

## ФУНКЦІОНАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ КРЕМНЕЗЕМНИСТОГО КОМПОНЕНТУ В НІЗДРЮВАТИХ БЕТОНАХ



Доктор технічних наук, професор Сердюк В.Р.

### Вступ.

Актуальність збільшення виробництва ніздрюватих бетонів не визиває сумніву. Газобетон чи пінобетон є екологічно чистим, ефективним будівельним матеріалом, який виготовляється з використанням місцевої і відносно недорогої сировини: піску, інших побічних продуктів промисловості і в'язучих речовин. В'язучим може бути: цементне, вапняне, цементно-вапняне, вапняно-цементне, шлаколувне, вапняно-белітове, високозольне вапняне, цементне в'язуче.

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

Обсяг виробництва ніздрюватих бетонів в Україні зріс з 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 збереглися з часів існування СРСР. Хоча 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 показниками не тільки європейських країн, але і Білорусії.

Існує необхідність забезпечення зростання обсягів виробництва ніздрюватих бетонів через потребу збільшення

обсягів будівництва житла практично в 7–10 разів. Якщо в 2009 році в Білорусії, Росії і Казастані будувалось в розрахунку на одну людину в рік відповідно 0,594; 0,424 і 0,404 кв. м в рік, тоді як в Україні – лише 0,132 кв. м. [2–5]. Міжнародні стандарти свідчать про те, що для забезпечення попиту на житло необхідно будувати не менше 1 кв. м. на людину в рік. Це наблизить пропозиції до попиту і мінімізує спекулятивну складову у вартості житла.

Державні підходи щодо будівництва житла в Україні збереглись на ментальності «совкового» рівня – будуються квартири в багатоповерхових будинках. Американська мрія – кожній сім'ї власний будинок, 75% населення в європейських країнах проживає в окремих малоповерхових будинках, в Україні – держава, ніби погодившись на вічне відставання, продовжує підтримувати багатоповерхове будівництво. Саме тому збільшення обсягів виробництва ніздрюватих бетонів в 7–10 разів та наявність прозорого та доступного ринку до земельних ділянок можуть стати в Україні визначальними факторами у вирішенні житлової проблеми.

*Організаційно-економічні основи виробництва неавтоклавної ніздрюватих бетонів.*

Переваги ніздрюватого бетону автоклавного твердіння очевидні. Проте наряду з використанням доступних будівельних матеріалів (цемент, вапно, пісок) необхідні технологічні потужності по виробництву пари, помолу вапна, кремнеземного компоненту, млини, шламонакопичувачі, технологічне обладнання для розрізки масивів та інше. Сама гідротермальна обробка виробів ніздрюватих автоклавних бетонів є досить енергомісткою, адже тиск пари в автоклаві становить 8–10 МПа, а температура – 175–205°C. Саме тому будівництво нових заводів потребує відносно великих капітальних вкладень. Банківська система України на сьогодні і декілька років поспіль буде не спроможна забезпечити довгострокове кредитування будівництва нових заводів при обліковій ставці національного банку 9,5%. За таких умов комерційні банки під заставу можуть видавати лише короткострокові кредити під 24–28%.

Крім фінансової проблеми щодо будівництва нових потужностей по виробництву ніздрюватих бетонів автоклавного твердіння існує проблема якісного кремнеземного компоненту. Кремнеземний компонент в умовах підвищеної температури і вологості виступає в якості компонента в'язучого. Автоклавна обробка забезпечує хімічний синтез цементуючої зв'язки в штучному конгломераті.

В якості кремнеземного компонента ніздрюватих бетонів нормативні документи [6] передбачають застосування кварцового піску з вмістом кварцу не менше 85%, слюди не більше 3%, мулистих і глинистих домішок не більше 3% і не більше 1% глинистих домішок типу монтморилоніту. Допускається застосування польовошпатового піску з вмістом кварцу не менше 60%.

Крім того, можуть бути використані тонкодисперсні вторинні продукти збагачення руд, що містять  $\text{SiO}_2$  – не менше 60%, залізистих мінералів – не більше 20%, сірчистих сполук у перерахунку на  $\text{SO}_3$  – не більше 2%, їдкого лугу в перерахунку на  $\text{Na}_2\text{O}$  – не більше 2%, пиловидних, глинистих часток – не більше 3%, слюди – не більше 0,5%.

Кисла зола-винесення ТЕС з електрофільтрів від спалювання вугілля повинна мати склоподібних та оплавлених часток не менше 50%, втрати при прожарюванні повинні бути не менше 3% для бурого вугілля і не більше 5% для золи кам'яного вугілля. Питома поверхня зол бурого вугілля має бути – не менше 4000  $\text{см}^2/\text{г}$  і не більше 5000  $\text{см}^2/\text{г}$  для кам'яновугільних зол. Зола має витримувати випробування на рівномірність зміни об'єму. Також регламентується дисперсність меленого піску і побічних продуктів, що містять кремнезем. Їх питома поверхня має становити для пористого бетону щільністю 500  $\text{кг}/\text{м}^3$  – 2700–3000  $\text{см}^2/\text{г}$ , при щільності 600  $\text{кг}/\text{м}^3$  – 2300–2700  $\text{см}^2/\text{г}$ , при щільності 700  $\text{кг}/\text{м}^3$  – 2000–2300  $\text{см}^2/\text{г}$  і для бетону щільністю 800  $\text{кг}/\text{м}^3$  – 1500–2000  $\text{см}^2/\text{г}$ .

Дотримання вимог щодо вмісту в складі кремнеземистого компонента  $\text{SiO}_2$  не гарантує успіху технології, оскільки властивості автоклавних ніздрюватих бетонів залежать не тільки від складу суміші та умов автоклавної обробки, але і від умов формування макроструктури бетону.

Поступове збільшення вимог до показника термічного опору огорожуючих конструкцій та цін на комунальні послуги населення потребує збільшення обсягів виробництва ніздрюватих бетонів. Побудувати 15–20 нових заводів на дорогому імпортному обладнанні, щоб довести обсяги виробництва ніздрюватих бетонів на душу населення до рівня європейських країн та Білорусії сьогодні не можливо. Альтернативою є будівництво заводів в декілька раз меншою ціною на вітчизняному обладнанні, або за змішаною семою, коли частина обладнання виробляється в країні, а інша частина купується за кордоном.

За наукової підтримки ВНТУ у Вінницькій області в м. Бершадь завершено будівництво першої черги заводу по виробництву автоклавного ніздрюватого бетону на вітчизняному обладнанні на базі існуючого раніше цукрового заводу. Один з Вінницьких проектних інститутів зробив обстеження цукрового заводу та виконав проектні роботи, автоклави були виготовлені в Полтаві, була максимально використана існуюча інфраструктура основних цехів цукрового заводу. Такий досвід мав би тиражуватись в Україні.

Через безвідповідальність державних органів із 197 цукрових заводів України майже половина з них були куплені за безцінь і просто порізані на металолом. Така діяльність влади є просто злочинною до свого народу, адже кожний цукровий завод мав під'їзні шляхи, власні випалювальні печі вапна, власні автономні котельні та інші будівлі. Все це успішно могло бути використане для потреб промисловості будівельних матеріалів. Вартість негашеного вапна сьогодні майже в 2 рази перевищує вартість цементу при тому, що це-

мент випалюється при 1450 °С, а вапно при 900–1000 °С, саме через такі парадокси доступність будівельних матеріалів, а значить і житла для пересічного українця буде ще більше зменшуватись.

В якості кремнеземистого компоненту на цьому заводі використовуються місцеві кварцові піски з підвищеним вмістом глинистих компонентів та передбачається використання золи-винос.

Накопичений досвід проектування та будівництва газобетонного виробництва на вітчизняному обладнанні свідчить про необхідність повернення до спеціалізованих проектних інститутів та хоча б державної координації щодо виготовлення автоклавів, засобів автоматики, тощо. На сьогодні в Україні приймається велика кількість державних програм щодо будівництва житла, які не виконуються. Через відсутність державної політики та дій, які б підтримували виробництво ніздрюватих бетонів, Україна залишається найбільшим споживачем в Європі теплоізоляційних матеріалів, які завозяться не тільки з розвинених, але і зі східно-європейських країн. При існуючому рівні пропозиції стінових матеріалів, зокрема і ніздрюватих бетонів, ціни на них залишатимуться не доступними для переважної більшості населення. Ті незначні бюджетні кошти, які держава спрямовує на вирішення житлового питання, вирішують проблему досить обмеженої кількості людей і не створюють підвалин рішення проблеми в цілому.

*Технологічні переваги виробництва неавтоклавних газобетонів.*

Наряду з автоклавним мають вироблятися і ніздрюваті бетони неавтоклавного твердіння. Слід зазначити, що в Україні існують невеликі виробництва пінобетонів неавтоклавного твердіння. При цьому використовуються мілкозернисті піски без помолу. Узагальнюючим недоліком пінобетонів є наявність в їх складі повернево-активних речовин (ПАР), які забезпечують утворення піни і, як правило негативно впливають на показники міцності. Наявність в складі суміші ПАР в свою чергу потребує введення в склад суміші добавок – прискорювачів твердіння. Хімічні добавки-електроліти забезпечують приріст міцності мінерального в'язучого на стадії тужавіння цементів, а в послідуєчому міцність зразків з добавкою і без неї практично вирівнюється.

Перехід від використання ПАР до алюмінієвої пудри при поризації суміші забезпечує можливість зростання коефіцієнта конструктивної якості газобетону – при тій же самій щільності, що і пінобетон, газобетон має більшу міцність.

Складність технології виробництва безавтоклавних газобетонів полягає в тому, що відсутня гомогенізація пісчано-водної суспензії кремнеземистого компоненту, яка передбачається після мокрого помолу піску на заводах по виробництву автоклавних бетонів. Пісчаний шлам при виробництві газобетонів автоклавного твердіння після помелу до початку його використання має не менше 8 годин усереднюватись (перемішуватись). Необхідність гомогенізації пісчаного шлану передбачена вітчизняними і зарубіжними регламентними вимогами і є необхідною умовою вироб-

ництва газобетонів, оскільки забезпечує однорідність щільності бетону по висоті формування масиву та стабілізує кінетику газовиділення та вспучування.

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

Особлива складність формування макроструктури безавтоклавного газобетону пов'язана з тим, що виникає технологічна проблема суміщення кінця газовиділення з початком тужавіння цементу. В звичайних цехових умовах масив «закипає» – водень, виділяється в атмосферу і не забезпечує формування необхідної макроструктури, масив підсаджується. В іншому випадку, коли тужавіння в'язучого розпочалося, а газовиділення ще не закінчилось, тоді мають місце «вихлопи» водню та руйнування макроструктури.

Отже, оптимізація технології виробництва безавтоклавного газобетону в звичайних умовах має певні технологічні складності і в Україні, на відміну від Росії, є не поширеною, оскільки потребує інтенсифікації процесу формування масиву до його розрізки та передбачає використання хімічних добавок та не завжди доступної дорогої алюмінієвої пудри.

Проведені нами лабораторні дослідження та промислове впровадження на приватному заводі (виробництво Барнакульського машинобудівного заводу РФ) в м. Вінниця по виробництву газобетону неавтоклавного твердіння відомих хімічних добавок-прискорювачів твердіння цементу ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$ ) та інших добавок, показало можливість забезпечення підвищеної седиментаційної стабільності суміші та інтенсифікації формування масивів, їх розрізки на мілкі блоки через 1,5–2,0 години.

Впровадження комплексних поліфункціональних добавок не тільки забезпечує підвищену седиментаційну стійкість кремнеземистого наповнювача (вирівнює щільність по висоті масиву) на стадії формування масиву, але і прискорює зростання пластичної міцності, необхідної для його розрізки. Позитивний ефект при формуванні масиву забезпечує добавка 2–2,5% від маси цементу моготого негашеного вапна, яке за рахунок тепла, що виділяється при його гасінні, забезпечує внутрішній підігрів масиву.

При виборі кремнеземистого компонента для безавтоклавних силікатних бетонів певні проблеми створює наявність в його складі підвищеної кількості природних супутніх мінеральних продуктів, які негативно впливають на міцність цементу, це насамперед стосується глинистих та ілистих домішок. Багаточисельні дослідження, присвячені впливу глинистих

матеріалів на властивості автоклавних матеріалів, підтверджують, що гідротермальні умови сприяють коагуляції глини, що розпадається при зволоженні і негативно впливає на морозостійкість виробів. Крім того, у складі новоутворень цементного каменя поряд з гідросилікатами кальцію збільшується кількість гідроалюмінатів кальцію. Глинисті домішки є небажаними і для безавтоклавних газобетонів, і для цементних бетонів і розчинів.

Оптимізуючи склади ніздрюватого газобетону, при використанні місцевих пісків з високим вмістом глинистих домішок в межах 8–10% (Вінницька область), з метою підвищення міцності, ми прийшли до висновку про доцільність використання золи-винесення Ладижинської ТЕС, як добавки в кількості 8–15%. При цьому незначне збільшення міцності (до 15%) при інших рівних умовах виробництва бетону щільністю  $650 \text{ кг/м}^3$  швидше за все пов'язано не стільки з пуцолановою реакцією золи, як з зниженням міжзернової порожнистості системи.

Використання розроблених добавок забезпечує можливість виробництва газобетону з використанням цементу, алюмінієвої пудри та домеленого відсіву гранітних кар'єрів та інших природних мінеральних подрібнених та домелених продуктів (цегельного бою, бетонних відходів, відходів цементних розчинів), замість кварцового піску, який не скрізь присутній. Перспективність поризації техногенних та природних відходів набуває актуальності в зв'язку з екологічними проблемами та безупинним зростанням цін на транспортні витрати.

*Перспективи використання продуктів спалювання вугілля*

Як видно з табл. 1, спільним для різних зол є наявність в їх складі від 30 до 50% кремнезему,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – в межах 7–25% та оксидів  $\text{CaO} + \text{MgO}$  від 3 до 45%, які надають золі гідравлічні властивості і вона може розглядатись як компонент в'язучого або як саме в'язуче.

В якості в'язучого при виробництві газобетонів автоклавного твердіння використовується зола від спалювання сланців. В даний час АТ «Silber» випускає до

Таблиця 1

**Вміст основних оксидів в різних видах зол**

Найменування матеріалу	Вміст оксидів, %				
	$\text{SiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Груба австрійська зола	27,2	37,7	2,0	13,6	3,6
Трипільська зола	58,1	1,2	0,1	23,6	3,2
Зола-винос, Ладижинська ТЕС	50,9	2,86	1,9	24,6	4,5
Сланцева зола	31,0	39	4,5	7,4	5,8
Флюїдальна зола (Польша, ТЕС Жерань)	32-40,8	9-21	1,3-3,5	16-21	3-7,5
Китайська зола м. Чунцин	39,8	3,3	0,6	25,3	13,2

60 тис. м<sup>3</sup> на рік стінових блоків з сланцезольного пористого бетону. Сланцева зола домелюється з добавкою 10% піску в кульовому млині, залишок піску подається в змішувач в якості усередненого гомогонізованого шламу [7].

В традиційних теплових електростанціях спалювання вугілля відбувається при температурі в межах 1200–1650°C, цей процес супроводжується виділенням в повітря великої кількості оксидів сірки. В останні роки в розвинених країнах використовуються «чисті» технології спалювання вугілля і найбільш перспективним є флюїдальне спалювання палива. Технологія горіння тонкоподрібненого вугілля спільно з вапняком, який діє як сорбент діоксиду сірки, відбувається при температурі 850°C. Діоксид сірки в процесі горіння, реагує з введеним сорбентом і в додатковому очищенні повітряних викидів не виникає необхідності [8–9].

Зола, яка отримана при спалюванні вугілля в киплячому шарі, має підвищений вміст ангідриту, активного кварцу і ренгеноаморфних алюмосилікатів, які утворюються з глини в присутності вугілля, що суттєво впливає на пуцоланову активність золи. Низька температура випалу в киплячому шарі виключає присутність намертво випаленого вапна, неактивного муллиту і забезпечує знижений вміст вуглецю [10–11].

Стрімке скорочення імпорту та використання природного газу в енергетичному балансі країни (з 115 в 1998 році до 55–60 млрд куб. м в 2010 році) та збільшення питомої ваги кам'яного вугілля в енергетичному балансі необхідно розглядати як сигнал щодо зростання підвищення уваги до технологій спалювання вугілля та використання побочних продуктів спалювання. В перспективі зола-винос та паливні шлаки мають мати певні стандарти і розглядатись як сировинна база для підприємств промисловості будівельних матеріалів і не накопичуватись у відвалах. Завчасне коригування складу низькокалорійного палива при його спалюванні може виконувати подвійну задачу.

Цілком очевидно, що на часі фундаментальні дослідження щодо флюїдального спалювання низькокалорійного вугілля з метою отримання теплової енергії, скорочення шкідливих викидів в атмосферу та отримання техногенного продукту (золи) для виробництва будівельних матеріалів.

#### *Висновки*

Катастрофічне відставання України у відносних обсягах будівництва житла в порівнянні з сусідніми пострадянськими країнами потребує суттєвого збільшення виробництва ніздрюватих бетонів автоклавного і безавтоклавного твердіння.

Проблеми та складності будівництва нових потужностей по виробництву ніздрюватих бетонів автоклавного твердіння на імпортному обладнанні стримуються високою ставкою кредитних запозичень. Досвід технологічної комплектації обладнання таких заводів на вітчизняному обладнанні та за змішаною семою потребує державної підтримки.

Проведені дослідження та промислове впровадження комплексних хімічних добавок підтверджують можливість виробництва ніздрюватого бетонів безавтоклавного твердіння з використанням в якості кремнеземистого компоненту не тільки традиційних кварцових пісків, золи-винос, а також домелених гранітних відсівів, відходів цегли, бетонів та розчинів. Безупинне зростання цін на паливно-мастильні матеріали вимагає наближення виробництва будівельних матеріалів до місця їх споживання

Управління технологічними процесами флюїдального спалювання вугілля має обмежити викиди парникових газів, забезпечити отримання техногенних продуктів з завчасно прогнозованими властивостями, які дадуть можливість використати їх в технології будівельних матеріалів.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Строительство новых заводов ячеистобетонных изделий – требование современного развития строительной отрасли Украины / В.П.Омельячук // Строительные материалы и изделия. – 2007. – №2. – С. 23–25.
2. Офіційний сайт Держкомстату України. Електронний ресурс. Режим доступу: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua).
3. Национальный статистический комитет республики Беларусь. Электронный ресурс. Режим доступа: [www.belstat.gov.bl](http://www.belstat.gov.bl).
4. Агенство республики Казахстан по статистике. Электронный ресурс. Режим доступа: [www.stat.kz](http://www.stat.kz).
5. Федеральная служба государственной статистики РФ. Электронный ресурс. Режим доступа: [www.gks.ru](http://www.gks.ru).
6. Інструкція з виготовлення виробів з пористого бетону (СН 277-80). Держбуд СРСР. – М., Стройиздат, 1981. – 46 с.
7. Производство сланцезольного газобетона а АО «Силбет» / Н.Я. Киселева // Строительные материалы и изделия. – 2004. – №5. – С. 28–31.
8. Brandstetr, J., Odler, I. and Havlica, J., Properties and Use of Slid Residue of Fluidized Bed Coal Combustion. In: Waste Materials Used in Concrete Manufacturing. Noyes Publ. (USA), т. 1997.
9. Lotze J., Wargalla G. : Kenndaten und Verwertungsmöglichkeiten von Aschen aus einer Feuerungsanlage mit zirkulitrender Wirbelschicht. Z-K-G, 38 (1985), No 5, p. 239-243. Part II: dtto, No7, p. 373-378.
10. Запотошна-Сытэк Геновефа, Ласкавец Петр, Малоленши Яен / Нестандартная летучая зола, применяемая для производства автоклавного ячеистого бетона.// Сборник «Строительные материалы, изделия и санитарная техника» – 2009. – №32. – С.40–49.
11. Сердюк В.Р., Міщенко О.О./ Сырьевая база для производства ячеистых бетонов // Сборник «Строительные материалы, изделия и санитарная техника» – 2009. – №32. – С. 110–115.