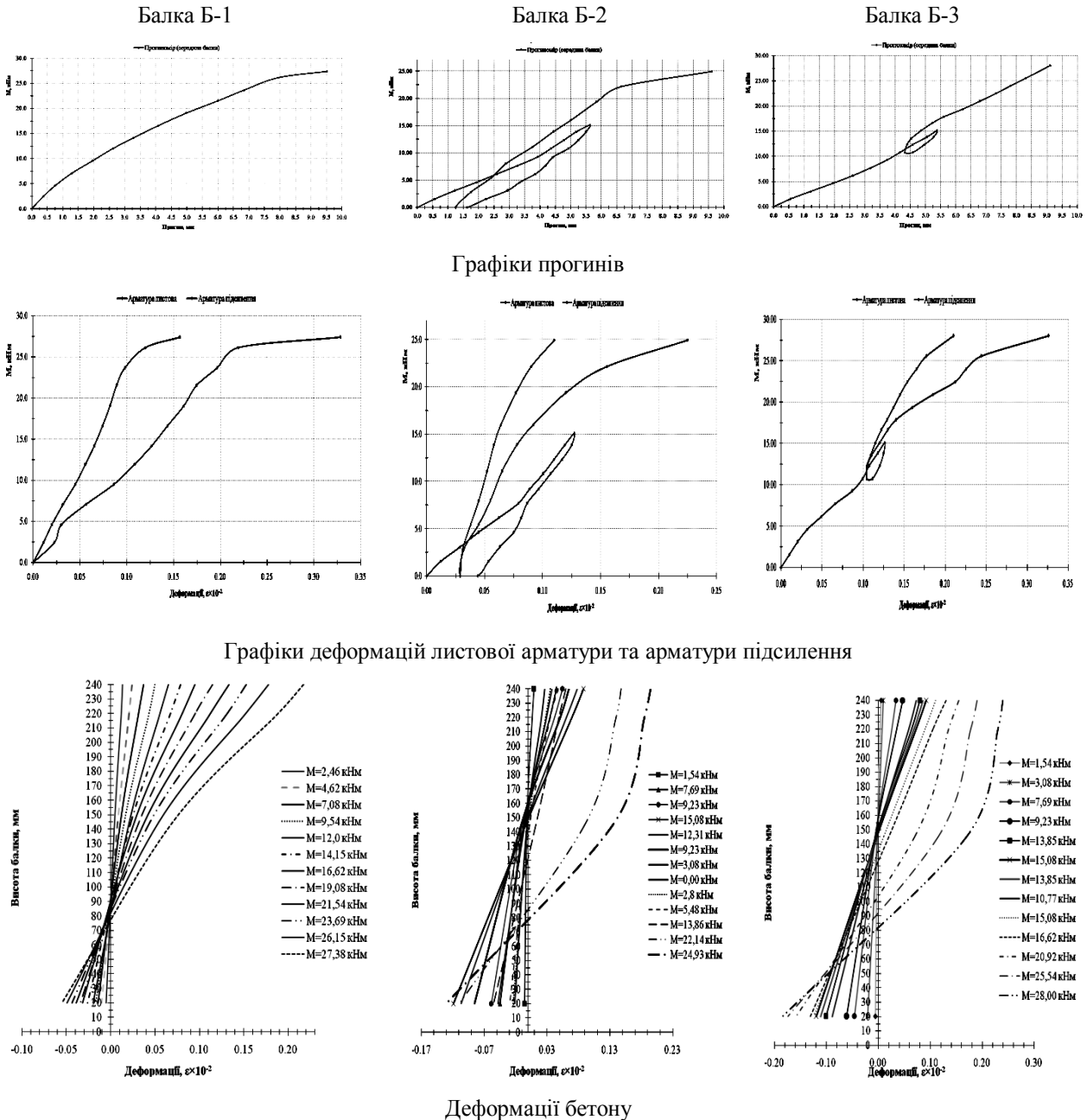


Рис. 6 Графіки деформацій прогинів, листової та стрижневої арматури, бетону стисненої зони

При розвантаженні дослідних зразків сталобетонних балок з рівня навантаження $0.7M_p$ спостерігалось поступове часткове зменшення прогинів дослідних балок, яке пов'язане із

розвитком залишкових непружних деформацій (рис. 3.1). Спостерігаючи за деформаціями бетону та арматури (рис. 6), також можна константувати вплив залишкових непружних деформацій при розвантаженні елемента, що вплинуло на їх початкову величину. Під час розвантаження спостерігалось поступове закриття утворених тріщин.

У процесі підсилення сталобетонних балок арматуру підсилення натягували до напружень робочої листової арматури з метою її швидшого включення у роботу. Підсилювали дослідні сталобетонні балки стрижневою арматурою без зчеплення з анкеруванням її на торцях за допомогою попередньо привареної шпильки. Натяг відбувався на опорах стенду (рис. 4). Під час напруження додаткової стрижневої арматури спостерігалось незначне зменшення прогинів дослідних балок та часткове повернення деформацій бетону та арматури (рис. 6). Ширина розкриття тріщин, які утворилися до розвантаження дослідних балок, зменшилась.

Із подальшим навантаженням, після підсилення дослідних балок деформації бетону, арматури та прогинів (рис. 6), зростали значно менше ніж на останніх рівнях навантаження до підсилення. Це свідчить про те, що додаткова стрижнева арматура включилася в роботу з перших рівнів навантажень після її натягу. Як показали експериментальні дослідження, при вищих рівнях завантаження балки додаткова стрижнева арматура не використовує усіх своїх міцнісних характеристик через досягнення межі текучості основної листової арматури.

При проведенні випробувань для встановлення впливу розвантаження дослідного елемента та впливу коефіцієнта армування на рівень підсилення дослідних балок було зруйновано балку Б-1 із підсиленням до початку завантаження за допомогою її натягу на жорсткі упори. Експериментально визначено величину моменту втрати експлуатаційної придатності та руйнівний момент балки Б-1 (див. табл. 3).

Таблиця 3

Результати експериментальних досліджень

Назва величин	Умовні позначення	Марка зразка		
		Б-1	Б-2	Б-3
		Рівень завантаження		
		Рівень розвантаження		
		$\frac{0.0}{0.0}$	$\frac{0.7}{0.0}$	$\frac{0.7}{0.5}$
Величина згинальних моментів, кНм				
Момент втрати експлуатаційної придатності	$M_{\text{екс.пр.}}^e$	27,38	24,93	28,00
Руйнівний момент	M_p^e	28,32	26,16	29,36
Теоретичний руйнівний момент без підсилення ДБН В 2.6-98:2009	M_p^{norm}	21,6	21,6	21,6
Теоретичний руйнівний момент з підсиленням ДБН В 2.6-98:2009	$M_{p.п.}^{\text{norm}}$	30,6	30,6	33,3
Прогини, мм				
При завантаженні	f^e	-	5,63	5,38
Залишкові при розвантаженні	$f_{\text{роз}}^e$	-	1,62	4,62
При текучості початкової арматури	$f_{\text{роз}}^e$	9,51	9,60	9,1

Балки Б-2 та Б-3 мали різну величину додаткового армування і різний ступінь розвантаження. Як видно із табл. 2, визначальним впливом на несучу здатність балок являється ступінь їх розвантаження, а не величина площі поперечного перерізу додаткової арматури. Значення моментів втрати експлуатаційної придатності та руйнівних моментів балок Б-2 та Б-3 див. у табл. 3.

Висновки

1. Підсилення сталобетонних згинаних елементів стрижневою арматурою без зчеплення, які не підлягали розвантаженню, не є повністю ефективним через залишкові незворотні деформації основної арматури та деформацій бетону. Чим більший рівень розвантаження, тим краще використовується міцність додаткової арматури.

2. Після підсилення сталобетонних згинаних елементів під навантаженнями від $0.7M_p$, основна арматура швидше досягає межі текучості, бо додаткова при високих рівнях слабо включається в роботу.

3. Рівень розвантаження визначає величину залишкових деформацій бетону та основної арматури загалом, що безпосередньо впливає на спільну роботу початкового та додаткового армування балок після їх посилення.

4. Для збільшення несучої здатності елементів з високим рівнем напружень у початковій листовій арматурі необхідно, щоб коефіцієнт армування додаткової арматури наближався або мав більше значення, ніж коефіцієнт армування основної арматури.

5. Для збільшення несучої здатності елементів, рекомендуємо виконувати натяг стрижневої арматури до рівня напружень основної листової арматури, що забезпечить швидке та повне включення додаткового армування у роботу підсилюваної конструкції.

1. Голишев А.Б., Ткаченко И.И. Проектирование усиленной несущих железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений. // К, ЛОГОС, 2001,- с. 3-97. 2. Климов Ю.А., Голишев А.Б. Изменение №1 к СНиП 2.03.01-84* Бетонные и железобетонные конструкции // Будівництво України. – 1996. – №3. – С. 44–47. 3. Ремонт і підсилення несучих та огороджуючих будівельних конструкцій і основ промислових будинків і споруд. ДБН В.1.-1-2002. Держкомітет України з будівництва і архітектури. – К., 2003. – С. 1–22. 4. Клименко Ф.Є. Сталобетонні конструкції із зовнішнім полосовим армуванням. –К.: Будівельник, 1984. – С. 3–20. 5. Клименко Ф.Є., Крамарчук А.П. Міцність та деформативність сталобетонних згинаних елементів підсилені при різних рівнях напруженого стану додатковою ненапруженою арматурою // Зб. Сталезалізобетонні конструкції. Дослідження, проектування, будівництво, експлуатація. Випуск 6, Кривий ріг, 2004, – С.107-118. 6. Крамарчук А.П. Вплив залишкового напруженого стану перед постановкою додаткової арматури на міцність сталобетонних згинаних елементів. // Зб. Будівельні конструкції, будівлі та споруди. Вісник ДонДАБА, 2004(2) 44 – С. 90-98. 7. ГОСТ 12004-81. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 15 с. 8. ГОСТ 24452-80, ГОСТ 24544-80, ГОСТ 24545-81. Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – С. 1–10. 9. Державні будівельні норми України. ДБН В.3.1-1-2002. Ремонт і підсилення несучих та огорожувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків і споруд. Держкомітет України з будівництва та архітектури. – К., 2003. – С. 1–22. 10. Державні будівельні норми України. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України 201. – С. 9–70.