

**Г.М. ШАБАНОВА**, докт. техн. наук, **О.П. ВАСИЛЬЧУК**, студент,  
**А.М. КОРОГОДСЬКА**, канд. техн. наук,  
**О.О. ГАПОНОВА**, канд. техн. наук,  
**Ф.А. ВАСЮТИН**, канд. техн. наук,  
**Т.С. БОНДАРЕНКО**, канд. техн. наук, НТУ «ХПІ»

## **ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНО-КОНСТРУКЦІЙНИЙ ПІНОБЕТОН З ПІДВИЩЕНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

У статті наведено результати розробки складів теплоізоляційно-конструкційного пінобетону на основі вітчизняних вихідних матеріалів з підвищеними експлуатаційними характеристиками. Встановлено, що отриманий пінобетон за основними фізико-механічними властивостями та теплопровідністю перевищує нормативні показники для пінобетонів, виготовлених за автоклавною технологією.

In the article the results of development of compositions of warmly isolating - construction suds concrete are resulted on the basis of domestic initial materials with the promoted operating descriptions. It is set that got suds concrete after basic physical mechanical properties and thermal conductivity exceeds normative indexes for suds concrete, made on technology of autoclave.

Пінобетон – це штучний пористий камневидний матеріал з рівномірно розподіленими в ньому дрібними замкнутими повітряними осередками, виготовлений шляхом змішування портландцементного тіста з піною, яку одержують з різних піноутворюючих речовин. Він здатний плавати у воді, відповідати всім вимогам нормативних документів, які ставляться до будівельних матеріалів по міцності, деформативності, морозостійкості, його теплозахисні властивості в 2 – 3 рази вище, ніж у цегли. Стіна із цього матеріалу «дихає», створюючи в приміщенні ідеальний мікроклімат, але бетон, на відміну від деревини, що має ті ж властивості, не горить і не гниє [1].

Пінобетон є сучасним будівельним матеріалом. У монолітно-каркасному будівництві, що знаходить все більше застосування, пінобетон є незамінним будматеріалом.

Завдяки малій об'ємній вазі й коефіцієнту теплопровідності пінобетонні блоки дозволяють зменшити розрахункову товщину стін в 2 рази; в 3 рази підвищити економію тепла для обігріву будинку; одержати значну економію

цементного розчину; знизити витрати на транспортування будматеріалів; знизити витрати на оплату праці будівельників; виключити гравійний наповнювач і шлаки, що поліпшує екологічні характеристики будинку; легко піддається механічній обробці, морозостійкий, не горить, не гниє [2].

При експлуатації пінобетон не виділяє токсичних речовин і по своїй екологічності поступається тільки дереву. Вага пінобетону менше від 10 % до 87 % у порівнянні зі стандартним важким бетоном, що приводить до значної економії на фундаментах [1].

Структура ніздрюватого бетону характеризується порами, які утворені воднем, повітрям і водою в процесі формування і спучування. У відповідності з розмірами й фізичними характеристиками розділяються мікро- і макропори. Мікропори вважаються капілярно-активними в протилежність макропорам, які займають весь залишковий об'єм пор.

Структура пор визначає такі фізичні властивості матеріалу, як міцність, теплопровідність, капілярність, морозостійкість та ін. Розподілення мікропор за розмірами впливає на властивості бетону, такі як замерзання й міграція вологи. Бажана форма макропор сферична. Однак якщо більшість пор має овальну форму в одному визначеному напрямку, то можна передбачати, що фізичні характеристики бетону будуть відрізнятися в залежності від напрямку великої й малої осі еліпсів, що у свою чергу призведе до створення будівельної конструкції в якій розміщені ділянки з різними коефіцієнтами теплоопору.

Виробництво ефективного по теплофізичних параметрах пінобетону є проблемним через складність забезпечення стабільності ніздрюватої структури при високій пористості. Збільшення пористості при постійній щільності може бути забезпечено тільки за рахунок підвищення міцності матриці поризованого матеріалу й створення оптимальної пористої структури матеріалу. Забезпечення міцності неорганічної матриці можливо шляхом підвищення хімічної активності в'язучого, зниження водо-цементного відношення, використання механохімічної активації в'язучого. Створення оптимальної пористої структури залежить від кратності й стійкості піни у високомінералізованих цементних пастах [3].

У пінобетонах кількість газової фази, розмір і дисперсність повітряних пор залежать не тільки від виду обраних вихідних компонентів, але й від поводження компонентів на границі розподілу фаз, тобто від поверхневих явищ, і від способу воздухозалучення.

Важливу роль при цьому грає вид і концентрація піноутворювача, що мають у своєму складі різні ПАР.

Розглянемо на прикладі одного пінного пухирця, як формується піна. Коли що пухирець повітря потрапляє у розчин, що містить ПАР, завдяки ефекту адсорбції на границі розподілу фаз «рідина-газ» відразу ж починають концентруватися молекули ПАР. Швидкість формування такого адсорбційного шару цілком залежить від природи ПАР.

Так для одних ПАР (синтетичних) вона дуже велика, для інших (білкових) – мала. У кожному разі повітряний пухирець одягається своєрідною «шубою», що складається з одного шару молекул ПАР. Спливаючи, такий пухирець досягає поверхні рідини й там зустрічає ще один адсорбційний шар молекул ПАР. Повітряний пухирець давить на поверхню рідини й розтягує її. Молекули ПАР з розчину спрямовуються до зростаючої поверхні, запобігаючи розриву плівки рідини. У такий спосіб при виході з води пухирець виявляється оточеним оболонкою вже із двох моношарів ПАР, між якими перебуває плівка рідини [4 – 7].

Коли в розчин утягується багато повітря, то пухирці, спливаючи, створюють на поверхні рідини пінний шар, товщина якого збільшується в процесі змішення рідини й газу. В остаточному підсумку вся рідка фаза перетворюється в піну.

Але одночасно із процесом піноутворення починається й процес руйнування піни. Причому, з погляду класичної термодинаміки, якщо акт генерації піни є інспірованим ззовні, то її руйнування - природний і неминучий процес, яким можна в певних рамках управляти, але повністю його запобігти неможливо. Із цих позицій – неминучості руйнування піни – і варто виходити при розгляді питань її застосування в технології ніздрюватих бетонів.

Процес піноутворення вкрай складний через спільний вплив численних фізико-технічних, фізико-хімічних й інших факторів.

Тому практика експериментальних досліджень в області піноутворення в реальних середовищах можлива тільки емпіричним шляхом [8, 9].

На сьогоднішній день у будівництві є актуальними новітні технології, які ґрунтуються на використанні екологічно чистих матеріалів. У Німеччині, Голландії, Скандинавських країнах, Чехії пінобетон користується особливою популярністю. В цих країнах вироби з нього називають «біоблоками», оскільки у якості вихідних сировинних матеріалів використовуються лише екологічно чисті природні компоненти: цемент, пісок, вода. Популярність піно-

бетону пояснюється тим, що його легко виготовляти не тільки на великих підприємствах з дорогокоштовним обладнанням, але й безпосередньо на будівництві або на невеликому виробництві.

Тому метою даної роботи є розробка нових складів пінобетонів з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Сировиною для виробництва ніздрюватого бетону служать цемент, вапно, шлаки, зола, пісок та інші кремнеземвімісні заповнювачі, які при необхідності застосовуються в тонкомеленому вигляді. Повітря чи газ (зазвичай водень) вводять до вихідної суміші таким чином, щоб при твердненні вона отримала однорідну пористу структуру.

У даній роботі у якості в'язучого компоненту був використаний портландцемент марки ПЦ 500-I-N виробництва ВАТ «Балцем». У якості заповнювача було обрано кварцовий пісок та спучений перлітовий пісок виробництва ТОВ «Калинівський завод БУДПЕРЛІТ».

При проведенні досліджень у якості піноутворювача використовували розчин СОФІР (ТУ В 26.6-32440539-002:2005). Він являє собою концентровану рідину, що відноситься до біорозкладаних піноутворювачів, малотоксичний, відповідає 4 класу безпеки, невибухонебезпечний, незаймистий, температура самозапалювання 430 °С. Призначений для одержання пінобетонів різних марок. Витрата піноутворювача складає 0,9 – 1,2 л на виготовлення 1 м<sup>3</sup> пінобетону.

У якості регулятора структуроутворення, зростання пластичної міцності було використане скло рідке натрієве згідно ДСТУ 13078 [10, 11].

Піноутворювач СОФІР (ТУ В 26.6-32440539-002:2005), що використовувалась для виробництва пінобетону, дає піну, яка має наступні властивості:

– осадка піни, яка характеризується величиною руйнування нормованого по вологості стовпчика піни, через 1 годину складає 8 мм;

– відхід вологи, який характеризує стійкість піни і виражається в кубічних сантиметрах вологи, що накопичується під піною, через 1 годину складає 75 см<sup>2</sup>;

– кратність піни, яка показує, в скільки разів об'єм піни більше початкового об'єму водяного розчину піноутворювача складає 18;

– щільність при 20 °С – 1080 кг/м<sup>3</sup>;

– показник концентрації водневих іонів (рН) – 8,5;

– температура застигання - 0 °С;

– стійкість піни – 254 сек.

Таким чином, вибраний розчин піноутворювача відповідає вимогам стандартів, які ставляться до таких добавок та може бути використаний для розробки складів пінобетонів.

Змішування сировинних матеріалів відбувалось у лабораторній металевій ємкості об'ємом 10 літрів, за допомогою промислового міксеру протягом 10 хвилин. Після додавання розчину піноутворювача загальне перемішування відбувалось ще протягом 5 хвилин. Отриману суміш уклали у металеві форми – куби розміром  $70 \times 70 \times 70$  мм.

Зразки зберігали у повітряно-вологих умовах впродовж 1 доби. Після цього зразки зберігали у повітряних умовах. Результати визначення міцності на стиск отриманих зразків наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Фізико – механічні характеристики пінобетона

№ складу	Склад пінобетону						Міцність на стиск, кг/см <sup>2</sup>		
	цемент (кг)	пісок (кг)	перліт (кг)	добавка* (мл)	вода (мл)	піноутворювач (мл)	7 діб	14 діб	28 діб
1	1,00	0,350	-	-	150	050	-	0,5	1
2	1,00	0,350	-	50	100	100	0,5	0,7	1
3	1,00	-	0,100	-	280	050	4	5,5	7

\* – Скло рідке натрієве  $\rho = 1,45$  г/см<sup>3</sup>

З отриманих результатів видно, що склад з використанням піску має зниженні значення міцності.

Для підвищення міцності до базового складу було введено у якості модифікатора розчин рідкого скла з щільністю  $1.45$  г/см<sup>3</sup>. Встановлено, що введення модифікатора не призводить до значного зростання міцності.

Як видно з рисунку міцність зразка № 3 значно зростає у першій 7 діб тверднення, нарощування міцності у подальші строки, до 28 діб, протікає повільніше. Це пов'язане з тим, що перліт віддає частину води та піноутворювача, які він відтягує на себе у перші хвилині після затворювання вихідної суміші. Картина, отримана для розробленого зразка, характерна для легковагових теплоізоляційних бетонів.

За результатами визначення мікроструктури зразків пінобетонів встановлено, що зразок пінобетону складу № 1 має неправильну структуру, у якому пори розміщені нерівномірно, та сполучаються між собою.

Зразок пінобетону складу № 2 має роз'єднані між собою пори, але вони

розміщені у масі бетону нерівномірно, що обумовлює невисокі значення міцності.

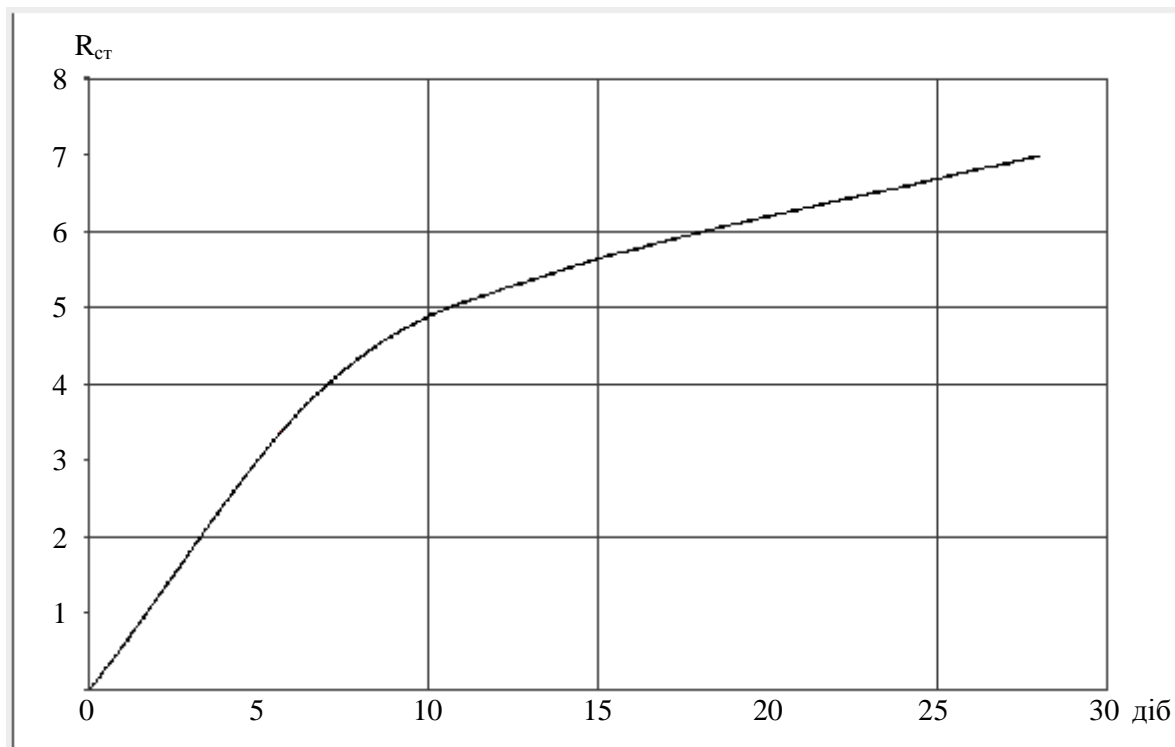


Рисунок – Залежність міцності зразка № 3 від часу твердіння

Зразок пінобетону складу № 3 містить пори однакового розміру, та рівномірно розміщені у його об'ємі. За отриманими результатами, бетон може бути віднесеним до крупнопористих. Тому усі подальші дослідження проводились для складу, отриманого з використанням перліту, який мав міцність на стиск у віці 28 діб твердіння  $7 \text{ кг/см}^2$ .

Для пінобетону оптимального складу було проведені визначення щільності, водопоглинання, відкритої пористості. Результати наведені у таблиці 2. З результатів видно, що розроблений пінобетон відноситься до малощільних, високопористих матеріалів з високим ступенем водопоглинання.

Таблиця 2

Технічні характеристики пінобетона

№ зразка	m <sub>1</sub> , г маса сух.	m <sub>2</sub> , г маса у воді	m <sub>3</sub> , г маса після води	n, % пористість	W, % водопоглинання	ρ, г/см <sup>2</sup>
1	12,5	9,320	21,200	73,3	69,6	1,05
2	10,9	8,550	20,200	79,8	85,32	0,936
3	11,8	8,880	20,600	75,08	74,6	1,0068

Для встановлення відповідності отриманих бетонних зразків вимогам державних стандартів було проведено порівняльний аналіз, результати якого наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Нормовані показники фізико – технічних властивостей пінобетонів

Вид пінобетону	Марка пінобетону за середньою щільністю	Пінобетон неавтоклавний		
		Клас міцності на стиск	Марка по морозостійкості	Коефіцієнт теплопровідності
Теплоізоляційно-конструкційний	D1000	B7,5	От F15 до F50	0,20
Розроблений	1000	7	25	0,18

Як видно з наведених результатів розроблений пінобетон за маркою по середній щільності, міцності на стиск, морозостійкості, коефіцієнту теплопровідності відноситься до теплоізоляційно – конструкційних самої високої марки та може використовуватись для створення панелей зовнішніх стін та перегородок, тепло – та звукоізоляції в багаторівневих житлових та комерційних спорудженнях.

Результати порівняльної характеристики пінобетонів, отримуваних різними методами сучасною промисловістю та розроблених зразків пінобетону наведені у таблиці 4.

Таблиця 4

Порівняльна характеристика

Показник	Автоклавний пінобетон	Неавтоклавний пінобетон	Розроблений пінобетон
Щільність, кг/м <sup>3</sup>	800	800	1000
Міцність на стиск, кг/см <sup>2</sup>	7,5	3,5	7
Морозостійкість, цикли	15	15	25
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·°С	0,21	0,24	0,18

Як видно із отриманих результатів зразки отриманого пінобетону за основними фізико – механічними та технічними показниками відповідають зразкам пінобетону автоклавного твердіння та перевищують показники для неавтоклавного пінобетону. Розроблений пінобетон відноситься до високоміцних, малощільних, морозостійких, теплоізоляційних конструкційних матеріалів, отриманих за неавтоклавною технологією.

**Список літератури:** **1.** *Кауфман Б.Н.* Производство и применение пенобетона в строительстве. / *Б.Н. Кауфман.* – М.: Госстройиздат, 1940. – 128 с. **2.** *Молчанов Р.С.* Пенобетон, пеносиликат и применение их в строительстве / *Р.С. Молчанов.* – Л.: Химия, 1953. – 167 с. **3.** *Гельфман М.И.* Коллоидная химия / *М.И. Гельфман, О.В. Ковалевич, В.П. Юстратов.* – [4-е изд.] – М.: Лань, 2008. – 336 с. **4.** *Меркин А.П.* Непрочное чудо / *А.П. Меркин, П.Р. Таубе.* – М.: Химия, 1983. – 224 с. **5.** *Абрамзон А.А.* Поверхностно-активные вещества: свойства и применение / *А.А. Абрамзон.* – Л.: Химия, 1981. – 304 с. **6.** *Казаков О.А.* Взаимодействие белков с поверхностью дисперсного кремнезема в водных суспензиях / *О.А. Казаков, В.М. Гунько, Е.Ф. Воронина* // Коллоидный журнал. – 1998. – Т. 60, № 5. – С. 613 – 617. **7.** *Бабушкин В.И.* О некоторых новых подходах к использованию методов термодинамики в решении проблем технологии вяжущих и бетона / *В.И. Бабушкин* // Цемент и его применение. – 1998. – № 5 – 6. – С. 50 – 56. **8.** *Тихомиров В.К.* Пены. Теория и практика их получения и разрушения / *В.К. Тихомиров.* – [2-е изд.]. – М.: Химия, 1983. – 264 с. **9.** *Клейтон В.* Эмульсии, их теория и техническое применение / *В. Клейтон*; [пер. с англ.]. – Л.: Издательство иностранной литературы, 1950. – 603 с. **10.** *Захарченко П.В.* Тепло- та звукоізоляційні матеріали і вироби в енергозберігаючих технологіях: підручник / *П.В. Захарченко, Е.М. Долгий, О.М. Гавриш, Ю.О. Галаган*; під ред. *П.В. Захарченко.* – К.: Майстри, 2008. – 340 с. **11.** *Опекунов В.В.* Конструкційно-теплоізоляційні будівельні матеріали на основі активних сировинних компонентів: монографія / *В.В. Опекунов.* – К.: Видавничий дім «Академперіодика», 2001. – 216 с.

*Надійшла до редколегії 12.11.09*