

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ВИРОБНИЦТВА АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЯКОСТІ ВАПНА, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ

С.Д. Лаповська

*ДП «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів»*

Стабільність технології виробництва ніздрюватих бетонів і, як наслідок їх якість, залежить від багатьох факторів, до числа яких відносяться: якість сировинних матеріалів і стабільність їх властивостей, точність дозування вапна та піску при виготовленні вапняно-кремнеземистого в'язучого, існуючі допуски в технологічних параметрах і переділах, похибки вимірювань і т.п.

Не викликає сумніву той факт, що найбільший вплив на стабільність функціонування технології та якість ніздрюватих бетонів має нестабільність властивостей сировини, особливо вапна, як основного компоненту, що визначає параметри технології і властивостей готових виробів.

До числа найважливіших показників властивостей вапна, яке використовується при виробництві ніздрюватих бетонів, слід віднести масову частку активних СаО+MgO (активність вапна), час та максимальну температуру гашення, масову частку MgO і «перепал», потенціал і динаміку тепловиділення, стабільність її властивостей.

В'язучим для автоклавних газобетонів є молота вапняно-кремнеземиста суміш, показником якості якої служить її активність (масова частка СаО+MgO у ній, дисперсність суміші та кремнеземистого компоненту в складі суміші, матеріальний склад, потенціал і динаміка тепловиділення суміші). Використовуючи вапно низької активності, але в межах вимог нормативних документів, досить важко забезпечити потрібну активність суміші за масовою часткою СаО+MgO в ній і іншим параметрам. Навіть якщо і вдається витримати задану активність вапняно-кремнеземисто-піщаної суміші, то буде змінюватися матеріальний склад суміші за масовою часткою піску, карбонатної складової та домішок в ній. Розглянемо вплив вапна низької активності на параметри, технологічні переділи виробництва та якість ніздрюватобетонних виробів починаючи з моменту надходження вапна на склад заводу-споживача.

Вапно, яке надійшло на склад, взаємодіючи з вологою та вуглекислою повітря загашується та карбонізується. В результаті чого знижується його активність за масовою часткою оксиду кальцію ( $A_e$ ), максимальна температура ( $t_{max}$ ) та термін гідратації ( $\tau_e$ ), потенціал ( $Q_e$ ) і динаміка ( $dQ_e/dt_e$ ) тепловиділення. При транспортуванні вапна споживачу та збереженні її на складі також ймовірна її взаємодія з вологою та вуглекислою повітря. Тому ще до використання вапна безпосередньо в технологічному процесі можливо існування змін його якості [ 1,2].

Вапно поступає на заводи ніздрюватобетонних виробів, як правило, у вигляді грудок, які перед застосуванням піддаються дробленню. В операції дроблення фізико-механічні властивості вапна суттєво не встигають змінитися, за виключенням геометричних розмірів грудок, хоча в процесі дроблення можливе деяке усереднення властивостей вапна.

Етапом, на якому вплив якісних характеристик вапна відіграє істотну роль, є приготування меленої вапняно-піщаної суміші (ВПС). З точки зору однорідності та фізико-хімічної активності ВПС кращим є сухий сумісний помел вапна та піску.

Вхідними партерами даного етапу технології є властивості вапна та піску (хімічний склад, вологість  $W_e$ , масова частка домішок, гранулометрія та інші), а вихідними параметрами – властивості вже іншого напівфабрикату – молотої ВПС з її активністю  $A_{впс}$ , дисперсністю вапна  $S_e$  і  $S_n$  у складі суміші, потенціалом тепловиділення, динамікою гідратації тощо.

Задану активність молотої ВПС можливо отримати як з використанням вапна 1, 2 сортів, так і з використанням вапна активністю 70 % за  $CaO_{акт}$ . При зміні активності вапна для отримання заданої активності суміші змінюється матеріальний склад (МС) ВПС за вмістом кремнеземистого компоненту ( $SiO_2$ ), карбонатної складової ( $CaCO_3$ ) і домішок (Д).

Зміна матеріального складу ВПС природно впливає на її розмелоспроможність, так як цей показник для складових компонентів ВПС різний. В цій ситуації для забезпечення питомої поверхні піску в суміші буде потрібно різний час помелу, тобто час перебування ВПС у млині. При цьому задана питома площа поверхні піску в складі суміші при різній активності вапна, що використовується, не буде відповідати одному й тому ж фіксованому значенню питомої площі поверхні суміші; при одній і тій же питомій площі поверхні піску в суміші, але при різному матеріальному складі. Сумарна поверхня частинок піску в ВПС значно мінятиметься. Якщо розглянути вплив коливань активності вапна на приготування ВПС, то отримані партії молотої ВПС будуть характеризуватися перемінними властивостями активності суміші, її

матеріальному складі, тонини помелу вапна та піску в суміші, потенціалу тепловиділення та термінам гідратації; окрім цього, ВПС буде мати і різну водопотребу.

Якість вапна (особливо за показником активності і змінності її властивостей) вносить елемент нестабільності в усі технологічні переділи і, в кінцевому підсумку, призводить до нестабільності властивостей щодо зміни якості автоклавного газобетону

При регламентованій величині водотвердого відношення (В/Т) це змінить реологічні властивості формовочної суміші та умови формування структури сирцю (СС), і, відповідно, його властивості: в'язкість ( $\eta_c$ ), температуру ( $t_c$ ), вологість ( $W_c$ ), пластичну міцність ( $R_c$ ) і середню густину ( $\rho_c$ ). Все це виявляється результатом зміни потенціалу та динаміки тепловиділення формувальної суміші, термінів її гідратації і тверднення.

Параметри відформованого сирцю впливають на умови формування структури матеріалу (СБ) і є вхідними для етапу автоклавної обробки, в результаті якої формуються матеріал з певними параметрами макроструктури (П/Макр.) і мікроструктури (П/Мікр.).

У відношенні мікроструктури мова йде про наступні її параметри: масову частку цементуючих речовин ( $C_{це}$ ), коефіцієнт основності ( $K_{осн}$ ), питому площу поверхні ( $S_{пв}$ ) і питому теплоємність змочування цементуючих речовин ( $g_{пв}$ ); відносно ж параметрів мікроструктури - про обсяг ніздрюватих пор ( $V_{нп}$ ), обсяг мікропор ( $V_{мп}$ ), радіус пор ( $r_n$ ).

Параметри мікро- і макроструктури визначають, у свою чергу, основні властивості ніздрюватого бетону: середню щільність ( $\rho_c$ ), міцність ( $R_\delta$ ), вологісну усадку ( $E_w$ ), морозостійкість (F), а в кінцевому рахунку і собівартість готової продукції (СГП).

Якщо розглянути склади ніздрюватих бетонів, отриманих із вапна з розрахунковою активністю 72, 82 і 92 %, при активності ВПС 38-42 % та питомій поверхні ВПС в межах 350...400 м<sup>2</sup>/кг в залежності від часу ізотермічної витримки в автоклаві (табл.1, табл.2), то можна зазначити, що збільшення тривалості автоклавної обробки газобетону сприяє найбільш повному зв'язуванню CaO і SiO<sub>2</sub> в гідросилікати кальцію, причому при використанні високоактивного вапна (> 90 %) проходить найбільш повне та швидке зв'язування CaO і SiO<sub>2</sub> (рис.1 - рис. 3); у разі використання вапна активністю 70-80 % ріст вмісту цементуючих речовин дещо відстає і вони представлені більш високоосновними новоутвореннями в порівнянні з вапном більш високої активності.

Характер наростання міцності (рис.4, рис.5) відповідає динаміці зв'язування CaO і SiO<sub>2</sub> в гідросилікати кальцію та якісному складу останніх. У зразків газобетону, що виготовлені на вапні високої актив-

ності, в перші години ізотермічної витримки зростання міцності при стиску/згині йде значно швидше, ніж у зразків з активністю вапна 72-82 %. Першого максимуму міцності швидше досягають зразки, виготовлені на високоактивному вапні.

Таблиця 1

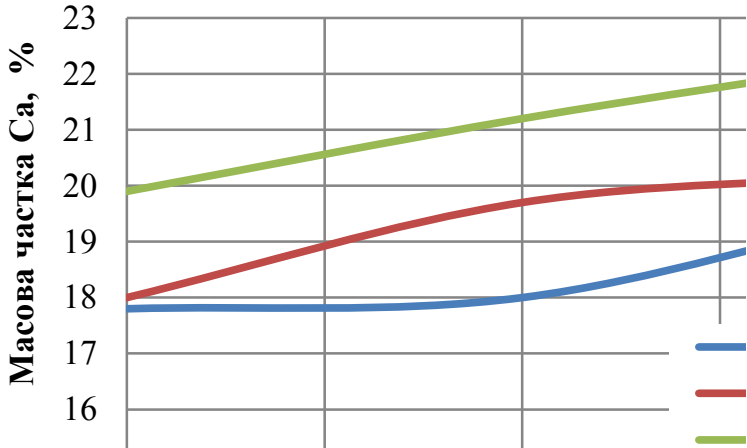
Мінералогічний склад газобетонної суміші  
за результатами рентгеноструктурного аналізу

Активність вапна, використаного для виготовлення суміші, Ав, %	Мінералогічний склад газобетону після ізотермічної витримки в автоклаві впродовж:		
	7 год.	9 год.	12 год.
72	Кварц Спурит CSH+Т(гель)	Кварц Спурит CSH+Т(гель)	Кварц Спурит Т(крист)
82	Кварц Спурит CSH+Т(гель)	Кварц Спурит Т(гель)+CSH	Кварц Спурит Т(крист)+CSH
92	Кварц Спурит (мало) Т (гель)	Кварц Спурит (мало) Т (гель)	Кварц Спурит (мало) Т (крист)

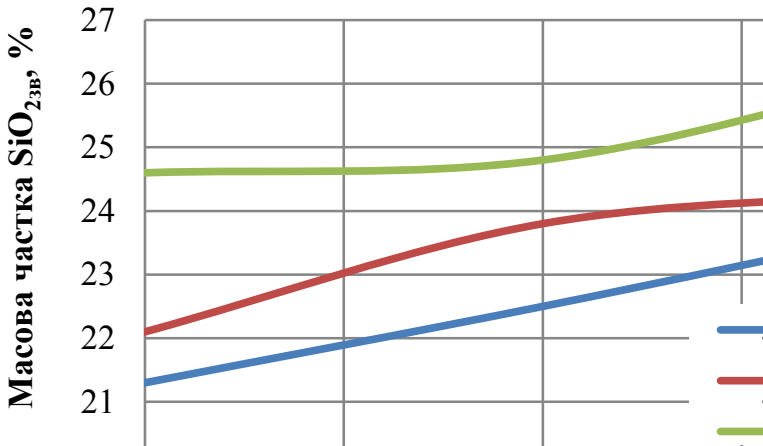
Таблиця 2

Кількісний фазовий склад автоклавного газобетону  
за даними ДТА

Активність вапна, використаного для виготовлення суміші, Ав, %	Фазовий склад (%) газобетону після ізотермічної витримки в автоклаві впродовж:		
	7 год.	9 год.	12 год.
72	Т=19,5 CSH(I)=5,7 CSH(II)=7,22	Т=20,3 CSH(I)=5,8 CSH(II)=6,75	Т=20,2 CSH(I)=8,65 CSH(II)=6,67
82	Т=21,0 CSH(I)=9,32 CSH(II)=6,53	Т=19,5 CSH(I)=5,3 CSH(II)=7,2	Т=21,8 CSH(I)=5,33 CSH(II)=6,95
92	CSH(I)=10,0 CSH(II)=15,30	CSH(I)=11,3 CSH(II)=15,0	CSH(I)=9,3 CSH(II)=14,5



**Рис. 1.** Кінетика зв'язування СаО за автоклавної обробки в залежності від активності використаного вапна



**Рис. 2.** Кінетика зв'язування SiO<sub>2</sub> за автоклавної обробки в залежності від активності використаного вапна

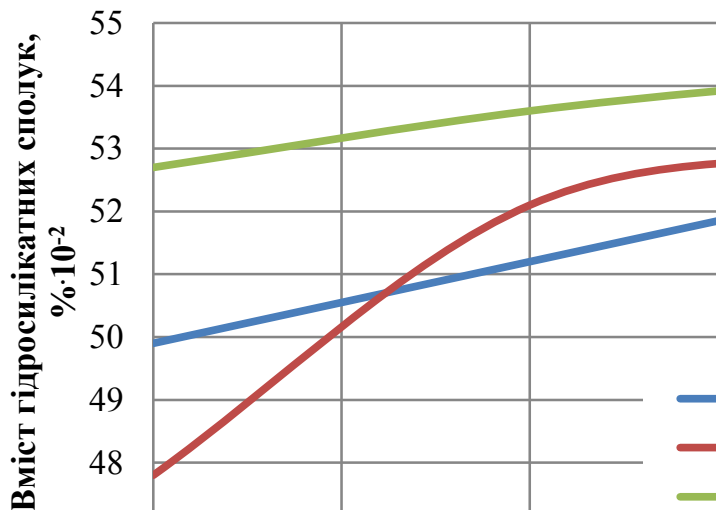


Рис. 3. Кінетика синтезу гідросилікатів кальцію в складі автоклавного газобетону залежно від активності використаного вапна

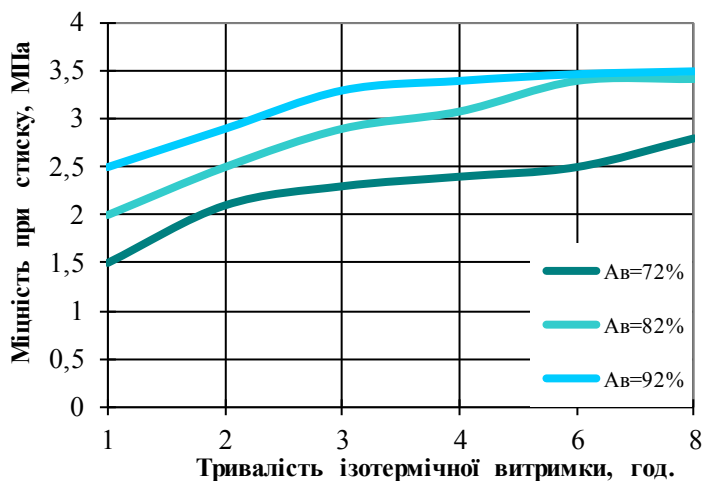


Рис. 4. Динаміка росту міцності при стиску автоклавного газобетону в залежності від активності використаного вапна

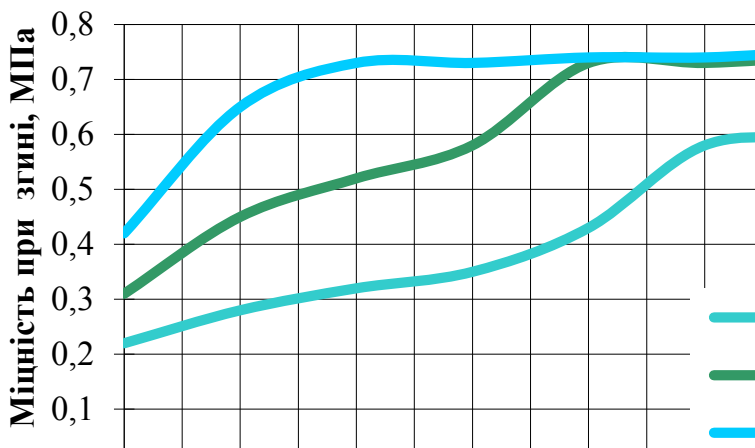


Рис. 5. Динаміка росту міцності при згині автоклавного газобетону в залежності від активності використаного вапна

Узагальнення результатів виконаних досліджень впливу коливань активності вапна на процеси структуроутворення та динаміку росту міцності автоклавного газобетону (табл. 3) показують закономірний зв'язок тривалості досягнення необхідного стану цементуючих речовин і максимальної міцності з активністю застосовуваного вапна.

Умовами необхідного стану цементуючих речовин є:

$$1) C_{\text{цв}} = (\text{CaO}_{\text{зв}} + \text{SiO}_{2\text{зв}} + \text{H}_2\text{O}_{\text{гидр}}) / 100 = 0,53; \quad (1)$$

$$2) K_{\text{осн}} = \text{CaO}_{\text{зв}} / \text{SiO}_{2\text{зв}} \leq 1; \quad (2)$$

3) Мінералогічний склад повинен бути представлений низкоосновними гідросилікатами кальцію з присутністю тобермориту  $11,3 \text{ \AA}$ .

Тривалість досягнення необхідного стану цементуючих речовин і максимальної міцності відрізняється, як мінімум, на 2 години на кожні 10 абсолютних % зниження активності вапна у порівнянні з вапном типової активності (72 % за масової частки CaO).

Активність вапна 70 % може вважатися пороговою, оскільки при збільшенні активності вапна понад 70 % (на 10 абсолютних відсотків) час необхідного коректування тривалості ізотермічної витримки складає вже не 2 год., а 0,5...1 год. Поряд із зазначеним слід підкреслити, що ефект позитивного впливу високоактивного вапна на структуроутворення має свої обмеження [3,4].

При використанні вапна з найбільшою активністю процеси структуроутворення та наростання міцності газобетону йдуть дійсно значно

швидше в порівнянні з іншими, які були використані в експериментах, партіями вапна, але при цьому показники максимальної міцності газобетону виявляються у 1,5 рази нижче. Це, можливо, пов'язано з малим вмістом у високоактивному вапні карбонатної складової у вигляді карбонатного спуриту, який відіграє позитивну роль у конгломератній структурі газобетону.

Таблиця 3

Характеристика складу, структури та властивостей автоклавного газобетону, який отримано на вапні перемінної активності

Ав, %	$R_{max}$ , МПа	Час досягнення, год. необхідного:					$\tau_{cp}$	Показники стану цементуючих речовин		$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
		$R_{max}$	мінералогічного складу		$C_{цв}$	$K_{осн}$		$C_{цв}$ , % за масою	$K_{осн}$	
			ДТА	РФА						
72	2,4-2,8	6	5	5	7	5	5	0,5	0,81	400
82	2,9-3,3	5	5	5	7	5	5	0,46	1,0	400
92	2,5-3,3	3	-	1	5	1	3	0,49	0,87	400

Примітка.  $R_{max}$  – максимально досягнута міцність при стиску;  $\tau_{cp}$  – час досягнення максимальної міцності потрібного стану цементуючих речовин;  $C_{цв}$  – вміст цементуючих речовин;  $K_{осн}$  – коефіцієнт основності цементуючих речовин; ДТА – диференційно-термічний аналіз; РФА – рентенофазовий аналіз,  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> – середня густина.

За результатами експериментальних досліджень з урахуванням забезпечення необхідного стану цементуючих речовин (щодо їх отримання, коефіцієнту основності та мінералогічного складу) запропонована коригуюча залежність тривалості ізотермічної витримки від масової частки активного вапна в границях від 70 (72) % до 90(92) %:

$$\tau_{із} = 14,7 - 0,12A_е \quad (3)$$

де:  $\tau_{із}$  – тривалість екзотермічної витримки, год.;  $A_е$  – активність вапна, %.

Встановлена залежність дозволяє призначати тривалість ізотермічної витримки з урахуванням локалізації впливу вапна перемінної активності на досягнення необхідного стану цементуючих речовин і необхідної якості матеріалу.

### Висновки

Таким чином, за результатами проведених досліджень підтверджено, що стабільність технології виробництва ніздрюватих бетонів і, як наслідок їх якість, залежить від багатьох факторів, до числа яких відносяться: якість сировинних матеріалів і стабільність їх властивостей,



точність дозування компонентів при виготовленні вапняно-кремнеземистого в'язучого.

За результатами експериментальних досліджень з урахуванням забезпечення необхідного стану цементуючих речовин (щодо їх утримання, коефіцієнту основності та мінералогічного складу) запропонована коригуюча залежність тривалості ізотермічної витримки від масової частки активного вапна в границях від 72 до 92%. Встановлена залежність дозволяє призначати тривалість ізотермічної витримки з урахуванням локалізації впливу вапна перемінної активності на досягнення необхідного стану цементуючих речовин.

### Summary

**Studies have confirmed that the stability of the production technology of cellular concrete and their quality depends on the quality of raw materials and stability of their properties, as well as the accuracy of dosing components in the manufacture of lime-silica binder. A correction dependent on the duration of the isothermal hold a mass fraction of lime in the range of 72 to 92%.**

1. Термодинамический электронный аспекты свойств композиционных материалов для строительства и экозащиты /под науч.ред.Л.Б. Сватовской. – СПб.: ОАО «Издательство Стройиздат СПб», 2004. – 176 с. 2. Воронин А.И. Качественный анализ влияния колебаний свойств извести на процессы технологии силикатных ячеистых бетонов / А.И. Воронин;. Эффективные композиты, конструкции и технологии: Межвузовский сб. науч. трудов - Воронеж, 1991. - С. 145-153. 3. Хигерович М.И. Физико-химические и физические методы исследований строительных материалов / М.И Хигерович., А.П Меркин: – М.: Высшая школа, 1986. – 190 с. 4. Состав, структура и свойства цементных бетонов / Под ред. Г.И. Горчакова. – М.: Стройиздат, 1976. – 144 с.