

## ДЕФОРМАТИВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЗАВТОКЛАВНОГО ПІНОБЕТОНУ ДЛЯ ШАРІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

© Горніковська І.Б., Каганов В.О., 2013

Наведено результати виналення деформативних характеристик безавтоклавного пінобетону та пінобетону армованого волокнами поліпропіленової фібри. Випробування проводились за стандартною методикою та за методом, що базується на рівності значень модуля пружності бетону при стисканні і розтягу з використанням діаграми залежності "навантаження-деформація".

**Ключові слова:** конструкційно-теплоізоляційний пінобетон, границя міцності, модуль пружності, тріщиностійкість, теплопровідність, теплоізоляційний шар.

**This paper is devoted to the results of deformation characteristics of concrete and reinforced foam concrete with fiber polypropylene fiber. Tests were carried out by the standard method and a method based on the values of equality elastic modulus of concrete in compression and tension using a chart based "stress-strain".**

**Key words:** structurally-insulated foam, limit strength, elastic modulus, fracture toughness, thermal conductivity, thermal insulation layer.

### Постановка проблеми

Останнє десятиліття характеризується застосуванням сучасних технологій та матеріалів, зокрема в галузі будівництва. Широко використовують матеріали з низькими показниками теплопровідності, що зумовлено необхідністю застосування енергоощадних технологій у будівництві. Зокрема, на сьогодні в Україні значно нарощуються об'єми виробництва пінобетону безавтоклавного тверднення. Українські виробники газо- і пінобетону демонструють щорічне зростання об'ємів виробництва на 10,4 %. За існуючими оцінками, виробничі потужності повинні забезпечити щороку випуск ніздрюватих бетонів обсягом не менше 100 куб. метрів на 1000 українців, що становить 4,6 млн. куб. метрів виробів на рік [1]. Вищезгадане зростання виробництва зумовлене привабливістю пінобетону як ефективного конструкційно-теплоізоляційного матеріалу з високими теплоізоляційними властивостями.

Застосування новітніх технологій та теплоізоляційних матеріалів необхідне не лише у галузі житлового та громадського будівництва, а й у галузі дорожнього будівництва. Закордонний досвід будівництва автомобільних доріг показав ефективність застосування теплоізоляційних матеріалів у конструкції дорожнього одягу. Дослідження та застосування різних теплоізоляційних матеріалів у дорожньому будівництві розпочались ще у середині ХХ ст., оскільки проблема зниження величини промерзання земляного полотна дорожнього одягу важлива не лише для автомобільних доріг України.

В умовах зростаючого транспортного навантаження, збільшення інтенсивності та швидкості руху по автомагістралях України збільшуються витрати на капітальні та поточні ремонти автомобільних доріг для організації безпечного руху на них. Одним із способів зниження вартості дорожньо-транспортної інфраструктури є впровадження у проектну та будівельну практику нових матеріалів, які би забезпечили високу якість покриття протягом гарантованого експлуатаційного періоду.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Останні роки (як в Україні, так і закордоном) характеризуються підвищеним інтересом до безавтоклавного пінобетону, як до сучасного та ефективного теплоізоляційного матеріалу в дорожньому будівництві [2, 3]. Одним з нових, перспективних та інноваційних напрямів засто-

сування монолітного безавтоклавного пінобетону – будівництво автомобільних доріг та штучних споруд. У конструкції дорожнього одягу пінобетон може виконувати одразу дві функції – теплоізоляційного шару та розподілу навантажень у масиві дорожнього одягу.

Використання будь-якого матеріалу, зокрема пінобетону, у будівництві пов’язане з дослідженнями його фізико-механічних характеристик. Для оцінки конструкційних якостей безавтоклавного пінобетону застосовують різні величини, серед яких: марку пінобетону за густиною (D), клас пінобетону за міцністю на стиск LC (B), який признається за характеристичним значенням кубикової міцності  $f_{ck,cube}$  (R), призмову міцність пінобетону на стиск  $f_{ck,prism}$  ( $R_{bn}$ ) та його міцність на розтяг  $f_{ctk,prism}$  ( $R_{btn}$ ), початковий модуль пружності пінобетону  $E_c$  ( $E_b$ ), а також показники тріщиностійкості матеріалу.

Фізико-механічні характеристики ніздрюватих бетонів в Україні регламентовані основним нормативним документом ДСТУ Б В.2.7-45:2010 «Будівельні матеріали. Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови» [4]. Перелік вищезгаданих параметрів наведено в табл. 1, у якій систематизовані нормативні показники з посиланнями на сучасні та раніше використовувані літературні джерела.

Таблиця 1

**Фізико-механічні показники бетонів**

Вид безавтоклавного пінобетону	Марка за середньою густиною		Клас за міцністю на стиск		
	ГОСТ 25485-89	За ДСТУ Б В.2.7-45 [4]	ГОСТ 25485-89	За СНиП 2.03.01-84* [5]	За ДСТУ Б В.2.7-45 [4]
Теплоізоляційний	–	D200	–	–	B 0,35 B 0,5 B 0,75
	–	D250	–	–	
	D300	D300	–	–	
	D350	D350	–	–	
	D400	–	B 0,5; B 0,75	–	
	D500	–	B 0,75; B 1	–	
Конструкційно-теплоізоляційний	–	D400	–	–	B1
	D500	D500	–	–	B 1,5 B2
	D600 D700	D600	B1; B2	B1; B1,5	B 1,5
		D700	B1,5; B2; B2,5	B1,5; B2; B2,5	B 2 B 2,5
	D800 D900	D800	B2; B2,5; B3,5	B2; B2,5; B3,5	B 2
		D900	B2,5; B3,5; B5	B3,5; B5	B 2,5 B 3,5 B 5
Конструкційний	D1000	D1000	B5; B7,5	B5; B7,5	B 5
	D1100	D1100	B7,5; B10	B7,5; B10	B 7,5 B 10 B 12,5
	D1200	–	B10; B12,5	B10; B12,5	–

### Мета і задачі досліджень

Оскільки в чинному стандарті жодних деформативних та міцнісних характеристик, окрім класу за міцністю на стиск, не регламентовано, то визначення фактичних параметрів модуля пружності, границі міцності при згині та характеристик тріщиностійкості мають не лише науковий, але й практичних інтерес для проектування шарів дорожнього одягу та влаштування автомобільних доріг.

В інженерній практиці зазвичай контролюють лише перші два із зазначених вище параметрів (марку за густиною D та клас за міцністю LC (B)), а інші приймають відповідно до норм про-

ектування або за емпіричними залежностями, оскільки загально відомо, що існує певний взаємозв'язок міцнісних характеристик бетонів. Однак фактично такі залежності є справедливими лише для конкретного типу пінобетону, який визначається його рецептурним складом та технологією виготовлення. У разі використання безавтоклавного пінобетону в конструкції автомобільних доріг практичний інтерес викликає визначення таких параметрів, як міцність пінобетону на розтяг при згині, модуль пружності, характеристики тріщиностійкості, відносне видовження при деформаціях, а також характер роботи матеріалу в критичній та закритичній стадіях.

### Результати досліджень

Для цього в Національному університеті “Львівська політехніка” в лабораторіях Інституту будівництва та інженерії доквілля проводяться перші на території України наукові дослідження з метою визначення деформативних характеристик конструкційно-теплоізоляційних безавтоклавних пінобетонів з середньою густиною в діапазоні від D 600 до D 1000.

Для виготовлення дослідних зразків пінобетону використовувався портландцемент ПЦ- I 500 ВАТ “Миколаївцемент”, пісок кварцовий ВАТ “Кар’єроуправління” Яворівського р-ну Львівської області з модулем крупності  $M_{кр} = 1,18$  та піноутворювальна добавка Centripor SK 100 виробництва MC-Bauchemie (Німеччина) [3].

Виготовлено дослідні зразки для визначення міцності пінобетону при стиску (куби з розміром ребра 100 та 150 мм), призми (розміром 100×100×400 мм та 150×150×600 мм) для встановлення модуля пружності. Водночас були заформовані балочки розміром 40×40×160 мм, на яких визначали модуль пружності та міцність пінобетону на розтяг при згині за методом, що ґрунтується на рівності значень модуля пружності бетону під час стискання і розтягування з використанням діаграми залежності “навантаження-деформація”. Отримано також графік деформацій розтягнутої поверхні пінобетонних дослідних зразків (див. рис. 1 та 2). Отримані результати випробувань подано в табл. 2 та 3.

Таблиця 2

Результати випробувань дослідних зразків пінобетону

№ серії зразків	Марка пінобетону за густиною	Кубкова міцності в серії, МПа	Під час випробування призми розміром 150×150×600 мм		Під час випробування балочок розміром 40×40×160 мм	
			Міцності на розтяг при згині, МПа	Модуль пружності, МПа×10 <sup>-3</sup>	Міцності на розтяг при згині, МПа	Модуль пружності, МПа×10 <sup>-3</sup>
1	3	4	5	6	7	8
1-1	D700	0,896	0,253	0,514	0,224	0,502
1-2	D700	0,824	0,237	0,528	0,242	0,536
1-3	D700	0,855	0,242	0,541	0,217	0,527
1-7	D1000	2,572	0,630	1,436	0,619	1,422
1-8	D1000	2,699	0,659	1,418	0,694	1,442
1-9	D1000	2,603	0,652	1,449	0,625	1,433

У результаті аналізу випробувань пінобетонних зразків серій, поданих у табл. 2 та 3 розбіжність отриманих результатів досліджень проведених за стандартними методами та за методом, що ґрунтується на рівності значень модуля пружності бетону під час стискання і розтягу з використанням діаграми залежності “навантаження–деформація” не перевищує 12 %, що свідчить про високу збіжність результатів.

Отримані значення міцності пінобетону при стиску є дещо нижчими порівняно з вимогами, регламентованими [2]. Цей факт пов'язаний з технологічними особливостями виготовлення цього

пінобетону (максимальне наближення до виробничих умов будівництва автомагістралей), температура зовнішнього середовища в момент виготовлення та набирання міцності ( $\approx +8 \pm 10$  °С) та рецептурним складом пінобетону (330 кг портландцементу на 1 м<sup>3</sup>, що дає можливість зробити його економічно ефективним матеріалом та забезпечити широке його застосування в дорожньому будівництві).

Таблиця 3

**Результати випробувань дослідних зразків пінобетону армованого волокнами поліпропіленової фібри**

№ серії зразків	Марка пінобетону за густиною	Кубкова міцності в серії, МПа	Під час випробування призм розміром 150×150×600 мм		Під час випробування балочок розміром 40×40×160 мм	
			Міцності на розтяг при згині, МПа	Модуль пружності, МПа×10 <sup>-3</sup>	Міцності на розтяг при згині, МПа	Модуль пружності, МПа×10 <sup>-3</sup>
1	3	4	5	6	7	8
1-1	D700	0,921	0,348	0,700	0,319	0,627
1-2	D700	0,898	0,309	0,645	0,319	0,611
1-3	D700	0,932	0,363	0,534	0,315	0,615
1-7	D1000	2,767	0,693	1,549	0,713	1,500
1-8	D1000	2,791	0,673	1,562	0,731	1,559
1-9	D1000	3,116	0,712	1,587	0,749	1,537

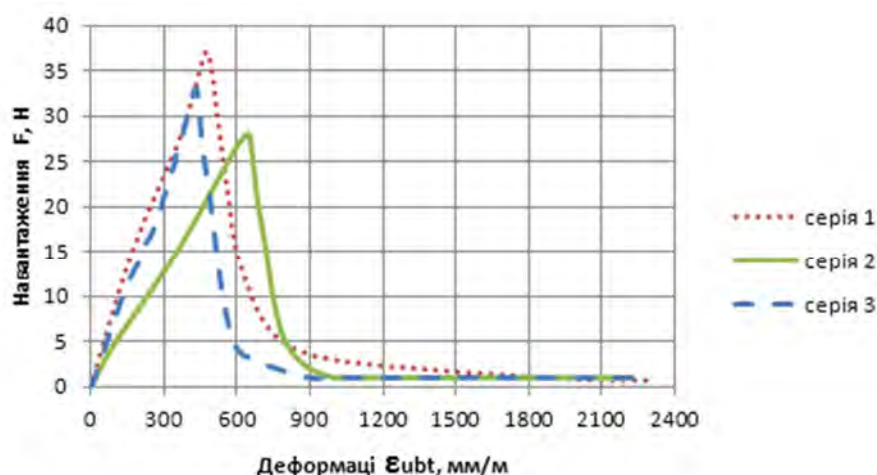


Рис. 1. Графік “навантаження–деформація” розтягнутої поверхні зразка пінобетону з середньою густиною D700 трьох серій зразків

Як видно з графіків, величина деформацій до настання критичної точки руйнування коливаються в межах 430–650 мм/м. Вихідна крива деформацій має прямолінійну залежність від величини прикладеного навантаження. У разі досягнення граничного значення прикладеного навантаження спостерігається спад навантаження. Спадна вітка графіку має такий самий характер і прямо пропорційну залежність від величини навантаження, як і вихідна вітка.

Характер деформацій зразків армованих волокнами поліпропіленової фібри відрізняється від дослідних зразків, у складі яких не використовувались волокна фібри. Максимальна величина деформацій до настання критичної точки руйнування коливаються в межах 1600–2940 мм/м і настає на другому піку навантаження (див. рис. 2). Спадна вітка графіку, не має прямо пропорційної залежності від величини прикладеного навантаження. Загалом величина граничних деформацій дослідних зразків пінобетону армованого волокнами поліпропіленової фібри в 3,7–4,5 рази вища за деформації зразків без волокон фібри.

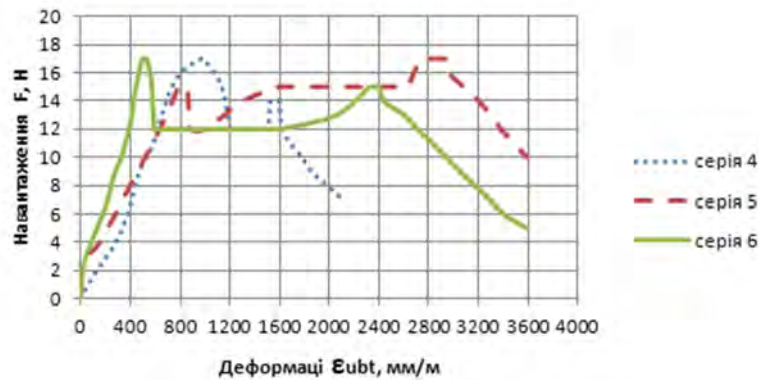


Рис. 2. Графік “навантаження–деформація” розтягнутої поверхні зразка пінобетону армованого волокнами поліпропіленової фібри з середньою густиною D700 трьох серій зразків

Міцність пінобетону при стиску не є основною характеристикою безавтоклавного пінобетону армованого волокнами поліпропіленової фібри в разі його використання в конструкції дорожнього одягу, оскільки більш суттєве значення має значення міцності пінобетону на розтяг при згині та характер роботи матеріалу під час навантаження.

Відповідно до наведених вище графіків (рис. 1, 2) пінобетон за відсутності армувальних волокон поліпропіленової фібри має крихкий характер руйнування. Конфігурація висхідних віток графіків неармованого та армованого фіброю пінобетону майже збігаються між собою. Водночас конфігурація спадних віток графіків відрізняються, що свідчить про кардинально інший характер руйнування.

За наявності в складі пінобетону волокон поліпропіленової фібри спостерігаються явно виражена границя текучості матеріалу, яка збільшує закритичну стадію деформацій. Крім того, спостерігається другий пік граничних навантажень на досліджуваній матеріал, і тільки після останнього настає руйнування пінобетону.

Так, можна говорити про те, що, вводячи до складу пінобетону волокна поліпропіленової фібри, суттєво зростає закритична стадія роботи матеріалу, яка значно покращує деформативні характеристики безавтоклавного пінобетону та має важливе значення в разі його використанні в конструкції дорожнього одягу.

### Висновки

За проведеними теоретичними та експериментальними дослідженнями можна зробити висновок, що безавтоклавний пінобетон, армований поліпропіленовими волокнами має менш крихкий характер руйнування, велику закритичну стадію роботи, що дає змогу ефективно працювати матеріалу після утворення тріщин. Такий характер роботи добре підходить для використання в конструкції дорожнього одягу автомобільних доріг.

Дослідження в цьому напрямку продовжуються з метою встановлення критеріїв тріщино-стійкості конструкційно-теплоізоляційного пінобетону як матеріалу, що застосовується в конструкції дорожнього одягу

1. Ніздрюваті бетони: вчора, сьогодні, завтра [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://eco-ua.org/index.php?d\\_id=5&item=articles&sub=4830](http://eco-ua.org/index.php?d_id=5&item=articles&sub=4830). 2. Коваль П.М., Фаль А.Є., Кушнір О.В., Усатов В.В. Перспективи використання пінобетону в дорожньому будівництві України // Дорожня галузь України. – 2008, № 2. – С. 54–56. 3. Каганов В.О., Горніковська І.Б. Шляхи використання безавтоклавного пінобетону в дорожньому будівництві // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Теорія і практика будівництва. – 2008. – № 627 – С.116–121. 4. Будівельні матеріали. Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови : ДСТУ Б В.2.7-45-2010 (Національний стандарт України). 5. Бетонные и железобетонные конструкции : СНиП 2.03.01-84\*. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с. 6. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из ячеистых бетонов (к СНиП 2.03.01-84) / ЦИТП Госстроя СССР № 1986. – 94 с.