

УДК 666.97:691.32

*Дворкін Л.Й., доктор технічних наук, професор,  
Бордюженко О.М., кандидат технічних наук, доцент  
Національний університет водного господарства та  
природокористування  
33028, м. Рівне, вул. Чорновола, 49, корпус №6, к. 610  
тел. +38(0362)40-05-10, e-mail: l.i.dvorkin@nuwm.rv.ua*

## ТЕХНОЛОГІЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ НА ОСНОВІ ТОНКОМЕЛЕННОГО В'ЯЖУЧОГО

Розглянута та експериментально обґрунтована доцільність виготовлення пінобетонів неавтоклавного твердіння з використанням тонкомелених в'язучих. Визначено оптимальні склади таких пінобетонів та технологічні параметри їх отримання.

**Ключові слова:** в'язуче, пінобетон неавтоклавного твердіння, портландцемент, суміш, тонкомелене в'язуче

**Ніздрюваті бетони** і, зокрема, пінобетони неавтоклавного твердіння, є одним з найбільш затребуваних будівельних матеріалів в умовах сучасного будівництва. Серед відомих переваг неавтоклавних пінобетонів можна відзначити їх переважно закриту пористість, порівняно низьке водопоглинання, відносно низькі затрати на виробництво. Неавтоклавний пінобетон продовжує набирати свою міцність у часі, на відміну від автоклавного. Однак ряд недоліків, що притаманні пінобетонам, зокрема нестабільність ніздрюватої структури в ранні строки твердіння, обмежує їх ефективне і широке застосування на практиці.

Питання оптимізації структури теплоізоляційних пінобетонів неавтоклавного твердіння при їх безсумнівній теоретичній і практичній важливості відносяться до найменш розробленого напрямку сучасного будівельного матеріалознавства.

Основною технологічною задачею при виробництві неавтоклавних ніздрюватих бетонів, є забезпечення необхідної середньої густини пінобетону при максимально можливій міцності. Засобами вирішення такої задачі можуть бути помел компонентів суміші, застосування різних добавок та особливих технологічних прийомів, використання спеціальних в'язучих.

**Одним з раціональних** способів одержання таких пінобетонів можна вважати технологію з використанням в'язучих низької водопотреби (ВНВ) [1], однієї з особливостей якої, є те, що при використанні в якості основи стандартного портландцементу шляхом введення на стадії виготовлення (помелу) різних мінеральних та органічних добавок, в тому числі відходів, можна надавати ВНВ необхідних властивостей.

Раніше питання використання подібних в'язучих розглядалось переважно в контексті виготовлення неавтоклавних газобетонів. Зокрема, застосування в'язучих низької водопотреби а також тонкомелених багатокомпонентних в'язучих (ТМВ) в технології неавтоклавного газобетону, як вказують автори [2], створює передумови для економії цементу. Порівняльний аналіз результатів досліджень дозволяє стверджувати, що фізико-механічні показники газобетону бетону на ВНВ і ТМВ практично не поступаються властивостям матеріалу на основі портландцементу [3].

**Тому питання розробки** спеціальних в'язучих і технології виробництва неавтоклавних пінобетонів на їх основі є актуальним у плані пошуку шляхів підвищення якості і технологічності виробництва зазначеного матеріалу.

Метою наших досліджень було встановлення можливості одержання неавтоклавного пінобетону з використанням тонкомелених в'язучих (аналогів ВНВ).

## БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВИРОБИ ТА САНІТАРНА ТЕХНІКА

В дослідженнях використовували портландцемент М500 ІІ типу Здолбунівського цементного заводу; пісок кварцовий  $M_k=1,60$ ; доменний гранульований шлак Криворізького металургійного комбінату; піноутворювач ПО-6К (ПАР – представник алкілароматичних сульфокислот), гіперпластифікатор поліакрилатного типу Dynapom SP3. Останній компонент є відомим нині пластифікатором, що з успіхом використовуються в якості високоефективної водоредукуючої добавки для бетонних сумішей. Нами раніше також показано [4], що поліакрилатні гіперпластифікатори спільно з активними мінеральними добавками, зокрема шлаками та золами дозволяють одержувати конструктивно-теплоізоляційні пінобетони з покращеними характеристиками

Тонкомелене в'язуче виготовляли шляхом спільного помелу портландцементу, шлаку та кварцового піску в кульовому млині, де в якості мелючих тіл було використано циліпесб. Тривалість помелу 3 год.

Тонкомелене в'язуче виготовляли у співвідношенні 2:1:1 за масою – відповідно портландцемент, шлак та пісок. Залишок на ситі №008 після помелу для отриманого в'язучого становив 2,1%.

Склад пінобетонної суміші підбирався з розрахунку одержання пінобетону марки D800. Концентрація розчину піноутворювача – 2%. Кратність піни – 15...16. Водопотребу суміші контролювали за розпливом її на приладі Сутгарда (розплив близько 160 мм). Приготування пінобетонної суміші проводили за роздільною двохстадійною схемою з використанням турбулентного лабораторного міксеру.

Для пінобетонної суміші визначали водов'язуче та водотверде відношення, яке забезпечує необхідну рухомість. З отриманих сумішей виготовляли зразки-куби з ребром 100 мм, які тверднули у повітряно-сухих 28 діб. Основні експериментальні результати досліджень пінобетонів на основі ТМВ в порівнянні зі складами на звичайному портландцементі наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Експериментальні результати досліджень пінобетонів на основі ТМВ

№ п/п	Витрати компонентів, кг/м <sup>3</sup>				Водопотреба суміші (загальна), л	Міцність при стиску у віці 28 діб, МПа	В/Вж <sup>1</sup>
	цемент	шлак	пісок	ТМВ			
1	400	–	340	–	210	1,69	0,53
2	400	200	140	–	225	2,53	0,56
3	350	175	222,5	–	214	2,26	0,61
4	300	150	305	–	207	1,87	0,69
5	–	–	470	300	190	2,28	0,63
6	–	–	360	400	198	2,93	0,50
7	–	–	250	500	208	3,22	0,42

Примітки: 1. Під водо-в'язучим відношенням розуміється в т.1-4 водо-цементне відношення, в т.5-7 – відношення води до ТМВ. 2. Витрати пластифікатора в усіх точках складала 0,75% від витрати в'язучого. 3. В т.2-4 шлак вводився в меленому вигляді (помел аналогічний до помелу компонентів ТМВ).

Вихід пінобетонної суміші в цілому відповідав запланованому обсягу, що забезпечувало коливання густини пінобетону в межах 5...7% від заданого значення (800 кг/м<sup>3</sup>).

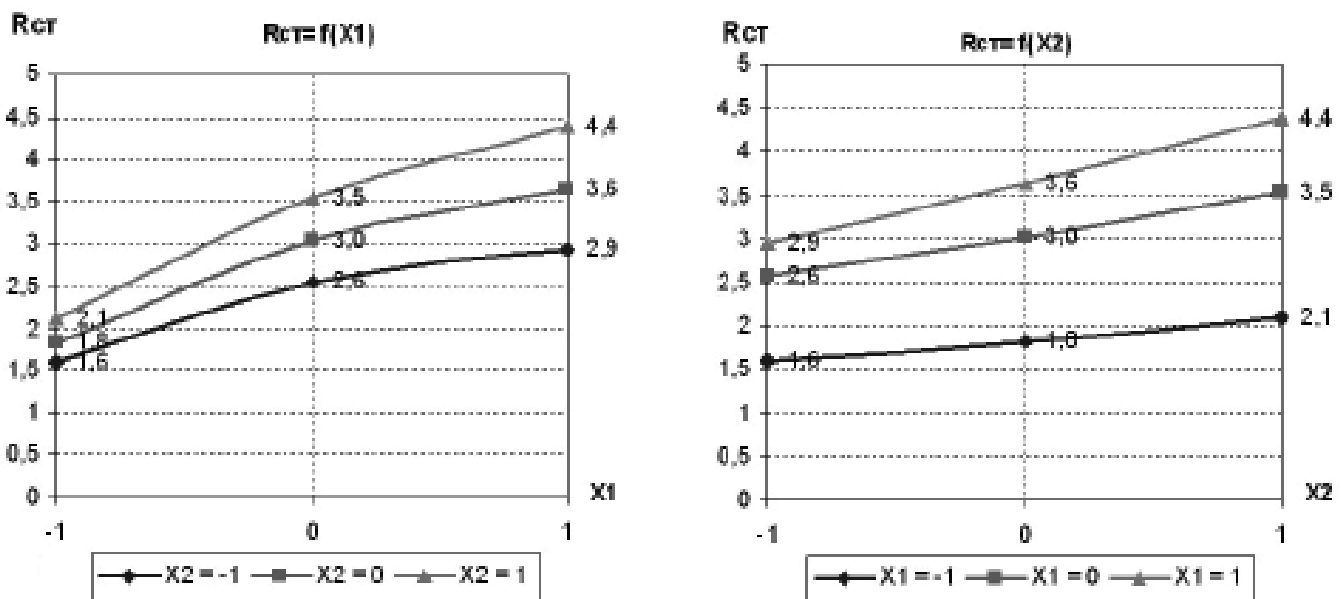
**Аналізуючи наведені дані**, можна відзначити, що використання ТМВ для приготування пінобетону є доцільним, що обґрунтовується достатньо високими значеннями міцності і візуально якісною пористою структурою. Звертає на себе увагу, що міцність пінобетону в т.7 (3,22 МПа, фактична витрата цементу 250 кг/м<sup>3</sup>) суттєво більша ніж міцність зразків в т.1-2 при витраті цементу 400 кг/м<sup>3</sup>. Також спостерігається чітка кореляція між зміною водо-в'язучого відношення і міцністю при стиску (т.5-7). Зростання вмісту ТМВ, тобто більш дисперсної частини пінобетонної суміші приводить в результаті до зменшення водо-в'язучого відношення, що безумовно пояснюється впливом пластифікатора.

З метою подальшого уточнення впливу витрати ТМВ на міцність пінобетону нами проведено планований експеримент згідно двохфакторного плану експерименту другого порядку (типу  $B_2$ ).

В якості факторів планування виступали: витрата ТМВ ( $X_1 = 500 \pm 200$  кг/м<sup>3</sup>); і витрата добавки-пластифікатора, % від ТМВ, ( $X_2 = 0,375 \pm 0,375\%$ ). Розрахунок складу пінобетону а також технологія та особливості приготування пінобетонної суміші відповідали попереднім дослідженням. Нижче наведена математична модель міцності пінобетону при стиску у віці 28 діб, МПа при використанні ТМВ:

$$R_{cm} = 3,03 + 0,90 \cdot x_1 + 0,49 \cdot x_2 - 0,30 \cdot x_1^2 + 0,02 \cdot x_2^2 + 0,24 \cdot x_1 x_2$$

Графічні залежності, побудовані по зазначеним моделями, представлені на рис. 1.



**Рисунок 1.** Залежність міцності пінобетону від вмісту ТМВ та витрати суперпластифікатора Dynamon SP3

Аналіз математичної моделі та графічних залежностей (рис. 1) дозволяє зробити висновок про можливість істотного підвищення міцності пінобетону за рахунок введення в пінобетонну суміш ТМВ і гіперпластифікатора Dynamon SP3. Вплив обох факторів є позитивним, причому вплив витрати ТМВ майже в 2 рази перевищує вплив витрати пластифікатора. Характерним є наявність достатньо великого коефіцієнта взаємодії факторів, що свідчить про посилення впливу ТМВ при зростанні витрати пластифікатора. Максимальне значення міцності при знаходженні факторів на верхніх рівнях сягає майже 4,5 МПа, що з великим запасом перевищує мінімальний рівень міцності передбачений стандартом [5] для пінобетону марки D800.

Слід зазначити, що порова структура зразків з більшою міцністю а, отже, і з більшими витратами ТМВ відрізнялася високою однорідністю, більшою геометричною упорядкованістю, що має безпосередній вплив на структурну міцність.

Покращені показники пінобетонів на основі ТМВ можна пояснити поліпшенням їх структурних характеристик. Відомо, що цементний камінь і бетони з використанням як ВНВ так і ТМВ мають відносно низьку пористість, у них практично відсутні великі капілярні пори. Дана закономірність підтверджена також нами при розгляді пористої структури отриманих зразків пінобетону.

Варто також відзначити, що в результаті механоактивації компонентів ТМВ, виникає можливість проявлення або суттєвого підвищення їх гідравлічної активності.

**Економічна доцільність** використання шлаковмісних ТМВ у виробництві неавтоклавного пінобетону не викликає сумнівів. Виготовлення в'язучого включає лише одну додаткову операцію – тонкий помол, максимальна енергоємність якого не перевищує 50кВт·год/т в'язучого і може суттєво зменшитись при використанні сучасних типів млинів - вібраційних, валкових, струменевих. Якщо розглянути результати ізопараметричного аналізу міцності залежно від факторів впливу (рис. 2), то можна зробити висновок, що досягнення мінімальних значень міцності, передбачених стандартом, можливо вже при витратах ТМВ близько 400 (кг/м<sup>3</sup>). Враховуючи, що фактичний вміст портландцементу в ТМВ в цьому випадку складатиме 200 кг/м<sup>3</sup> (а якщо мова йде про клінкер – то й того менше), то можна говорити про суттєву економію найбільш вартісного компоненту пінобетону, а отримане в'язуче назвати малоклінкерним.

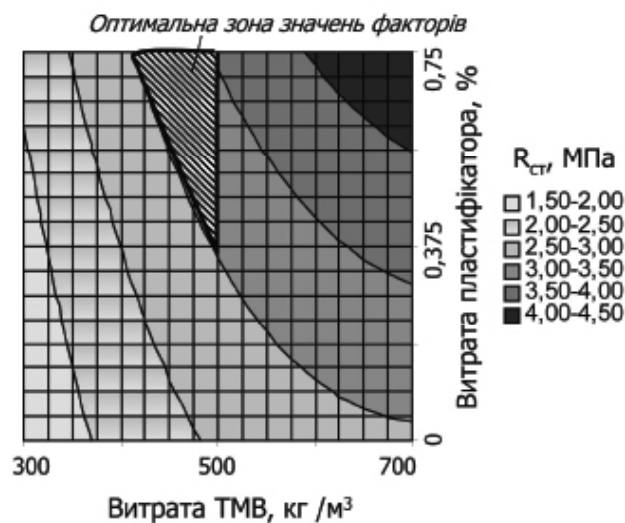


Рисунок 2. Ізопараметричний аналіз міцності при стиску

Підсумовуючи результати досліджень можна відзначити, що використання малоклінкерних шлаковмісних тонкомелених в'язучих дозволяє одержувати неавтоклавний пінобетон із середньою густиною 800 кг/м<sup>3</sup> при міцності до 4,5 МПа. Подальші дослідження передбачено спрямувати на детальніше вивчення впливу факторів складу та технології приготування ТМВ на властивості пінобетону а також розширення сировинної бази для їх одержання.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Дворкін Л.Й. та ін. Золовмісні цементи низької водопотреби // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. – Рівне, 2012. Вип. 23.- С. 42-48.
2. Крохин А.М. Физико-технические свойства и технология ячеистобетонных изделий на основе ВНВ и ТМВ // Бетон и железобетон. - 1993. - №12. - С.7-8.
3. К проблеме снижения энергоёмкости ВНВ (Лесовик В.С., Бурякова Ю.А.) // Наука и образование как фактор оптимизации среды жизнедеятельности: Материалы Международной научно-практической конференции-семинара. - Волгоград: ВГАСУ, 2004. - С.65-68.
4. Дворкин Л.И., Бордюженко О.М. Эффективные неавтоклавные шлакосодержащие пенобетоны / Технологии бетонов. – 2010, №5-6, С. 68-71.
5. ДСТУ Б В.2.7-137:2008. Будівельні матеріали. Блоки з нідрюватою бетону стінові дрібні. Технічні умови. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 15 с

**ТЕХНОЛОГИЯ И СВОЙСТВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА  
НА ОСНОВЕ ТОНКОМОЛОТОГО ВЯЖУЩЕГО**

© Дворкин Л.И., Бордюженко А.Н.

Рассмотрена и экспериментально обоснована целесообразность изготовления пенобетонов неавтоклавногo твердения с использованием тонкомолотых вяжущих. Определены оптимальные составы таких пенобетонов и технологические параметры их получения.

**Ключевые слова:** вяжущее, пенобетон неавтоклавногo твердения, портландцемент, смесь, тонкомолотое вяжущее

**TECHNOLOGY AND PROPERTIES OF POROUS CONCRETE  
FROM FINE GROUND BINDERS**

© Dvorkin L.I., Bordyuzhenko A.M.

Examined experimentally and the expediency of non-autoclave foam concrete curing using fine ground binders is considered and experimentally proved. The optimum composition of foam concrete and technological parameters of their receiving are defined.

**Keywords:** binder, non-autoclaved aerated concrete, Portland cement, mixture, fine ground binder