

**НОВІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСУ ВИПАРОВУВАННЯ ВОДИ ПРИ ДОСЛІДЖЕННЯХ
ДЕФОРМАЦІЙ УСАДКИ ЦЕМЕНТНО-ПІЩАНИХ РОЗЧИНІВ І БЕТОНІВ**

© Лівша Р.Я., 2004

Описуються особливості випаровування води під час вивчення деформацій усадки із призматичних зразків з поперечним перетином від 0,0016 до 0,04 м² і довжиною 0,16 і 0,515 м. Прийняті гіпотези, що вода випаровується із таких зразків лише з поверхневого шару, товщина якого залежить від кількості цементу. Друга гіпотеза – про поділ загальної усадки на дві складові: вологісну і контракційну. Наводиться підтвердження прийнятих гіпотез.

У статті [1] описана методика поділу загальної усадки цементно-піщаних розчинів (ЦПР) і бетонів на дві складові: контракційну і вологісну. Для цього ми використали гіпотезу-1: “кількість води, яка випаровується із зразків, пропорційна вологісній складовій загальної усадки, а кількість води, яка витратилась на гідратацію цементу – контракційній складовій”.

Своєю простотою вона викликала сумніви у деяких дослідників. Аналогічні сумніви виникають при використанні гіпотези-2, що вода випаровується лише з поверхневого шару зразків певної товщини, яка залежить від розмірів зразків і їх складу, і що всередині зразків є масив (ядро), з якого не випаровується вода, а відбувається контракційна усадка і створюються кращі умови для гідратації цементу. Відповідно міцнісні характеристики ядра є більшими.

Майже всі експериментальні дослідження деформацій усадки, описані в технічній літературі, дають інформацію лише про сумарну (загальну) її величину без поділу на вище перераховані, що приводить до недооцінки фактичного напруженого стану зразків і, відповідно, конструктивних бетонних і залізобетонних елементів.

Крім того, методика досліджень деформацій усадки бетону за досить тривалий час практично не удосконалювалась і не відповідає фізиці процесу твердіння цементного каменю (ЦК).

Постає питання, чому при дослідженнях деформації усадки контролюють тільки кількість води, яка випаровується? Коли відомо, що зразу ж після перемішування складових ЦПР чи бетону, починається хімічна реакція гідратації цементу, на яку витрачається теж значна кількість води (на 3,15 г цементу на повну гідратацію необхідно 1,2 г води за даними [2]). Відомо також, що багато дослідників перше зважування зразків після виготовлення і зберігання в камері з водяним замком починають через 2–4 доби і більше. За цей час значна частина води витрачається на гідратацію цементу і відбувається відповідна частина контракційної усадки, якщо вода не випаровується, і вологісної, якщо вода випаровується, що негативно впливає на достовірність отриманих результатів.

Мета досліджень:

- перевірити справедливості гіпотез про поділ загальної усадки на дві складові: вологісну й контракційну і про випаровування води тільки з поверхневого шару зразків;
- провести додаткові дослідження твердості ЦК в різних місцях зламу зразків зрілого віку (більше 12 років) після визначення їх міцності на згин $R_{(btb)}$;
- перевірити міцнісні і деформативні характеристики внутрішнього ядра зразків.

Об’єктом дослідження були зразки із ЦПР і бетону 3-х серій:

1. Розмірами 0,04x0,04x0,16 м складів 1:1:0,4, 1:2:0,4, 1:3:0,4 і 1:2:3:0,4, які тверділи після виготовлення в повітряно-сухих умовах.
2. Зразки таких самих складів і розмірів повністю опарафіновані після виготовлення.
3. Зразки розмірами 0,04x0,04x0,16 м, 0,1x0,1x0,515 м і 0,2x0,2x0,515, які також тверділи в повітряно-сухих умовах.

Предметом дослідження були:

- загальні деформації усадки $\sum \varepsilon_y$, ε_y^b , ε_y^k , вологісна і контракційна складові загальної усадки;
- товщина поверхневого шару, з якого випарувалась вода.

Наукова новизна проведених досліджень полягає у розвитку існуючої методики дослідження деформацій усадки, у застосуванні гіпотези-1 для поділу загальної усадки на дві складові, у контролюванні при дослідженнях деформацій усадки не тільки води, яка випаровується і яка витрачається на гідратацію цементу, у застосуванні гіпотези-2, що вода випаровується тільки з поверхневого шару зразків, товщина якого залежить від їх складу і розмірів, що всередині зразків є ядро, з якого вода не випаровується, тому міцнісні характеристики поверхневого шару і ядра значно відрізняються.

Для перевірки гіпотез виготовили 2 серії зразків. Зразки першої серії зберігались на стелажах в умовах всестороннього висихання, зразки другої серії повністю опарафіновувались, щоб виключити зовсім випаровування води. У таких зразках відбувається тільки контракційна усадка. Виготовлення зразків, матеріали яких використовувались, і методика досліджень деформацій усадки описана в праці [1].

В табл. 1 наведені результати дослідження деформацій усадки зразків двох серій за 71 добу спостережень.

Таблиця 1

Порівняння контракційних усадок $\times 10^{-5}$ зразків повітряно-сухого зберігання і опарафінованих

№ з/п	Склади зразків	Загальна усадка і її складові зразків повітряно-сухого зберігання			Контракційна усадка опарафінованих зразків		
		$\sum \varepsilon_y$	ε_y^b	ε_y^k	ε_y^k	Різниця усадок	Відхилення, %
1	1:1:0,4	143,17	73,69	69,48	72,05	2,57	3,70
2	1:2:0,4	120,00	70,99	49,01	50,00	0,99	2,02
3	1:3:0,4	106,87	73,99	32,88	32,41	0,47	1,45
4	1:2:3:0,4	75,00	43,45	31,55	31,13	0,42	1,35

Як видно з таблиці, значення контракційних усадок двох серій відрізняються на 1,35–3,70 %, що свідчить про надійність гіпотези-1 і методики поділу загальної усадки ЦПР і бетонів на дві складові. У підтвердження вже описаного [1] наводимо графік залежності товщин поверхневих шарів зразків третьої серії розмірами 0,04x0,04x0,16, 0,10x0,10x0,515 і 0,2x0,2x0,515 м, з яких випарувалась вода до моменту стабілізації їх маси і деформацій усадки, від коефіцієнта їх масивності; K_m – відношення площі поперечних перетинів зразків до їх периметрів.

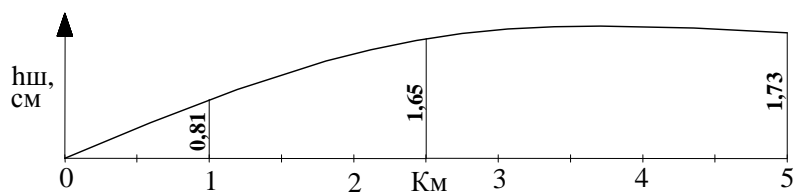


Рис. 1. Залежність товщини поверхневих шарів зразків третьої серії, з яких випарувалась вода, від їх коефіцієнта масивності

Як видно з графіка (рис.1) залежність має загасаючий характер. Товщина шару найбільшого зразка перевищує товщину шару середнього за розмірами зразка на 4,8 %. Можна вважати, що при більших розмірах зразків від тих, які використовувались у дослідженнях (0,02x0,02x0,515 м), товщина шару, з якого випаровується вода, суттєво не зміниться.

Для підтвердження гіпотези, що в ядрах зразків, які утворюються після випаровування води з поверхневого шару, характеристики міцності і деформативності є більшими, у зв'язку з більш сприятливими умовами твердіння, виготовили дві серії зразків складів 1:2:0,45 і 1:3:0,5, які після виготовлення 28 днів тверділи у повітряно-сухих умовах і у воді.

Умови твердіння вибрані відповідно до умов твердіння поверхневого шару і внутрішнього масиву зразків, з якого не випаровується вода.

Результати дослідження зміни міцнісних характеристик в часі (R_b , R_{btb} і E_{pp}) подані в табл. 2.

Таблиця 2

Зміна модуля пружності (E_{pp}), міцності на стискання (R_b) і на згин (R_{btb}) дослідних зразків

Через 28 днів					
Показники		$R_b, R_{btb}, \text{МПа}$		$E_{pp} \cdot 10^{-3}, \text{МПа}$	
Умови твердіння		У воді	Повітряно-сухі	У воді	Повітряно-сухі
Склади	1:2:0,45	28,8/6,3	16,4/4,3	21,19	16,05
	1:3:0,50	20,0/5,1	13,2/3,0	17,86	13,63
Через 3 роки					
Склади	1:2:0,45	61,6/8,1	26,0/5,4	32,00	25,80
	1:3:0,50	46,2/6,4	20,7/6,3	28,50	21,40
Через 12 років					
Склади	1:2:0,45	70,8/8,9	35,0/6,0	33,90	31,60
	1:3:0,50	57,8/8,5	27,4/6,6	35,10	28,90

Як видно з табл. 2, міцність зразків R_b і R_{btb} , складів 1:2:0,45 і 1:3:0,50, які 28 днів після виготовлення тверділи у воді, а наступні 12 років зберігались у повітряно-сухих умовах, відповідно зросла в 2,46 і 2,89 раза, в той час як зразків, які постійно тверділи в повітряно-сухих умовах показники міцності R_b і R_{btb} , збільшились в 2,13 і 2,08 раза.

Модулі пружності зразків таких самих складів і умов зберігання відповідно збільшились в 1,6 і 1,97 та 1,97 і 2,12 раза.

Таким чином ще раз підтвердилась гіпотеза-2 про випаровування води тільки з поверхневого шару і утворення у внутрішньому масиві зразків ядра, міцнісні і деформативні властивості якого значно більші ніж в шарі випаровування.

Дослідженню твердості ЦК на зламі зразків надавали вирішального значення. Для важливих досліджень використали зразки із ЦК з В/Ц рівним 0,2, 0,3 і 0,4 виготовлені в 1980 році. Зразки з В/Ц 0,2 і 0,3 тверділи спочатку 28 днів в повітряно-сухих умовах, зразки з В/Ц – 0,4 – в камері з водяним замком. До моменту випробувань в 2002 р. зразки зберігались на стелажах у лабораторії в умовах всестороннього висихання.

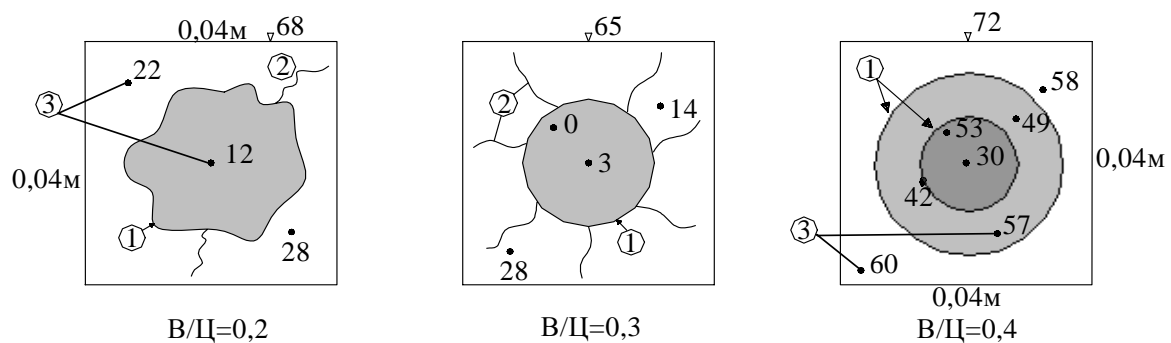


Рис. 2. Схеми зламу зразків з контурами ядра (1), тріщинами і показниками твердості в різних місцях зламу

Дослідження проводили твердоміром моделі ТК-2 із шкалою НВ по Роквелу з навантаженням 60 кг. Покази твердоміра даються в умовних одиницях. Більшій твердості відповідають менші значення показів. Після випробування зразків на згин їх міцність відповідно збільшенню В/Ц дорівнювала: 5,1; 2,4 і 6,1 МПа. Звичайно, що на міцність вплинули тріщини (рис. 2).

На рис. 2 схематично показані поверхні зламу зразків, контури ядер (1), тріщини (2), твердість в умовних одиницях (3) у вибраних місцях – в центральній частині, на периферії і на поверхні зразків. Як видно, на всіх зразках в межах ядра твердість найбільша, за межами ядра – має середні значення, а на поверхні зразків твердість найменша.

В результаті досліджень твердості на зламі зразків встановлено:

- міцність на згин зразків пропорційна площі перетину ядра;
- чим менший діаметр ядра, тим більша його твердість;
- тріщини розповсюджуються лише від ядра до периферії, в ядрі тріщин не зафіксовано;
- кількість тріщин на зламі залежить від умов твердіння зразків після виготовлення і В/Ц;
- на межі ядра з поверхневим шаром спостерігались дефекти, тріщини.

Висновки:

1. Як показали дослідження зразків 1-ї і 2-ї серій, розходження між контракційною усадкою опарафінованих зразків і контракційною усадкою зразків повітряно-сухого зберігання, визначеною за гіпотезою-1, не перевищує 3,7 %, що підтверджує його достовірність і необхідність використання.

2. Дослідження зразків 3-ї серії показали, що при коефіцієнті масивності 5 і більше товщина поверхневого шару, з якого випаровується вода, не повинна вже збільшуватись, звичайно для зразків, виготовлених із ЦПР такого ж складу. Фактично в цьому випадку діє правило, чим більша пористість зразків, тим більша товщина поверхневого шару, з якого випаровується вода.

3. Дослідження міцнісних R_b і R_{btb} і деформативних характеристик (E_{np}) зразків складів 1:2:0,45 і 1:3:0,50, які після виготовлення тверділи в умовах, в яких твердіє ЦК в поверхневому шарі і у внутрішньому масиві відповідно з 28 діб до 12 років, збільшились в 2,46 і 2,89 та в 2,13 і 2,08 раза, а модулі пружності відповідно в 1,60 і 1,97 та в 1,97 і 2,12 раза, що теж підтверджує достовірність прийнятої гіпотези про випаровування води з призматичних зразків.

4. Дослідження твердості на зламі зразків зрілого віку з різним В/Ц – відношенням остаточно переконали про достовірність прийнятої моделі випаровування води із призматичних зразків з коефіцієнтом масивності до 5 і більше.

1. Лівша Р.Я. Вплив масштабного фактора та співвідношення вологісної і контракційної складових загальної усадки цементно-піщаних розчинів на напружений стан виробів і конструкцій на їх основі// Вісн. Національного університету "Львівська політехніка". – 2002. – № 462.
2. Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. – М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.