

УДК 691.32

**ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
НЕАВТОКЛАВНОГО ПІНОБЕТОНУ
ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ
У ЯКОСТІ КОНСТРУКЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ**

**INVESTIGATION OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES
OF NON-AUTOCLAVE FOAM CONCRETE
FOR USE AS CONSTRUCTION MATERIAL**

**Панчук М.Ю., магістр, Матіяшук А.В., магістр, Ротко С. В., к.т.н.,
доц. (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)**

**Panchuk M., master, Matiyashuk A., master, Rotko S.V., Ph.D. in
Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University,
Lutsk)**

Досліджуються фізико-механічні властивості монолітного неавтоклавного пінобетону для застосування у якості конструкційного матеріалу. Наведено класифікацію пінобетонів за середньою густиною. Описано технології виготовлення матеріалу. Досліджується вплив на міцність та деформативні властивості пінобетону структури повітряних пор, складу густини, вологості, характеристик використаних матеріалів, зокрема, піноутворювачів і методів поризації.

The physical-mechanical properties of monolithic non-autoclave foam concrete for use as structural material are studied. Classification of foam concrete with average density is given. The technology of material fabrication is described. The influence on the strength and deformation properties of foam concrete on the shape and size of the sample, porosity, structure of air pores, density, water-cement and air-cement ratio, age, humidity, characteristics of used materials, in particular, foam formers and methods of porosification are studied.

Ключові слова: бетони ніздрюваті, класифікація, технологія виготовлення, середня густина, міцність, деформативність.

Keywords: aerated concrete, classification, manufacturing technology, average density, strength, deformability.

Актуальність теми. Відомо, що визначальною перевагою пінобетону є невелика вага, яка забезпечує завдяки його пористій структурі високий ступінь теплоізоляції. За відповідної технології можна отримати пінобетон різної густини ($300-1200 \text{ кг/м}^3$), що в свою чергу дає можливість гнучкого застосування його як огорожувального, ізоляційного та навіть конструкційного матеріалу.

Суттєвий вплив на міцнісні та деформативні властивості неавтоклавного пінобетону мають підбір складу, технологія виготовлення, характеристики окремих компонентів (цементу, піску), співвідношення води та цементу тощо. Тому вивчення фізико-механічних характеристик пінобетону має особливий практичний інтерес.

Метою дослідження є розширення знань про міцнісні та деформативні властивості пінобетону залежно від складу та технології його виготовлення.

Основна частина. Монолітний пінобетон є ефективним сучасним будівельним матеріалом з дуже широкою областю використання. Ефективність його зумовлена цілою низкою факторів: простотою устаткування для виготовлення пінобетонної суміші; мобільністю установок; можливістю варіювання властивостями пінобетону від теплоізоляційного з маркою за середньою густиною D300 до конструкційного з маркою D1200; мінімальним енергоспоживанням (встановлена потужність існуючих мобільних установок для виготовлення пінобетону від 5 до 10 кВт); низькою матеріаломісткістю, оскільки заповнювачем є повітря; високою економічністю. Хоча пінобетон спочатку вважався лише хорошим теплоізолюючим матеріалом, нещодавно відновився інтерес до його конструкційних властивостей з огляду на його меншу вагу, економію матеріалів і можливості масштабної утилізації відходів.

Згідно з ДСТУ Б В.2.7-45-96 «Бетони ніздрюваті. Технічні умови» пінобетони поділяють на такі види:

– конструкційні з маркою за середньою густиною від D1000 до D1200;

– конструкційно-теплоізоляційні з маркою за середньою густиною D500-D900;

– теплоізоляційні з маркою за середньою густиною D300-D500.

На сьогодні існує декілька технологій виготовлення пінобетону. Виготовлення за класичною технологією відбувається шляхом змішування попередньо приготованої піни з розчином цементно-піщаної суміші. Змінюючи подачу кількості піноутворювача, можна отримати вироби щільністю від 300 кг/м³ до 1200 кг/м³. Технологія виготовлення неавтоклавного пінобетону дуже проста, тому її використовують як на заводах, так і безпосередньо на будівництві.

Матеріали, необхідні для виготовлення пінобетону:

– цемент. Портландцемент марок М400 і М500. Використання портландцементу меншої активності небажане, тому що в цьому випадку може бути отриманий пінобетон зі зниженою міцністю. Підвищення міцності шляхом збільшення витрати цементу призводить до збільшення об'ємної ваги і, природньо, до погіршення теплоізолюючих властивостей [2];

– заповнювач. Найчастіше це пісок. Природний, просіяний, модуль крупності не більше двох одиниць, промитий. Глинисті домішки не повинні перевищувати 3% від маси. Рідше – різні виробничі відходи (зола винесення ТЕЦ, доломітове та вапнякове борошно, доменний шлак тощо);

– вода. Не забруднена жирами, гасом, маслами, не містить солі кальцію у великій кількості, кислоти, температурою не вище +25° С. Підходить питна вода. Вміст води в пінобетоні складається із розрахункової кількості, необхідної для замішування розчину, і води, що міститься в піні [3];

– піноутворювач. Рідкий піноконцентрат на органічній або неорганічній основі, білковий або синтетичний. Він повинен бути простим у приготуванні, добре розчинятися у воді, відповідати санітарно-гігієнічним нормам (нетоксичний, невибухонебезпечний, відповідає радіаційним вимогам). Норма витрати не повинна перевищувати 1,5 л на 1 м³ готового розчину. Кратність піноутворювача повинна бути не менше десяти. Піноконцентрат повинен зберігатися у герметично закритих дерев'яних чи пластмасових бочках, закритих від прямих сонячних променів, при температурі не вище +30°С. Піноконцентрат витримує зниження

температури до 5°C. Термін його збереження з моменту приготування складає 15-30 діб [4].

Пропорції суміші будуть різнитися залежно від того, яку щільність пінобетону необхідно отримати. Так, для виготовлення найбільш затребуваного пінобетону D600 (щільністю 600 кг/м³) використовується співвідношення: вода — 120 л, цемент — 310 кг, пісок — 210 кг, піна — 715 кг [5].

Весь процес приготування пінобетону на основі класичної технології з використанням піногенератора займає приблизно 7-12 хв. В окремій ємності розводиться піноконцентрат з водою. Отриманий розчин заливається в ресивер піногенератора та під тиском надходить у піногенератор, де з допомогою компресора спінується стислим повітрям. Якісна піна – білого кольору, здатна утримуватися у перевернутому відрі.

У змішувач спочатку засипається пісок, потім додається цемент та все перемішується до отримання однорідного кольору суміші. Дуже важливо рівномірно розподілити цемент у піску для забезпечення оптимальної якості пінобетону. Далі суміш розчиняється водою в кількості, відповідно обраної рецептури і перемішується до отримання однорідної пластичної маси. Потім за допомогою піногенератора певна порція піни (згідно з необхідною об'ємною щільністю бетону) подається по шлангу в змішувач, де протягом приблизно 120-180 секунд вона перемішується з раніше приготовленою цементно-піщаною сумішшю. Готова суміш транспортується насосом до місця укладання в форми або монолітну конструкцію.

Окрім класичної схеми виготовлення пінобетону досить поширеними є ще суха мінералізація піни та пінобаротехнологія. Під час сухої мінералізації вода, необхідна для гідратації цементу, вводиться разом з піною. Через це структура піни змінюється, що й дає можливість збільшити міцність пінобетону (рис. 1).

Пінобетон є відносно однорідним, якщо порівнювати його зі звичайним бетоном, оскільки він не містить крупного заповнювача, проте проявляє високу мінливість своїх властивостей.

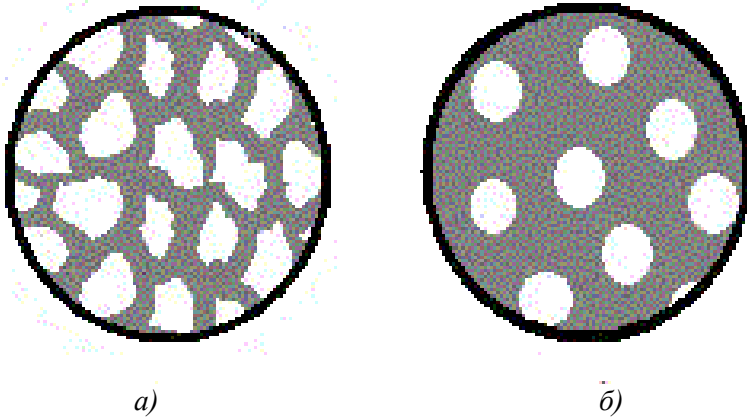
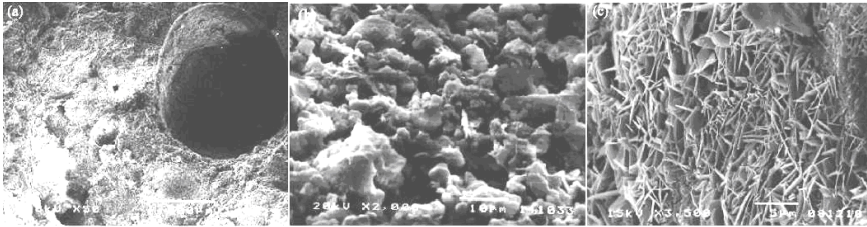


Рис. 1. Структура піни: а – при класичній технології; б – при сухій мінералізації

Властивості пінобетону залежать від його структури (системи пор і стінок) і складу, які залежать від виду в'язучої, методу поризації та догляду під час тверднення. Структура пінобетону характеризується її твердою мікропористою матрицею та макропорами. Макропори (пори величиною в діаметрі понад 60 нм) формуються внаслідок наростання повітряних бульбашок, а мікропори з'являються в стінках між макропорами [8]. Орієнтація продуктів гідратації цементу значно змінюється внаслідок наявності пор. Система пористості ніздрюватого бетону також класифікується розподілом пор за розміром на штучні повітряні пори, пори у стінках та пори міжкристалічні; їх розподіл в матриці визначає властивості пінобетону [6,9]. На рис. 2 (а)-(с) показана типова система пористості ніздрюватого бетону [8]. Стабільна і переважно сферична структура пор є необхідною для оптимальних конструкційних і функціональних властивостей [9,11]. Також пори повинні розміщуватися рівномірно. Розвиток макропор великого розміру значно зменшує густину. За певних умов густина пінобетону пов'язана з його щільністю і пористістю [12]. За відповідної технології можна отримати пінобетон різноманітної густини (300-1800 кг/м³). Метод пороутворення у пінобетоні (на відміну від газобетону) вважається найбільш економічним і контрольованим [11,12], оскільки не зачіпає ніяких хімічних реакцій. Піноутворювачами виступають детергенти, каніфольне

мило, клеєканіфольний піноутворювач, сапонін, гідролізовані білки, такі як кератин тощо.

Форма та розмір зразка, метод поризації, напрям прикладання навантаження, вік, вміст води, характеристики використаних матеріалів і метод обробки впливають на міцність пінобетону [8,9].



а

б

с

Рис. 2. Система пористості в ніздрюватому бетоні: а - штучна повітряна пора; б - пори у стінці; с - міжкристалічні пори

Структура повітряних пор і механічні властивості каркасу між порами впливають на міцність на стиск [6,8]. Зменшення густини шляхом формування великих макропор викликає значне падіння міцності. В основному міцність на стиск зростає лінійно, залежно від густини. Значення міцнісних характеристик при різних густинах наведено в літературі [6,8,10,12]. Автоклавна обробка значно збільшує міцність на стиск. Зв'язок між тиском і тривалістю автоклавної обробки та міцністю встановлено для різних типів ніздрюватого бетону [12]. Міцність неавтоклавного пінобетону збільшується на 30-80% в періоді від 28 діб до 6 місяців до граничного значення. Частково це зростання викликане процесом карбонізації.

Міцність на стиск обернено пропорційна вмісту вологи [9]. При висиханні до рівноважного з атмосферою стану спостерігається збільшення міцності, і навіть подальше зміцнення відбувається при повному висушуванні [13]. Тому рекомендовано проводити випробування матеріалу, що досягнув рівноважної вологості з довкіллям. Коефіцієнт поправки запропоновано вводити для врахування зростання міцності при переході від вологого до сухого стану [13].

На сьогодні запропоновано декілька залежностей для оцінки міцності пінобетонів на стиск [6,7]. Так, застосовується

модифікована форма рівняння Ферета, яка пов'язує міцність (S), водоцементне (w/c), повітряноцементне (a/c) відношення:

✓ $S = K[I/(I + (w/c) + (a/c))]^n$, де K і n – емпіричні константи.

Дюраком і Вейквінгом розроблена залежність із використанням відношення гелю до об'єму для пінобетону з відповідними піноутворювачами. Встановлено, що пористість найбільше впливає на міцність ніздрюватого бетону на стиск [9]. Запропоновано деякі залежності міцності від пористості:

✓ Рівняння Шіллера:

$S = K_s \ln(P_{cr}/P)$, де P_{cr} – критична пористість, що відповідає нульовій міцності, K_s – константа.

✓ Відношення Пауера:

$S = Kg^n$, де K – внутрішня міцність гелю, g – співвідношення гелю до об'єму. Гідратовані складові (гель, заповнювач) з іншим негідратованим матеріалом формують об'єм.

✓ Залежність між пористістю і міцністю від В/Ц і густини для спеціального виду цементу [10]:

$n = 1 - [d_c(l + 0.2\rho_c)/(1 + k)\rho_c \gamma_w]^b$, де ρ_c – питома вага цементу, γ_w – питома вага одиниці води, d_c – густина бетону, n – пористість, k – В/Ц і b – емпірична константа,

✓ Формула Бальшина: $S = S_0(l - p)^n$, де S_0 – міцність при нульовій пористості і n – константа.

Більшість формул для модуля пружності є функціями від міцності на стиск [7-12]. Валор [11] оцінює відношення міцності на розтяг (T) до міцності на стиск (S) на рівні 0,15-0,35, тоді як Легатські – на рівні лише 0,1-0,15. Такі відмінності можуть бути спричинені тим, що визначення міцності на розтяг є чутливішим до умов проведення експерименту, ніж у випадку стиску.

Висновки. Сьогодні неавтоклавний бетон по праву займає одне з лідируючих місць серед доступних, міцних і надійних будівельних аналогів на споживчому ринку. Експериментально встановлено, що він має широкий діапазон міцності (у межах 3-100 кг/см²). Це дозволяє використовувати даний матеріал при виконанні певних конструкторських проектів навіть у багатоповерхових будівлях. У світовій практиці пінобетон широко використовують при реконструкції старих будівель, особливо, коли потрібно додатково «утеплити» огорожувальні конструкції та збільшити поверховість будівель зі збереженням існуючих фундаментів.

1. ДСТУ Б В.2.7-45-96. Будівельні матеріали. Бетони ніздрюваті. Технічні умови. – Київ: Держкоммістобудування України, 1997. – 31 с.
2. Кауфман Б.Н. Производство и применение пенобетона в строительстве. – М.: СтройЦНИЛ, 1940. – 130 с.
3. Глухівський В.Д. Основи технології оздоблювальних, тепло- і гідроізоляційних матеріалів / В.Д. Глухівський, Г.Ф. Рунова. - Київ: Вища школа, 1995. - 288 с.
4. (<http://ntb.org.ua/ntb/technologies/building/pbeton/foam/>)
5. (<http://poradu24.com/remontu/tehnologiya-virobnictva-pinoblokiv-v-domashnix-umovax.html>).
6. Верба В.Б. Сучасний стан досліджень фізичних, механічних та функціональних властивостей пінобетону // 64-тя студентська науково-технічна конференція: Зб. тез доп. – Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2007. – 200 с. – С. 27-28.
7. Верба В.Б. Взаємний зв'язок міцнісних та деформаційних характеристик безавтоклавного пінобетону [Текст] / В. Б. Верба, І. Б. Горніковська, Х. Б. Демчина, В. В. Волоцюга, П. О. Голик // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – Макіївка, ДонНАБА, 2012. – Том 8, № 1. – С. 27-35.
8. Alexanderson J. Relations between structure and mechanical properties of autoclaved aerated concrete. Cem Concr Res 1979; 9:507-14.
9. Prim P, Wittmann FH. Structure and water absorption of aerated concrete. In: Wittmann FH, editor. Proceedings Autoclaved Aerated Concrete, Moisture and Properties. Amsterdam: Elsevier; 1983. p. 43-53.
10. Narayanan N. Influence of composition on the structure and properties of aerated concrete. M.S thesis. IIT Madras, 1999.
11. Valore RC. Cellular concretes-composition and methods of preparation. J Am Concr Inst 1954;25:773-95.
12. Rudnai G. Light weight concretes. Budapest: Akademi Kiado, 1963.
13. Svanholm G. Influence of water content on properties of aerated concrete. In: Wittmann FH, editor. Proceedings Autoclaved Aerated Concrete, Moisture and Properties. Amsterdam: Elsevier; 1983. p. 119-29.