

ДОСЛІДЖЕННЯ БЕТОНІВ НА БЕЗГІПСОВОМУ ЦЕМЕНТІ ЗА НОВОЮ МЕТОДИКОЮ

© Бігун Г.Г., Хоржевський В.І., 2004

Проаналізовано деформації усадки зразків, які виготовлені з безгіпсового і звичайного портландцементу з добавками поташу і ЛСТ за удосконаленою методикою. Отримано значно більше нової та цікавої інформації про випаровування води і деформації усадки.

The shrinkage deformations analysis of without plaster and usual portland cements with additives potash and SDB specimens by advanced technique was carried out. The new information of water evaporation processes and shrinkage deformations was received.

На кафедрі автомобільних шляхів Національного університету “Львівська політехніка” запропонована удосконалена методика дослідження деформацій усадки бетонів, яка відповідає фізиці процесу твердіння цементного тіста [1]. При дослідженнях контролюється не тільки вода, яка випаровується, як це робилося за попередніми методиками, але і вода, яка витрачається на гідратацію цементу і залишається вільною на будь-який момент часу.

Кількість води, яка витрачається на гідратацію цементу, пропонується визначати за рівняннями С.В. Александровського [2] і О.Є. Шейкіна [3].

$$g(t) = (1 - 0,515 \cdot e^{-0,02t}) \cdot C, \quad (1)$$

$$g(t) = (-2675 \cdot t^2 + 21,45 \cdot t - 18,25) \cdot C, \quad (2)$$

Порівняння результатів, отриманих за наведеними рівняннями на зразках складу 1:2:1:0,4 розмірами 0,04×0,04×0,16 м показали, що за 3–4 доби твердіння значення кількості води, яку витрачено на гідратацію цементу, за рівнянням (1) більші на 69–64 % від значень, отриманих за рівнянням (2), відповідно за 27–35 добу – на 12,4–8,1 %, а на 127 і 174 добу на 6,2 і 6,6 %. Найбільша різниця, як бачимо, властива для початкової стадії тверднення – до 28 діб.

На нашу думку, рівняння С.В. Александровського краще відображає фізику процесу тверднення цементного тіста, тому його рекомендують для застосування.

Мета досліджень – перевірити удосконалену методику дослідження деформацій усадки і випаровування на паралельних випробуваннях двох серій зразків з добавками поташу (П) і спиртово-дріжджової барди (СДБ) різної кількості. Перевірити також достовірність гіпотез про випаровування води лише з поверхневого шару зразків і про поділ загальної усадки на дві складові: вологісну і контракційну.

Об’єкт дослідження: дослідні зразки розмірами 0,04×0,04×0,16 м, виготовлені із ЦПР з використанням двох цементів: портландцементу (ПЦ) і безгіпсового портландцементу (БГПЦ), складів 1:2:0,35 і 1:2:0,4.

Предметом дослідження були деформації загальної усадки і двох її складових: вологісної і контракційної, випаровування і гідратація цементів.

У зв’язку з тим, що в новій методиці дослідження деформацій усадки, випаровування і гідратації цементів з’явилися нові поняття і характеристики, необхідно було доповнити сторінку із журналу дослідження новими колонками в таблицях.

¹ Робота виконана під керівництвом доц., канд. техн. наук Р.Я. Лівші

У табл. 1 і 2 наведені сторінки із журналу досліджень зразків серій С-3 і С-4 за № 3А.

Таблиця 1

Склад зразків 1:2:0,35[П-5 %СДБ-1 %]розміри 0,04×0,04×0,16 м. Умови тверднення (водяна баня) С-3,3А $V_B = 40,8 \text{ см}^3$; $V^k = 215,0 \text{ см}^3$; $V_{зр} = 256 \text{ см}^3$; $W_o'' = 0,245 \text{ г/см}^3$; $h_{ш} = 0,11 \text{ см}$

№ з/п	№ діб	Випаров., Δg^B , г	г/см ³	$\varepsilon_y^B \cdot 10^{-5}$ К _в	Гідратації, Δg^r , г	г/см ³	$\varepsilon_y^K \cdot 10^{-5}$ К _к	$\sum \varepsilon_y \cdot 10^{-5}$	$\sum \text{г/см}^3$	$\sum (B+Г)$ вільна вода
1	30	2	0,008	0,70 0,06	30,1	0,117	10,5 0,94	11,2	0,025	38,9
2	60	2	0,08	0,72 0,05	36,2	0,141	12,98 0,95	13,7	0,149	32,8
3	90	3	0,12	1,27 0,07	39,8	0,155	16,83 0,93	18,1	0,167	28,2
4	105	3	0,12	2,34 0,07	41,1	0,160	32,06 0,93	34,4	0,172	26,9
5	125	4	0,016	4,66 0,08	42,7	0,167	49,74 0,92	54,4	0,182	24,3
6	145	7	0,027	11,32 0,14	44,0	0,172	71,18 0,86	82,5	0,199	20,0
7	250	8	0,031	13,90 0,14	48,8	0,191	84,8 0,86	98,7	0,222	14,2
8	260	8	0,031	16,25 0,14	49,2	0,192	99,95 0,86	116,2	0,223	13,8
9	290	9	0,035	18,27 0,15	50,1	0,196	101,27 0,85	120,0	0,231	11,9
10	365	10	0,039	20,83 0,16	52,7	0,206	109,77 0,84	130,6	0,245	8,3

Таблиця 2

Склад зразків 1:2:0,35[П-2.5 %СДБ-1 %]розміри 0,04×0,04×0,16 м. Умови тверднення (водяна баня) С-4,3А $V_B = 30,0 \text{ см}^3$; $V^k = 226,0 \text{ см}^3$; $V_{зр} = 256 \text{ см}^3$; $W_o'' = 0,233 \text{ г/см}^3$; $h_{ш} = 0,07 \text{ см}$

№ з/п	№ діб	Випаров., Δg^B , г	г/см ³	$\varepsilon_y^B \cdot 10^{-5}$ К _в	Гідратації, Δg^r , г	г/см ³	$\varepsilon_y^K \cdot 10^{-5}$ К _к	$\sum \varepsilon_y \cdot 10^{-5}$	$\sum \text{г/см}^3$	$\sum (B+Г)$ вільна вода
1	30	0	0	0 0	30,1	0,118	6,2 1,0	6,2	1,118	40,9
2	60	1	0,004	0,269 0,027	36,2	0,141	9,73 0,973	10,0	0,145	33,8
3	105	2	0,008	0,696 0,046	41,1	0,160	14,30 0,95	15,0	0,168	27,9
4	145	3	0,012	1,024 0,065	42,7	0,167	14,58 0,94	15,6	0,178	25,3
5	200	4	0,016	1,724 0,078	46,8	0,183	20,18 0,92	21,9	0,198	20,2
6	250	5	0,019	5,98 0,093	48,8	0,191	58,42 0,91	64,4	0,210	17,2
7	260	6	0,023	7,13 0,11	49,2	0,192	58,30 0,89	65,6	0,216	15,8
8	290	7	0,027	8,58 0,12	50,1	0,196	61,42 0,88	70,0	0,223	13,9
9	365	7	0,027	8,79 0,12	52,7	0,206	66,21 0,88	75,0	0,233	11,3

За удосконаленою методикою пропонується будувати “суміщені графіки”: рис. 1 і 2, які дозволяють повніше і якісніше аналізувати результати досліджень. Крім того, можна визначити товщину і об’єм поверхневого шару, з якого випаровується вода. Для цього необхідно при виготовленні зразків визначити об’ємну масу свіжоприготовлених сумішей – W_o^n в г/см³ і мати залежність кількості води, яка випаровується, від часу спостережень, що фіксується в журналі досліджень табл. 1 і 2 в колонках 3 загальної таблиці.

Поділивши кількість води, яка випаровувалась за час t_i на початкову об’ємну масу зразків W_o^n , отримуємо об’єм, з якого випарувалась вода ($V_{ш}$ в см³). Заздалегідь будемо залежність для призматичних зразків з розмірами, які використовуються в дослідженнях, товщини поверхневого шару від його об’єму для вписаних у призму декількох кулециліндролоїдів (КЦЛ), радіус циліндра і півкуль яких зменшуються до його поздовжньої осі.

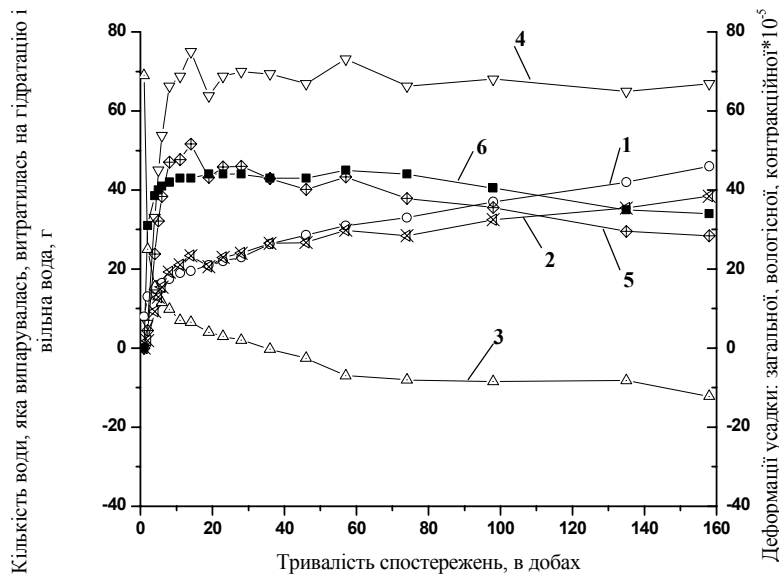


Рис. 1. Суміщений графік зразка із цементно-піщаного розчину на ПЦ складу 1:2:0,4

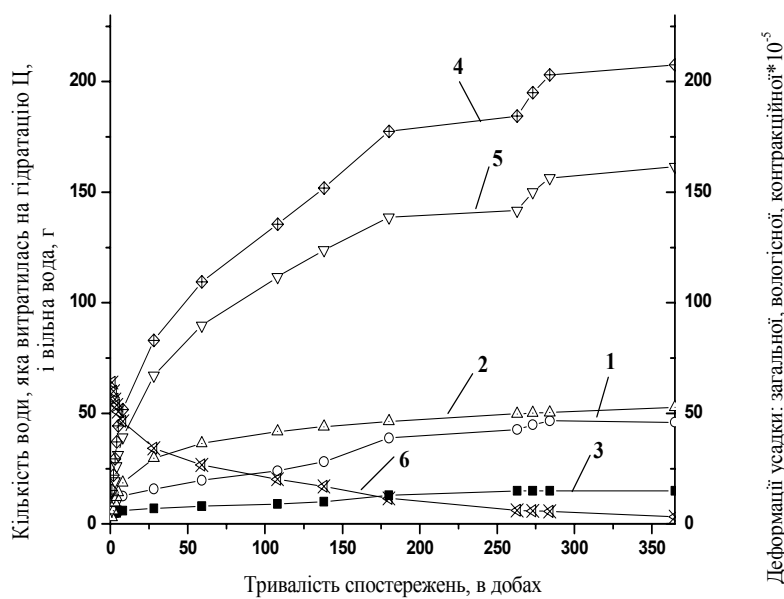


Рис. 2. Суміщений графік зразка на БГПЦ складу 1:2:0,35

Перший кулециліндролоїд дотикається до чотирьох граней і двох торців призми. Об'єм масиву, який знаходиться між всіма гранями призми і торцями і першим КЦЛ – входить в його об'єм. Радіуси інших КЦЛ зменшуються. Величину зменшення радіуса КЦЛ визначають такою, щоб для побудови графіка залежності між товщиною поверхневого шару КЦЛ і його об'ємом було не менше 4–5 точок (рис. 3).

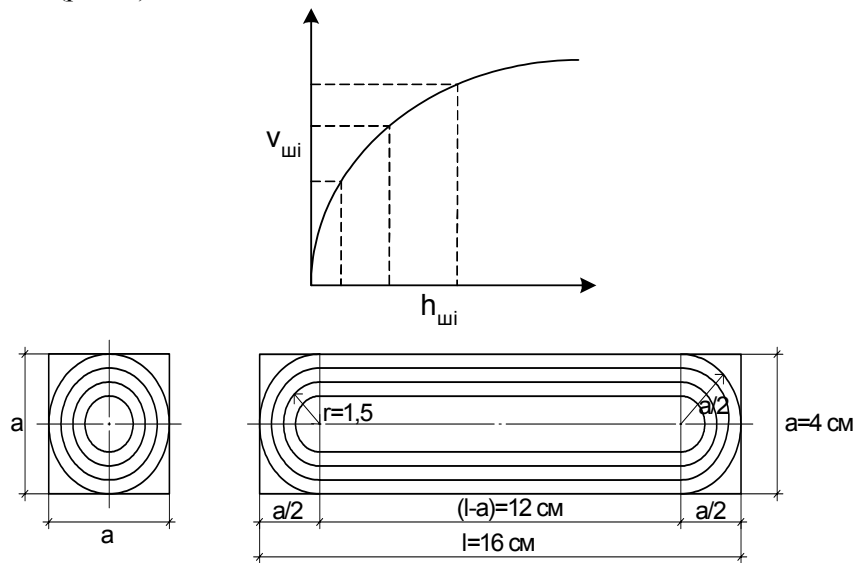


Рис. 3. Залежність $h_{шi}$ від $V_{шi}^4$ зразка розміром $0,04 \times 0,04 \times 0,16$ м

Наприклад, товщину поверхневого шару від його об'єму можна визначити також за параболічним рівнянням

$$h_{шi} = 0,000527(V_{шi}^4)^{1,429}.$$

Маючи об'єм поверхневого шару ($V_{ш}$ в см^3), з якого випарувалась вода, визначаємо товщину поверхневого шару ($h_{ш}^n$, см) і збільшуємо його вдвічі, бо на місце води, яка випарується, переміщується вода із внутрішнього масиву зразка і виникає гідравлічний ухил [5].

На суміщених графіках одночасно подані залежності: кількості води, яка випаровувалась (1), кількість води, що витратилась на гідратацию цементу (2), вільної води (3), загальної усадки (4), контракційної і вологісної складової загальної усадки (5 і 6) від часу спостережень (в добах).

На рис. 1 і 2 зображені суміщені графіки зразків двох серій, виготовлених на звичайному ПЦ без домішок і на БГПЦ з домішками П = 5 % і СДБ = 0,5 % складів 1:2:0,4 і 1:2:0,35, які тверднули в умовах всебічного висихання до стабілізації деформацій усадки. Для зразків на ПЦ стабілізація настала через 158 діб, а для зразків на БГПЦ – через 360 діб.

Як бачимо на суміщених графіках у зразках без домішок випарувалось 34, а в зразках на БГПЦ – 15 г води, що в 2,3 рази менше. Проте деформації загальної усадки зразків на БГПЦ з домішками виявились в 3,1 рази більшими, ніж у зразках без домішок.

Для кращого порівняння результатів досліджень двох серій зразків, виготовлених на різних цементах, зведено їх у табл. 3. до рис. 1 і 2.

Як видно з табл. 3 до рис. 1 і 2, для зразків на ПЦ загальна усадка дорівнює $66,9 \cdot 10^{-5}$, а її контракційна складова – $38,47 \cdot 10^{-5}$, що становить 0,58 від загальної, а вологісна – відповідно $1 - 0,58 = 0,42$. Співвідношення вологісної і контракційної усадок для зразків на звичайному ПЦ приблизно однакове.

У той час як для зразків на БГПЦ з домішками контракційна складова загальної усадки дорівнює 0,78 від загальної ($207,5 \cdot 10^{-5}$), а вологісна $0,22(46,0 \cdot 10^{-5})$.

Порівняння результатів досліджень

№ з/п	Кільк. діб	Випаров., г	$\varepsilon_y^6 \cdot 10^{-5}$	Гідратація, г	$\varepsilon_y^k \cdot 10^{-5}$	$\sum \varepsilon_y \cdot 10^{-5}$	ДВВ, ВВ, г	Домішки, %		Склади
								П	СДБ	
1	158	34	28,43 0,424	46,0	38,47 0,58	66,9	—12,2	—	—	1:2:0,4(ПЦ)
2.	365	15	46,0 0,22	52,7	161,52 0,78	207,5	3,3	5	0,5	1:2:0,35(БГПЦ)

Примітка. ВВ – вільна вода в зразках, ДВВ – дефіцит вільної води.

Цим підтверджується думка про те, що домішки поташу і СДБ підвищують у зразках на БГПЦ кристалічну складову і зменшують гелеву, що призводить, відповідно, до збільшення міцнісних характеристик бетону R_{bt} і R_b відповідно до структурної теорії О.Є. Шейкіна [3].

Домішки також впливають на випаровування води із поверхні зразків. У зразках на ПЦ випаровування води дорівнює 34 г, а на БГПЦ з домішками ще була присутня вільна вода (3,3 г).

Ці два процеси – випаровування і гідратація цементу – значно впливають на міцнісні і деформативні властивості бетону. Чим менше випаровується води із зразків і чим більша контракційна складова усадки дослідних зразків, тим більші міцнісні і менші деформативні властивості бетону і тим він довговічніший.

На суміщених графіках одночасно зображені залежності кількості води, яка випарувалась (1), яка витратилась на гідратацію цементу (2), вільної води (3), загальної усадки (4) і її вологісної і контракційної складової (5 і 6) від часу спостережень у добах.

На рис. 4 і 5 показані суміщені графіки зразків складу 1:2:0,35 на БГПЦ з домішками відповідно (2,5 %П і 1 %СДБ) і (5 %П і 1 %СДБ), які тверділи після виготовлення 30 діб у камері з водяним замком. Метою досліджень цих серій зразків є встановлення впливу П і умов твердіння після виготовлення на випаровування і деформації усадки.

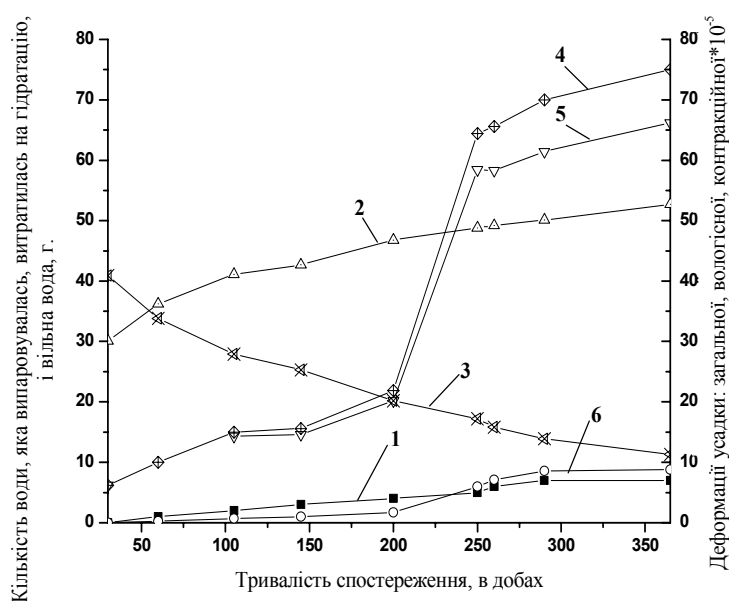


Рис. 4. Суміщений графік зразків складу 1:2:0,35(П-5%; СДБ-1%)

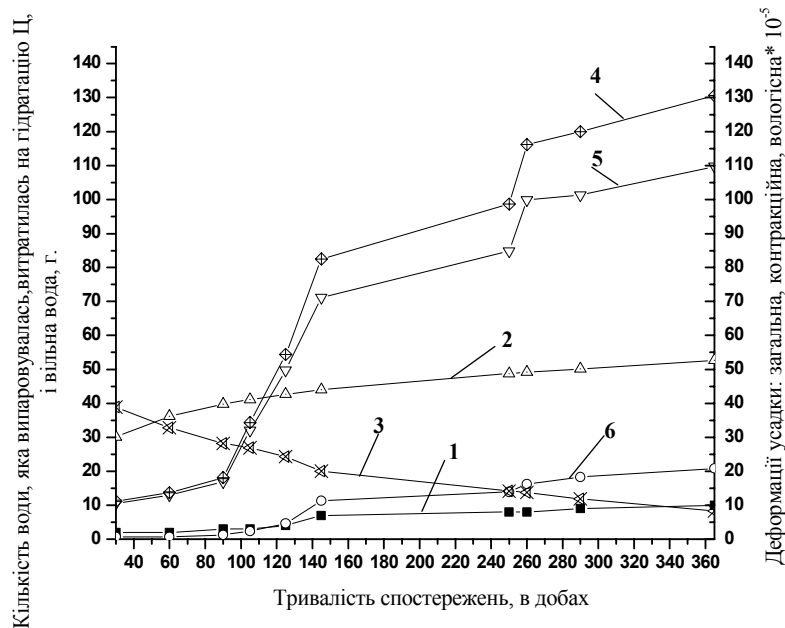


Рис. 5. Суміщений графік зразків складу 1:2:0,35(П-2,5 %; СДБ-1 %)

Для повного аналізу результатів досліджень, основні показники наведені в табл. 4 до рис. 4 і 5.

Таблиця 4

Стрімкі підйоми деформацій усадки

№ з/п	Кільк. діб	Випаров., г	$\varepsilon_y^g \cdot 10^{-5}$	Гідратація, г	$\varepsilon_y^k \cdot 10^{-5}$	$\sum \varepsilon_y \cdot 10^{-5}$	ДВВ, ВВ, г	Домішки, %		Склади
								П	СДБ	
1	360	10	20,83	52,7	109,77	130,6	8,3	5	1	С-3,3А 1:2:0,35
2.	360	7	8,79	52,7	66,21	75,0	11,3	2,5	1	С-4,3А 1:2:0,35

На графіках залежності загальної усадки зразків від тривалості спостережень бачимо стрімкі підйоми деформацій усадки, які також залежать від кількості П. На рис. 4 цей підйом починається з 195 доби, а на рис. 5 – з 90 доби досліджень. На графіку зразків, які вміщують 2,5 % П, цей підйом еквівалентний усадці $60 \cdot 10^{-5}$, а на графіку зразків, які вміщують 5 % П, – $73 \cdot 10^{-5}$ при загальних усадках відповідно – 75 і $131 \cdot 10^{-5}$. Пояснення таких результатів може бути лише одне. Як видно на графіках, майже одночасно із зростанням усадок починає збільшуватись величина випаровування, і таке незначне збільшення випаровування води спричиняє значне збільшення деформацій усадки.

За структурною теорією О.Є. Шейкіна така ситуація пояснюється випаровуванням адсорбційної і міжплощинної води шаруватих кристалів гідросульфалюмінатів кальцію [3].

Це означає, що чим більше поташу в зразках, тим більше в них кристалічної складової, а менше гелевої. Поділ загальної усадки на дві складові здійснювався за гіпотезою: “кількість води, яка випаровувалась з призматичних зразків пропорційна вологісній складовій, а яка витратилась на гідратацію цементу – контракційній складовій загальної усадки” [1]. Оскільки в зразках на БГПЦ з домішками П і СДБ випаровування води із поверхні зразків значно менше, ніж у зразках на звичайному ПЦ, то товщина шару, з якого випаровується вода, досить мала і дорівнює 0,2–0,3 см.

Висновки: За методикою [4] при дослідженнях деформацій усадки будують залежності відносної деформації усадки від зменшення вологості бетону за масою і визначають коефіцієнт β

за відношенням відносних деформацій усадки (мм/мм), які зумовлені зменшенням його вологості за масою (г/г) на одиницю при рівномірному висиханні. Геометрично цей коефіцієнт дорівнює тангенсу кута нахилу кривої відносних деформацій усадки бетону до осі зміни його вологості за масою $\beta = tg\alpha$. Також визначають розрахункову граничну деформацію усадки, яка визначається досушуванням зразка до постійної маси.

1. Лівша Р.Я., Орловський Ю.І. Фізико-математична модель деформації усадки і випаровування води із призматичних зразків // *Матеріали III Науч.-прак. семінара, Ровно, 2003.*
2. Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учетом ползучести. – М.: Стройиздат, 1974. – 439 с.
3. Шейкин А.Е. Структура, прочность и трещиностойкость цементного камня. – М.: Стройиздат, 1974. – 192 с.
4. Методические рекомендации по исследованию усадки и ползучести бетона. – М.: НИИЖБ, 1975. – 117 с.
5. Вплив масштабного фактору та співвідношення вологісної і контракційної складових загальної усадки цементно-піщаних розчинів на напружений стан виробів і конструкцій на їх основі // *Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*. – 2002. – № 460.

УДК 624.014.2

М.Р. Більський, М.В. Котів

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельного виробництва

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЗДОВЖНЬО-СТИСНУТИХ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ, ПОСИЛЕНИХ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ

© Більський М.Р., Котів М.В., 2004

Описана методика і наведені результати експериментальних досліджень великогабаритних моделей поздовжньо-стиснутих сталевих конструкцій, посилені під навантаженням.

The presented papers deals with a specific problem of reconstruction joint metal structures and describe experimental methods research longitudinal compressed steel designs, intensified under the loading.

Актуальність проблеми. Посилення сталевих конструкцій існуючими (традиційними) методами призводить не тільки до невіраваних витрат металу, але і до значних збитків, які матимуть підприємства від простоювань основних фондів у зв'язку із необхідністю значного розвантаження конструкцій перед їх посиленням. Можливість посилення конструкцій під експлуатаційним навантаженням досягається попередньо-напружуючими елементами посилення [1–3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати досліджень сталевих конструкцій, посилені під навантаженням, наведені в монографіях [2–3]. Разом з тим не отримали достатнього експериментального підтвердження практично важливі питання впливу зварювання на роботу посилюваних конструкцій під навантаженням, найраціональнішої величини напружуючих зусиль.

Метою роботи було дати експериментальне підтвердження теоретичних положень [2, 3] про ступінь впливу попереднього напруження на роботу сталевих поздовжньо-стиснутих конструкцій як під час їхнього посилення, так і після посилення і збільшення на них зовнішнього навантаження.

Задачі досліджень (постановка завдання) зводились ось до яких: а) оцінка роботи стиснутих елементів сталевих конструкцій різних гнучкостей, з різними ексцентриситетами прикладання і