

О. Р. Позняк, В. М. Мельник\*, І. О. Завадський, А. Я. Мельник \*\*  
 Національний університет “Львівська політехніка”,  
 кафедра будівельного виробництва,  
 \*кафедра економіки підприємства та інвестицій,  
 \*\* ТОВ “Ферозіт”

## ВИРОБНИЦТВО, ВЛАСТИВОСТІ І ЗАСТОСУВАННЯ ГАЗОБЕТОНУ НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДНЕННЯ

© Позняк О. Р., Мельник В. М., Завадський І. О., Мельник А. Я., 2017

Розвиток виробництва неавтоклавних ніздрюватих бетонів заслуговує особливої уваги внаслідок простоти технології їх виготовлення. В статті проведено порівняння властивостей неавтоклавних газобетонів, одержаних за традиційною технологією і з готової сухої суміші, показано вплив хімічних добавок на характеристики неавтоклавних газобетонів.

Ключові слова: неавтоклавний газобетон, суха суміш, кінетика спучування, середня густина, міцність.

O. Pozniak, V. Melnyk\*, I. Zavadskyy, A. Melnyk\*\*  
 Lviv Polytechnic National University,  
 Department of building production,  
 \*Department of business economics and investment,  
 \*\* Ltd Company “Ferozit”

## PRODUCTION, PROPERTIES AND USING NON-AUTOCLAVED AERATED CONCRETE

© Pozniak O., Melnyk V., Zavadskyy I., Melnyk A., 2017

One of the priorities of modern construction industry is to increase the heat-shielding properties enclosing structures and reduce construction costs. Solving these problems is possible through the use in the manufacture of insulating exterior walling and structural-insulating non-autoclaved aerated concrete from technogenic waste, especially fly ashes and slag thermal power plants. The development of aerated concrete deserves special attention, which is due to the relative simplicity of manufacturing techniques compared to non-autoclaved aerated concrete with porous concrete autoclaved and traditional building materials; metal consumption relatively lower power consumption and equipment for its production. Aerated concrete is the optimal material for building because it has wide density and durability ranges, the properties being important for solving various construction problems. The increased production of non-autoclaved aerated concretes is caused by the increasing demand of residential building. In the article compared the properties of non-autoclaved aerated concrete, obtained by traditional technology and finished dry mixture, the effects of chemical additives on the characteristics of non-autoclaved aerated concrete are shown. The use of chemical additives MCTF 12 allows to obtain non-autoclaved aerated concrete with average density of 500 kg/m<sup>3</sup>, the compressive strength 2,2 MPa and the estimated coefficient of thermal conductivity of 0,16 W / (mK).

Key words: non-autoclaved aerated concrete, dry mix, swelling kinetics, average density, strength.

**Вступ.** Науково-технічна політика, яка сьогодні проводиться в Україні, спрямована на впровадження найефективніших конструктивних систем для об'єктів будівництва з метою

забезпечення всебічної економії енергетичних ресурсів. При цьому застосування енергоефективних і теплоізоляційних матеріалів і виробів для огорожувальних конструкцій є пріоритетним при зведенні та реконструкції будівель. До таких матеріалів можна віднести вироби з газобетону неавтоклавного тверднення.

**Огляд наукових джерел і публікацій.** Постійне вдосконалення нормативно-технічної бази, що передбачає поступове зростання вимог до показників опору теплопередачі огорожувальних конструкцій житлових та громадських будинків, забезпечило широке поширення газобетонних виробів та стрімке зростання обсягів їх виробництва на пострадянському просторі за рахунок низької енергоємності виробництва [1]. Відповідно до ДБН В.2.6-31:2016 “Теплова ізоляція будівель” передбачено суттєве зростання вимог до опору теплопередачі огорожувальних конструкцій житлових та громадських будинків, зокрема мінімально допустиме значення опору теплопередачі для зовнішніх стін становить 3,3 та 2,8 м<sup>2</sup>·К/Вт відповідно для I та II температурної зони [2]. В умовах значного зростання вартості енергетичних ресурсів значного значення набирає виробництво будівельних матеріалів, технологія виготовлення яких відрізняється зниженою енергоємністю, а також застосування вискоєфективних теплоізоляційних матеріалів в огорожувальних конструкціях. Перспективними теплоефективними матеріалами є вироби з ніздрюватого бетону. За даними Всеукраїнської асоціації виробників автоклавного газобетону, з 2000 р. річна потреба у ніздрюватобетонних виробках зросла в 15 разів за рахунок збільшення обсягів його застосування у житловому будівництві. Популярність ніздрюватих бетонів обумовлена їхніми характеристиками. У малоповерховому будівництві обсяг його застосування в Україні становить майже 20 % від загальної кількості сучасних будівель, в той час у Великобританії ця цифра становить 40 %, а в Німеччині всі 70 %. Прагнення наздогнати ці та інші країни є потужним стимулом до розвитку виробництва ніздрюватих бетонів, і автоклавних, і неавтоклавних. Останні заслуговують особливої уваги, яка обумовлена відносною простотою технології виготовлення неавтоклавного ніздрюватого бетону порівняно з ніздрюватим бетоном автоклавного твердіння і то більше порівняно з традиційними будівельними матеріалами; порівняно меншою металоємністю і енергоємністю обладнання для його виробництва і, в підсумку, низькими капіталовкладеннями в організацію його виробництва. Можливість отримати необхідну середню густину, задану міцність, необхідну теплопровідність, потрібну форму і об’єм роблять його привабливим для виготовлення широкої номенклатури будівельних виробів. З погляду довговічності ніздрюватий бетон, на відміну від мінеральної вати і пінопластів, які втрачають свої властивості, згодом тільки покращує свої теплоізоляційні показники і міцність [3].

Водночас неавтоклавні бетони, як правило, характеризуються нестабільною ніздрюватою структурою й експлуатаційними властивостями, оскільки багато виробників користуються сумнівними технологіями і обладнанням. Крім того, технологія вимагає чіткого виконання всіх операцій у суворій послідовності із застосуванням дорогого устаткування, а також використання енергоємного процесу помелу кремнеземного компоненту. Сьогодні назріла необхідність виробництва якісного неавтоклавного газобетону і для монолітного будівництва, і для виготовлення штучних виробів, що досягається за рахунок виготовлення газобетону з попереднім приготуванням сухої суміші, яка містить усі необхідні компоненти. Суха суміш готується у вигляді складу, який досить перемішати з необхідною кількістю рідкого компонента. Сухі будівельні суміші стали невід’ємною частиною сучасного будівництва завдяки їх високій ефективності, що зумовлено цілим рядом позитивних факторів, до яких належать: зручний спосіб доставки та зберігання сухих сумішей на об’єкті; підвищену якість будівельних робіт; скорочення втрат і транспортні витрати; повна заводська готовність; можливість транспортування і зберігання за від’ємних температур. Доцільність використання сухих будівельних сумішей як матеріалу повної заводської готовності підтверджена зарубіжною та вітчизняною практикою будівництва [4].

Складовими компонентами сухої суміші для отримання неавтоклавного газобетону можуть бути традиційні сухі матеріали, які використовуються для отримання ніздрюватих бетонів згідно з ДСТУ Б В.2.7-45-2010 “Бетони ніздрюваті. Технічні умови”. До них належать: в’яжучі:

портландцемент і шлакопортландцемент марок М400 і вище, вапно негашене кальцієве, шлак доменний гранульований, зола високоосновна; кремнеземисті компоненти: кварцовий пісок, зола-винесення ТЕС; пороутворювач – алюмінієва пудра марок ПАП-1 і ПАП-2; хімічні добавки: прискорювачі твердіння і гідратації, пластифікатори і суперпластифікатори, диспергуючі полімерні порошки та ін. Згідно ДСТУ Б В.2.7-45-2010 допускається застосовувати й інші матеріали, що забезпечують отримання газобетону, який відповідає нормативним характеристикам [5]. Дослідження [6, 7] підтвердили можливість ефективного використання як сухих складових для газобетонів таких компонентів, як алюмінатні і безусадкові цементи, швидкотверднучі цементи, а також вапняк, мелений маршаліт, склопіски, пилоподібний кварц, двоводний гіпс, крейда, мікрокремнезем, тонкодисперсна слюда, тонкодисперсний бій скла, керамічної і силікатної цегли, синтетичні і мінеральні волокна тощо.

Отже, з метою підвищення конкурентоспроможності ніздрюватих бетонів у сучасних умовах актуальною задачею є подальше покращення фізико-технічних властивостей цих матеріалів та створення енергозберігавальних технологій їх виготовлення.

**Метою дослідження** є розробка сухих будівельних сумішей для одержання конструкційно-теплоізоляційних газобетонів неавтоклавного тверднення, дослідження технологічних властивостей газобетонних сумішей та будівельно-технічних властивостей газобетону.

**Методи досліджень і матеріали.** В роботі при проведенні експериментальних досліджень використовували портландцемент ПЦ І – 500 ПАТ “Івано-Франківськцемент” з такими показниками: питома поверхня  $S_{\text{пит}}=332 \text{ м}^2/\text{кг}$ , залишок на ситі №008 – 0,5 %, початок тужавіння – 1 год 20 хв, кінець тужавіння – 5 год 50 хв.

Як дрібнодисперсний наповнювач використовували кварцовий пісок з модулем крупності 1,32 та золу винесення Бурштинської ТЕС з такими властивостями: істинна густина –  $2,32 \text{ г}/\text{см}^3$ , насипна густина –  $910 \text{ кг}/\text{м}^3$ , залишок на ситі № 008 – 8,7 мас.%, хімічний склад, мас.%:  $\text{SiO}_2$  – 53,5;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 24,25;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$  – 12,8;  $\text{MgO}$  – 1,91;  $\text{CaO}$  – 5,98;  $\text{SO}_3$  – 0,53;  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  – 0,25.

Як газоутворювач у виробництві газобетону застосовували алюмінієву пудру ПАП – 1 з вмістом активного алюмінію 82 % і тониною розмелювання  $5000\text{--}6000 \text{ см}^2/\text{г}$ .

Фізико-механічні властивості газобетонів визначали згідно зі стандартними методами випробувань.

**Експериментальні дослідження.** Аналіз сучасної науково-технічної літератури з питань формування макро- і мікроструктури ніздрюватих бетонів дає визначити комплексний підхід, який встановлює взаємозв’язок між фізико-хімічними передумовами формування структури газобетону, структуроутворенням і властивостями матеріалу. Формування мікро- і макроструктури газобетону здійснюється за рахунок варіювання основних компонентів складу газобетонної суміші, модифікування хімічними добавками, природи поверхні, дисперсності і однорідності розподілу компонентів, механоактивації поверхні твердої фази і раціональних режимів перемішування газобетонної суміші. Своєю чергою, структура визначає основні властивості газобетону: середню густина, границю міцності на стиск, зсідання при висиханні, теплопровідність [8].

У роботі для досліджень газобетон виготовляли різними способами: традиційним – на основі кварцового піску та на основі золи винесення, а також з попередньо приготованої готової сухої суміші (сумісний помел усіх сухих компонентів (портландцемент, кварцовий пісок (зола винесення) і алюмінієва пудра) у лабораторному вібротоліні). При кожному із способів одержання газобетону співвідношення цемент:пісок та цемент:зола становило 1:1, розплив газобетонної суміші за циліндром Сутгарда – 200–220 мм. Результати досліджень показали, що середня густина газобетону, одержаного на основі готових сухих сумішей, нижча, ніж отриманого традиційними способами, що пояснюється підвищенням коефіцієнта використання алюмінієвої пудри за рахунок збільшення її дисперсності і зниження вмісту на поверхні її частинок парафіну при механічній обробці. Так, газобетон одержаний з готової сухої суміші на основі золи винесення характеризується середньою густиною  $530 \text{ кг}/\text{м}^3$ , тоді як середня густина газобетону, одержаного

традиційним способом на основі кварцового піску –  $600 \text{ кг/м}^3$ . Слід відзначити, що міцність через 28 діб тверднення в нормальних умовах газобетону, одержаного з готової сухої суміші на основі золи винесення, на 32,5 % вища, порівняно з газобетоном, одержаним традиційним способом, і становить 1,5 МПа. У наступних дослідженнях газобетон одержували з готової сухої суміші.

Для вивчення впливу співвідношення портландцемент:зола винесення на властивості газобетону виготовляли газобетонні зразки при різному Ц:З відношенні, яке варіювалося від 0,5 до 1,5. Водотверде відношення приймали з умови отримання розпливу газобетонної суміші за циліндром Сутарда 200–220 мм. Вплив співвідношення портландцементу та золи винесення на процеси газоутворення та кінетику спучування газобетонної суміші представлено на рис. 1. Слід відзначити, що найвищою кратністю спучування характеризується газобетон з найбільшою витратою цементу, однак потім відбувається зсідання газобетонного масиву, що призводить до зростання середньої густини газобетону.

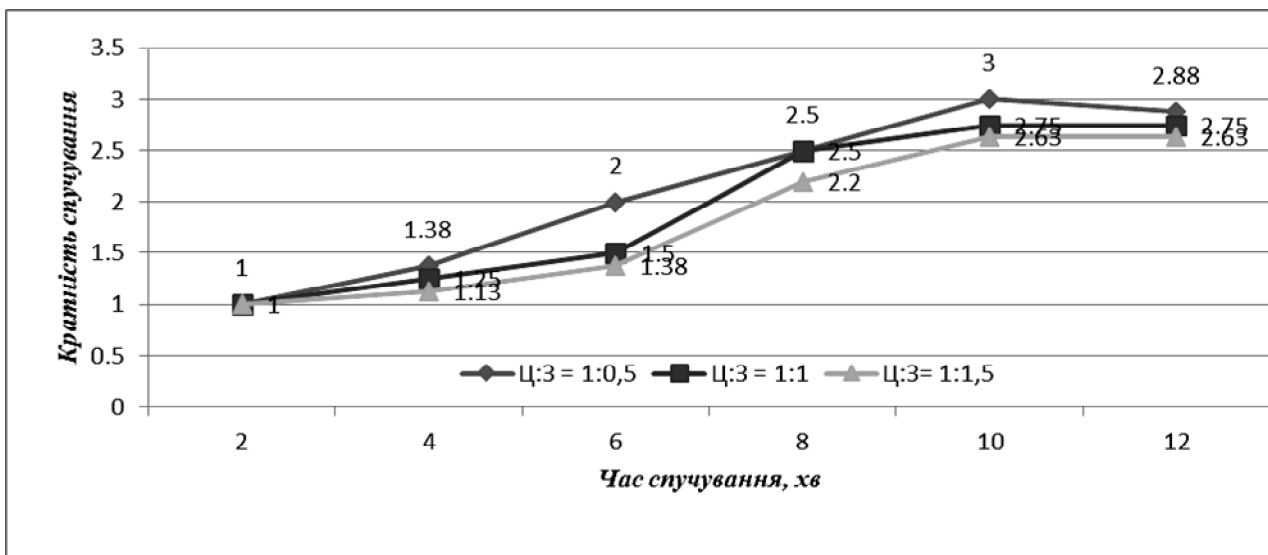


Рис. 1. Вплив цементнозольного співвідношення на кінетику спучування газобетонної суміші

Вплив цементнозольного співвідношення на середню густину і границю міцності на стиск зразків неавтоклавної газобетону наведено у табл. 1. Проведеними дослідженнями встановлено, що оптимальним цементнозольним співвідношенням з врахуванням забезпечення мінімальної середньої густини та достатньої міцності газобетону є співвідношення Ц:З=1:1.

Таблиця 1

#### Вплив цементнозольного співвідношення на властивості газобетону

Властивості газобетону	Цементнозольне співвідношення (Ц:З)		
	1:0,5	1:1	1:1,5
Середня густина $\rho_{\text{сер}}$ , $\text{кг/м}^3$	570	530	540
Границя міцності при стиску, МПа, через 28 діб	1,61	1,50	0,83

Оптимізацію базових складів сухих сумішей з позиції покращення мікроструктури і фізико-механічних показників неавтоклавної газобетону здійснювали за рахунок використання хімічних добавок CENTRIPOR (0,3 мас.%), MCTF 12 (0,6 мас.%), Vianmix 38 (0,8 мас.%). Аналіз одержаних результатів показав, що використання хімічних добавок забезпечує зменшення середньої густини газобетону на 5–20 % порівняно з газобетоном без добавок, найменшою середньою густиною характеризується газобетон з добавкою MCTF 12, яка становить  $450 \text{ кг/м}^3$ . Слід відзначити, що міцність газобетону з добавками CENTRIPOR та Vianmix 38 в усі терміни тверднення є меншою, порівняно з міцністю газобетону без добавок (рис. 2). Використання добавки MCTF 12 забезпечує зростання міцності газобетону через 7 діб тверднення на 88 %, через 28 діб – на 46 %. Отже,

використання хімічної добавки МСТФ 12 дозволяє одержувати газобетон неавтоклавного тверднення марки за середньою густиною D500 та класом за міцністю В1,5, розрахунковий коефіцієнт теплопровідності 0,16 Вт/(мК), що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-45.

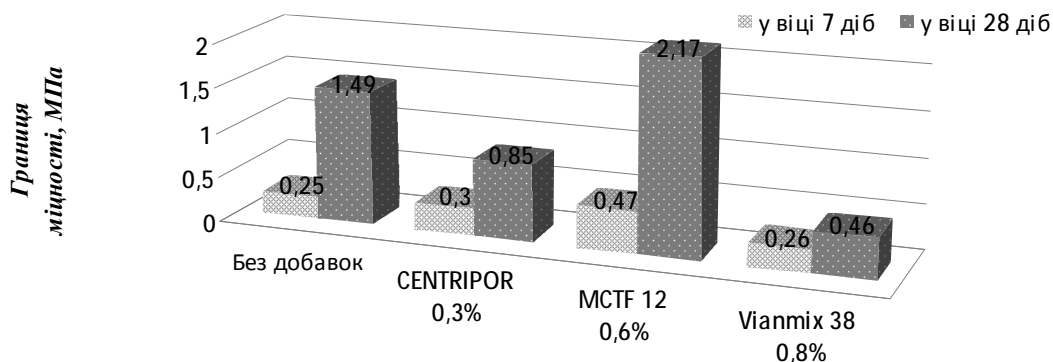


Рис. 2. Вплив хімічних добавок на міцність газобетону

Використання неавтоклавного газобетону має чимало переваг і на етапі виробництва, і на етапі транспортування виробів, будівництва та експлуатації будинку, що відповідає принципам стратегії збалансованого енергоощадного будівництва та найкращих доступних технологій. На виробництво неавтоклавного газобетону затрачають найменше енергії порівняно з іншими будівельними матеріалами, за рахунок малої середньої густини газобетону зменшуються затрати на його транспортування, оскільки при однаковій вантажопідйомності автомобіля збільшується кількість блоків з газобетону, що транспортуються. Енергоощадність при будівництві з газобетонних блоків полягає в зменшенні трудозатрат на муровання та підвищенні швидкості будівництва. Рівномірно розподілена дрібнодисперсна ніздрювата структура газобетону забезпечує його добрі теплоізоляційні властивості та відповідний мікроклімат всередині приміщень.

**Висновки.** Встановлено, що оптимальним способом одержання неавтоклавного теплоізоляційного газобетону є використання готової сухої суміші, що містить портландцемент, золу виносення, алюмінієву пудру та хімічну добавку МСТФ 12. Готову суху суміш доцільно використовувати для виготовлення теплоізоляційного газобетону природного твердіння в умовах будівельного майданчику, для заповнення багатошарових огорожувальних конструкцій і виконання інших теплоізоляційних робіт і в процесі будівництва, і в процесі експлуатації будівель, а також у заводських умовах для виготовлення дрібноштучних виробів.

1. Ячеистый бетон как приоритетный энергосберегающий стеновой материал в странах СНГ / Сердюк В. Р., Августович Б. И., Абсеметов В. Э., Марданов А. К. // Сборник "Строительные материалы, изделия и санитарная техника". – 2014. – № 52. – С. 54–61. 2. Теплова ізоляція будівель. – ДБН В.2.6-31:2016. – [Чинний від 2017-05-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2016. – 33 с. (Державні будівельні норми). 3. Фискинд Е. С. Автоклавный ячеистый бетон – экономичный и эффективный материал для строительства любой этажности / Е. С. Фискинд, Т. А. Ухова // Строительные материалы. – 2007. – № 7. – С. 8–9. 4. Черкасов В. Д. Исследование свойств ячеистых бетонов, полученных на основе сухих смесей / В. Д. Черкасов, В. И. Бузулуков, А. И. Емельянов, Е. В. Киселев. – Вестник отделения строительных наук. – 2008. – № 12. – С. 292–295. 5. Бетони ніздрюваті. Технічні умови. – ДСТУ Б В.2.7-45-2010. – [Чинний від 2010-11-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 41 с. (Національний стандарт України. 6. Чистов Ю. Д. Теоретические основы создания ячеистого бетона из пылевидных отходов дробления бетонного лома / Ю. Д. Чистов, С. А. Гусенков, М. В. Краснов // Материалы Международной научно-практической конференции "Пенобетон 2005". – С. 85–89. 7. Karakurt S., Kurama H., Topcu B. Utilization of natural zeolite in aerated concrete production // Cement & Concrete Composites, 32 (2010) 1–8. 8. Михеенков М. А.

*Механизм структурообразования и кинетика твердения высокопористых неорганических композиций / М. А. Михеенков, С. И. Чуваев // Строительные материалы. – 2003. – № 3 – С. 40–41.*

#### References

1. *Yacheistyuy beton kak prioritetnyuy energosberegayushchiy stenovoy material v stranakh SNG [Cellular concrete as a priority energy-saving wall material in CIS countries] / Serdyuk VR, Avgustovich BI, Absemetov VE, Mardanov AK // Collection “Building Materials, Products and Sanitary Equipment” – 2014. – No. 52. – P. 54–61. [in Russian].*
2. *Teplova izolyatsiya budivel [Insulation of buildings]. (2016). DBN V.2.6-31:2016 from 1<sup>st</sup> May 2017. Kiev: Building norms of Ukraine [in Ukraine].*
3. *Avtoklavnyy yacheistyuy beton – ekonomichnyuy i effektivnyuy material dlya stroitel'stva lyuboy etazhnosti [Autoclaved cellular concrete is an economical and effective material for the construction of any number of storeys] / E. S. Fiskind, T. A. Ukhova // Building Materials. 2007. No. 7. – P. 8–9. [in Russian].*
4. *Issledovaniye svoystv yacheistykh betonov, poluchennykh na osnove sukhikh smesey [Investigation of the properties of cellular concrete obtained on the basis of dry mixtures] / V. D. Cherkasov, V. I. Buzulukov, A. I. Emelyanov, E. V. Kiselev. – Bulletin of the Department of Building Sciences. – 2008. – No. 12. – P. 292–295 [in Russian].*
5. *Betony nizdryuvati. Tekhnichni umovy [Concrete cellular. Specifications]. (2010). DSTU B V.2.7-45:2010 from 1<sup>st</sup> November 2010. Kiev: National standard of Ukraine [in Ukraine].*
6. *Teoreticheskiye osnovy sozdaniya yacheistogo betona iz pylevidnykh otkhodov drobleniya betonnoyo loma [Theoretical foundations for the creation of cellular concrete from pulverized scrap crushing of concrete scrap] / Y. D. Chistov, S. A. Gusenkov, M. V. Krasnov // Materials of the International Scientific and Practical Conference “Foam Concrete 2005”. – P. 85–89 [in Russian].*
7. *Karakurt C., Kurama H., Topcu B. Utilization of natural zeolite in aerated concrete production // Cement & Concrete Composites, 32 (2010) 1–8.*
8. *Mekhanizm strukturoobrazovaniya i kinetika tverdeniya vysokoporistykh neorganicheskikh kompozitsiy [The mechanism of structure formation and kinetics of hardening of highly porous inorganic compositions] / M. A. Mikheyenkov, S. I. Chuvaev // Building Materials. – 2003. – No. 3. – P. 40–41 [in Russian].*