

**Висновок.** Промисловими випробуваннями встановлений позитивний економічний та технологічний ефект від використання комплексного додатка суперпластифікатора “Поліпласт СП-1” виробництва ВАТ “Поліпласт-Україна” на основі суміші натрієвих солей поліметиленафталінсульфоокислот різноманітної молекулярної маси під час виготовлення тонкостінних густоармованих виробів, який полягає у покращанні властивостей бетонних сумішей, зниженні енергетичних затрат на віброукладання бетонної суміші, температури та тривалості ТВО виробів, підвищенні механічної міцності бетону.

1. Саницький М.А., Пристай В.А., Дармограй О.Я. Модифіковані бетони для монолітного будівництва // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Теорія і практика будівництва”. – 2007. – №600. – С. 264–269. 2. Рунова Р.Ф., Гоц В.І., Саницький М.А. та ін. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження у будівництво. – К.: УВПК „ЕксОб”, 2008. – 360 с. 3. Химические и минеральные добавки в бетон / Под ред. А.В. Ушерова-Маршака. – Харьков: Колорит. – 2005. – 280 с. 4. Касторных Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы: Учеб.-справ. пособие. – 2-е изд. – Ростов на Дону: Феникс. – 2007. – 221 с. 5. Модифікатори нової генерації для бетонів / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, У.Д. Марущак, М.М. Чемерис та ін. // Будівельні матеріали та вироби. – 2006. – №1. – С. 5–7. 6. Саницький М.А., Позняк О.Р., Кіракевич І.І., Русин Б.Г. Високофункціональні бетони на основі модифікаторів нової генерації // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Теорія і практика будівництва”. – 2008. – №627. – С. 191–197.

УДК 624.012.004.69

Р.Є. Хміль, Р.В. Вашкевич, Я.З. Бліхарський  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра будівельних конструкцій та мостів

## НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПОШКОДЖЕНИХ АГРЕСИВНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ

© Хміль Р.Є., Вашкевич Р.В., Бліхарський Я.З., 2009

Наведено результати експериментальних випробувань залізобетонних балок, що перебували під впливом агресивного середовища та навантаження, і лише агресивного середовища. Виконано порівняння параметрів міцності та деформативності експериментальних балок.

**Strengthening of the reinforced concretes beams by arranging of holder under loading of different intensity is examined in the article. The results of experimental researches of the increased reinforced concretes beams are given.**

**Постановка проблеми.** Більшість залізобетонних конструкцій будівель та споруд експлуатуються в агресивному навколишньому середовищі. Дія агресивного середовища викликає корозію бетону та арматури залізобетонних конструкцій і, як наслідок, зменшує їх несучу здатність та експлуатаційну придатність. Це накладає свій відбиток на вимоги до їх проектування та прогнозування ресурсу безпечної експлуатації. Для адекватної оцінки експлуатаційного терміну різних будівель з корозійними пошкодженнями конструкцій необхідно в кожному конкретному випадку враховувати взаємну дію різних чинників на їх працездатність. Особливістю корозії залізобетонних конструкцій реальних будівель та споруд є те, що процеси руйнування проходять за навантаження, як мінімум, від власної ваги конструкцій, за наявності певного рівня напружень в бетоні та арматурі. Це вносить свої особливості в корозійні процеси. Сьогодні ця проблема недостатньо вивчена і тому є актуальною і потребує дослідження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Загалом питаннями корозії залізобетонних конструкцій займався багато дослідників, у працях яких підтверджується думка, що несуча здатність загалом залежить не тільки від силових навантажень на конструкцію, але і від впливу навколишнього середовища [1, 2, 4, 6, 7, 8, 11]. Проявами процесів корозії поряд із зменшенням робочого перерізу елементів є, як наслідок, зменшення міцності, тріщиностійкості та наростання деформацій конструкції загалом [3, 5, 9]. Сьогодні порівняно мало проведено досліджень напружено-деформованого стану конструкцій, які перебували під впливом сумісної дії навантаження і агресивного середовища.

**Мета та завдання досліджень.** Мета роботи – дослідження міцності та деформативності залізобетонних балок, які перебували під впливом агресивного середовища та навантаження, і лише під впливом агресивного середовища, а також порівняння експериментальних параметрів міцності та деформативності з теоретичними величинами, обчисленими за СНиП 2.03.01-84\*.

**Експериментальні дослідження.** Експериментальні випробовування балок виконували на спеціальних стендах. Силове навантаження прикладали у вигляді двох зосереджених сил в третинах прольоту для створення зони чистого згину. Для дослідження впливу корозійного середовища за одночасної дії силового навантаження на балках закріплювали спеціально запроєктовані ємності з внутрішнім антикорозійним покриттям. Як корозійне середовище використовували 10 % розчин сірчаної кислоти.

Балки були запроєктовані в такий спосіб, щоб їх руйнування проходило за нормальним перерізом від дії згинального моменту.

Руйнування балок без впливу корозії проходило внаслідок досягнення напружень в розтягнутій арматурі межі текучості. Значення згинального моменту під час проведення експерименту приймали таким, що дорівнювало граничному  $M_u^{exp}$ , оскільки воно відповідає граничному стану балки – втраті несучої здатності нормальних перерізів за текучістю арматури.

Величину граничного моменту для балок за короткочасного прикладання навантаження визначали за допомогою показів мікроіндикаторів годинникового типу, які кріпили на спеціальних тримачах до арматури. Крім того, величину граничного моменту визначали за графіками залежності прогинів балок від навантаження. За досягнення напружень в арматурі межі текучості як в самій арматурі, так і в бетоні, значно наростають деформації. Це супроводжується різкішим наростанням прогинів. Графіки прогинів за навантаження, якому відповідає текучість, мають злами. Цим точкам зламу і відповідає значення величини граничного моменту –  $M_u^{exp}$ .

Для визначення характеристик напружено-деформованого стану не пошкоджених агресивним середовищем балок, а також для визначення максимального зусилля, яке сприймають експериментальні балки, спочатку було проведено їхнє випробування за прийнятою методикою на згин короткочасним навантаженням до руйнування.

Експериментальні величини руйнуючих згинальних моментів, які відповідають граничному стану  $M_u^{exp}$ : для серії 1 – 25,397 кН·м, 2 – 25,50 кН·м, для серії 3 – 19,317 кН·м і для серії 4 – 31,667 кН·м відповідно. Порівняння величин експериментальних і розрахункових граничних моментів, визначених згідно з чинними нормами [10], показало задовільну збіжність результатів для усіх балок, не пошкоджених корозією. Відхилення становить – 8,4...-11,3 %, при цьому теоретичні величини були меншими за експериментальні.

Для дослідження впливу на міцність тривалості дії навантаження в рамках серій 1, 3 і 4 по дві балки-близнюки в кожній серії піддавали впливу агресивного середовища та навантаження, і по одній балці кожної серії – лише агресивного середовища. Час перебування відповідних балок-близнюків в агресивному середовищі під навантаженням і без навантаження приймали однаковим. Після перебування балок в агресивному середовищі їх було випробувано короткочасним навантаженням до руйнування. Перерізи бетону балок-близнюків безпосередньо перед руйнуванням бетону стиснутої зони під навантаженням і без навантаження були фактично однакові. Це не дає змоги порівняти міцність балок під час досягнення ними граничного стану внаслідок текучості  $M_u^{exp}$ , проте можливе порівняння міцності під час руйнування стиснутої зони балок  $M_f^{exp}$ .

Для балок, які перебували лише в агресивному середовищі, БД-1.4к серії 1 величина згинального моменту при роздробленні бетону стиснутої зони була більша ( $M_f^{exp} = 17,73 \text{ кН}\cdot\text{м} > 17,59 \text{ кН}\cdot\text{м}$ ) або приблизно дорівнювала балці БД-4.4к серії 4 ( $M_f^{exp} = 21,22 \text{ кН}\cdot\text{м} \approx 21,42 \text{ кН}\cdot\text{м}$ ) порівняно з міцністю балок-близнюків відповідних серій, що перебували під впливом і агресивного середовища, і навантаження. Руйнування балки БД-3.4к серії 3 пройшло за похилим перерізом і без досягнення в розтягнутій арматурі межі текучості. Воно відбулося за  $M = 13,18 \text{ кН}\cdot\text{м}$ . Причиною такого руйнування була корозія поперечних стрижнів балки, що не дає змоги порівняти між собою несучу здатність нормальних перерізів балок серії 3. Розрахунок несучої здатності балки за похилими перерізами згідно з нормами за умови відсутності поперечного армування показав задовільну збіжність результатів. Однак теоретичні дані перевищують експериментальні на 4,9 %. Балки БД-1.3-0,7к, БД-3.2-0,7к зруйнувались за похилим перерізом після досягнення в розтягнутій арматурі межі текучості.

Експериментальні та розрахункові згідно з чинними нормами [10] величини згинальних моментів, які відповідають граничним станам, наведені в табл.1.

Таблиця 1

**Міцність експериментальних балок, пошкоджених корозією залежно від тривалості дії навантаження**

Серія	Шифр балок	Кінцеві розміри перерізу (текучість арматури) (руйнування)		Згинальний момент, кН·м		$M_u^{norm}$ $M_u^{exp}$	Час, діб					
				експериментальний (по текучості) (похил. перер.)	розрахунковий (по текучості) (похил. перер.)		граничний стан (текучість) $t_u$	фізичне руйнування				
				$M_u^{exp}$	за нормами $M_u^{norm}$			$t_{руйн}$	вид			
1	БД 1.2-0,7к	74,4×174,3 65,0×166,0	Ø 14 Ø 14	17,594	19,569	1,112	46	56	норм. переріз			
	БД 1.3-0,7к	70,2×169,6 61,0×166,0			19,212				1,092	49	60	похил. переріз
	БД-1.4к	60,0×167,0			17,733				17,856	1,007	короткочасне випробування	
3	БД 3.2-0,7к	70,4×177,2 60,0×176,0	Ø 12 Ø 12	13,699	15,581	1,137	46	54	похил. переріз			
	БД 3.3-0,7к	68,2×176,9 58,0×174,0			15,506				1,132	47	56	норм. переріз
	БД-3.4к	60,0×169,0			13,180				13,830	1,049	короткочасне випробування	
4	БД 4.2-0,7к	71,3×171,0 66,5×172	Ø 16 Ø 16	21,419	21,769	1,016	50	54	норм. переріз			
	БД 4.3-0,7к	72,9×175,0 65,0×173,0			22,463				1,049	48	57	норм. переріз
	БД-4.4к	60,0×171,0			19,333				19,105	0,989	короткочасне випробування	

Необхідно зазначити, що для балок, які не перебували під одночасною дією навантаження та агресивного середовища, методика норм [10] дає змогу з достатньою точністю визначати міцність балок. Розбіжності між теоретичними і фактичними величинами становили 1,1 % для балки БД-4.4к серії 4 і -0,7 % – для балки БД-1.4к серії 1 в бік перевищення експериментальних величин. Вплив мікротріщин як концентраторів напружень в стиснутому бетоні за відсутності тривалої дії навантаження є меншим. Цим і пояснюється менша розбіжність теоретичних і експериментальних даних за короткочасних випробувань. Характер руйнування зразків балок серій 1, 3, 4 показано на рис. 1.

Під час експериментальних випробувань вели постійне спостереження за деформативністю балок, а саме – за деформаціями арматури, крайньої грані стиснутої зони бетону і прогинами.

Величини деформацій та прогини визначали згідно з прийнятою методикою досліджень. Граничні відносні деформації арматури  $\varepsilon_s$ , бетону  $\varepsilon_b$ , прогини  $f_{max}^{exp}$  визначали за величини граничного згинального моменту, який відповідав втраті несучої здатності балки за текучістю арматури  $M_u^{exp}$ .

Для визначення характеристик деформативності конструкції, не пошкодженої агресивним середовищем, спочатку було проведено випробування її на згин короткочасним навантаженням. Експериментальні величини деформацій арматури, бетону і прогини балок, які відповідають граничному стану – втраті несучої здатності за текучістю арматури  $M_u^{exp}$  та  $0,7 M_u^{exp}$ , наведені в табл. 2.

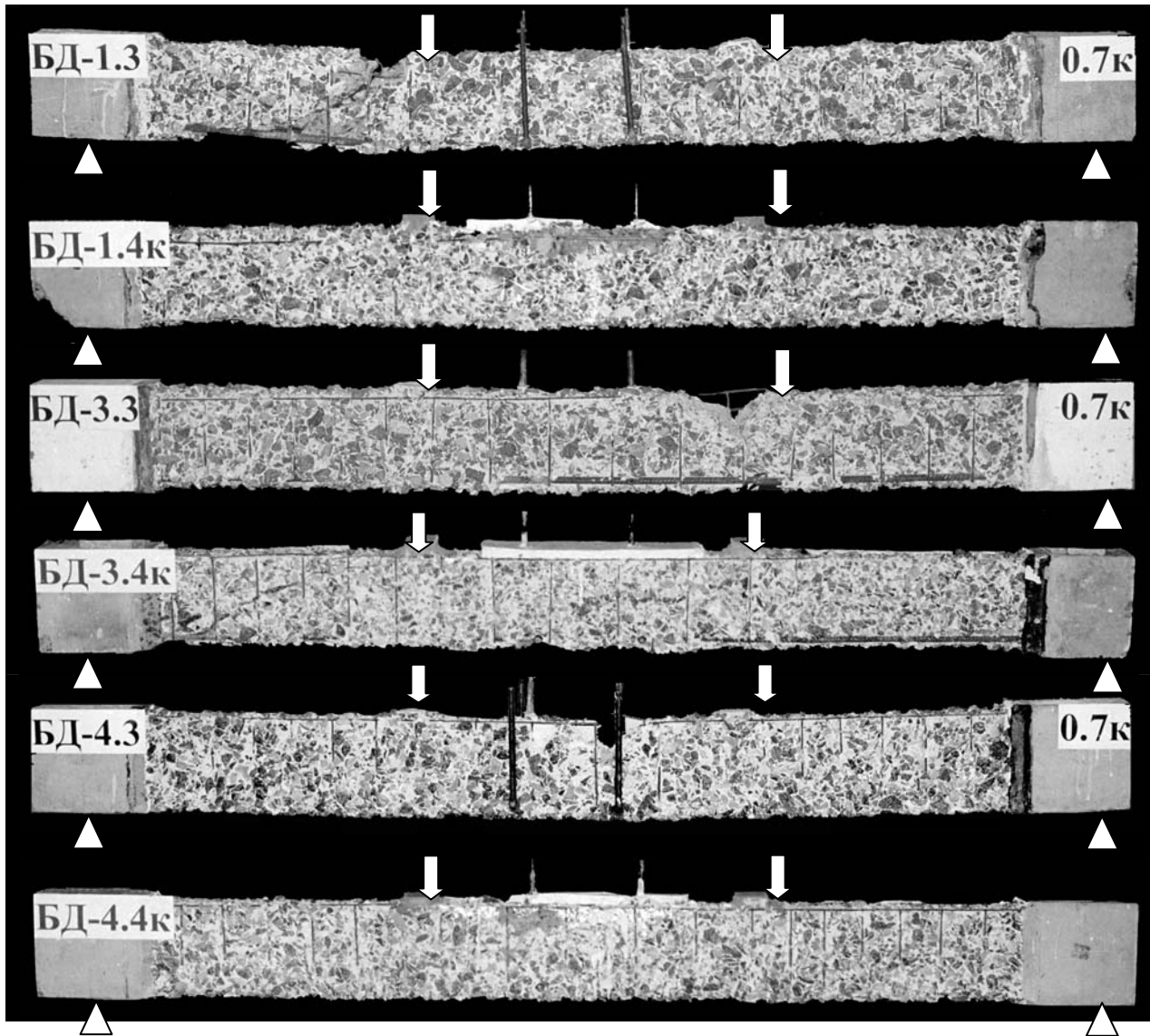


Рис. 1. Типовий характер руйнування пошкоджених корозією балок серій 1, 3, 4

Для дослідження впливу на деформативність тривалої дії навантаження балки-близнюки серій 1, 3 і 4 були занурені в агресивне середовище за дії навантаження, інші – лише в агресивне середовище без дії навантаження. Час перебування відповідних балок-близнюків в агресивному середовищі під навантаженням і без навантаження був однаковий. Після перебування балок в агресивному середовищі їх випробувано короткочасним навантаженням до руйнування. Кінцеві величини поперечних перерізів бетону балок-близнюків під час руйнування бетону стиснутої зони під навантаженням і без навантаження були приблизно однакові. Балки за дії тільки агресивного середовища мали розміри перерізу на 5...15 % менші. Перерізи бетону за втрати несучої здатності під навантаженням і без навантаження відрізнялися на 15...20 %. Це не дає змогу фактично порівняти деформативність балок за досягнення ними граничного стану внаслідок текучості

арматури  $M_u^{exp}$ , а можливо лише його прогнозування. Оскільки деформації бетону балки БД-1.4к серії 1, яка перебувала лише в агресивному середовищі і випробувана короткочасним навантаженням, перевищують величину деформацій бетону балок БД-1.2(1.3)-0,7к, що перебували під впливом і агресивного середовища, і навантаження на  $\sim 15\%$  ( $182 \cdot 10^{-5} > 155 \cdot 10^{-5}$ , табл. 2), то очевидно за меншої різниці в площах перерізів балок на 15...20% ця перевага знівелюється.

Величина прогинів балок-близнюків за втрати несучої здатності є майже однакова – 11,03 $\approx$ 11,0 мм для серії 1 і 11,37 $\approx$ 12,0 мм – для серії 2. Очевидно за меншої різниці в площах перерізів балок (тобто за більшої площі перерізу на 15...20%) прогини балок БД-1.4(4.4)к будуть меншими, ніж балок БД-1.2(1.3)-0,7к БД-4.2(4.3)-0,7к відповідно. А це свідчить про те, що для балок, випробуваних короткочасним навантаженням, кінцеві величини деформацій бетону та прогини є меншими, ніж для балок, випробуваних за одночасної дії навантаження і агресивного середовища. Це пояснюється тим, що за тривалої дії навантаження мікротріщини у бетоні, які викликані корозією, є концентраторами напружень. Вони призводять до збільшення деформативності бетону, збільшення прогинів, і, як наслідок, передчасного руйнування за текучістю арматури. За короткочасної дії навантаження це явище значно менше проявляється. Руйнування балки БД-3,4к серії 3 пройшло за похилим перерізом внаслідок корозії поперечної арматури, що і не дало змоги порівняти між собою балки-близнюки серії 3.

Експериментальні величини деформацій бетону стиснутої зони і прогини, які відповідають часу втрати несучої здатності внаслідок текучості арматури  $M_u^{exp}$  та  $0,7 M_u^{exp}$ , наведені в табл. 2.

Графіки деформацій бетону і прогинів балок для наочного порівняння побудовані з масштабом горизонтальних осей так, щоб текучість балок БД-1.4к і БД-4.4к знаходилася на одній вертикальній лінії з усередненими точками текучості балок БД-1.2(3)-0,7к і БД-4.2(3)-0,7к – 47,5-й і 49-й день відповідно (рис. 2).

Таблиця 2

**Деформативність експериментальних балок, пошкоджених корозією,  
залежно від тривалості дії навантаження**

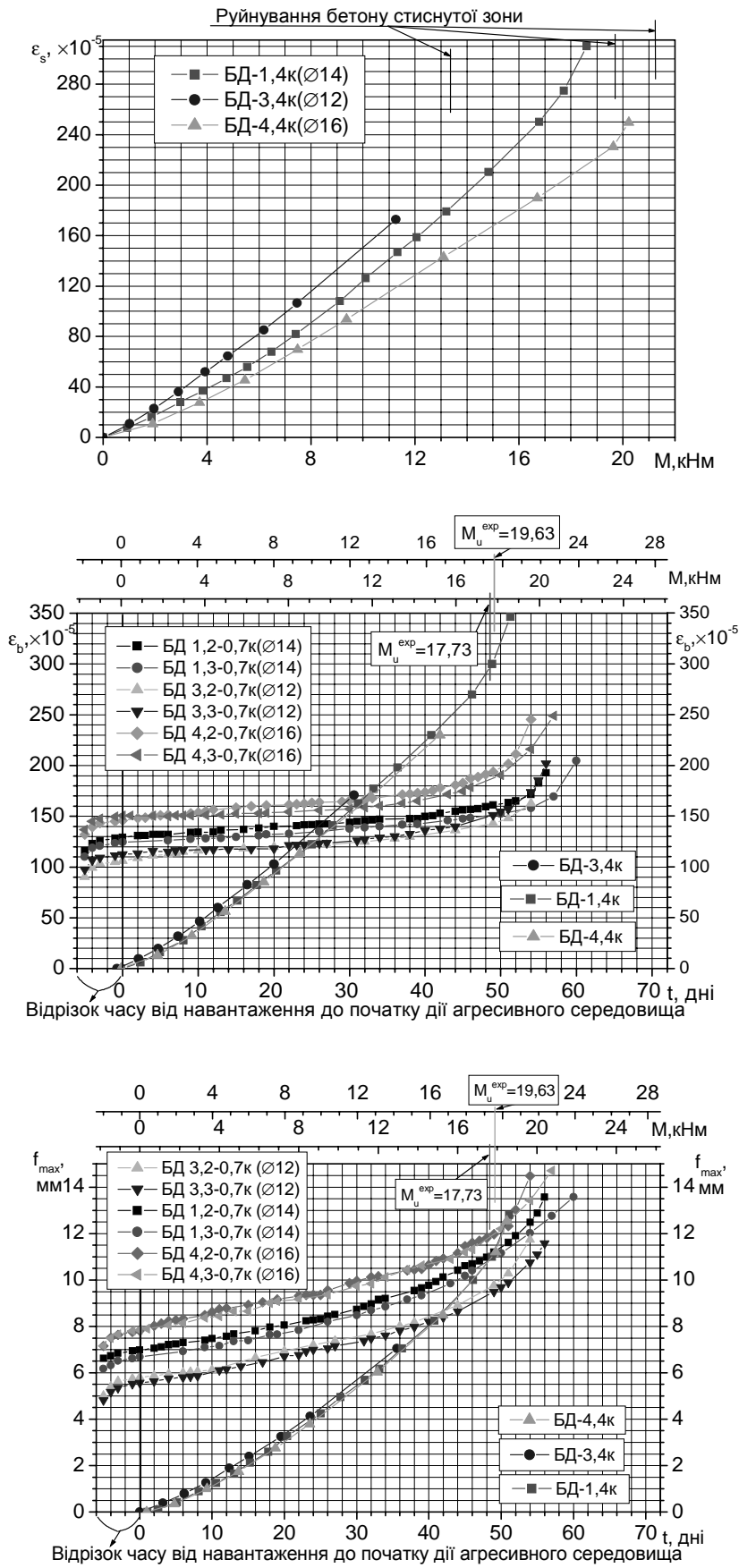
Серія	Шифр балок	Експеримент				Розрахунок		$\frac{f_{max}^{norm}}{f_{max}^{exp}}$	
		$M = M_u^{exp}$		$M = 0,7 M_u^{exp}$		$M = M_u^{exp}$	$M = 0,7 M_u^{exp}$	$M = M_u^{exp}$	$M = 0,7 M_u^{exp}$
		час, діб	бетон, $\epsilon_b \times 10^5$	прогини, $f_{max}^{exp}$	прогини, $f_{max}^{exp}$	прогини, $f_{max}^{norm}$	прогини, $f_{max}^{norm}$		
1	БД 1.2-0,7к	46	156,8	10,7	6,98	10,90	6,39	1,018	0,916
	БД 1.3-0,7к	49	151,4	11,4	6,67	11,68	6,47	1,028	0,970
	БД-1.4к	к. в.	182,2	11,03	6,17	9,84	6,46	0,892	1,047
3	БД 3.2-0,7к	46	139,0	9,26	5,80	9,35	5,54	1,010	0,955
	БД 3.3-0,7к	47	146,8	9,16	5,57	9,49	5,70	1,036	1,023
	БД-3.4к	к. в.	текучість арматури не досягнута через руйнування балки за похилим перерізом						
4	БД 4.2-0,7к	50	197,8	12,2	7,81	13,07	7,10	1,074	0,909
	БД 4.3-0,7к	48	184,6	11,8	7,84	12,30	6,93	1,046	0,881
	БД-4.4к	к. в.	>198,0	11,37	6,03	9,51	6,09	0,866	1,009

Примітка. к.в. – короткочасне випробування.

Аналіз результатів показує, що одночасний вплив навантаження і агресивного середовища на балку є більш не вигідним поєднанням чинників зовнішнього впливу порівняно з дією тільки агресивного середовища.

Аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень показує, що значне збільшення деформацій стиснутої зони бетону, прогинів залізобетонних балок в середовищі сірчаної кислоти відбулось внаслідок зменшення поперечного перерізу балок.

Зменшення площі поперечного перерізу стиснутого бетону, як і робочої висоти перерізу загалом, викликає збільшення напружень у бетоні, розвиток значних пластичних деформацій і прогинів балки. Різкий приріст прогинів балок спостерігається після досягнення текучості арматури, кінцеві величини прогинів залежать від рівня навантаження експериментальних зразків. За тривалої дії навантаження порівняно з короткочасною збільшуються кінцеві величини деформацій бетону і прогини.



Це пояснюється тим, що за тривалої дії навантаження мікротріщини від дії корозії у контактному з агресивним середовищем шарі бетону є концентраторами напружень в бетоні. Вони призводять до появи макротріщин, збільшення деформативності бетону, збільшення прогинів, і, як наслідок, пришвидшеного руйнування бетону та текучості арматури.

**Висновки.** Аналіз результатів показує, що одночасний вплив агресивного середовища і навантаження є вигіднішим сполученням зовнішніх впливів, ніж дослідження балки простим витримуванням в агресивному середовищі з подальшим короткочасним випробуванням до руйнування. Отже, руйнування залізобетонних балок в середовищі сірчаної кислоти відбувається внаслідок корозії бетону і на деяких зразках в поєднанні з корозією арматури. Корозію бетону викликають хімічні реакції кислоти зі складниками цементного каменю, які містять кальцій. При цьому корозія перебігає поступово від зовнішніх шарів бетону вглиб експериментальних зразків з утворенням контактного шару.

Корозійні процеси призводять до зменшення розмірів поперечного перерізу балок в часі по лінійній залежності. Зменшення площі перерізу стиснутого бетону, як і робочої висоти перерізу загалом, викликає збільшення напружень в бетоні і арматурі. Руйнування балок відбувається за досягнення напружень в арматурі межі текучості з подальшим роздробленням бетону стиснутої зони. В окремих випадках руйнування відбувається за похилим перерізом внаслідок поступової корозії фактично усіх поперечних стрижнів.

Методика норм [10] в усіх випадках під час розрахунку згинальних залізобетонних елементів з корозійними пошкодженнями за тривалої одночасної дії агресивного середовища і навантаження не дає змоги з необхідною точністю визначити несучу здатність таких елементів. Розбіжності між теоретичними і фактичними величинами становлять до 13,7 % в бік перевищення теоретичних величин над експериментальними. Тобто норми завищують міцність таких елементів і не дають достатнього запасу міцності залізобетонних балок з корозійними пошкодженнями бетону і арматури. Це пояснюється впливом корозійних мікротріщин як концентраторів напружень в стиснутому бетоні, і, як наслідок, зменшення міцності бетону за наявності корозійних процесів та тривалої дії навантаження.

Аналіз також показав, що методика чинних норм [10] в усіх випадках під час розрахунку згинальних залізобетонних елементів за тривалої одночасної дії агресивного середовища і навантаження з достатньою точністю визначає величини прогинів. Розбіжність експериментальних та розрахункових величин прогинів перед текучістю арматури  $M_u^{exp}$  становить до 14,5 %. Для більшості балок розрахункові величини перевищували експериментальні. За експлуатаційного рівня навантажень  $0,7 M_u^{exp}$  розбіжність експериментальних та теоретичних прогинів становить до 20 %. При цьому для більшості балок експериментальні величини перевищували розрахункові. Це дає змогу рекомендувати методику чинних норм також під час розрахунку залізобетонних балок з корозійними пошкодженнями.

*Наведені результати отримані в рамках виконання держбюджетної теми ДБ/Злат – номер державної реєстрації 0107U0008333.*

1. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисель П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. – М., 1990 – 316 с. 2. Бондаренко В.М., Назаренко В.Г., Чупиев О.Б. О влиянии коррозионных повреждений на силовое сопротивление железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. – 1999. – № 6. – С.27–30. 3. Булгакова М.Г., Шаталов А.А. Исследование изгибаемых элементов при совместном действии нагрузки и агрессивной среды // Бетон и железобетон. – 1976. – № 3. – С. 13–15. 4. Грановский Ю.Л. Исследование долговременных деформативных и прочностных характеристик бетона, насыщенного агрессивной средой и находящихся в условиях низких отрицательных температур // Изучение стойкости железобетона в агрессивных средах. – М., 1980. – С. 53–58. 5. Дорофеев В.С., Левченко М.В. Влияние технологической поврежденности на работу железобетонных балок // Зб. наук. праць “Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій”. – Львів: Каменяр, 2000. – Вип. 4. – С.436–447. 6. Клименко С.В. Визначення технічного стану будівель та споруд // Зб. наук. праць: “Будівельні конструкції”. – К.: НДІБК, 2001. – Вип. 54. – С.301–305. 7. Коренюк Н.А., Азуттов В.П. Факторы, влияющие на эксплуатационную долговечность и надежность железобетонных конструкций // Зб. наук. праць “Будівельні конструкції”. – К.: НДІБК, 2001. – Вип. 54. – С.341–345. 8. Овчинников И.Г., Инамов Р.Р.,

Гарибов Р.Б. Прочность и долговечность железобетонных элементов конструкций в условиях сульфатной агрессии. – Саратов, 2001. – 163 с. 9. Савицкий М.В. Основы расчета надежности, долговечности та конструктивно-технологичного проектування залізобетонних конструкцій в агресивних середовищах // Зб. наук. праць “Будівельні конструкції”. – Кн. 2. – К.: НДІБК, 2003. – Вип. 59. – С.235–240. 10. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с. 11. Шкуратовський А.О., Коротич А.В. Вплив докільця на довговічність залізобетонних мостів і методи її підвищення // Автомобильные дороги и дорожное строительство. – К.: УТУ, 2000. – № 59. – С.236–240.

УДК 624.012.3.075.23

П.Ф. Холод

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра будівельних конструкцій та мостів

## СПОСОБИ ЗБІЛЬШЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ УНІФІКОВАНИХ КОЛОН, АРМОВАНИХ СТИСНУТОЮ ВИСОКОМІЦНОЮ АРМАТУРОЮ

© Холод П.Ф., 2009

**Розроблено конструкції просторових арматурних каркасів колон та виконано експериментальні випробування зразків колон з гнучкістю  $\lambda_n=15$  за центрального стиску.**

**In this article design of special reinforcing cage of columns and their experimental testing under central compression with flexibility  $\lambda_n=15$  are presented.**

**Постановка проблеми.** Зростання потреби в колонах під навантаженням 7...9МН і більше призвело до пошуків економічніших вирішень їх армування. Традиційне збільшення розмірів поперечного перерізу колон є неефективним, тому що при цьому різко зростає (в 2,5...3 рази) кількість їх типорозмірів і нових металевих форм, коефіцієнт використання яких буде невеликий.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз способів підвищення несучої здатності колон показав, що один із найефективніших та економічно доцільних методів є застосування робочої високоміцної арматури. Різними авторами опрацьовано багато пропозицій з застосування високоміцної арматури в стиснутих елементах, а саме: сумісно з дисперсним армуванням конструкцій; з попереднім натягом високоміцної арматури; попередньо розтягнута із звичайною, попередньо стиснута із ненапруженою; попередньо стиснута в комбінації із попередньо розтягнутою [1, 2]. Основною їх метою було максимальне використання характеристик міцності високоміцної арматури. Найефективнішою спробою було використання попередньо стиснутої високоміцної арматури в комбінації з попередньо розтягнутою арматурою [3, 4].

**Мета та завдання досліджень** – розробити конструкцію залізобетонних колон під великі навантаження з мінімальною витратою матеріалів і високим рівнем уніфікації.

**Експериментальні дослідження.** Для отримання експериментальних даних про несучу здатність та деформативність стиснутих залізобетонних елементів із комбінованим армуванням попередньо стиснутою високоміцною арматурою і попередньо розтягнутою арматурою із низьких класів проведено спеціальні дослідження.

Дослідні зразки запроєктовано у вигляді колон квадратного поперечного перерізу. Довжина зразків – 3000 мм, поперечний переріз – 200×200 мм. Клас бетону – В25-35. Звичайна арматура стрижнева 4Ø20 прийнята низького класу А-II, високоміцна 4Ø18 із Ат-V (табл. 1). У вигляді поперечної арматури застосовуються хомути, які розташовані на віддалі 140 мм один від одного (рис. 1).