

УДК 666.972

АКТИВНІСТЬ ВАПНА – КЛЮЧОВИЙ ФАКТОР У ВИРОБНИЦТВІ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНУ

АКТИВНОСТЬ ИЗВЕСТИ - КЛЮЧЕВОЙ ФАКТОР В ПРОИЗВОДСТВЕ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

THE ACTIVITY OF LIME IS THE PRIMARY FACTOR OF PRODUCTION OF THE AUTOCLAVE AERATED

Лаповська С.Д., д.т.н., заступник директора з наукової роботи, Волошина Т.М., старший науковий співробітник (Державне підприємство «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів «НДІБМВ», м. Київ)

Лаповська С.Д., д.т.н., заместитель директора по научной работе, Волошина Т.М., старший научный сотрудник (Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт строительных материалов и изделий" НИИСМИ », г. . Киев)

Lapovska S.D., Ph.D., deputy director of research, Voloshina T.N., senior researcher (State Enterprise "Ukrainian Research and Design Institute of building materials and products" URDIBMP ", m. Kyiv)

У статті наведені результати досліджень впливу коливань активності вапна на процеси структуроутворення та динаміку росту міцності автоклавного газобетон та запропонована коригуюча залежність тривалості ізотермічної витримки від масової частки активного вапна.

В статье приведены результаты исследований влияния колебаний активности извести на процессы структурообразования и динамику роста прочности автоклавного газобетон и предложена корректирующая зависимость продолжительности изотермической выдержки от массовой доли активной извести.

In the article are presented the results of the impact of fluctuations activity of the lime at the processes of structure formation and dynamics growing the strength of autoclaved aerated concrete and the proposed corrective dependence of duration of isothermal holding from mass fraction of active lime.

Ключові слова:

Газобетон, автоклав, вапно, активність, виробництво.

Газобетон, автоклав, известь, активність, производство.

Aerated concrete, autoclave, lime, activity, production.

Ніздрюватий бетон автоклавного тверднення - це матеріал, що дозволяє забезпечувати сучасний рівень теплоізоляції в одношарових огорожувальних конструкціях. Різноманітні й численні дослідження, проведені провідними зарубіжними і вітчизняними вченими, доводять, що автоклавний ніздрюватий бетон є наступним після дерева екологічним і сприятливим для людини будівельним матеріалом на всіх етапах його створення - починаючи від сировинних матеріалів, процесу виробництва, використання у будівництві будинків, експлуатації та закінчуючи переробкою відходів. Цей універсальний будівельний матеріал повністю підходить для спорудження так званих пасивних та активних будівель з наднизьким споживанням енергії.

В Україні в останні роки введено в дію потужні підприємства з виробництва виробів з автоклавного газобетону, що вимагає особливої уваги до цього матеріалу. Основна особливість сучасних виробництв - це виготовлення виробів з конструкційно-теплоізоляційного газобетону, який забезпечує виконання теплоізоляційних і конструкційних функцій в огорожувальній конструкції.

Проведені дослідження виробів з ніздрюватого бетону дозволили значно розширити можливості їх використання в практиці вітчизняного будівництва.

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 тощо.

Як відомо, найбільший вплив на стабільність функціонування технології та якість ніздрюватих бетонів має нестабільність властивостей вапна, як основного компоненту, що визначає параметри технології і властивостей готових виробів. До числа найважливіших показників властивостей вапна слід віднести масову частку активних $\text{CaO}+\text{MgO}$ (активність вапна), час та максимальну температуру гашення, масову частку MgO і "перепалу", потенціал і динаміку тепловиділення, стабільність його властивостей.

В'язучим для автоклавних газобетонів є молота вапняно-кремнеземиста суміш, показником якості якої служить її активність (масова частка $\text{CaO}+\text{MgO}$ у ній, дисперсність суміші та кремнеземистого компоненту в складі суміші, матеріальний склад, потенціал і динаміка тепловиділення суміші). Використовуючи вапно низької активності (яке задовольняє вимогам нормативних документів), досить важко забезпечити потрібну активність

суміші за масовою часткою $\text{CaO}+\text{MgO}$ в ній та іншими параметрами. 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_0), максимальна температура (t_{max}) та термін гідратації (τ_0), потенціал (Q_0) і динаміка ($dQ_0/d\tau_0$) тепловиділення. При транспортуванні вапна споживачу та збереженні його на складі також ймовірна його 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. Під час операції дроблення фізико-механічні властивості вапна суттєво не встигають змінитися, за виключенням геометричних розмірів часток, 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 параметрами даного етапу технології є властивості вапна та піску (хімічний склад, вологість W_0 , масова частка домішок, гранулометрія та інші), а вихідними параметрами – властивості вже іншого напівфабрикату – молотої ВПС з її активністю A_{mcs} , дисперсністю вапна S_0 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 3 сорту з активністю 70 % за $\text{CaO}_{акт}$. 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 необхідної питомої поверхні вапна і 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 матеріального складу, тонини помелу вапна та піску в суміші, потенціалу тепловиділення та термінами 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 та 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 (η_c), температуру (t_c), вологість (W_c), пластичну міцність (R_c) і середню густину (ρ_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 ($S_{пл}$) і питому теплоємність змочування цементуючих речовин ($g_{пл}$); відносно ж параметрів мікроструктури - про обсяг ніздрюватих пор ($V_{нп}$), обсяг мікропор ($V_{мп}$), радіус пор (r_n).

Таблиця 1

Мінералогічний склад газобетонної суміші за результатами рентгеноструктурного аналізу

Активність вапна, 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)

Параметри мікро- і макроструктури визначають, у свою чергу, основні властивості ніздрюватого бетону: середню щільність (ρ_c), міцність (R_c), вологісну усадку (E_w), морозостійкість (F), а в кінцевому рахунку і собівартість готової продукції (СПП).

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 м²/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 SiO₂ в гідросилікати кальцію, причому при використанні високоактивного вапна (> 90 %) проходить найбільш повне та швидке зв'язування CaO і SiO₂ (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.

Таблиця 2

Кількісний фазовий склад автоклавного газобетону за даними ДТА

Активність вапна, Ав, %	Фазовий склад (%) газобетону після ізотермічної витримки в автоклаві впродовж:		
	7 год	9 год	12 год
72	T=19,5 CSH(I)=5,7 CSH(II)=7,22	T=20,3 CSH(I)=5,8 CSH(II)=6,75	T=20,2 CSH(I)=8,65 CSH(II)=6,67
82	T=21,0 CSH(I)=9,32 CSH(II)=6,53	T=19,5 CSH(I)=5,3 CSH(II)=7,2	T=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

Характер наростання міцності (рис.4, рис.5) відповідає динаміці зв'язування CaO і SiO₂ в гідросилікати кальцію та якісному складу останніх. У зразків газобетону, що виготовлені на вапні високої активності, 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.

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:

$$1) C_{цв} = (CaO_{зв} + SiO_{2зв} + H_2O_{г\text{лр}}) / 100 = 0,53; \quad (1)$$

$$2) K_{осн} = CaO_{зв} / SiO_{2зв} \leq 1; \quad (2)$$

3) Мінералогічний склад повинен бути представлений низькоосновними гідросилікатами кальцію з присутністю тобермориту 11,3 Å.

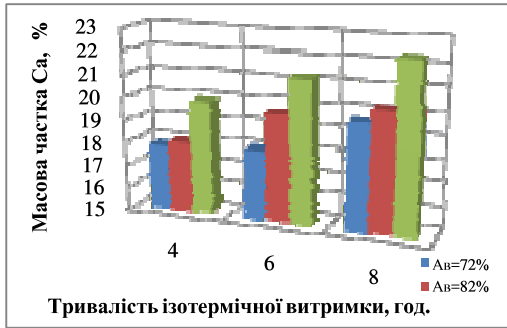


Рис. 1. Кінетика зв'язування СаО за автоклавної обробки в залежності від активності використаного вапна

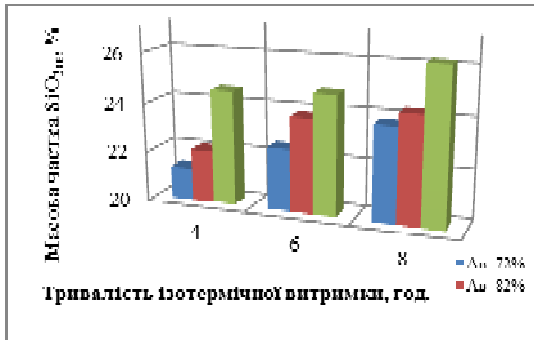


Рис.2. Кінетика зв'язування SiO₂ за автоклавної обробки в залежності від активності використаного вапна

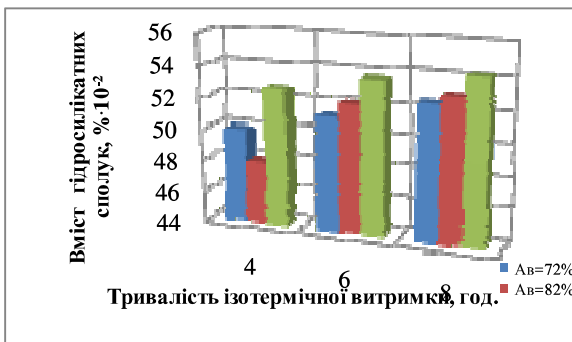


Рис. 3. Кінетика синтезу гідросилікатів кальцію в складі автоклавного газобетону залежно від активності використаного вапна

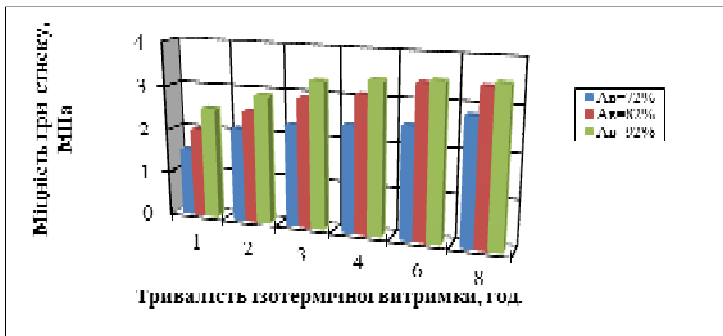


Рис. 4. Динаміка росту міцності при стиску автоклавного газобетону в залежності від активності використаного вапна

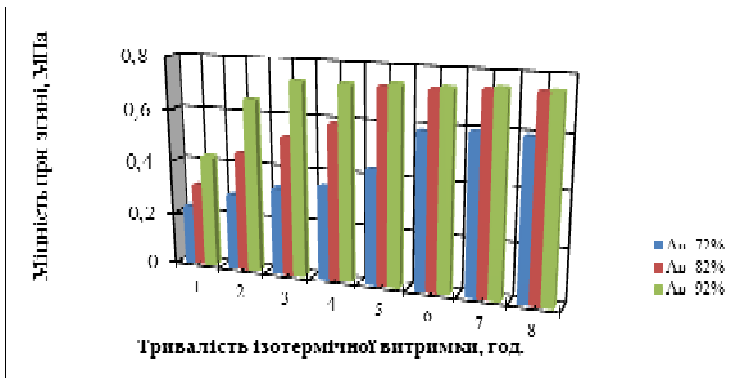


Рис.5. Динаміка росту міцності при згині автоклавного газобетону в залежності від активності використаного вапна

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:					τ_{cp}	Показники стану цементуючих речовин		ρ , кг/м ³
		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; τ_{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 – рентгенофазовий аналіз; ρ , кг/м³ – 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) %:

$$\tau_{із} = 1437 - 0,12 A_а \quad (3)$$

де: $\tau_{із}$ – тривалість екзотермічної витримки, год.; $A_а$ – 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.

Висновок. 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.

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.