



Позняк О.Р.



Мельник А.Я.

Позняк О.Р., канд.техн.наук, доцент,
Мельник А.Я., м.н.с., Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів

ГАЗОБЕТОН, ОДЕРЖАНИЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДПАДКІВ ПРОМИСЛОВОСТІ

Постановка проблеми.

Збалансований будівельний сектор стає одним із найвагоміших викликів сьогодення, з огляду на значний внесок будинків, їхніх компонентів та процесів у споживання енергії, емісію парникових газів та їхній вплив на якість повітря у приміщеннях. На житлово-комунальний сектор припадає найбільша частина кінцевого споживання енергії, зокрема в ЄС – 42% енергії, при цьому в будинках виникає емісія близько 35% всіх парникових газів, що визначає необхідність охорони навколишнього середовища.

Збалансований розвиток у будівництві, основними принципами якого є мінімізація витрати енергії та матеріальних ресурсів у процесі спорудження та експлуатації будівельних конструкцій зі зменшенням негативного впливу на навколишнє середовище в будівництві, передбачає використання високоефективних низькоенергоємних будівельних матеріалів [1]. Одним з таких матеріалів є ніздрюватий бетон, який набув широкого впровадження в житловому, промисловому та інших видах будівництва. Можливість отримання матеріалу з покращеними властивостями, високою архітектурно-будівельною виразністю, низькою теплопровідністю, простотою і доступністю технології, низькою енергоємністю, використання для виготовлення місцевої сировини і відходів виробництва, екологічна безпечність – всі ці фактори пояснюють лідируючі позиції ніздрюватого бетону як ефективного конструкційно-теплоізоляційного будівельного матеріалу [2].

Авторами [3] вивчено властивості ніздрюватих бетонів на наповнювачах з різною природою поверхні. Показано, що наповнювачі з твердих речовин-акцепторів (доломітизованого вапняку і металургійного шлаку) підсилюють гідратаційну активність цементу і дозволяють підвищити міцність бетону. При використанні природних і техногенних пісків гідратаційна активність цементу і міцність ніздрюватих бетонів не збільшуються, але спостерігається підвищення теплофізичних характеристик.

Можливою економією цементу при виробництві ніздрюватих бетонів є використання вапняно-золяних або золотужних в'язучих, а також шлакових в'язучих композицій, для одержання яких використовуються побічні продукти металургійної та хімічної промисловості [4].

На сьогоднішній день практичне значення у технології будівельних матеріалів, зокрема і в технології ніздрюватих бетонів, має використання відпадків промисловості, що дозволить покращити основні властивості матеріалу, підвищити техніко-економічні показники, а також сприятиме екологічному оздоровленню навколишнього середовища за рахунок утилізації відходів [5].

Тому покращення фізико-механічних характеристик ніздрюватих бетонів за рахунок модифікування їх структури та зміни властивостей міжпорових перегородок шляхом введення в їх склад додаткових цементуючих матеріалів, зокрема техногенних відпадків промисловості, є актуальною проблемою на сьогоднішній час.

Мета роботи.

Дослідження впливу відпадків переробки солі на властивості цементуючих систем для отримання газобетону неавтоклавного тверднення з покращеними показниками якості.

Методи досліджень і матеріали.

В роботі при проведенні експериментальних досліджень використовували портландцемент ПЦ І – 500, БАТ «Івано-Франківськцемент» з наступними показниками: питома поверхня $S_{\text{пит}}$ – 350 м²/кг, залишок на ситі №008 – 1,1%, початок тужавіння – 3 год 20 хв, кінець тужавіння – 6 год 10 хв. Як дрібнодисперсний наповнювач використовували золу-винесення Бурштинської ТЕС з такими властивостями: істинна густина – 2,21 г/см³, насипна густина – 870 кг/м³, залишок на ситі №008 – 8,7 мас. %, хімічний склад, мас. %: SiO₂ – 54; Al₂O₃ – 23,75; Fe₂O₃ + FeO – 13,8; MgO – 1,91; CaO – 4,98; SO₃ – 0,53; K₂O + Na₂O – 0,25. В якості додаткових цементуючих матеріалів використовували відпадки переробки солі у вигляді карбонатвмісного та сульфатного компонентів з наступним хімічним складом, мас. %: карбонатвмісний компонент: SiO₂ – 1,8, Al₂O₃ – 1,64, Fe₂O₃ – 0,54, CaO – 39,42, MgO – 4,21, Na₂O – 6,42, R₂O – 6,57; сульфатний компонент: SiO₂ – 0,85, Al₂O₃ – 1,01, Fe₂O₃ – 0,14, CaO – 31,47, MgO – 1,38, Na₂O – 2,85, R₂O – 35,9.

Фізико-механічні властивості цементуючих систем та газобетонів на їх основі визначали згідно діючих стандартних методів випробувань.

Результати досліджень.

Дослідженнями впливу додаткових цементуючих матеріалів на терміни тужавіння цементуючих систем встановлено, що введення карбонатвмісного відпадку переробки солі (КВ) в склад цементуючої системи в кількості 10 мас. % зумовлює прискорення термінів тужавіння. Так, початок тужавіння такої системи становить 130 хв, в той час як для портландцементу – 190 хв, кінець тужавіння для цементуючої системи, що містить карбонатвмісний відпадок складає 210 хв, для звичайного портландцементу – 290 хв. При введенні в склад цементуючої системи сульфатного відпадку переробки солі (СВ) початок тужавіння скорочується на 30 хв, кінець – на 20 хв, порівняно з портландцементом.

Для наближення до умов одержання газобетону випробування цементного тіста проводили при В/Ц = 0,41, яке забезпечує розплив циліндра Суттарда 190 мм. При введенні до складу цементуючої системи 5 мас. % карбонатвмісних відпадків через 1 добу тверднення в нормальних умовах міцність цементного каменю зростає з 13,9 МПа до 14,6 МПа, при збільшенні кількості карбонатвмісного відпадку до 10 мас. %, міцність зростає до 15,3 МПа. При подальшому збільшенні кількості карбонатвмісного відпадку до 15 мас. % міцність цементного каменю знижується до 7,3 МПа. В більш пізні терміни тверднення найвищими показниками міцності характеризується цементний

камінь на основі цементуючої системи, що містить в своєму складі карбонатвмісний відпадок переробки солі в кількості 10 мас. %. Так, міцність цементного каменю на основі такої цементуючої системи через 90 діб тверднення становить 70,8 МПа, в той час як міцність каменю на основі портландцементу ПЦ І-500 – 69,0 МПа.

Дослідженнями впливу сульфатних відпадків на властивості цементуючих систем встановлено, що їх введення в склад цементуючих систем спричиняє спад міцності цементного каменю в усі терміни тверднення.

Слід відзначити, що введення карбонатвмісних відпадків переробки солі в склад цементуючої системи зумовлює підвищення ступеня гідратації портландцементу в ранні терміни тверднення. Так, вже через 2 доби тверднення, ступінь гідратації модифікованої цементуючої системи, що містить карбонатвмісні відпадки складає 49,9%, в той час як ступінь гідратації портландцементу становить 23,7%.

В технології виробництва неавтоклавної газобетону для одержання виробів із заданими міцністю та середньою густиною, важливою характеристикою є кратність спучування, яка в подальшому визначає характеристики газобетону. Дослідженням кінетики спучування газобетонних сумішей встановлено (рис. 1), що газобетонна суміш на звичайному портландцементі характеризується часом наростання газобетонного масиву – 21 хв. При використанні цементуючих систем, що містять в своєму складі відпадки переробки солі, спостерігається скорочення часу наростання газобетонного масиву до 12-14 хв, сульфатного відпадку – до 9 – 11 хв. Слід відзначити, що кратність спучування газобетонної суміші на основі модифікованої цементуючої системи, яка містить карбонатвмісні відпадки, становить 2,9, сульфатні відпадки – 2,3, в той час як кратність спучування газобетонної суміші на основі портландцементу – 2,8.

Як видно з рис. 2, використання відпадків переробки солі дозволяє підвищити міцність газобетону в усі терміни тверднення. Так, через 28 діб тверднення, газобетон на основі модифікованої цементуючої системи, що містить в своєму складі карбонатвмісний відпадок переробки солі, характеризується міцністю 2,2 МПа (технічний ефект $\Delta R = 175\%$) при середній густині газобетону 650 кг/м^3 , в той час як для газобетону з такою ж середньою густиною на основі звичайного портландцементу міцність при стиску становить 0,8 МПа.

Слід відзначити, що при введенні сульфатного компонента, відбувається швидке загустівання газобетонного масиву, внаслідок чого зростає середня густина газобетону, а відповідно і його міцність. Ніздрюватий бетон з добавкою сульфатного відпадку переробки солі через 28 діб тверднення характеризується міцністю при стиску 1,8 МПа при середній густині 715 кг/м^3 .

З метою вивчення особливостей процесів структуроутворення міжпорових перегородок газобетону на основі модифікованих цементуючих систем проводили дослідження модельних систем « $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – алюмінієва паста», « $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – карбонатвмісні відпадки – алюмінієва паста», що тверднули в нормальних умовах та після тепловологої обробки, оскільки на даний час основна кількість газобетону виготовляється автоклавним методом, що збільшує енергетичні затрати та собівартість матеріалу. Згідно даних рентгенофазового аналізу на дифрактограмах каменю на основі модельної системи « $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – алюмінієва паста», що тверднув у нормальних умовах, усі терміни тверднення фіксуються лінії портландиту ($d/n = 0,493; 0,263; 0,193 \text{ нм}$) та метастабільного гексагонального гідроалюмінату кальцію $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ($d/n = 1,07; 0,536; 0,287 \text{ нм}$) (рис. 3).

Дослідженнями процесів структуроутворення в модельній системі « $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – алюмінієва паста» після тепловологої обробки встановлено, що при тепловологій обробці відбувається конверсія метастабільного гексагонального гідроалюмінату кальцію $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ у стабільну гідратну фазу – кубічний гідроалюмінат кальцію $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ($d/n = 0,2286; 0,255; 0,442; 0,510 \text{ нм}$), що супроводжується зміною об'єму тверднучої системи.

За даними рентгенофазового аналізу при використанні карбонатвмісних відпадків переробки солі як додаткового цементуючого матеріалу в складі модельної системи « $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – карбонатвмісні відпадки – алюмінієва паста» гексагональні гідроалюмінати кальцію в присутності CaCO_3 заміщаються на більш стабільні гідрокарбоалюмінати $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ($d/n = 0,760; 0,380 \text{ нм}$), структуроутворююча роль яких з часом зростає (рис. 4).

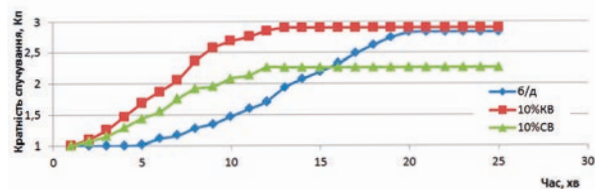


Рис. 1. Кінетика спучування газобетонної суміші

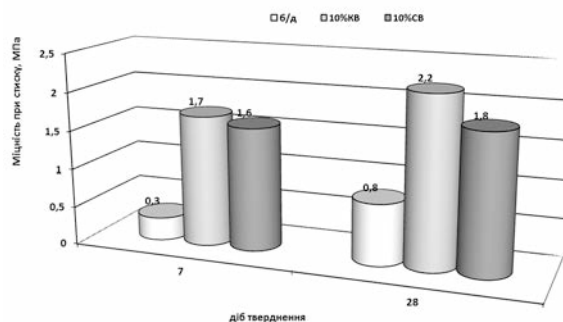


Рис. 2. Вплив відпадків переробки солі на міцність газобетону

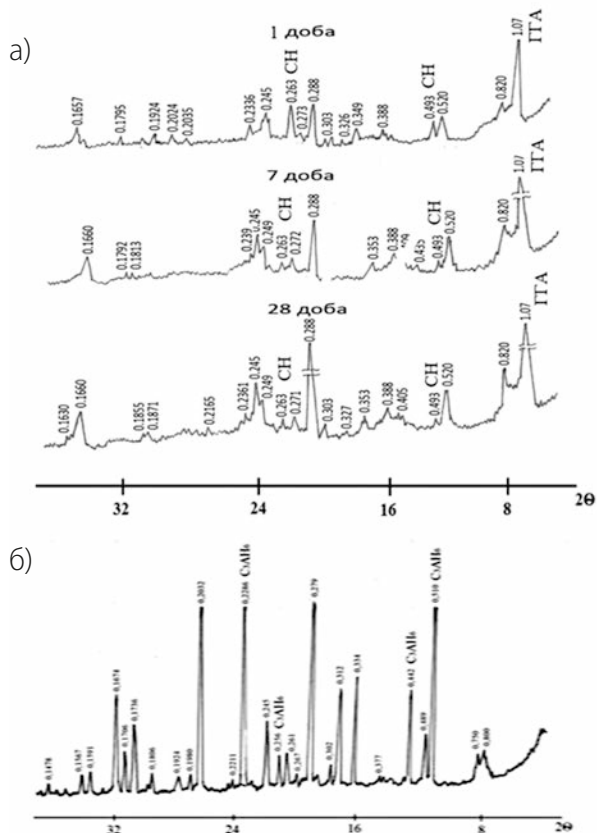


Рис. 3. Фазовий склад та мікроструктура каменю на основі модельної системи « $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – алюмінієва паста»: а) в нормальних умовах тверднення, б) після ТВО

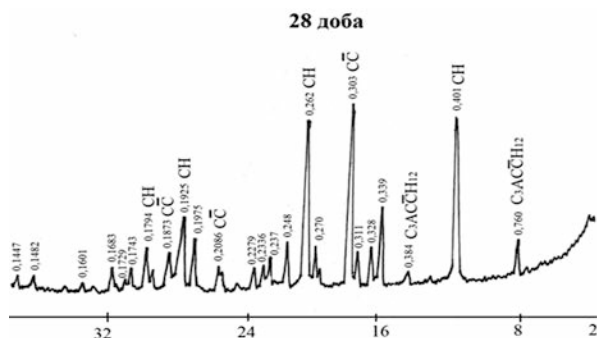


Рис. 4. Фазовий склад каменю на основі модельної системи « $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – карбонатвмісні відпадки – алюмінієва паста» в нормальних умовах тверднення

Крім цього на дифрактограмах присутні лінії карбонату кальцію ($d/n=0,303; 0,227; 0,208$ нм) та портландиту ($d/n= 0,493; 0,263; 0,193$ нм). Методом растрової електронної мікроскопії встановлено, що в структурі міжпорових перегородок газобетонів неавтоклавного тверднення на основі модифікованих цементуючих систем, що містять в своєму складі карбонатмісні відпадки переробки солі, фіксуються кристали карбонату, пластинчасті кристали гідрокарбоалюмінатів кальцію (рис. 5).

Наявність даних кристалів у такому розміщенні сприяє ущільненню мікроструктури міжпорових перегородок ніздрюватих бетонів, що зумовлює підвищення міцнісних характеристик готових виробів. Товщина міжпорових перегородок складає $0,16-0,21$ мм. Слід відзначити, що при використанні в якості в'язучого звичайного портландцементу переважаючими є пори розміром $1,1-2,2$ мм, кількість яких становить 61%. При застосуванні модифікованої цементуючої системи, що містить карбонатмісні відпадки переробки солі, спостерігається зростання кількості дірних пор розміром $0,2-1,0$ мм з 23,5% до 76,4%.

Незалежно від прийнятої технології, у тому числі від умов і режимів твердіння, традиційними недоліками ніздрюватих бетонів залишаються низька опірність розтягуючим напругам і підвищена крихкість. Неавтоклавні ніздрюваті бетони характеризуються високими деформаціями усадки, що призводить до інтенсивного тріщиноутворення і навіть руйнування виробів [4]. Армування волокнами значно зменшує або повністю виключає появу і розвиток усадочних тріщин у процесі твердіння і наступної експлуатації матеріалу. Результатами експериментальних досліджень встановлено, що введення армуючих волокон в склад ніздрюватих бетонів на основі модифікованих цементуючих систем, що містять додаткові цементуючі мате-

ріали у вигляді відпадків переробки солі, забезпечує підвищення міцності газобетонів неавтоклавного тверднення. Так, міцність ніздрюватого бетону що містить карбонатмісний відпadeк переробки солі при введенні армуючого компонента через 28 діб тверднення зростає з 2,2 МПа до 2,7 МПа, сульфатний відпadeк – з 1,8 до 2,2 МПа.

Аналізом необхідного комплексу показників якості ніздрюватих бетонів встановлено, що використання модифікованих цементуючих систем, які містять карбонатмісні відпадки переробки солі, дозволяє підвищити показники якості готових виробів. Встановлено, що ніздрюваті бетони на основі модифікованих цементуючих систем, що містять карбонатмісні відпадки переробки солі характеризуються середньою густиною 650 кг/м^3 , міцністю при стиску через 28 діб тверднення 2,7 МПа (клас за міцністю В 2,5), в той час як газобетони на основі портландцементу – 1,00 МПа. Модуль пружності такого ніздрюватого бетону порівняно з ніздрюватим бетоном на основі портландцементу зменшується від $2,57 \cdot 10^3$ до $2,32 \cdot 10^3$ МПа, а коефіцієнт Пуассона зростає від 0,17 до 0,19, що сприяє зниженню можливості утворення тріщин та підвищує якість виробів. Усадка при висиханні неавтоклавно газобетону на основі модифікованих цементуючих систем, армованого поліпропіленовими волокнами становить 2,37 мм/м, в той час як для газобетону на основі портландцементу – 3,52 мм/м, розрахунковий коефіцієнт теплопровідності становить 0,23 Вт/(м.К), що сприяє зменшенню теплових втрат через стіну. Коефіцієнт розм'якшення одержаного газобетону становить 0,85, призмове міцність 1,92 МПа.

Висновок.

Використання відпадків переробки солі при одержанні цементуючих систем для ніздрюватих бетонів дозволяє з одного боку досягнути екологічного ефекту – утилізація відпадків, з іншого боку – економічного та технічного ефектів. Ніздрюваті бетони, що містять карбонатмісні відпадки переробки солі характеризуються покращеними показниками якості, зокрема підвищеними міцністю при стиску, призмовою міцністю, коефіцієнтом розм'якшення порівняно з газобетонами на основі портландцементу. Використання розробленого неавтоклавно газобетону як стінового матеріалу при зведенні зовнішніх огорожуючих конструкцій дозволяє споруджувати енергоефективні будинки.

Література:

1. Саницький М.А. Енергозберігаючі технології в будівництві: навч. посібник / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, У.Д. Марущак. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 236 с.
2. Автоклавний газобетон з покращеними експлуатаційними властивостями [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.05 / Лаповська Світлана Давидівна ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. – К., 2012. – 36 с.
3. Мальяр Д.О. Науково-обґрунтований підхід до використання техногенних відходів у виробництві будівельних матеріалів / А.П. Приходько, Л.С. Савін, В.А. Єрьоменко, Н.С. Сторчай, Д.О. Мальяр, Д.В. Кононов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Днепропетровск: ПДАБА. – 2010. – №. 2-3. – С. 17-23.
4. Попова Е.А. Получение неавтоклавногоячеистого бетона повышенного качества с учетом природывводи-мых добавок: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук./ Е. А. Попова. – Санкт-Петербург, 2006. – 24 с.
5. Саницький М.А. Модифіковані композиційні цементи: навч. посібник / М.А. Саницький, Х.С. Соболь, Т.Є. Марків. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 132 с.

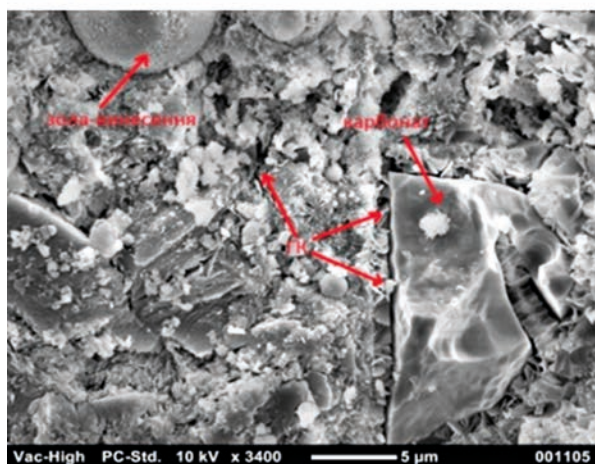
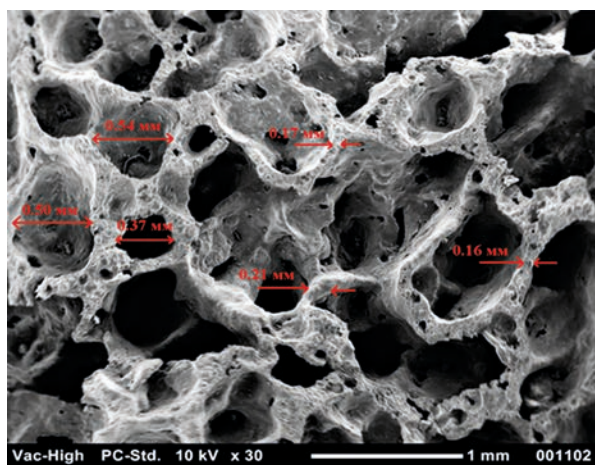


Рис. 5. Мікроструктура міжпорових перегородок газобетонів на основі модифікованих цементуючих систем, що містять карбонатмісні відпадки переробки солі