

УДК 691.327:624.131.22.002.68

**АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ АСПЕКТІВ ОДЕРЖАННЯ ГАЗОБЕТОНУ ЗНИЖЕНОЇ ГУСТИНИ**

**ANALYSIS OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL ASPECTS OF PRODUCING AERATED CONCRETE OF LOW DENSITY**

**Сторчай Н.С. д.т.н., проф.,** ORCID: 0000-0002-6600-4632 (Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, м. Дніпро), **Радкевич А.В. д.т.н., проф.** (Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро), **Соколов І.А. д.т.н., проф.,** ORCID: 0000-0001-8366-4301 (Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, м. Дніпро), **Зібров І.Ф. асп.,** ORCID: 0000-0002-9384-985X (Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро)

**Storchai N.S., Dr., Professor,** ORCID: 0000-0002-6600-4632 (Pridniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro), **Radkevich A.V., Dr., Professor,** (Ukrainian State University of Science and Technologie, Dnipro), **Sokolov I.A., Dr., Professor,** ORCID: 0000-0001-8366-4301 (Pridniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro), **Zibrov I.F., PG student** ORCID: 0000-0002-9384-985X (Ukrainian State University of Science and Technologie, Dnipro)

У статті представлено літературний огляд, за результатами якого встановлено, що на тлі загальносвітових тенденцій ефективного використання сировинних та енергетичних ресурсів застосування автоклавного газобетону як теплоізоляційного та конструкційного матеріалу є перспективним. Однак виробництво автоклавного газобетону зниженої середньої густини з необхідною для транспортування та монтажу міцністю при стиску є актуальним питанням і потребує комплексного рішення.

The article presents a literature review, based on the results of which it was established that, against the background of global trends in the effective use of raw and energy resources, the use of autoclaved aerated concrete as a thermal insulation and construction material is promising. However, the production of autoclaved aerated concrete of reduced average density with the necessary compressive strength for transportation and installation is a complex scientific and technical task and requires a comprehensive solution.

The variety of properties of aerated concrete and a large number of recipe-technological factors of its production predetermine the need to use modern methods for solving multicriteria poorly structured problems, such as

## **controlling the structure of heat-insulating autoclaved aerated concrete and optimizing its composition.**

**Ключові слова:** Теплоізоляційний газобетон, середня густина, ніздрювата структура

Heat-insulating aerated concrete, medium thickness, honeycomb structure

**Вступ.** Посилення вимог до ресурсо- та енергозбереження, просування ідей зеленого будівництва впливає на розробку нових будівельних матеріалів. Одним із таких матеріалів є теплоізоляційний автоклавний газобетон, густина якого в даний час коливається близько  $350 \text{ кг/м}^3$ . Подальше зниження марки за середньою густиною до D250 і менш є проблематичним через складність забезпечення стабільної та рівномірної комірчастої структури при збереженні необхідної міцності силікатної матриці, формування яких залежить від багатьох рецептурно-технологічних факторів.

Для покращення теплотехнічних показників, виробники автоклавного газобетону прагнуть отримати продукцію нижчої густини, забезпечуючи відповідно клас за міцністю на стиск не нижче B1,5 – для конструкційно-теплоізоляційного та не нижче B0,35 – для теплоізоляційного газобетону (згідно ДСТУ Б В.2.7-45:2010).

Таким чином, застосування ефективних пористих матеріалів з покращеними теплоізоляційними властивостями при необхідному рівні експлуатаційно-будівельних показників якості сприяє зниженню ваги конструкцій та економії енергетичних витрат на опалення будівель. Останні заходи повністю відповідають вимогам сучасного будівництва, оскільки дозволяють зменшити товщину конструкцій, що захищають, підвищити темпи будівництва, знизити навантаження на фундаменти, покращити теплозахисні якості, скоротити собівартість виробів.

**Аналіз публікацій.** Відомо, що виробництво автоклавного газобетону середньою густиною  $150 - 200 \text{ кг/м}^3$  з необхідною для транспортування та монтажу міцністю при стисканні є складним науково-технічним завданням та має певні особливості. По-перше, у такого бетону має бути сформована оптимальна пориста структура: понад 80% обсягу матеріалу повинні займати рівномірно розподілені газові та капілярні пори. По-друге, для забезпечення необхідної конструкційної міцності матеріалу міжпорові перегородки повинні бути максимально щільним з найменшою кількістю дефектів.












Зниження густини матеріалу досягається певними перетвореннями типу і форми макропор з сферичної, з розрізненим розподілом пор за об'ємом, в багатогранникову з щільною упаковкою пор (таблиця 1).

Під оптимальною комірчастою структурою теплоізоляційного газобетону розуміється рівномірно розподілена в обсязі матеріалу пористість у вигляді

полідисперсних, замкнутих, сформованих у правильні багатогранники пори, розділені тонкими і щільними, однаковими по перерізу міжпоровими перегородками з глянсовою поверхнею пір.

Таблиця 1

Тип і форма пористої структури АГБ залежно від його середньої густини

Тип упаковки ніздрюватих структур	Кубічна одно- і двохмодальна					Гексагональна одно- і двохмодальна			Багатогранникова і сотова		
											
Густина автоклавного газобетону, кг/м <sup>3</sup>	>1110	1000-1100	900-1000	800-900	700-800	600-700	500-600	400-500	300-400	200-300	<200

На думку багатьох дослідників максимальне наближення структуру пір ніздрюватого бетону до оптимальної можливо за рахунок: збільшення загальної пористості матеріалу; досягнення рівномірного розподілу пір з мінімальним діаметром; максимально можливе зниження товщини міжпорових перегородок; підвищення міцності перегородок; - збільшення співвідношення відкритих і закритих пір на користь останніх.

Донедавна основною проблемою отримання теплоізоляційних автоклавних газобетонів зниженої густини була безальтернативність використання як пороутворювача алюмінієвих пудр (марки «ПАП-1» та «ПАП-2»). Їх застосування ускладнює отримання виробів із рівномірною структурою і формою пор через різномірний дисперсний склад (незмінність кінетики газоутворення), наявність парафінової плівки на поверхні частинок (не всі частинки вступають у реакцію газоутворення), високого ступеня пилу та вибухонебезпечності (негативні умови праці).

Досліди показують, що застосування спеціалізованого газоутворювача на основі алюмінієвих паст дозволяє в промислових масштабах випускати теплоізоляційні вироби з автоклавного газобетону марки середньої густини D300 – D350. Подальше зниження густини матеріалу, при використанні даного типу газоутворювача, неможливе без спрямованого покращення структури і міцність композиту.

Можливі шляхи вирішення цієї проблеми позначені в роботах Yang R., Mukesh C., Narayanan N. У своїх роботах вчені відзначають, що завдання підвищення міцності автоклавного газобетону можна вирішити введенням у

сировинну суміш різного роду добавок, завдяки яким стає можливим як збільшення показників міцності автоклавного газобетону зниженої густини, так і поліпшення якості ніздрюватої структури матеріалу. Ефективним технологічним прийомом підвищення фізико-механічних характеристик газобетону є дисперсне армування силікатного каменю волокнистими добавками. Даний вид армування дозволяє впливати на характер напруженого стану матриці пористого бетону при додатку навантажень, а за рахунок перерозподілу навантажень гальмувати процеси розвитку тріщин та руйнування матеріалу [1, 2].

Існують різні технологічні способи, що дозволяють впливати на структуру і, отже, на властивості матеріалу. Перспективним, з погляду підвищення структурної міцності автоклавного газобетону, є запровадження комплексу добавок різної дисперсності разом із пластифікуючими компонентами. Актуальним на сьогоднішній день є застосування ультрадисперсних добавок, що містять активний кремнезем, наноструктури (Laukaitis A., Keriene, J.) [3-5].

Одним із способів суттєвого покращення фізико-механічних характеристик будівельних матеріалів на основі цементу є використання вуглецевих нанотрубок (ВНТ). Застосування вуглецевих наноматеріалів для структурування в'язучих матриць у бетонах щільної та поризованої структури сприяє підвищенню міцності, морозостійкості, водонепроникності та тріщиностійкості. Було встановлено, що ВНТ виконують роль центрів кристалізації при твердінні бетонів та призводять до формування кристалогідратних новоутворень підвищеної щільності та міцності.

У роботі литовських дослідників [4, 6] для покращення властивостей автоклавного газобетону використовувався нанодисперсний діоксид кремнію. Ці автори запропонували для структурування гідросилікатів кальцію в газобетонах автоклавного твердіння додавати вуглецеве волокно, додатково активоване помелом [4].

Істотний вплив на в'язкопластичні властивості газобетонної суміші надає наявність у складі останньої різноманітних добавок, що впливають на поверхневі явища, що виникають на межах розділу фаз [7]. Так введення до складу газобетону невеликої кількості поверхнево-активних добавок сприяє зниженню водотвердого співвідношення, оптимізує процеси вспучування пористого масиву. На сьогоднішній день цей напрямок досліджень активно розвивається у зв'язку з розширенням номенклатури хімічних добавок, що модифікують, різного функціонального призначення [8].

Ключовими питаннями при розробці складів теплоізоляційного автоклавного газобетону є якість і вид в'язучого, кремнеземистого компонента, витрата газоутворювача, співвідношення в'язуче - наповнювач, реологічні властивості суміші, кінетика набору пластичної міцності пористого масиву.

Дослідники, які працюють у галузі газобетону автоклавного твердіння відзначають, що при виробництві виробів зниженої густини вміст компонентів у газобетонній суміші значно знижується. Так, загальна кількість твердих речовин у разі зниження густини газобетону з  $600 \text{ кг/м}^3$  до  $200 \text{ кг/м}^3$  зменшується на 68 %. Звичайно, це не означає, що і вартість сировини скорочується відповідно, так як для виробництва виробів зниженої густини необхідні якісніші сировинні компоненти, а також використання різноманітних дорогих добавок. Крім цього змінюється також співвідношення сировинних матеріалів, збільшується вміст алюмінію, причому у разі у відсотковому співвідношенні, а й у абсолютній кількості.

Також дослідники роблять висновок, що автоклавний газобетон зниженої густини є енергозберігаючим матеріалом як за своїми експлуатаційними властивостями, так і на етапі його виробництва. Зазначається, що при автоклавванні газобетону зниженою густиною час витримки може бути скорочено на 2 години. Це пояснюється більш пористою структурою газобетону, що дозволяє насиченій парі швидше проникати вглиб матеріалу.

**Висновки.** Таким чином, в результаті аналізу існуючих досліджень, спрямованих на розробку ефективного теплоізоляційного газобетону автоклавного твердіння, можна виділити два основні підходи у вирішенні задачі підвищення теплотехнічних характеристик виробів, що випускаються. Перший підхід націлений на максимально можливе зниження густини і, відповідно, теплопровідності виробу. Завданням другого є збереження або підвищення рівня показників міцності якості матеріалу, що, головним чином, пов'язано зі збільшенням несучої здатності міжпорових перегородок. Загалом для досягнення найкращого ефекту необхідно проводити роботу з комплексного покращення процесу структуроутворення матеріалу. Для цього необхідно досліджувати цей процес на мікро- та макрорівнях, визначити фактори, що мають найбільший вплив на утворення мінералів, що беруть участь у формуванні міцної структури твердої фази автоклавного газобетону, а також оцінити основні технологічні особливості, що впливають на протікання процесів утворення пор та міжпорового простору теплоізоляційного автоклавного газобетону.

1. Bonakdar, A., Babbitt, F., Mobasher, B., Hullmann H. Physical and mechanical characterization of Fiber-Reinforced Aerated Concrete (FRAC) / A. Bonakdar, F. Babbitt, B. Mobasher, H. Hullmann // *Cement & Concrete Composites*. – 2013. – №. 38. – P. 82

2. Narayanan, N., Ramamurthy, K. Structure and properties of aerated concrete: a review / N. Narayanan, K. Ramamurthy // *Cement & Concrete Composites*. – 2000. – №. 22. – P. 321

3. Keriene, J. The influence of multi-walled carbon nanotubes additive on properties of non-autoclaved and autoclaved aerated concretes / J. Keriene, M. Kligys, A. Laukaitis, G. Yakovlev, A. Spokauskas, M. Aleknevičius // *Construction and Building Materials*. – 2013. – Vol. 49. – P.527.
4. Laukaitis, A., Keriene, J., Kligys, M., Mikulskis, D., Lekunaite, L. Influence of mechanically treated carbon fibre additives on structure formation and properties of autoclaved aerated concrete / A. Laukaitis, J. Keriene, M. Kligys, D. Mikulskis, L. Lekunaite // *Construction and Building Materials*. – 2012. - №26. – P. 362.
5. Laukaitis, A., Keriene, J., Mikulskis, D., Sinica, M., Sezemanas, G. Influence of fibrous additives on properties of aerated autoclaved concrete forming mixtures and strength characteristics of products / A. Laukaitis, J. Keriene, D. Mikulskis, M. Sinica, G. Sezemanas // *Construction and Building Materials*. – 2009. - №23. – P. 3034.
6. Laukaitis, A., Keriene, J., Kligys, M., Mikulskis, D., Lekunaite L. Influence of amorphous nanodispersible SiO<sub>2</sub> additive on structure formation and properties of autoclaved aerated concrete / A. Laukaitis, J. Keriene, M. Kligys, D. Mikulskis, L. Lekunaite // *Mater Sci (Medziagotyra)*. – 2010. - №16(3). – P. 257
7. Panesar, D.K. Cellular concrete properties and the effect of synthetic and protein foaming agents / D.K. Panesar // *Construction and Building Materials* . - 2013. - №44. – P. 575
8. Norifumi, Isu., Satoshi, T., Hideki, I., Takeshi, M. Influence of quartz size on the chemical and mechanical properties of autoclaved aerated concrete (II) fracture toughness, strength and micropore // *Cement and Concrete Research*. - 1995. - №2. – P.249