

## БЕЗАВТОКЛАВНИЙ ГАЗОБЕТОН З СУХОЇ СУМІШІ

### NON-AUTOCLAVE DRY MIX GAS CONCRETE

**Бондаренко С. В., к.т.н., доц.,** [orcid.org/0000-0001-9947-721X](https://orcid.org/0000-0001-9947-721X); **Дехта Т. М., к.т.н., доц.,** [orcid.org/0000-0001-5023-3070](https://orcid.org/0000-0001-5023-3070); **Василенко С. В., асистент,** [orcid.org/0000-0001-8687-4726](https://orcid.org/0000-0001-8687-4726) (Український державний університет науки і технологій, Навчально-науковий інститут Придніпровська державна академія будівництва та архітектури)

**S. V. Bondarenko, Ph.D., associate professor,** [orcid.org/0000-0001-9947-721X](https://orcid.org/0000-0001-9947-721X); **T. M. Dekhta, Ph.D., associate professor,** [orcid.org/0000-0001-5023-3070](https://orcid.org/0000-0001-5023-3070); **S. V. Vasylenko, assistant,** [orcid.org/0000-0001-8687-4726](https://orcid.org/0000-0001-8687-4726) (Ukrainian state university of science and technology, educational and scientific institute of the Dnipro state academy of construction and architecture)

Економія паливно-енергетичних ресурсів, швидке будівництво нового житла і відбудова пошкодженого, підвищення ефективності теплової ізоляції будівель і споруд, впровадження енергоефективних матеріалів є пріоритетними напрямками в розвитку будівельної галузі. Одним з ефективних будівельних матеріалів є конструкційно-теплоізоляційний газобетон. На практиці широке застосування знайшли вироби з конструкційно-теплоізоляційного газобетону автоклавного тверднення, виробництво якого характеризується великими витратами енергії, металосмістю, великою виробничою площею. Актуальністю даної роботи є те, що приготування безавтоклавного газобетону може відбуватись з попередньо приготованих сухих сумішей. Перевагами сухих будівельних сумішей для газобетону є висока точність дозування і висока ступінь гомогенізації компонентів, що забезпечують стабільність технологічних та експлуатаційно-технічних властивостей матеріалу. Застосування сухих будівельних сумішей для виробництва конструкційно-теплоізоляційного газобетону може бути перспективним в малоповерховому монолітному будівництві. Найбільш доцільно монолітні домобудівництва в сільській місцевості. Сухі будівельні суміші для газобетону включають в'язуче, газоутворювач і регулятори структуроутворення газобетону. Найчастіше для отримання газобетону застосовується: в'язуче - портландцемент марки 500; газоутворювач - алюмінієва пудра ПАП 1, 2, ПАК-3. На підставі проведених досліджень отримано безавтоклавний газобетон D 600 з стабільними показниками густини та міцності

Saving fuel and energy resources, rapid construction of new housing and reconstruction of damaged ones, increasing the efficiency of thermal insulation of buildings and structures, and introducing energy-efficient materials are priority areas in the development of the construction industry. One of the effective building materials is structural and heat-insulating gas concrete. In practice, products made of structural and heat-insulating gas concrete of autoclave hardening have found wide application, the production of which is characterized by high energy consumption, metal consumption, and a large production area. The relevance of this work is that the preparation of non-autoclave gas concrete can be carried out from pre-prepared dry mixes. The advantages of dry building mixes for aerated concrete are high dosing accuracy and a high degree of homogenization of components, which ensure the stability of technological and operational-technical properties of the material. The use of dry building mixtures for the production of structural and heat-insulating gas concrete can be promising in low-rise monolithic construction. Monolithic housing construction is most appropriate in rural areas. Dry building mixtures for gas concrete include a binder, a gas former and regulators of the structure formation of gas concrete. Most often, the following are used to obtain gas concrete: binder - Portland cement grade 500; gas former - aluminium powder PAP 1, 2, PAK-3. Based on the conducted research, non-autoclaved gas concrete D 600 with stable density and strength indicators was obtained

**Ключові слова:** безавтоклавний газобетон, сухі будівельні суміші, в'язуче, газоутворювач, мікронаповнювачі.

**Вступ.** Економія паливно-енергетичних ресурсів, підвищення ефективності теплової ізоляції будівель і споруд, впровадження енергоефективних матеріалів є пріоритетними напрямками в розвитку будівельної галузі [1, 2].

Одним з ефективних будівельних матеріалів є конструкційно-теплоізоляційний газобетон. На практиці широке застосування знайшли вироби з конструкційно-теплоізоляційного газобетону автоклавного тверднення, виробництво якого характеризується великими витратами енергії, металоємністю, великою виробничою площею.

**Метою дослідження** є запит на технологію неавтоклавного газобетону, перевагою якої є низька собівартість продукції. Газобетон неавтоклавного твердіння в теперішній час поки не знайшов належного застосування в зв'язку з більш низькими експлуатаційними властивостями в порівнянні з автоклавним. Технологія неавтоклавного бетону проста і вимагає незначної кількості обладнання та енергії [3, 4].

Основною конкурентоспроможною технологією неавтоклавного газобетону може стати приготування з попередньо приготованих сухих сумішей. Перевагами сухих будівельних сумішей для газобетону є висока

точність дозування і висока ступінь гомогенізації компонентів, що забезпечують стабільність технологічних та експлуатаційно-технічних властивостей матеріалу.

Застосування сухих будівельних сумішей для виробництва конструкційно-теплоізоляційного газобетону може бути перспективним в малоповерховому монолітному будівництві. Найбільш доцільно монолітні домобудівництва в сільській місцевості [5].

У зв'язку зі збільшенням вартості енергоносіїв підвищуються вимоги до теплоізоляції житлових і громадських будівель. Найбільш ефективним матеріалом для огорожувальних конструкцій, перегородок, заповнення прорізів несучих конструкцій є ніздрюватий бетон. Він характеризується достатньою міцністю, низькою теплопровідністю і невисокою вартістю в порівнянні з іншими теплоізоляційними і конструктивно-теплоізоляційними матеріалами [6].

Ніздрюватий бетон - штучний камінь з рівномірно розподіленими по всьому об'єму повітряними порами.

**Результати експериментальних досліджень.** У багатьох країнах широке застосування отримав газофібробетон (Cellular Fibro Concrete) CFC Д600 одержуваний з сухої будівельної суміші, яка поставляється на об'єкти в мобільних бункерах - силосах або міксерах [7].

Сухі будівельні суміші для газобетону включають в'яжуче, газоутворювач і регулятори структуроутворення газобетону. Найчастіше для отримання газобетону застосовується: в'яжуче - портландцемент марки 500; газоутворювач - алюмінієва пудра ПАП 1, 2, ПАК-3 [8].

Цемент вводять в кількості 30-70 %. При вмісті портландцементу менше 30 % міцність газобетону може бути недостатньою, а більше 70 % за рахунок збільшення осадкових деформацій знижується міцність. На набір міцності в ранні терміни твердіння впливають зерна цементу розміром до 40 мкм, а в пізні - зерна розміром більше 40 мкм.

Алюмінієва пудра вводиться в кількості 0,1-0,25 % від загальної сухої маси. Для знежирення алюмінієвої пудри застосовується сульфанол в кількості 5 % від ПАК-3 і інші речовини.

В якості регулятора структуроутворення вводяться: для зниження усадки мікронаповнювачі пісок, зола виносу ТЕС, шлаки та інша техногенна сировина. Вони вводяться в кількості 20-70 %; різні волокна - поліпропіленове, целюлозне, базальтове та інші вводять в кількості 0,6-2 %.

Для регулювання в'язко-пластичних властивостей і зниження водопотреби, а отже підвищення міцності вводять супер пластифікатори на основі продуктів конденсації нафталін або меламін сульфокислот, гіперпластифікатори на основі карбоксилатів. Пластифікатори вводять в кількості 0,2-0,6 % від сухої маси. При кількості менше 0,2 % не досягається необхідна текучість, а більше 0,6 % не відбувається істотне її збільшення [9].

Для підвищення міцності газобетону і деякої пластичності в суміш вводиться тонкодисперсний наповнювач (у вигляді мікрокремнезему) з розміром зерен менше 0,5 мкм. Мікрокремнезем розташовується між зернами цементу і проявляє пуцоланічні властивості вступає в реакцію з  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з

утворенням низькоосновних гідросилікатів кальцію, що призводить до підвищення щільності і міцності міжпорових перегородок і газобетону в цілому. Мікрокремнезем вводиться в кількості 2-6 % від маси цементу. При введенні менше 2 % не досягається істотного впливу на міцність, а більше 6 % призводить до утворення тріщин.

Для поліпшення спучування суміші в неї вводять вапно в кількості 1-2,5 % від сухої суміші. При вмісті вапна менше 1 % її вплив на швидкість спучування незначний, а більше 2,5 % призводить до зниження міцності [5].

Поліпшення спучування суміші і прискорення твердіння газобетону може відбуватися за рахунок введення хлориду кальцію або натрію в кількості 0,2-0,25 %. При вмісті хлоридів менше 0,2 % не забезпечується ефективне прискорення твердіння бетону, а більше 0,25 % ефект прискорення тверднення знижується.

Для прискорення тужавлення суміші і підвищення її міцності після тужавлення в вводять напівводяний гіпс в кількості 2-4 %. При вмісті гіпсу менше 2 % швидкість тужавлення практично не збільшується, а більше 4 % відбувається втрата міцності після закінчення тужавлення.

Останнім часом в ряді публікацій повідомляється, що введення до складу сухої суміші пороутворювача (алюмінієвої пудри) значно зменшує термін придатності сухої суміші і знижує якість газобетону. Ймовірно це пов'язано з частковим окисленням поверхні частинок алюмінієвої пудри киснем повітря. Тому алюмінієву пудру і фібру пропонується вводити не на етапі приготування сухої суміші, а на етапі змішування суміші з водою.

За кордоном алюмінієва пудра вводиться до складу сухої суміші разом з водою замішування на місці проведення робіт. Водотверде співвідношення (В/Т) при замішуванні сухої суміші з використанням пластифікатора знаходиться в межах 0,32-0,5 залежно від вмісту в суміші цементу і кількості введеної пластифікуючої добавки визначається їх співвідношенням при досягненні оптимальних реологічних характеристик (граничного напруження зсуву, пластичної в'язкості). Фактично реологічні характеристики визначаються розтіканням суміші на приладі Суттарда і повинні знаходитись в межах 18-30 см, а температура суміші 35 °C [2].

Спучування газобетонної суміші відбувається в результаті збільшення обсягу газу, що виділяється з поверхні часток алюмінію при взаємодії з  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

При цьому максимальне напруження зсуву суміші повинно бути таким, що б відбувалося збільшення обсягу газових бульбашок до певних розмірів, а пластична в'язкість запобігала їх рух в суміші і вихід їх з неї. Після закінчення спучування має наступати тужавлення суміші, яке регулюється кількістю введеного суперпластифікатора і при необхідності гіпсу. Якщо тужавлення настає раніше закінчення спучування, то затверділа суміш розтріскується. При від термінуванні початку тужавлення через недостатню пластичну міцність відбувається підсадка спучування маси газобетону.

Останнім часом для зниження усадки і підвищення міцності до складу сухої суміші для неавтоклавного бетону пропонується вводити вуглецеві нанотрубки [10].

Для проведення досліджень використовували такі матеріали: алюмінієва пудра спочатку ПАП 1 + ПАП 2, а потім ПАК-3; пісок, мікрокремнезем, супер пластифікатори С-3, С-3 з прискорювачем і сповільнювачем, СП 3, сульфанол, целюлозне волокно, яке володіє кращим зчепленням з цементним каменем. В якості в'язучого застосовували цемент марки 500 ПЦ І; в якості мікронаповнювача пісок річковий з модулем крупності 1,24.

Кращим в співвідношенні часу спучування суміші з газотворювачем ПАК-3 і початком схоплювання після спучування показав С 3 без добавок.

Для рівномірного розподілу вуглецевих нанотрубок в міжпорових перегородках їх попередньо диспергували в ізопропіловому спирті з бентонітом протягом 5 хвилин в ультразвуковому диспергаторі. Отриману суміш після висушування вводили в змішувач сухого перемішування, де перемішували з основною сумішшю [11].

Щоб отримати газобетон D 600 в сировинну суміш вводили цемент марки 500 ПЦ І, пісок, алюмінієву пудру ПАК 3 з сульфанолом і вапно.

**Висновки.** На підставі проведених досліджень отримано неавтоклавний газобетон D 600 з стабільними показниками щільності та міцності.

1. Mariusz Holtzer, Rafał Dańko, Angelika Kmita, Dariusz Drożyński, Michał Kubecki, Mateusz Skrzyński, Agnieszka Roczniak (2020). Environmental Impact of the Reclaimed Sand Addition to Molding Sand with Furan and Phenol-Formaldehyde Resin-A Comparison // *Materials*, Vol. 13, P. 4395. <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/19/4395>

2. Sang-Yeop Chung, Pawel Sikora, Dietmar Stephan, Mohamed Abd Elrahman (2020). The Effect of Lightweight Concrete Cores on the Thermal Performance of Vacuum Insulation Panels // *Materials*, Vol. 13, P. 2632. <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/11/2632>

3. Xiaohui Zhu. Properties of Alkali Activated Slag Concrete // *Chemical Engineering TransactionsCET Journal*, 2017. Vol. 62. P. 1009 – 1014. <https://doaj.org/article/4d39fc854a7e44749abd80068fa052c2>

4. Rimma K. Niyazbekova, Muratbek T. Userbaev, Gulnara A. Kokayeva, Lazzat S. Shansharova, Marat D. Konkhanov, Saule A. Abdulina. Ash Deposits CHP – as an Additional Source of Raw Material for Construction Production // *Chemical Engineering TransactionsCET Journal*. 2018. Vol. 70 P. 649 – 654. <https://doaj.org/article/56ad70ca5c6f438ab01cc7ac39af3b30>

5. Шпирько М.В., Бондаренко С.В., Бондаренко А.С. Суха суміш для газобетону в монолітному малоповерховому будівництві. Тези ХІХ міжнародної науково практичної конференції «Інноваційні технології у будівництві, цивільній інженерії та архітектурі» м. Чернігів, 19-22 вересня 2021р. – Дніпро: ДВНЗ ПДАБА, 2021. – 334-336 с. ISBN 978-966-323-225-6.

6. Дехта Т. М., Шпирько М. В., Бондаренко С. В., Василенко С. В. Будівельне матеріалознавство: навчальний посібник. - Дніпро: ДВНЗ «ПДАБА», 2022. - 115 с. ISBN 978-966-323-229-4.

7. Рунова Р. Ф., Гоц В. І. Основи виробництва стінових та оздоблювальних матеріалів: К. – Основа, 2016. – 528 с. ISBN: 978-966-699-884-5.

8. ДСТУ Б В.2.7-126:2011. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови.

9. ДСТУ Б В. 2.7-45:2010 «Бетони ніздрюваті»

10. Зоткин А. Г. Бетони з ефективними добавками: К. – Інфра-Іженерія, 2021. – 160 с. ISBN: 978-5-9729-0688-8.

11. Рунова Р.Ф., Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Носовський Ю.Л. В'язучі речовини: підручник: Київ. – Основа, 2012. – 446 с.