

**Страшук С.В., завідуючий лабораторією силікатних матеріалів,
Багаєва Т.Ю., старший науковий співробітник,
Щепашенко Т.А., інженер, ДП «ДНІБМВ», м. Київ**

ГАЗОБЕТОН НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДНЕННЯ – ТЕХНОЛОГІЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА В УКРАЇНІ

В лабораторії силікатних матеріалів ДП «Український науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів» було проведено комплекс науково-дослідних робіт, що пов'язані з розробкою технології виробництва газобетону неавтоклавною тверднення. Одне з основних питань в цій роботі було спрямовано на використання в технології виробництва газобетону неавтоклавною тверднення в якості основного сировинного компоненту доменного гранульованого шлаку та золи сухого видалення ТЕС.

Постійне зростання вартості енергоносіїв зумовлює необхідність збільшення обсягів виробництва теплоефективних стінових матеріалів та зниження енерговитрат на їх виготовлення. Перспективними теплоефективними матеріалами є виробі з ніздрюватого бетону. За прогнозними даними обсягів розвитку житлового будівництва річна потреба у ніздрюватобетонних виробках зростає до 15 разів у порівнянні з існуючими обсягами його виробництва.

З метою підвищення конкурентоспроможності ніздрюватих бетонів в сучасних умовах актуальною задачею є подальше покращення фізико-технічних властивостей цих матеріалів та створення енергозберігаючих технологій їх виготовлення.

Доменний гранульований шлак (граншлак) може являти собою цінний компонент для виробництва ніздрюватобетонних виробів. Кількість шлаку, який можуть гранулювати на металургійних виробництвах, при необхідності, може складати кілька мільйонів тонн на рік, що забезпечить зростаючий попит виробництва ніздрюватобетонних виробів якісною сировиною, що є відходом промисловості, та покращить екологічний стан докільля.

Тонкодисперсний гранульований шлак в ряді гідравлічної та пуцоланової активності розташовується після мікрокремнезему та метакаоїну. По ефективності впливу на довгострокову міцність та хімічну стійкість ефект від його вводу може перевищувати інші добавки.

Доменний гранульований шлак отримується при виплаві чавуну в результаті взаємодії залізної руди, коксу та флюсів – вапняку, доломітів та інших. В ході доменного процесу із руди, що вміщує кремнієву кислоту та глинозем, з вапном та домішками коксової золи утворюється доменний шлак в рідкому стані. Виходячи з домни, розплави шлаків схильні до кристалізації та тверднення в залежності від хімічного складу та інтенсивності охолодження. При цьому шлак не розпадається на окремі фази, хоча згодом це явище може спостерігатися.

Перехід до твердого стану характеризується показниками в'язкості, що визначаються терміном температурного інтервалу переходу з пластичного становища в тверде. Найбільш важливим при цьому є склад рідкої фази, що формує склад та структуру охолоджених шлаків, що розділяються на кислі SiO_2 та основні CaO , MgO , Fe_2O_3 , MnO . Оксиди в загальній формулі шлаків зв'язані співвідношенням $n\text{RO}/\text{SiO}_2$. Ступінь кислотності доменних шлаків визначається співвідношенням суми кислотних та основних оксидів.

Доменні шлаки Дніпровсько-Криворізьського регіону України відрізняються високим вмістом найбільш активного ок-

сиду CaO – до 47-50% від загальної маси. Кислотний оксид також займає в загальній масі вагоме місце – 39-42%.

Гідравлічна активність доменного шлаку, крім мінерального складу, залежить в значній мірі від ступеню закристалізованості структури, форми та розмірів кристалів, просторового співвідношення кристалічної та аморфної фаз. Основний спосіб диспергування та придбання шлаками в вогненно-рідкому становищі активних гідравлічних властивостей – грануляція. Її суть в швидкому охолодженні з температури 1500°C до 800°C .

Прийнято рахувати, що швидке охолодження не дозволяє кремнекислоті зв'язуватися з основними оксидами CaO та Al_2O_3 в кристалічні з'єднання, що залишаються в аморфному реакційноздатному стані, тому що теплова енергія не витрачається на утворення кристалів – гідравлічно не активних з'єднань. Швидко охолоджений шлак – це переохолоджена рідина скловидної структури, що знаходиться в термодінамічно активному нестійкому та нерівноважному стані. Скрита теплота плавлення зберігається у вигляді потенціальної енергії. Крім того, активні SiO_2 та Al_2O_3 як і CaO визначають реакційну здатність і, тим самим, гідравлічну активність шлаків. Проява гідравлічної та пуцоланової активності при зв'язуванні $\text{Ca}(\text{OH})_2$, що утворюється при гідратації, обумовлює значне підвищення хімічної стійкості бетонів та позитивно впливає на властивості бетонів.

Державні нормативні документи та вимоги до доменного шлаку як домішки в бетон ще не розроблені.

Ефективність використання гранульованого шлаку в бетоні залежить в великій мірі від його хіміко-мінералогічного складу, дисперсності та розподіленню часток за розмірами.

Вибір та визначення фізико-технічних властивостей сировини для виробництва ніздрюватого бетону проведено згідно з вимогами таких нормативних документів:

- ДСТУ Б В.2.7-45:2010 «Будівельні матеріали. Бетони ніздрюваті. Технічні умови»;
- СН 277-80 «Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона»;
- ДСТУ Б В.2.7-46:2010 «Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови»;
- ДСТУ Б В.2.7-90:2011 «Будівельні матеріали. Вапно будівельне. Технічні умови»;
- ДСТУ Б В.2.7-32-95 «Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови»;

- ГОСТ 5494-71 «Пудра алюминиевая пигментная»;
- ДСТУ Б В.2.7-202:2009 «Будівельні матеріали. Цементи та матеріали цементного виробництва. Методи хімічного аналізу».

Для проведення аналізу придатності шлаку доменного гранульованого виробництва ВАТ «Дніпропетровський металургійний завод ім. Петровського» щодо використання в складі ніздрюватого бетону неавтоклавного тверднення визначено його хімічний склад, який представлено в табл. 1.

Були визначені модуль активності та модуль основності згідно вимог СН 277-80 «Інструкція по изготовлению изделий из ячеистого бетона».

$$\text{Модуль активності} = \frac{\%Al_2O_3}{\%SiO_2} = \frac{5,4}{38,9} = 0,14;$$

$$\text{Модуль основності} = \frac{\%CaO + \%MgO}{\%SiO_2 + \%Al_2O_3} = \frac{49,65}{44,3} = 1,12$$

Характеристика шлаку за модулями активності та основності не відображає ролі окремих оксидів в прояві активності шлаку.

Оцінка гідралічних властивостей за вмістом окремих оксидів в більш повній мірі відображає коефіцієнт якості, який регламентується в ГОСТ 3476, що передбачає використання шлаку в якості компоненту при виробництві цементу.

Спираючись на те, що нормативні документи на доменні гранульовані шлаки, як домішки до бетону ще не розроблені, така оцінка активності являється більш точною на даний час.

Коефіцієнт якості визначається за формулою, в котрій в чисельнику стоїть кількість оксидів, що підвищують

гідралічну активність, а в знаменнику – що знижують її.

Коефіцієнт якості доменного гранульованого шлаку ВАТ «Дніпропетровський металургійний завод ім. Петровського» (при вмісті MgO до 10%) дорівнює:

$$K = \frac{\%CaO + \%Al_2O_3 + \%MgO}{\%SiO_2 + \%TiO_2} = \frac{48,1 + 5,4 + 1,55}{38,9 + 0,15} = 1,4$$

Оцінка якості доменного гранульованого шлаку за гідралічною активністю згідно вимог ГОСТ 3476 та СН 277-80 представлена в табл. 2.

Насипна щільність шлаку – 854 кг/м³.

Аналіз наведених фізико-технічних властивостей дозволяє припустити, що шлак доменний гранульований ВАТ «Дніпропетровський металургійний завод ім. Петровського» можна використовувати при виробництві неавтоклавного ніздрюватого бетону при заміні частки в'язучого та кремнеземистого компоненту.

В лабораторних умовах ДП «НДІБМВ» були проведені дослідження з підбору оптимальних складів та визначення оптимальних технологічних параметрів виготовлення ніздрюватого бетону. Основні компоненти та діапазон їх використання у складі ніздрюватобетонної суміші:

- шлак доменний гранульований в кількості 30-70%;
- портландцемент марки за міцністю М400 в кількості 20-50%;
- пісок кварцовий у кількості до 10%;
- вапно кальцієве комове негашене до 10%.

Доменний гранульований шлак, пісок кварцовий та вапно кальцієве комове негашене піддавалися попередній підготовці – помелу в лабораторному кульовому млині.

З метою можливого регулювання газоутворення, збільшення лужності розчину, формувальних властиво-

Таблиця 1.

Вміст оксидів в доменному гранульованому шлаку ВАТ «Дніпропетровський металургійний завод ім. Петровського»

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe заг.	TiO ₂	CaO	MgO	S	MnO	P ₂ O ₅
38,9	5,4	5,92	0,15	48,1	1,55	1,52	0,4	0,025

Таблиця 2.

Оцінка якості доменного гранульованого шлаку ВАТ «Дніпропетровський металургійний завод ім. Петровського» за ГОСТ 3476 та СН 277-80

Найменування показників	Вимоги за СН 277-80 як до в'язучого	Вимоги до сортів за ГОСТ 3476 як компоненту шихти при виробництві цементу			Фактичне значення
		1-го	2-го	3-го	
Коефіцієнт якості, не менше	-	1,65	1,45	1,20	1,4
Вміст окису алюмінію (Al ₂ O ₃), % не менше	-	8,0	7,5	Не нормується	5,4
Вміст окису магнію (MgO), % не більше	-	15,0	15,0	15,0	1,55
Вміст окису титану (TiO ₂), % не більше	-	4,0	4,0	4,0	0,15
Вміст закису марганцю (MnO), % не більше	-	2,0	3,0	4,0	0,4
Модуль активності, не менше	0,4	-	-	-	0,14
Модуль основності, не менше	0,9	-	-	-	1,12

Таблиця 3.

Фізико-технічні характеристики ніздрюватого бетону

Марка бетону за середньою густиною	Міцність бетону на тиск, кг/см ²	Теплопровідність, Вт/(м·°C)
D 500	23	0,11
D 600	26	0,13
D 700	31	0,16

Таблиця 4.

Хімічний аналіз золи сухого видалення

Найменування підприємства	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	в.п.п.
1. Бурштинська ДРЕС, Івано-Франківської обл.	49,6	22,72	18,50	0,98	3,45	1,95	0,15	1,87	0,40	0,20
2. Ладизинська ДРЕС, Вінницької обл.	58,28	22,04	10,37	0,95	2,46	2,61	0,10	2,52	0,70	0,06
3. Курахівська ДРЕС, Донецької обл.	50,0	18,6	12,0	-	2,8	1,5	0,5	2,5	-	-

стей суміші, підвищення міцності та поліпшення структуроутворення ніздрюватого бетону були апробовані три хімічні добавки. Оптимальна кількість апробованих хімічних добавок, що вводилася в ніздрюватобетонну суміш складала 0,2-1% від маси сухих компонентів.

В якості газоутворювача використовувалась алюмінієва пудра.

Одна частина ніздрюватобетонних зразків витримувалась 28 діб в нормальних умовах, а інша піддавалась пропарюванню за режимом 3 +6 +2 години (рівномірний підйом температури + ізотермічна витримка при температурі 95°C + охолодження).

На основі вибраних сировинних матеріалів та досліджених фізико-технічних властивостей шлаку доменного гранульованого було розроблено оптимальні склади та відпрацьовано технологію виробництва ніздрюватого бетону неавтоклавного тверднення.

Фізико-технічні характеристики отриманого ніздрюватого бетону приведені в таблиці 3.

Марка бетону за морозостійкістю складала F25.

Отриманий газобетон неавтоклавного тверднення відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-137:2008 «Будівельні матеріали. Блоки з ніздрюватого бетону».

Значний інтерес для будівельної галузі України складає зола сухого видалення, що утворюється при спалюванні вугілля на теплоелектростанціях України. На сьогоднішній день виробництво золи сухого видалення існує на трьох ТЕС, хімічний аналіз цих зол представлено в таблиці 4.

В лабораторних умовах ДП «НДІБМВ» були проведені дослідження з підбору оптимальних складів та визначення оптимальних технологічних параметрів виготовлення ніздрюватого бетону з використанням золи сухого видалення Ладижинської ТЕС, Вінницької обл.

Компоненти ніздрюгато-бетонної суміші при використанні золи сухого видалення не потребували попередньої підготовки та дозувалися в такій послідовності – вода, мелене вапно (Любомирський вапняно-силікатний завод), зола сухого видалення та хімічна добавка, цемент М 500 (ТОВ «Балцем») та алюмінієва суспензія. Вода (температура 50°C), вапно, зола сухого видалення та хімічна добавка перемішувались протягом 5 хв. В якості газоутворювача використовувалась алюмінієва пудра в кількості, яка залежить від проектуємої густини бетону, яка додавалася до суміші у вигляді алюмінієвої суспензії. Після дозування цементу та алюмінієвої суспензії бетонну суміш перемішували ще 1 хвилину, після чого суміш виливали у металеву форму. Спучування газобетонної суміші відбувалося близько 20 хв.

Хімічна добавка вводилася з метою поліпшення формувальних властивостей суміші та підвищення міцності бетону.

Кількість води в ніздрюватобетонній суміші складала 48-52%.

В ході формовок ніздрюватобетонних зразків в лабораторних умовах були відпрацьовані оптимальні технологічні параметри їх отримання:

- температура води затворювання в інтервалі 45-50°C;
- час перемішування ніздрюватобетонної суміші – 5 хв.

Було отримано бетон середньою густиною 500кг/м³ та 600кг/м³.

Фізико-механічні характеристики отриманих зразків (густина та міцність на стиск) були визначені після 28 діб їх тверднення в нормальних умовах. Склад ніздрюватого бетону неавтоклавного тверднення за середньою густиною 500кг/м³ наведено в таблиці 5.

Визначення якісних характеристик бетону проводилось за стандартними методиками відповідно до:

- середня густина – ДСТУ Б В.2.7-170:2008 «Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинення, пористості і водонепроникності»;
- міцність на стиск – ДСТУ Б В.2.7-224:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності»;
- морозостійкість – ДСТУ Б В.2.7-45:2010 «Бетони ніздрюваті. Технічні умови» (додаток Б);
- теплопровідність ДСТУ Б В.2.7-41-95 (ГОСТ 30290-94) «Матеріали та виробни будівельні. Метод визначення теплопровід-

ності поверхневим перетворювачем».

Фізико-технічні характеристиками отриманого ніздрюватого бетону приведені в таблиці 6.

Марка бетону за морозостійкістю складала F25.

Отриманий газобетон неавтоклавного тверднення відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-137:2008 «Будівельні матеріали. Блоки з ніздрюватого бетону».

При виробництві газобетону автоклавного тверднення автоклавна обробка складає більш ніж 30% від загальної собівартості бетону. При організації нового виробництва ніздрюватого бетону відмова від використання автоклавів, при умові отримання бетону неавтоклавного тверднення з характеристиками близькими до бетону автоклавного тверднення, дозволить значно зменшити витрати коштів на технологічне обладнання (автоклави, котельня тощо), монтажні, пуско-наладжувальні роботи та значно скоротити термін вводу виробництва в експлуатацію.

В лабораторії ДП «НДІБМВ» розроблено технологію виробництва газобетону неавтоклавного тверднення як з використанням вторинних сировинних матеріалів – відходів виробництва промисловості України (доменного гранульованого шлаку, золи сухого видалення, шламових відходів гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК), карбонатних відходів хімічного очищення води тощо), так і традиційного кварцового піску. Виробництво газобетону неавтоклавного тверднення доцільно розміщувати поблизу знаходження сировинної бази та технологічної інфраструктури – цементних заводів, ГЗК, теплових електростанцій, що мають золу сухого видалення, металургійних комбінатів (наявність шлаків), а також при виробництвах силікатної цегли, заводах з виробництва залізобетонних конструкцій та виробів, сухих будівельних сумішей.

Технологічне обладнання, що пропонується може забезпечити виробництво від 30 до 200 м³ газобетонних виробів на добу. Вартість обладнання, в залежності від рівня оснащення та потужності виробництва, може складати від 300 тис. до 8 млн. грн. відповідно (термін виготовлення та введення виробництва в експлуатацію складає від 2 до 6 міс.), окупність виробництва складає від 8 до 20 місяців. В залежності від потужності виробництва, сировини, що використовується, щільності газобетону та інших чинників, визначаються основні технологічні принципи виробництва (наприклад, литтєва чи вібро-технологія) та підбирається технологічне обладнання. Порізка газобетонних масивів може здійснюватись дисковими чи стрічковими пилами або струнами.

На сьогоднішній день в Україні існує близько 10 виробництв ніздрюватого бетону неавтоклавного тверднення на яких використовується технологічне обладнання вітчизняного виробництва (м.Львів та Львівська обл., м. Хмельницьк та Хмельницька обл., м. Коростень, Київська обл., м. Дніпропетровськ та Дніпропетровська обл.).

Таблиця 5.

Склад ніздрюватого бетону неавтоклавного тверднення з використанням золи сухого видалення

Склад ніздрюватого бетону (D 500)						
	Цемент	Зола сухого видалення	Вапно	Добавка	Вода (В/Т)	Алюмінієва пудра
кг/м ³	218	205	10	2,1	155	0,6

Таблиця 6.

Фізико-технічні характеристики ніздрюватого бетону

Марка бетону за середньою густиною	Міцність бетону на стиск, кг/см ²	Теплопровідність, Вт/(м·°C)
D 500	22	0,1
D 600	24	0,12

Газобетон неавтоклавного тверднення випускається у відповідності з вимогами ДСТУ Б В.2.7-137:2008 «Будівельні матеріали. Блоки з ніздрюватого бетону стінові дрібні» зі зміною та характеризується маркою бетону за середньою щільністю Д400, Д500, Д600 та Д700.

Лабораторія силікатних матеріалів розробляє технологічні регламенти на виробництво газобетону неавтоклавного тверднення, проводить комплекс робіт згідно з ДСТУ-Н Б А.3.1-6:2009 «Управління, організація і технологія. Настава з розроблення та постановлення на виробництво продукції будівельного призначення» та проводить сертифікаційні випробування бетону.

Запрошуємо до співпраці в галузі організації виробництва ніздрюватобетонних виробів.

Тел./факс: 38 (044) 417-80-02; +38-067-507-11-57;

e-mail: silicate@inbox.ua;

завідувач лабораторією силікатних матеріалів

Страшук Сергій Васильович

Література:

1. Матеріали Другої міжнародної конференції по лужним цементам та бетонам, Київ, Україна, травень 18-20, 1999р.
2. Будівельні матеріали. Довідник, М., Будвиздат, 1989, 567с.
3. Страшук С.В., Багаєва Т.Ю., Щепашенко Т.А // Використання шламових відходів у виробництві ніздрюватого бетону // Екологія та промисловість – 2005-№4(5)-С.56-60.
4. О.В. Ушеров-Маршак, Гранульований доменний шлак. Матеріали конференції «Дні сучасного бетону», Хортиця, 2005р.
5. Страшук С.В., Багаєва Т.Ю., Щепашенко Т.А // Використання техногенних відходів промисловості у виробництві ніздрюватих бетонів // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка -2007- №24-С.17-18.

УДК 666.972



Лаповская С.Д.



Волошина Т.М.

**Лаповська С.Д., доктор техн.наук, с.н.с., зав. лабораторією БМСП,
Волошина Т.М., м.н.с., ДП «НДІБМВ», м. Київ**

ПОРІВНЯННЯ ЗНАЧЕНЬ УСАДКИ ПРИ ВИСИХАННІ НІЗДРЮВАТИХ БЕТОНІВ РІЗНОЇ ГУСТИНИ

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 будівель з майже нульовим споживанням енергії.

В Україні в останні роки введено в дію потужні 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. У той же час, враховуючи значну початкову вологість цього матеріалу, обумовлену технологією виробництва виробів, необхідно ретельно аналізувати вплив цього фактора на експлуатаційні характеристики газобетону, і, зокрема, на показник усадки при висиханні.

Для ніздрюватого бетону важлива об'єктивна оцінка міцності структури і властивостей в природних умовах експлуатації. Така оцінка, отримана за результатами тривалих випробувань усадки, повзучості, зміни міцності і метаморфізації структури гідратних сполук, характеризує поведінку матеріалу при комплексному впливі навантаження, змінної температури і вологості, вуглекислого та ін газів в атмосферних умовах.

Вологообмін бетонів з експлуатаційним середовищем призводить до зміни кількісного вмісту і співвідношення видів води з різною енергією зв'язку зі структурою і, відповідно, до зміни балансу сил, а саме: міжмолекулярної взаємодії поверхні твердої фази з водою, розклинювального тиску адсорбційних плівок, сил поверхневого натягу, капілярних сил. Міра зміни будівельно-технічних властивостей бетонів залежить від внеску складових у баланс сил і визначається розмірно-геометричними та енергетичними характеристиками твердої фази і порового простору матеріалу.

Вологісні напруження і деформації при зміні вмісту вологи матеріалу зумовлені послідовним включенням в дію сил капілярного тиску, розклинювального тиску, поверхневого натягу, взаємодії між частками, сил внутрішніх зв'язків у кристалогідратах і пружної протидії твердої фази її деформуванню. Величина деформацій залежить від умов і можливості зміни балансу цих сил в матеріалі і визначається наступними параметрами складу і структури:

1) об'ємним співвідношенням елементів твердої фази і пор в структурі, так як від цього залежить кількість води в структурі і міра опірності твердофазового каркасу