

УДК 691.31

Дворкін Л. Й., д.т.н., професор, Мироненко А. В., к.т.н., доцент, Ішук О. О., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

СИЛКАТНА ЦЕГЛА НА ВАПНЯНО-БАЗАЛЬТОВОМУ В'ЯЖУЧОМУ

В статі наведені результати досліджень автоклавного в'язучого на основі відходів подрібнення базальту та технології силікатної цегли на його основі. Отримані математичні моделі впливу технологічних факторів на властивості силікатної цегли, визначені оптимальні значення речовинного складу сировинної суміші.

Технологія автоклавних силікатних матеріалів – це галузь, що відрізняється гнучкістю технології, високою економічною ефективністю, екологічною чистотою виробництва і є перспективною у плані розширення асортименту та підвищення якості продукції. Основними напрямками технічного прогресу у виробництві силікатної цегли є: покращення якості і розширення асортименту цегли, збільшення продуктивності основного технологічного обладнання (силосів-реакторів, змішувачів, пресів, автоклавів), широке використання промислових відходів, удосконалювання механізації завантажувально-розвантажувальних робіт на складах підприємств.

Сучасна технологія силікатної цегли, базується на отриманні силікатного в'язучого шляхом спільного помелу кремнеземистого компоненту – кварцового піску з негашеним вапном з подальшим змішуванням отриманого силікатного в'язучого з немеленим піском, перемішуванням і загашуванням отриманої суміші водою, формуванням силікатної цегли шляхом пресування та запарюванням відформованих виробів у автоклаві.

Основними новоутвореннями силікатного в'язучого на основі кварцового піску та вапна є гідросилікати кальцію різної основності, зокрема типу тобермориту, для яких характерним є значна розчинність у воді – 0,050 г/л та вище [2, 3]. В результаті цього отримана силікатна цегла відрізняється порівняно невисокою водостійкістю (коефіцієнт розм'якшення 0,6...0,7). Понижена водостійкість силікатної цегли обмежує можливості її використання у будівництві – переважно для стін

над цокольної частини будівель. Таким чином, пошук шляхів підвищення водостійкості силікатної цегли є актуальною задачею.

З літературних джерел відомі численні способи підвищення водостійкості силікатної цегли: використання добавок-гідрофобізаторів [4], просочування бітумом, карбонізація, покриття кремнійорганічними водовідштовхуючими сполуками, створення водостійких гідросилікатних сполук з малорозчинних силікатів кальцію, введення добавки доменного шлаку та ін. [6]. Недоліком таких технологій є їх складність та необхідність використовувати дорогі матеріали.

Для збільшення водостійкості автоклавного силікатного в'язучого необхідно суттєво зменшити розчинність його гідратних новоутворень, зокрема шляхом використання замість кварцового піску іншого недорогого компонента силікатного в'язучого. Таким компонентом може стати базальт, що є матеріалом поширеним і доступним в деяких регіонах, зокрема в Рівненській області, наприклад у вигляді відсівів та пилу від подрібнення на щебневих заводах. Хімічний склад базальтів (усереднений) Берестовецького родовища представлений у табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад базальту

Вміст оксидів, %													
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	H ₂ O	в.п.п.
45,85	13,26	4,39	8,62	8,22	6,80	1,18	2,18	3,04	0,90	0,52	0,01	2,12	2,45

Наші дослідження показали, що після запарювання у автоклаві в'язучого із суміші мелених базальту та вапна в наслідок наявності у складі базальту значних кількостей оксидів заліза (понад 12%), алюмінію (понад 13%) та магнію (понад 6%) при твердінні силікатного в'язучого утворюються поряд з тоберморитоподібними гідросилікатами кальцію, також і водостійкі гідроферити кальцію, гідроалюмосилікати типу гідрогранатів та гідросилікати магнію, розчинність яких не перевищує 0,020 г/л води [1, 2, 5]. Більш водостійкі новоутворення екранують тоберморитоподібні гідросилікати, захищаючи їх таким чином від дії води. В результаті водостійкість силікатного в'язучого значно зростає.

Перевагою базальтового відсіву в якості компонента силікатного в'язучого є також його дисперсність (близько 20% його маси представлені пилоподібною фракцією) та краща розмелюваність, що сприяє економії електроенергії при помелі.

В експериментальних дослідженнях використовували негашене вапно III-го сорту Любомирського вапняно-силікатному заводі, для ви-

готовлення сировинної суміші для силікатної цегли в якості заповнювача використовували дрібний кварцовий пісок Любомирського родовища (модуль крупності 1,25).

В наших експериментах досліджували вплив технологічних факторів (співвідношення вапно: базальт у складі в'язучого, та вмісту силікатного в'язучого у суміші із заповнювачем піском). Силікатне в'язуче готували шляхом спільного помелу компонентів у кульовому млині до одержання питомої поверхні 300...320 м²/кг. Отримане в'язуче змішували із заповнювачем – піском і після загашування при загальній вологості суміші у 7% на гідравлічному пресі під тиском 20 МПа формували зразки циліндри розміром 7,12 см × 6,2 см. Відформовані зразки піддавали автоклавній обробці на Любомирському вапняно-силікатному заводі при тиску 9 МПа впродовж 6 год із температурою ізотермічного прогріву 175°С. Крім того, для дослідження властивостей самого силікатного в'язучого формували зразки-циліндри без заповнювача – піску при вищевказаних параметрах вологості, тиску та автоклавної обробки.

Склади зразків вапняно-пісчаніого та вапняно-базальтового в'язучих а також суміші для формування зразків цегли приймали в межах, прийнятих для сучасної технології силікатної цегли автоклавного твердіння [1].

Таблиця 2

Міцність і водостійкість вапняно-силікатного в'язучого

№ з/п	Співвідношення компонентів в'язучого,	Міцність при стиску зразків, МПа		Коефіцієнт розм'якшення
		Після автоклавної обробки	Насичених водою впродовж 2-х діб	
1	Вапно/пісок = 2:1	18,2	12,6	0,61
2	Вапно/пісок = 2:1,5	21,1	12,7	0,69
3	Вапно/базальт = 2:1	17,9	17,0	0,95
4	Вапно/базальт = 2:1,5	20,7	19,3	0,93

Подальші дослідження проводили на зразках, виготовлених із суміші автоклавного в'язучого та заповнювача – піску. Дослідження виконували з використанням математичного планування експериментів. Рівні варіювання представлені в табл. 3, результати експериментів – у табл. 4. Отримані графічні залежності показані на рисунку.

Таблиця 3

Технологічні фактори		Рівні варіювання			Інтервал
Натуральний вид	Кодований вид	-1	0	+1	
1	2	3	4	5	6
Кількість частин базальту на 2 частини вапна за масою	X_1	0,5	1	1,5	0,5
Вміст в'язучого %, у суміші із заповнювачем	X_2	7	10	13	3

За результатами експериментів отримали наступні математичні моделі :

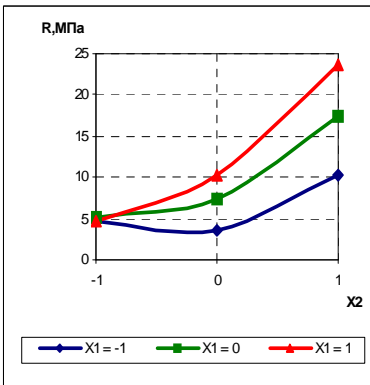
- міцності силікатної цегли на вапняно-базальтовому в'язучому

$$R_{ct} = 7,30 + 3,37X_1 + 6,13X_2 - 0,41X_1^2 + 3,89X_2^2 + 3,40 X_2X_2;$$

- водостійкості (коефіцієнту розм'якшення) силікатної цегли на вапняно-базальтовому в'язучому

$$K_p = 0,76 + 0,07 X_1 + 0,05 X_2 + 0,02 X_1^2 - 0,10 X_2^2 + 0,04 X_1X_2.$$

а)



б)

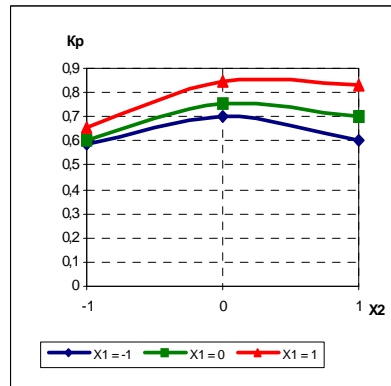


Рисунок. Графічні залежності: (а) міцності R , МПа та (б) коефіцієнту розм'якшення K_p вапняно-базальтової силікатної цегли від вмісту базальту у вапняно-базальтовому в'язучому (X_1) та вмісту в'язучого %, у суміші із заповнювачем (X_2)

Згідно з отриманими результатами вапняно-базальтові в'язучі характеризуються більш високою водостійкістю, ніж вапняно-пісчани (табл. 2). При цьому міцність зразків обох в'язучих практично однакова. Водостійкість обох видів в'язучих зростає при збільшенні вмісту базальту (або піску) у складі в'язучого, але за величиною коефіцієнту розм'якшення зразки базальту є цілком водостійкими ($K_p > 0,75$), в той час як водостійкість вапняно-пісчаного в'язучого набагато нижча ($K_p < 0,75$). Таким чином, підтверджується вищевказане положення про вплив розчинності новоутворень автоклавного в'язучого на водостійкість силікатної цегли.

Міцність зразків силікатної цегли на вапняно-базальтовому в'язучому зростає при збільшенні вмісту базальту у складі в'язучого (X_1) та загального вмісту в'язучого у складі силікатної цегли (X_2). При збільшенні вмісту базальту у складі в'язучого (X_1) зменшується відносний вміст вапна і, відповідно, основність гідратних новоутворень у затверділому в'язучому, що згідно з [5] сприяє значному зменшенню розчинності. Зменшення основності новоутворень – гідросилікатів кальцію з величин 1,5...2, до 0,8...1,0 майже в десять разів зменшує їх водорозчинність. Так, в роботі [7] для збільшення водостійкості силікатної цегли запропоновано використання добавки пилу від виробництва ферросиліцію, що складається, переважно з тонкодисперсного аморфного кремнезему. При цьому зменшується основність гідратних новоутворень у затверділому в'язучому і збільшується його водостійкість. Але для досягнення такого ефекту необхідне використання дефіцитного компоненту – пилу від виробництва ферросиліцію.

Зростання загального вмісту в'язучого у складі силікатної цегли (X_2) сприяє зменшенню капілярної пористості та ущільненню каменю силікатної цегли. При цьому, відповідно, і зменшується проникність каменю силікатної цегли, що зменшує негативний вплив води на гідратні новоутворення автоклавного в'язучого і сприяє, таким чином, збільшенню його водостійкості.

Згідно з експериментальними даними (рисунок) міцність цегли в межах експерименту коливається в межах 11...24 МПа, що дозволяє отримувати широкий діапазон марок силікатної цегли М75...М200.

Таблиця 4

Міцність і водостійкість вапняно-базальтової силікатної цегли

№ з/п	Кількість частин базальту на 2 частини вапна за масою	Вміст в'язучого %, у суміші із заповнювачем	Міцність зразків при стиску, МПа	Коефіцієнт розм'якшення
1	1,5	13	23,8	0,78
2	1,5	7	6,6	0,68
3	0,5	13	9,0	0,63
4	1	7	5,4	0,69
5	1,5	10	8,2	0,87
6	0,5	10	4,0	0,57
7	1	13	18,4	0,72
8	0,5	7	2,4	0,48
9	1	10	7,2	0,88
10	1	10	8,3	0,74
11	1,5	10	8,0	0,75

В цілому, така ж залежність від технологічних факторів спостерігається і для водостійкості силікатної цегли на вапняно-базальтовому в'язучому (рисунки). Для величини коефіцієнту розм'якшення характерним є максимум при вмісті в'язучого у складі силікатної цегли (X_2) на рівні близько 1,0, при подальшому зростанні цього співвідношення величина коефіцієнту розм'якшення незначно спадає. Таким чином, максимальна величина коефіцієнту розм'якшення силікатної цегли на вапняно-базальтовому в'язучому досягається при вмісті базальту у складі в'язучого (X_1) близько 1,5 і вмісті в'язучого у складі силікатної цегли (X_2) на рівні 10% і становить 0,88, тобто такий матеріал є цілком водостійкий. При збільшенні вмісту в'язучого у складі силікатної цегли до 13% її міцність зростає, а коефіцієнт розм'якшення знижується до величини 0,84, тобто залишається достатньо високим, і така цегла є цілком водостійкою. Рекомендовані склади для різних марок силікатної цегли за даними експериментів представлені в табл. 5.

Рекомендовані склади силікатної цегли

№ з/п	Марка цегли	Вміст базальту на 2 частини вапна за масою	Вміст в'язучого %, у суміші із заповнювачем	Коеф. розм'якшення
1	M75	1,5	8,8	0,89
2	M100	1,5	10,1	0,94
3	M125	1,5	10,9	0,92
4	M150	1,5	11,5	0,90
5	M175	1,5	12,1	0,88
6	M200	1,5	12,6	0,85

Висновки:

1. Використання відсіву подрібнення базальту для виготовлення автоклавної силікатної цегли дозволяє розширити сировинну базу силікатної промисловості, зменшити енерговитрати на виробництво та знайти один із напрямків раціонального використання цього відходу.

2. На основі вапняно-базальтового в'язучого можна отримувати широкий діапазон марок силікатної цегли: M75...M200 підвищеної водостійкості з коефіцієнтом розм'якшення близько 0,9.

1. Боженів П. И. Технология автоклавных материалов / П. И. Боженів. – С.-П., 1978. – 368 с.
2. Кривенко П. В. Специальные шлакощелочные цементы/ П. В. Кривенко. – К. : Будівельник, 1992.– 192 с.
3. Волженский А. В. Минеральные вяжущие вещества (Технология и свойства) / Волженский А. В., Буров Ю. С., Колокольников В. С. – Москва : Стройиздат, 1973. – 479 с.
4. Войтович В. А. Півщення водостійкості силікатної цегли шляхом застосування гідрофобізаторів – "Нанотехнологии в производстве строительного кирпича" / В. А. Войтович, И. Н. Хряпченкова, А. А. Яворский // Стойтельные материалы, 2010, № 2, – С. 60-61.
5. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dobi.oglib.ru/bgl/2700/440.html> (21.12.12).
6. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://bibliotekar.ru/spravochnik-104-stroymaterialy/69.htm> (21.12.12).
7. Патент Російської Федерації RU (11)2213712/(13)С1.

Рецензент: д.т.н., професор Дворкін О. Л. (НУВГП)