

УДК 624.012

З.Я. Бліхарський, Р.Є. Хміль

Національний університет “Львівська політехніка, кафедра БКМ

ВПЛИВ АГРЕСИВНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ЗАЛІЗОБЕТОННІ БАЛКИ ЗАЛЕЖНО ВІД ІСТОРІЇ ЇХ ЗАВАНТАЖЕННЯ

© Бліхарський З.Я., Хміль Р.Є., 2002

Розглядаються результати експериментальних досліджень на предмет одночасного впливу кислотного агресивного середовища та силового навантаження на залізобетонні балкові конструкції залежно від історії їх завантаження. Розглядається питання напружено-деформованого стану залізобетонної конструкції у вказаних умовах.

Наводяться експериментальні залежності зміни характеристик напружено-деформованого стану конструкцій в агресивному середовищі при довготривалому завантаженні з і без наявності початкових деформацій від тривалого навантаження.

Вступ

Практично всі залізобетонні конструкції тією чи іншою мірою, перебувають під впливом агресивного середовища. До слабких агресивних середовищ належать впливи навколишнього природного середовища. До сильно агресивних впливів належать техногенні середовища, спричинені виробничою діяльністю. Вони є найбільш небезпечні для будівельних конструкцій і залізобетонних, зокрема. Такими можуть бути несучі конструкції виробничих цехів хімічної промисловості, димові труби ТЕС і т. ін. Найнебезпечніший вид корозії для них – кислотна корозія [1, 2].

Конструкції майже завжди перебувають під одночасною дією як агресивного середовища, так і силового навантаження. Необхідно зауважити, що конструкції, перебуваючи під дією експлуатаційних навантажень, можуть зазнавати впливу агресивного середовища відразу після завантаження. Це характерно для конструкцій, які знаходяться безпосередньо в агресивному середовищі (нижня частина колон, підлоги у виробничих приміщеннях, незахищені ділянки димових труб тощо. На окремі конструкції агресивне середовище починає діяти після певного періоду перебування під зовнішнім навантаженням. Це характерно для конструкцій верхньої частини залізобетонних колон, ригелів та ферм перекриття тощо. У зв'язку з цим, залізобетонна конструкція, перебуваючи під дією розрахункового навантаження отримує певні початкові деформації. При цьому стає важливим питання впливу цих деформацій, відповідно, історії завантаження, на поведінку бетонних та залізобетонних конструкцій в агресивному середовищі.

Сьогодні виконані дослідження корозійних процесів в цементному камені, бетоні, залізобетоні при дії кислотного агресивного середовища як авторами, так і багатьма іншими дослідниками [1, 2, 3, 4]. Встановлено, що руйнування бетону проходить внаслідок хімічної реакції кислот зі складниками цементного каменю. Внаслідок цих реакцій проходить порушення структури бетону та його руйнування. При цьому досліджена дія різних кислот з врахуванням зміни їх

концентрації, температури, терміну їх дії та ін. Майже у всіх виконаних дослідженнях вивчалась корозія бетону без врахування дії зовнішнього навантаження.

Авторами були проведені експериментальні та теоретичні дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій при одночасній дії корозійного середовища та силового навантаження.

Матеріали і конструкції дослідних зразків

Для експериментальних досліджень була виготовлена серія залізобетонних балок $2100 \times 200 \times 100$ мм. Склад бетону Ц:П:Щ = 1:1,01:2,28 при В/Ц = 0,33 із застосуванням суперпластифікатора та повітрепоглинаючих добавок. Пісок кварцовий без домішок з модулем крупності $M_k = 2,04$, щебінь гранітний фракцій 5–10 мм – 45 %, 10–20 мм – 55 %. Призмova міцність на момент випробовування становила 53,6 МПа. Залізобетонні балки армувались в розтягнутій зоні $2\varnothing 14$ А-III, в стиснутій $2\varnothing 5$ Вр-I. Поперечна арматура $\varnothing 5$ Вр-I з кроком 75–100 мм. Посередині прогону в верхній зоні балки забетонувались два металеві стрижні на відстані 200 мм один від одного з пристосуванням для кріплення приладів і замірювання деформацій бетону.

Експериментальні дослідження. Методика випробовування

Експериментальні випробовування балок виконувались на спеціальних стендах (рис. 1). Силове навантаження прикладалось у вигляді двох зосереджених сил в третинах прогону, для створення зони чистого згину. Для дослідження впливу корозійного середовища при одночасній дії силового навантаження на балках закріплювалися спеціально запроєктовані ванни з внутрішнім антикорозійним покриттям. Як корозійне середовище використовувався 10 % розчин сірчаної кислоти. За концентрацією кислоти вівся постійний контроль. При її зміні більше як на 1 % виконувалась повна заміна розчину кислоти. Під час зміни кислоти з ванни видалялись продукти корозії матеріалів балки. Для замірювання деформацій на верхній стиснутій грані балки, використовуючи вбетоновані металеві стрижні, закріплювався мікроіндикатор-компаратор з базою замірювання 200 мм. Мікроіндикатори закріплювалися також на розтягнутій робочій арматурі за допомогою приварених до неї під час виготовлення спеціальних фішок. Для замірювання деформацій арматури в балках із закріпленими ваннами за допомогою спеціальних металевих стрижнів мікроіндикатори-компаратори закріплювалися за межами ванни. Аналогічно за допомогою металевих стрижнів мікроіндикатори закріплювалися і на балках-близнюках без корозійного середовища. Крім цього, за допомогою індикаторів, закріплених на спеціальних рамках, замірювалися прогини балок.

При довготривалих випробовуваннях дві балки-близнюка (БД-2.5-0.75к, БД-2.6-0.75) завантажувалися до рівня 0,75 від руйнуючого, що знаходиться в межах експлуатаційних навантажень. При цьому в балках в розтягнутій зоні були тріщини максимальною шириною 0,1 мм. Незмінність тривалого навантаження забезпечувалась наявністю на стенді випробовування пружинного пристрою. На одній із балок (БД-2.5-0.75к) закріплювалася спеціальна ванна для створення корозійного середовища. Друга балка-близнюк (БД-2.6-0.75) перебувала під впливом лише силового фактора. Для контролю за деформаціями усадки паралельно з балками було встановлено мікроіндикатори-компаратори з базою 200 мм. на бетонні призми. Після руйнування балки БД-2.5-0.75к, на другій балці-близнюк БД-2.6-0.75, що знаходилася лише під дією довготривалого навантаження також закріплювали спеціальну ванну для створення корозійного

середовища. Отже, перед впливом на неї агресивного середовища, балка отримувала початкові деформації, спричинені довготривалим навантаженням. Дана балка отримала маркування БД-2.6-0.75к.



а
б
*Рис. 1. Стенд для експериментального випробовування балок:
а – на довготривалі навантаження; б – на сумісну дію агресивного середовища
і силового довготривалого навантаження*

Результати дослідження. Експериментальними дослідженнями встановлено, що до 10 доби зміна напружено-деформованого стану завантажених балок як з корозійним середовищем БД-2.5-0.75к, так і без нього БД-2.6-0.75 проходила приблизно однаково. Для обох балок характерне дещо прискорене наростання деформацій стиску в бетоні та прогинів. Після 10 доби деформації стиску в бетоні та прогини в балці, завантаженої тільки силовим фактором, зростали незначно за лінійною залежністю (рис. 2, 3). В балці з одночасною дією силового навантаження і корозійного середовища спостерігалось нелінійне наростання деформацій стиску в бетоні з часом. Криволінійно наростали також прогини цієї балки. Особливо інтенсивно прогини почали зростати після 50-ї доби. В цей же період зафіксовано різке наростання деформацій робочої розтягнутої арматури (рис. 4). Це свідчить про текучість розтягнутої арматури. Точної величини деформацій арматури і бетону не вдалося зафіксувати, оскільки замірювання проводилися за допомогою спеціальних стрижнів, виведених за межі верхньої грані ванни з корозійним середовищем. Така система знімання показів з приладів дає лише якісну картину зміни деформацій.

Фізичне руйнування балки з одночасною дією корозійного середовища і силового навантаження БД-2.5-0.75к пройшло на 59 добу. При цьому прогини становили $f = 12,50$ мм, порівняно з початковими після завантаження $f = 6,9$ мм, приріст становив 5,6 мм (81 %).

Після руйнування балки БД-2.5-0.75к на 60 день на другій балці БД-2.6-0.75 теж закріплювалася спеціальна ванна для створення корозійного середовища. Перед зануренням її в агресивне середовище приріст прогинів, спричинених довготривалим навантаженням, становив 1,1 мм, відносних деформацій бетону стиснутої зони – 4×10^{-4} . Методика дослідження на вплив агресивного середовища була аналогічна, як першій балці-близнюк. Під час випробовування замірювалися деформації балки і час руйнування. Фізичне руйнування даної балки з одночасною дією корозійного середовища і силового навантаження БД-2.6-0.75к пройшло на 60 добу з початку дії на неї агресивного середовища. При цьому прогини становили $f = 12,38$ мм, порівняно з

початковими перед завантаженням $f = 7,9$ мм, приріст становив 4,48 мм (57 %). Величина кінцевих прогинів обох балок БД-2.5-0.75к і БД-2.6-0.75к, майже однакова (рис. 3). Характер руйнування балок теж був однаковий: досягнення текучості в арматурі та наступне роздроблення бетону стиснутої зони. Балки-близнюки після випробувань показані на рис. 8.

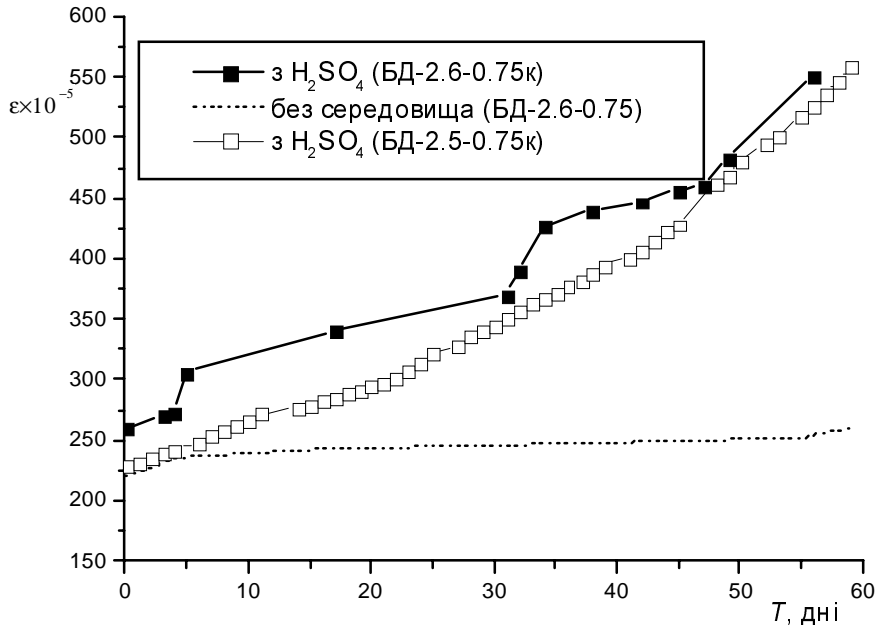


Рис. 2. Зміни в часі деформацій стиску в бетоні

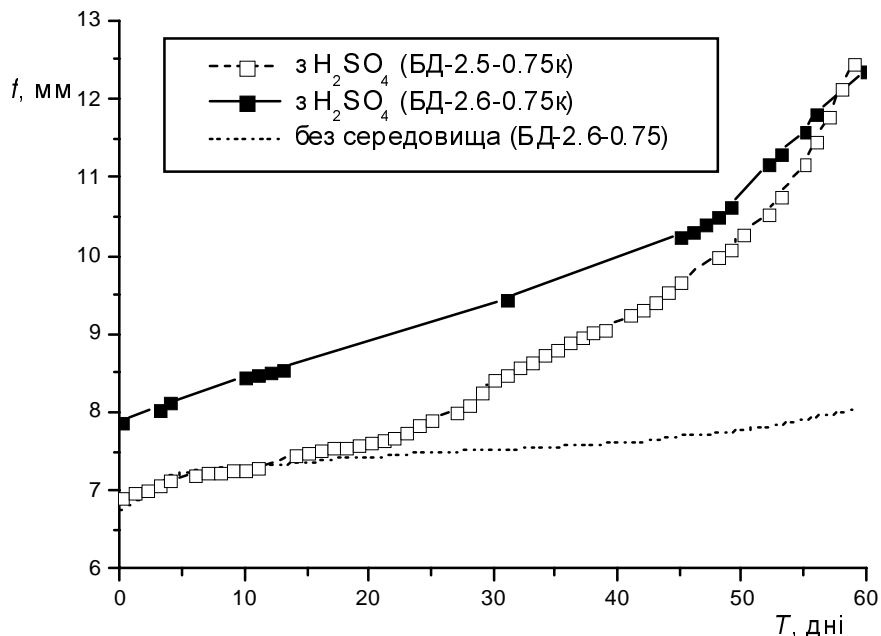


Рис. 3. Зміна в часі прогинів балок

Деформації з'єднання за час випробувань зросли незначно (рис. 5) і суттєво не могли вплинути на зміну напружено-деформованого стану балок.

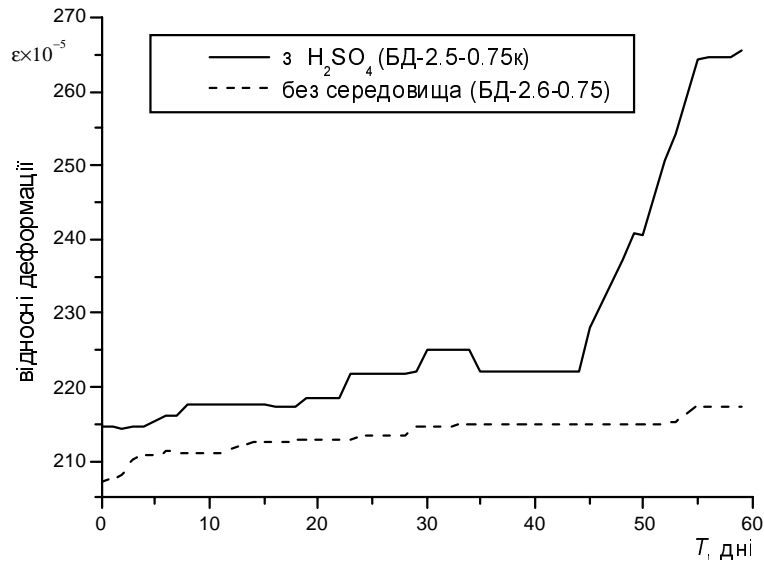


Рис. 4. Характер зміни деформацій арматури в часі

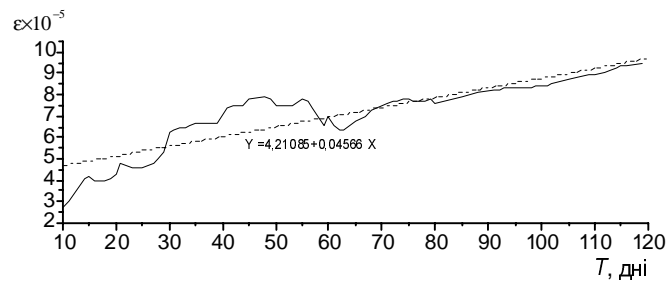


Рис. 5. Деформації зсідання бетонної призми

Нерівномірний характер зміни деформацій усадки пов'язаний зі зміною вологості і температури навколишнього середовища (рис. 6, 7).

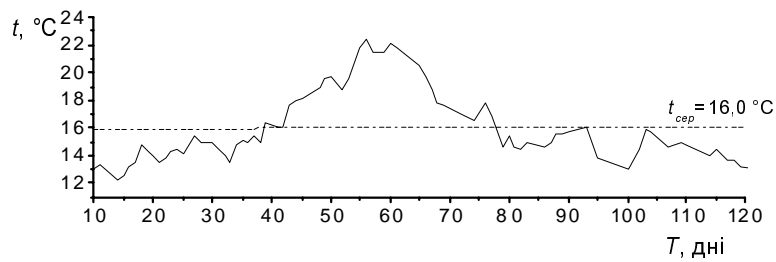


Рис. 6. Зміна температури у часі

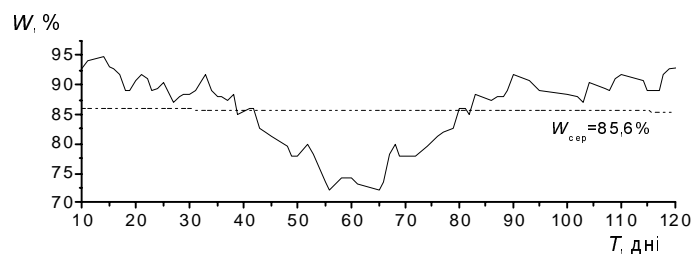


Рис. 7. Зміна вологості у часі

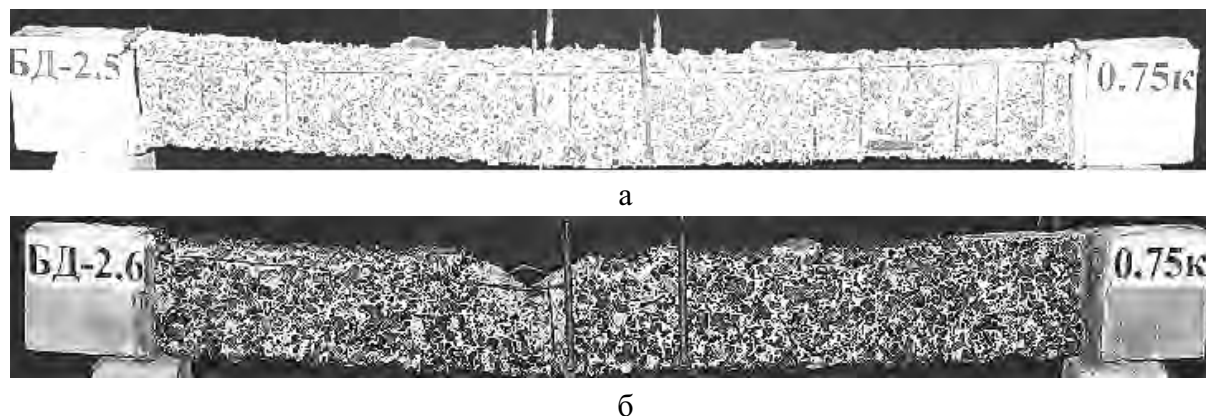


Рис. 8. Експериментальні зразки після випробовувань:
а – зразок БД-2.5-0.75к; б – зразок БД-2.6-0.75к

Протягом усього часу випробовувань постійно замірювалися геометричні розміри поперечного перерізу балок. Ширина та висота змінювалися за лінійною залежністю. Ширина перерізу першої балки (БД-2.5-0.75к) зменшилася з 100 до 62 мм, а висота з 202 мм до 172 мм, другої балки (БД-2.6-0.75к) ширина зменшилася з 100 до 63 мм, а висота з 202 до 170 мм. При цьому робоча висота перерізу з $h_{01} = 177$ мм зменшилася до 162 мм і з $h_{02} = 177$ мм зменшилася до 161 мм. Зменшення розмірів перерізу відбулося внаслідок корозії бетону балки. Корозія бетону спостерігалась практично з першого дня дії агресивного корозійного середовища. На поверхні бетону постійно появлявся білий осад – продукт хімічної реакції складників цементного каменю з розчинами кислоти. В міру проникання корозії в глибину перерізу спостерігалось випадання піску та щебеню бетону. Після корозії бетону захисного шару почалась корозія поперечної арматури. Інтенсивної корозії робочої арматури не відмічено. Підсумкові експериментальні дані показані у таблиці.

Підсумкові експериментальні дані

Марка балки- близнюка	До занурення в H_2SO_4			Після витримування взірців в H_2SO_4 (при руйнування)			
	прогини, спричинені повзучістю, f , мм	деформації, спричинені довготривалим навантаженням ϵ_b	площа перерізу, cm^2	загальні прогини, f , мм	загальні деформації бетону, ϵ_b	площа перерізу, cm^2	час руйну- вання, добы
БД-2.5-0.75к	0	0	201	12,50	$55,9 \times 10^{-4}$	104,3	59 день
БД-2.6-0.75к	1,10	4×10^{-4}	203	12,38	$55,0 \times 10^{-4}$	107.2	60 доба

Аналіз отриманих результатів показав, що історія попереднього навантаження балки не вплинула на картину та напружено-деформований стан руйнування при наступній одночасній дії агресивного середовища та силового навантаження. При цьому руйнування балок з різною історією попереднього силового навантаження пройшло через однаковий термін дії агресивного середовища. Динаміка зміни характеристик напружено-деформованого стану, прогинів зокрема, відрізняються при різній історії попереднього навантаження. Необхідно зауважити, що огляд ділянки зруйнованого бетону стиснутої зони показав, що корозія бетону відбувалась поступово від поверхневих шарів в глибину перерізу внаслідок

руйнування поверхні контакту бетону з корозійним середовищем. В місці руйнування бетону стиснутої зони корозія бетону всередині балки не виявлена.

Висновки

Дослідженнями встановлено, що внаслідок дії сірчаної кислоти відбулась інтенсивна корозія залізобетонних зразків. Виконані експериментальні дослідження дали змогу отримати зміну параметрів напружено-деформованого стану залізобетонних балок при одночасній дії корозійного середовища та зовнішнього силового навантаження на рівні експлуатаційних величин. Встановлено, що історія попереднього завантаження балки не вплинула на картину руйнування та напружено-деформованого стану руйнування при наступній одночасній дії агресивного середовища та силового навантаження. Встановлено, що руйнування при постійній величині силового навантаження відбулося внаслідок досягнення арматурою межі текучості з наступним у часі роздробленням бетону стиснутої зони. Аналіз отриманих результатів та виконані розрахунки показали, що причиною руйнування було зменшення розмірів поперечного перерізу балки, яке відбулося внаслідок корозії бетону. Отримані результати дозволять розробити методику оцінки напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій при одночасній дії корозійного середовища та силового навантаження.

1. Бліхарський З.Я. Корозія бетонних і залізобетонних конструкцій при дії агресивного середовища та силового навантаження // *Будівельні конструкції: Зб. наук. пр.* – К., 2001. – Вип. 54. – С. 126–131. 2. Бліхарський З.Я. Корозія конструкцій будинків з гальванічним виробництвом // *Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. зб.* – К., 1999. – С. 195–198. 3. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М. Модры С., Шисиль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. – М., 1990. – 316 с. 4. Москвин В.М. Коррозия бетонных и железобетонных конструкций. – М., 1980. – 536 с.

УДК 624.023

І.І. Глагола, Й.Й. Лучко*, С.Є. Ковчик*

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра БКМ,

*Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

ДО ПИТАННЯ КОРОЗІЇ БЕТОНУ І ЗАЛІЗОБЕТОНУ ТА ЇХ ЗАХИСТУ

© Глагола І.І., Лучко Й.Й., Ковчик С.Є., 2002

Наведено механізми протікання корозії бетону (карбонізація) і арматури. Запропоновані матеріали для захисту їх від корозії.

Використання порівняно нового матеріалу, такого як бетон, висуває низку проблем, які з'ясовуються тільки при тривалій експлуатації. Споруда вважається довговічною, якщо вона зберігає свою експлуатаційну здатність протягом розрахункового терміну служби.

Наявність достатньо значної кількості будинків та споруд, будівництво яких було зупинено в 80-х роках з причин припинення фінансування, ставить тепер на перший план проблему дослідження залишкового ресурсу несучої здатності їх конструкцій, які піддавались довготривалій дії шкідливих атмосферних чинників. Серед останніх найбільш