

УДК 691.002

*Сердюк В.Р. доктор тех. наук., професор,
Христич О.В., Лемішев М.С. кандидати техн. наук,
доценти
ВНТУ, м. Вінниця*

ПРОБЛЕМИ СТАБІЛЬНОСТІ ФОРМУВАННЯ МАКРОСТРУКТУРИ НІЗДРЮВАТИХ ГАЗОБЕТОНІВ БЕЗАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДІННЯ

Вступ

В ряді європейських країн виробли з ніздрюватого бетону складають 50% і більше від загального обсягу виробництва стінових матеріалів. На пострадянському просторі лідером у виробництві ніздрюватих бетонів є Білорусія, де ніздрюваті бетони визнані, як основний стіновий матеріал і до 2015 року передбачене зростання потужностей з його виробництва в 2,1 рази (частка ніздрюватого бетону має скласти біля 85% в загальному обсязі виробництва стінових матеріалів)[1].

Обсяг виробництва ніздрюватих бетонів в Україні зріс зі 100 тис. куб. м. в 2000 році до 800 тис. куб. м. в 2008 році за рахунок будівництва нових заводів та реконструкції існуючих потужностей, які збереглись з часів існування СРСР. Під час кризи 2009-2010 років обсяги виробництва цих бетонів значно скоротились, проте після виходу з кризи потенціал вітчизняного виробництва ніздрюватого бетону в 2013-2014 роках може наблизитись до 3 млн. куб. м. в рік. Але і цей показник не є співставним з аналогічними показниками європейських країн. Існує нагальна необхідність забезпечення зростання обсягів виробництва ніздрюватих бетонів через потребу збільшення відносних обсягів будівництва житла з 0,14-0,22 кв. м./люд.рік до рівня міжнародних стандартів (1,0-1,2 кв. м./люд.рік), або в 6-8 раз[2].

Переваги ніздрюватого бетону автоклавного твердіння перед бетонами безавтоклавного твердіння очевидні. При виробництві безавтоклавних ніздрюватих бетонів переваги мають віддаватись саме газобетонам через надмірно високу усадку і низьку міцність пінобетонів при співставній їх густині.

Для виробництва газобетону автоклавного твердіння крім доступних сировинних матеріалів (цемент, вапно, пісок) необхідні технологічні потужності по виробництву пари, млини помолу вапна, кремнеземистого компоненту, шламонакопичувачі, технологічне обладнання для розрізання масивів та інше. Сама гідротермальна обробка виробів з ніздрюватих бетонів автоклавного твердіння є відносно матеріало- та енергоємною, адже тиск пари в автоклаві становить 0,8-1,0 МПа, а температура - 175-205°C. Кремнеземистий компонент в умовах підвищеної температури і вологості проявляє себе як компонент в'язучого. Тому в якості кремнеземистого компонента бетонів автоклавного твердіння передбачається застосування кварцового піску з високим вмістом SiO₂ та відсутністю шкідливих домішок [3].

В умовах відсутності фінансових можливостей введення потужностей по виробництву газобетонів автоклавного твердіння в країнах СНД, особливо в РФ є досить поширене виробництво газобетонів безавтоклавного твердіння. При наявності в них явних недоліків, слід відзначити і позитивні моменти виробництва газобетонів безавтоклавного твердіння, зокрема мінімальні затрати через відсутність необхідності потужностей для гідротермальної обробки виробів, можливість використання не тільки кварцового піску а і інших дисперсних техногенних побічних продуктів, які не потребують або потребують лише домелу і не містять шкідливих домішок.

Як свідчать дані промислового виробництва та лабораторних досліджень, відсутність завчасної гомогенізації сировинного шламу (молотого піску з водою) призводить до руйнування макроструктури газобетону при його формуванні і неоднорідності густини матеріалу по висоті формовки масиву. Через підвищену седиментацію кремнеземистого наповнювача в процесі формування газобетонного масиву має місце його «підсаджування», яке, в свою чергу, досить часто призводить до неоднорідності густини матеріалу і браку.

В технологічних регламентах вітчизняних і зарубіжних заводів по виробництву газобетонів автоклавного твердіння молотий пісок не менше 8 годин має усереднюватись в шламбасейнах. А технологія виробництва газобетонів безавтоклавного твердіння, як правило, не передбачає наявності попередньої гомогенізації молотого кремнеземистого наповнювача.

Властивості сучасних композиційних матеріалів будівельного призначення, в тому числі і ніздрюватого бетону, значною мірою залежать від рівня гомогенізації сировинних сумішей. Технологічний процес перемішування має забезпечити не тільки рівномірність хімічного й речовинного складу, але і седиментаційну стабільність кремнеземистого компоненту в складі газобетонної суміші на стадії її формування. Розв'язати проблему оптимальної гомогенізації сировинних сумішей тільки за рахунок тривалості перемішування і конструктивних якостей змішувальних апаратів без врахування фізико-хімічних особливостей суспензій неможливо [4]. Важливим завданням є також одночасне зниження енергоємності процесу гомогенізації в умовах технології виробництва газобетонів безавтоклавного твердіння за рахунок використання комплексних поліфункціональних добавок.

Мета роботи: забезпечення седиментаційної стабільності сировинної газобетонної суміші та підвищення її кінетичної й агрегативної стабільності за рахунок комплексних поліфункціональних хімічних добавок.

Результати досліджень

При виробництві цілого ряду будівельних матеріалів значну кількість сировинних компонентів застосовують у вигляді висококонцентрованих суспензій - паст, пульп, шламів або шлікерів (типовий приклад - санітарна кераміка, цегла пластичного формування, автоклавний ніздрюватий бетон, портландцемент, що виготовляють за мокрим способом тощо).

Суспензії прийнято підрозділяти на *грубі* (діаметр часток більше 100 мкм), *тонкі* (від 100 до 0,5 мкм) і *досить тонкі* (від 0,5 до 100 нм). Іноді в цю класифікацію включають *колоїдні розчини* з розмірами часток менше 100 нм, хоча за рядом специфічних ознак вони представляють якісно інший вид дисперсних систем.

Шлами і шлікери, що використовуються в технології багатьох будівельних матеріалів, слід віднести до *тонких концентрованих суспензій*, тому що частки в них діаметром понад 110 мкм практично не спостерігаються. Основна маса часток має розміри менше 70 мкм. Часто передбачається тривалий процес перемішування шламів, що пов'язано з необхідністю досягнення повної гомогенізації шламу, особливо однорідності розподілу щодо великих часток по всьому об'єму.

Особливість формування макроструктури газобетонів полягає в тому, що в часі має бути збалансований процес закінчення газовиділення з початком тужавіння мінерального в'язучого. Якщо газовиділення закінчилось а тужавіння ще не настало, тоді водень, який виділяється в результаті взаємодії алюмінієвої пудри з продуктами гідратації цементу (гашеним вапном) швидко піднімається з масиву в атмосферу, масив як би «кипить» і суміш недоспучується. Якщо навпаки – в'язуче затужавіло, а газовиділення ще не закінчилось, тоді водень, що виділяється «рве» структуру масиву.

Основною технологічною проблемою виробництва газобетону безавтоклавного твердіння є використання негомогенізованого сировинного шламу, який схильний до осідання. Осідання частинок дисперсної фази називається седиментацією, а спливання

частинок – зворотною седиментацією. На кожен частинку в системі діє гравітаційна сила тяжіння і сила виштовхування згідно з законом Архімеда:

$$F_g = mg = V \rho g \quad \text{і} \quad F_A = V \rho_o g \quad (1)$$

де m і V – маса й об'єм частинки; g – прискорення вільного падіння; ρ і ρ_o – щільність частинок дисперсної фази та дисперсійного середовища відповідно.

Ці сили постійні й спрямовані в різні сторони. Рівнодіюча сила, що викликає седиментацію, дорівнює:

$$F_{\text{сед}} = F_g - F_A = m_{\text{от}} g = V(\rho - \rho_o)g \quad (2)$$

де $m_{\text{от}}$ – відносна маса частинки (з врахуванням щільності середовища) $m_{\text{от}} = m - \nu\rho$.

Якщо $\rho > \rho_o$, то $F_{\text{сед}} > 0$, і відбувається осідання частинки; якщо $\rho < \rho_o$, то $F_{\text{сед}} < 0$, і частинка спливе, тобто спостерігається зворотна седиментація, характерна для газових і більшості рідких емульсій.

Оскільки седиментація відбувається в певному середовищі, то при ламінарному русі частинки виникає опір у вигляді сили тертя, пропорційної швидкості руху частинки:

$$F_{\text{тр}} = BU \quad (3)$$

де B – коефіцієнт тертя; U – швидкість руху частинки.

На частинку діє сила, яка дорівнює:

$$F = F_{\text{сед}} - F_{\text{тр}} = Vg(\rho - \rho_o) - BU \quad (4)$$

У перший момент початку руху частинки її швидкість дуже мала, і тому вона рухається під дією сили F прискорено. З ростом швидкості при досить великому коефіцієнті тертя настає момент, коли сила тертя досягає сили, що викликає седиментацію, і рушійна сила F виявляється рівною нулю. Після цього моменту швидкість руху частинки стає постійною, її можна визначити з рівняння (4) за умови $F=0$:

$$U = \frac{Vg(\rho - \rho_o)}{B} \quad (5)$$

Виразення сили тертя (3) при русі сферичних часток можна представити у вигляді закону Стокса:

$$B = 6\pi\eta r \quad \text{і} \quad F_{\text{тр}} = 6\pi\eta r U \quad (6)$$

де η – динамічна в'язкість середовища; r – радіус частинки.

Підставляючи рівняння (6) в (5) і виразивши обсяг частинки через її радіус, одержимо:

$$U = \frac{2g(\rho - \rho_o)r^2}{9\eta} \quad (7)$$

Співвідношення (7) показує, що постійна швидкість седиментації частинки пропорційна квадрату її радіуса, різниці щільності частинки й середовища, обернено пропорційна в'язкості середовища. За таким законом відбувається осадження частинок у суспензіях, аерозолях, емульсіях.

Здатність до седиментації прийнято виражати через константу седиментації, яка визначається швидкістю седиментації:

$$S_{\text{сед}} = \frac{m_{\text{от}}}{B} = \frac{v(\rho - \rho_0)}{g} = \frac{U}{g} \quad (8)$$

Для сферичних частинок ця константа дорівнює:

$$S_{\text{сед}} = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3(\rho - \rho_0)}{6\pi\eta r} = \frac{2r^2(\rho - \rho_0)}{9\eta} \quad (9)$$

Якщо частинки в суспензіях дуже малі і їхні розміри наближаються до розмірів частинок гелів, то седиментація тільки під дією гравітаційних сил протікає дуже повільно. Дані, розраховані по рівнянню (5) наведені в табл. [5].

Таблиця - Швидкість седиментації сферичних часток кварцу у воді

Радіус частинки, мкм	Швидкість седиментації, см/с	Час осідання частинки на 1 см
10	$3,6 \times 10^{-2}$	28 с
1	$3,6 \times 10^{-4}$	46,5 хв
0,1	$3,6 \times 10^{-6}$	77,5 год
0,01	$3,6 \times 10^{-8}$	323 дн
0,001	$3,6 \times 10^{-10}$	89 років

Дані таблиці ілюструють вплив розмірів частинок кварцу на швидкість їхнього осідання у воді ($\eta = 10^{-3}$ Па·с). З рівняння випливає, що константа седиментації залежить як від розмірів частинок, так і від природи фаз. За одиницю виміру константи седиментації прийнятий Сведберг ($1 \text{ Сб} = 10^{-13}$ с).

Для аерозолів, суспензій і емульсій у малов'язких середовищах константа седиментації має дуже великі значення, тому для таких систем її зручніше вимірювати в мегасведбергах ($1 \text{ МСб} = 10^6 \text{ Сб}$), гігасведбергах ($1 \text{ ГСб} = 10^9 \text{ Сб}$) або в секундах. Наприклад, для частинки кварцу ($\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$) розміром $1 \cdot 10^{-3}$ мм константа седиментації у воді рівна $325 \text{ МСб} = 0,325 \text{ ГСб} = 3,25 \cdot 10^{-5}$ с.

Оскільки швидкість седиментації частинки залежить від дисперсності меленого наповнювача газобетону (пропорційна квадрату її радіуса), та різниці щільності частинки і середовища, і обернено пропорційна в'язкості середовища, то представляється можливим змінювати ці параметри досягаючи високої однорідності газобетону.

Як що в газобетонах автоклавного твердіння визначальну роль у формуванні властивостей матеріалу і процесів твердіння в'язучих в гідротермальних умовах забезпечують гідросилікати кальцію, то в безавтоклавних бетонах мінеральне в'язуче твердіє в звичайних умовах або в умовах підвищеної температури, а кремнеземистий компонент не приймає активної участі в синтезі гідросилікатного гелю, виконуючи функцію наповнювача та структуроутворюючого компоненту.

Проведені нами дослідження в лабораторних та промислових умовах виробництва газобетону (Вінницька обл.) безавтоклавного твердіння з використанням відомих хімічних добавок-прискорювачів твердіння цементу (Na_2SO_4 , NaOH , Na_2CO_3 , CaCl_2) та поверхнево-активних добавок, показали можливість забезпечення підвищеної седиментаційної

стабільності суміші та інтенсифікації формування масивів. Склади поліфункціональних добавок запатентовані. Вони не тільки стабілізують технологічний процес формування газобетонного масиву, але і забезпечують можливість скорочення терміну його витримки до розрізання через 1,5-2,0 години на дрібноштучні блоки.

Позитивний ефект при формуванні масиву забезпечує добавка 2-2,5% від маси цементу молотого негашеного вапна, яке за рахунок тепла, що виділяється при його гідратації забезпечує внутрішній підігрів масиву. Наявність 10-12% в складі сировинного шламу виробництва газобетонів безавтоклавного твердіння молотої добавки цегельного бою забезпечує подовження седиментаційної стабільності сировинного шламу на 15-20 хвилин та зростання міцності на стиск на 15-20% при незмінності всіх інших технологічних параметрів виробництва газобетону. Слід зазначити, що добавка молотого цегельного бою змінює традиційний колір газобетону.

Використання розроблених добавок забезпечує можливість виробництва газобетону з використанням цементу, алюмінієвої пудри і домеленого відсіву гранітних кар'єрів та інших природних мінеральних подрібнених і домелених продуктів (цегельного бою, бетонних відходів, відходів цементних розчинів), замість кварцового піску, який не скрізь присутній.

Висновки

Перспективність поризації подрібнених побічних техногенних продуктів набуває актуальності в зв'язку з існуючими енергетичними та екологічними проблемами і зростанням цін на транспортні витрати. Технологія виробництва газобетону буде особливо ефективна в умовах зносу старих існуючих будинків, коли використання система дробарок та сит дасть змогу отримати крупний наповнювач для бетонів, повернути метал для повторного використання і отримати наповнювач для виробництва конструктивно-теплоізоляційного газобетону.

За результатами промислового експерименту можна зробити однозначний висновок: за рахунок ПАР та добавок електролітів представляється можливим забезпечити стабільність формування макроструктури газобетону; зменшити термін гомогенізації сировинних шламів при виробництві газобетонів безавтоклавного твердіння та термін витримки газобетону до його розрізання на дрібноштучні вироби; збільшити міцність на стиск матеріалу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Омелянчук В.П./ Строительство новых заводов ячеистобетонных изделий - требование современной отрасли Украины // Строительные материалы и изделия. 2007. - №2. – С. 23-25.
2. Сердюк В.Р. / Функціональні властивості кремнеземистого компоненту в ніздрюватих бетонах. // Строительные материалы и изделия . – 2011. - №1. – С. 10-13.
3. Сердюк В.Р., Міщенко О.О. / Сировинна база для виробництва ніздрюватих бетонів //Збірник «Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка» -2009. -№32. –С. 110-115.
4. Кузнецов Ю.С. Тимофеева С.Ю./ Физико-химические методы снижения энергоемкости производства ячеистых бетонов // Современные проблемы строительного материаловедения: четвертые академические чтения РААСН, материалы международной НТК.- Пенза, 1998.- Часть II, С. 187-188.
5. Кузнецов Ю.С., Калашников В.И., Новокрещенова С.Ю., Гаврилова Ю.В./ К проблеме перемешивания сырьевых шламов в производстве композиционных строительных материалов// Десятые академические чтения РААСН, ПГУАС. 2006. - С. 265-263.