

## НЕАВТОКЛАВНИЙ ГАЗОБЕТОН, ОДЕРЖАНИЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДПАДКІВ ПРОМИСЛОВОСТІ

© Позняк О.Р., Мельник А.Я., Солтисік Р.А., 2013

**Досліджено вплив карбонатвмісного та сульфатного відпадків переробки солі на властивості цементуючих систем та ніздрюватих бетонів на їх основі.**

**Ключові слова:** газобетон, відпадки переробки солі, кратність спучування, міцність, порова структура.

**There is investigated the effect of carbonate-containing and sulfate salt processing wastes on the properties of cementitious systems and aerated concretes based on them.**

**Key words:** aerated concrete, salt processing wastes, swelling multiplicity, strength, porous structure.

### Вступ

З погляду стратегії збалансованого будівництва та принципу найкращих доступних технологій забезпечення енергозбереження в житлово-комунальному секторі України досягається спорудженням енергоефективних будинків із застосуванням ефективних будівельних матеріалів. Розвиток сучасних будівельних технологій у всіх технічно передових країнах спрямований на розроблення ефективних матеріалів, використання яких є економічно доцільним, дає змогу зменшити енергетичні затрати та витрату сировинних ресурсів. Ніздрюватий бетон є оптимальним матеріалом для будівництва завдяки тому, що в достатньо великому діапазоні можна змінювати його густину і міцність, що важливо для розв'язання різних конструктивних задач у будівництві.

### Постановка проблеми

Актуальність зростання обсягів виробництва ніздрюватих бетонів зумовлена необхідністю збільшення обсягів будівництва житла. Останнім часом у галузі будівництва прийнято нові нормативні документи, спрямовані на зниження енергетичних і сировинних ресурсів, а також підвищення якості й надійності будівництва. Одним з шляхів збільшення теплозахисних властивостей зовнішніх огорожувальних конструкцій в Україні є широке застосування газобетону неавтоклавної твердіння. Науково-практичні роботи в області ніздрюватих бетонів неавтоклавної твердіння ведуться в напрямку підвищення якості продукції при зниженні собівартості виробів за рахунок використання відпадків промисловості.

Тому покращення фізико-механічних характеристик ніздрюватих бетонів внаслідок використання модифікованих цементуючих систем, що містять додаткові цементуючі матеріали, шляхом зміни властивостей міжпорових перегородок є актуальною проблемою сьогодення.

### Аналіз останніх джерел і публікацій

Ніздрюватий бетон виготовляється на основі портландцементу, витрата якого складає 400–500 кг/м<sup>3</sup>. Можливою економією цементу при виробництві ніздрюватих бетонів є використання вапняно-зольних або золотужних в'язучих, а також шлакових в'язучих композицій, для одержання яких використовуються побічні продукти металургійної та хімічної промисловості [1].

Існують теоретичні і експериментальні дослідження з використання золи ТЕС в технології виробництва ніздрюватих бетонів. Проте збільшення вмісту золи винесення в складі ніздрюватого бетону призводить до зменшення його механічної міцності [2].

Відомо [3], що особливістю газобетону є утворення в його структурі значної кількості нестабільних гідроалюмінатів кальцію, що негативно впливає на міцність виробів. При виробництві

газобетону неавтоклавної твердіння вводять тонкодисперсні додаткові цементуючі матеріали, що дозволяє направлено формувати структуру міжпорових перегородок з утворенням стабільних продуктів гідратації.

Сьогодні практичне значення у технології будівельних матеріалів, зокрема і в технології ніздрюватих бетонів, може мати використання відпадків промисловості, що дозволить покращити основні властивості матеріалу, підвищити техніко-економічні показники, а також сприятиме екологічному оздоровленню навколишнього середовища за рахунок утилізації відходів [4]. Тому актуальним є створення цементуючих систем, які дозволяють одержувати ніздрюваті бетони з покращеними показниками якості при мінімальних затратах на виробництво даного матеріалу.

### Методи досліджень і матеріали

В роботі при проведенні експериментальних досліджень використовували портландцемент ПЦ І – 500 ВАТ "Івано-Франківськцемент" з такими показниками: питома поверхня  $S_{\text{пит}}=350 \text{ м}^2/\text{кг}$ , залишок на ситі №008 – 1,1 %, початок тужавіння – 3 год 20 хв, кінець тужавіння – 6 год 10 хв.

Як дрібнодисперсний наповнювач використовували золу виносення Бурштинської ТЕС з такими властивостями: істинна густина –  $2,21 \text{ г}/\text{см}^3$ , насипна густина –  $870 \text{ кг}/\text{м}^3$ , залишок на ситі №008 – 8,7 мас.%, хімічний склад, мас.%.  $\text{SiO}_2$  – 54;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 23,75;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$  – 13,8;  $\text{MgO}$  – 1,91;  $\text{CaO}$  – 4,98;  $\text{SO}_3$  – 0,53;  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  – 0,25.

Як додаткові цементуючі матеріали використовували відпадки переробки солі у вигляді карбонатвмісного та сульфатного компонентів з наступним хімічним складом, мас.%. карбонатвмісний компонент:  $\text{SiO}_2$  – 1,8,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 1,64,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,54,  $\text{CaO}$  – 39,42,  $\text{MgO}$  – 4,21,  $\text{Na}_2\text{O}$  – 6,42,  $\text{R}_2\text{O}$  – 6,57; сульфатний компонент:  $\text{SiO}_2$  – 0,85,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 1,01,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,14,  $\text{CaO}$  – 31,47,  $\text{MgO}$  – 1,38,  $\text{Na}_2\text{O}$  – 2,85,  $\text{R}_2\text{O}$  – 35,9.

Фізико-механічні властивості цементуючих систем та газобетонів на їх основі визначали за стандартними методами випробувань.

### Результати досліджень

У технології виготовлення ніздрюватих бетонів для забезпечення показників середньої густини та міцності важливою технологічною особливістю є створення оптимальних умов для двох процесів, що одночасно проходять: газовиділення і загустівання газобетонного масиву. Необхідно забезпечити відповідність між швидкістю реакції газовиділення і швидкістю загустівання газобетонного масиву. При цьому виділення газу має якомога повніше закінчитися до початку тужавіння системи цемент–вода.

Проведеними експериментальними 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 (рис. 1).

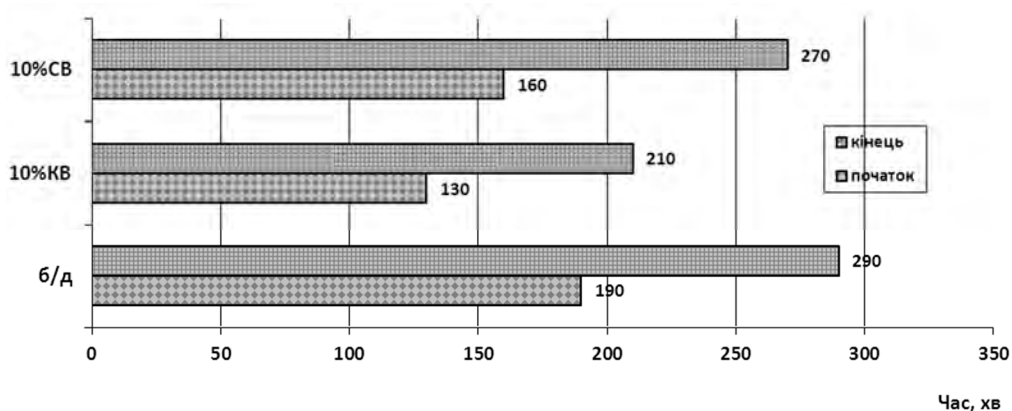


Рис. 1. Вплив додаткових цементуючих матеріалів на терміни тужавіння цементуючих систем

Так, початок тужавіння такої системи становить 130 хв, тоді як для портландцементу без додатків – 190 хв, кінець тужавіння для цементуючої системи, що містить карбонатвмісний відпадок, становить 210 хв, для звичайного портландцементу – 290 хв. При введенні до складу цементуючої системи сульфатного відпадку переробки солі (СВ) початок тужавіння скорочується на 30 хв, кінець – на 20 хв порівняно з портландцементом без додатків.

Для наближення до умов одержання газобетону випробування цементного тіста проводили при В/Ц = 0,41, яке забезпечує розплив циліндра Сутгарда 190 мм. Дані про вплив додаткових цементуючих матеріалів на міцність цементуючих систем наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Вплив карбонатвмісних (КВ) та сульфатних(СВ) відпадків переробки солі на міцність цементуючих систем**

№ з/п	Вид та вміст добавки	В/Ц	Границя міцності при стиску, МПа, через ... діб тверднення				
			1	2	7	28	90
1	ПЦ – I 500	0,41	13,9	23,0	27,3	45,1	69,0
2	5% КВ	0,41	14,6	27,5	45,1	37,9	65,9
3	10% КВ	0,46	15,3	29,7	35,6	38,1	70,8
4	15% КВ	0,48	7,3	14,9	23,6	30,9	36,1
5	5% СВ	0,41	11,4	20,0	25,3	28,8	38,6
6	10% СВ	0,44	10,0	16,6	17,8	24,4	36,0

Так, 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 (технічний ефект  $\Delta R = 5,1 \%$ ), при збільшенні кількості карбонатвмісного відпадку до 10 мас.%, міцність зростає до 15,3 МПа ( $\Delta R = 10,1 \%$ ). При подальшому збільшенні кількості карбонатвмісного відпадку до 15 мас.% міцність цементного каменю знижується до 7,3 МПа. У пізніші терміни тверднення найвищими показниками міцності характеризується цементний камінь на основі цементуючої системи, що містить 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, тоді як міцність каменю на основі портландцементу ПЦ I-500 – 69,0 МПа.

Дослідженнями впливу сульфатних відпадків на властивості цементуючих систем встановлено, що їх введення до складу цементуючих систем спричиняє спад міцності цементного каменю в усі терміни тверднення. Так, при введенні до складу цементуючої системи добавки сульфатного відпадку в кількості 5 мас.% спостерігається зниження міцності каменю вже через 1 добу тверднення на 18,3 %, через 7 діб – на 7,3 %, через 28 діб – на 36,1 %. При подальшому збільшенні вмісту сульфатних відпадків переробки солі до 10 мас.% міцність цементуючої системи знижується через 1 добу тверднення на 27,9 %, через 7 діб – на 34,8 %, через 28 діб – на 45,9 %.

В технології виробництва неавтоклавного 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, що містять відпадки переробки солі, встановлено (рис. 2), що газобетонна суміш на звичайному портландцементі характеризується часом наростання газобетонного масиву – 21 хв.

При введенні 10 мас.% карбонатвмісного відпадку переробки солі спостерігається скорочення часу наростання газобетонного масиву до 12 – 14 хв, сульфатного відпадку – до 9 – 11 хв. Слід зазначити, що кратність спучування газобетонної суміші на основі модифікованої цементуючої системи, яка містить карбонатвмісні відпадки, становить 2,9, сульфатні відпадки – 2,3, тоді як кратність спучування газобетонної суміші на основі портландцементу – 2,8.

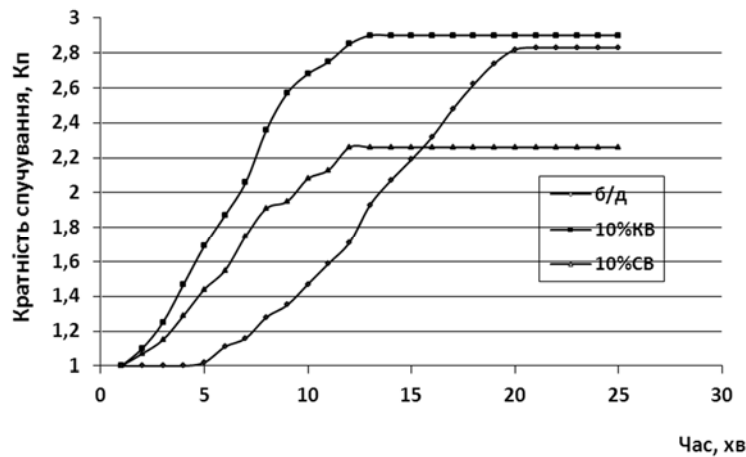


Рис. 2. Кінетика спучування газобетонної маси

Результатами експериментальних досліджень встановлено вплив карбонатвмісних та сульфатних відпадків переробки солі на міцнісні характеристики газобетонів. Як видно з рис. 3, введення відпадків дозволяє підвищити міцність газобетону в усі терміни тверднення.

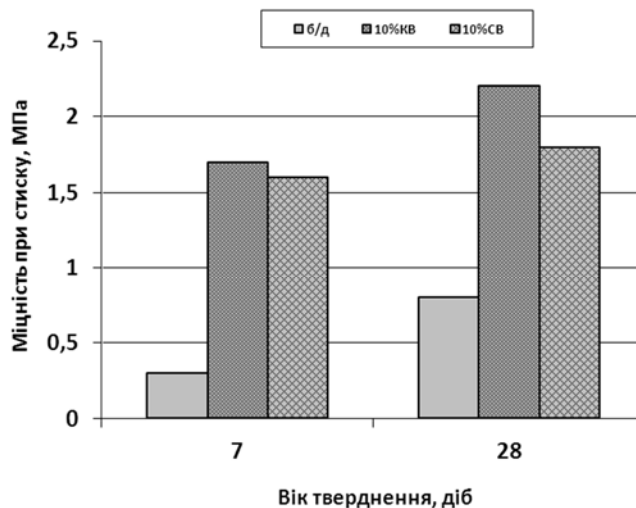


Рис. 3. Вплив відпадків переробки солі на міцність газобетону

Так, при введенні карбонатвмісного відпадку переробки солі через 7 діб тверднення міцність неавтоклавного газобетону становить 1,7 МПа (технічний ефект  $\Delta R = 466 \%$ ), при збереженні середньої густини, яка становить  $650 \text{ кг/м}^3$ , порівняно з газобетоном на основі звичайного портландцементу, для якого міцність становить 0,3 МПа. При введенні сульфатного компонента міцність газобетону зростає до 1,6 МПа ( $\Delta R = 433 \%$ ). 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  $\Delta R = 175 \%$ ), тоді як для газобетону на основі звичайного портландцементу міцність при стиску становить 0,8 МПа. Слід зазначити, що при введенні сульфатного компонента відбувається швидке загустівання газобетонного масиву, внаслідок чого зростає 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, проте його густина становить  $715 \text{ кг/м}^3$ .

За допомогою оптичної мікроскопії встановлено, що за використання як в'язучого звичайного портландцементу переважають пори розміром 1,1–2,2 мм, кількість яких становить 61 %. При застосуванні модифікованої цементуючої системи, що містить карбонатвмісні відпадки

переробки солі, спостерігається зростання кількості дрібних пор розміром 0,2–1,0 мм з 23,5% до 76,4% (рис. 4).

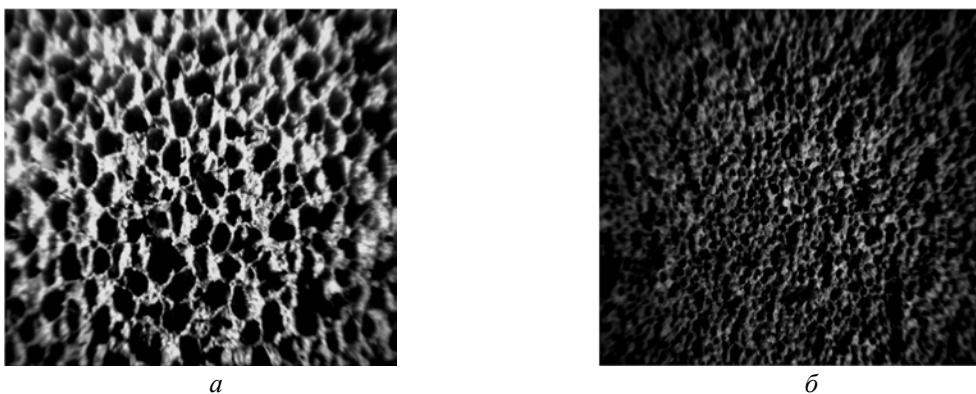


Рис. 4. Порова структура газобетонів на основі портландцементу (а) та модифікованої цементуючої системи (б)

Методом растрової електронної мікроскопії встановлено, що в структурі міжпорових перегородок газобетонів неавтоклавно тверднення на основі модифікованих цементуючих систем, що містять в своєму складі карбонатвмісні відпадки переробки солі, фіксуються кристали карбонату, пластичні кристали гідроалюмінатів кальцію, гідрокальміту (ГК) (рис. 5). Наявність таких кристалів у такому розміщенні сприяє ущільненню мікроструктури міжпорових перегородок ніздрюватих бетонів, що підвищує міцнісні характеристики готових виробів. Товщина міжпорових перегородок 0,16 – 0,21 мм.

Результати растрової електронної мікроскопії підтверджуються даними рентгенофазового аналізу. Так, при введенні до складу ніздрюватого бетону карбонатвмісного відпадку переробки солі на дифрактограмах фіксуються інтенсивні лінії, що відповідають гідрокальміту  $\text{Ca}_4\text{Al}_2(\text{OH})_{14}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ( $d/n=0,820; 0,388; 0,288; 0,245$  нм), який належить до групи водних гідроксидів і може містити в решітці значну кількість аніонів  $\text{CO}_3^{2-}$ . Слід зазначити, що введення карбонатвмісного відпадку переробки солі до складу цементуючої системи підвищує ступінь гідrataції портландцементу в ранні терміни тверднення. Так, вже через 2 доби тверднення ступінь гідrataції модифікованої цементуючої системи, що містить карбонатвмісний відпадок, становить 49,9 %, тоді як ступінь гідrataції портландцементу становить 23,7 %.

Незалежно від прийнятої технології, зокрема 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 [5]. Армування волокнами значно зменшує або повністю виключає появу і розвиток усадочних тріщин у процесі твердіння і наступної експлуатації матеріалу.

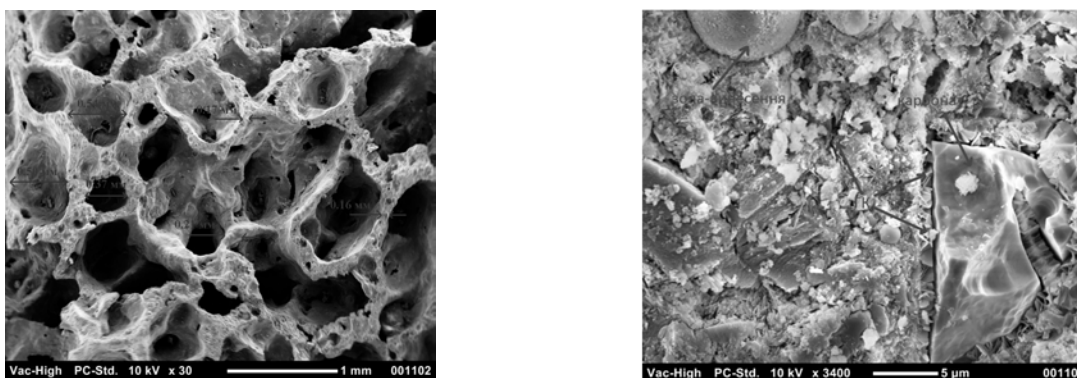


Рис. 5. Мікроструктура міжпорових перегородок газобетонів на основі модифікованих цементуючих систем, що містять карбонатвмісні відпадки переробки солі

Результатами експериментальних досліджень встановлено, що введення поліпропіленової фібри до складу газобетону не впливає на кінетику спучування газобетонного масиву (рис. 6). Так, величина кратності спучування газобетонної суміші, що не містить в своєму складі армуючого компонента, становить 2,83, а газобетонна суміш, що містить 0,1 кг поліпропіленової фібри, характеризується величиною кратності спучування 2,78. Збільшення вмісту фібри не впливає на кінетику газовиділення та наростання газобетонного масиву.

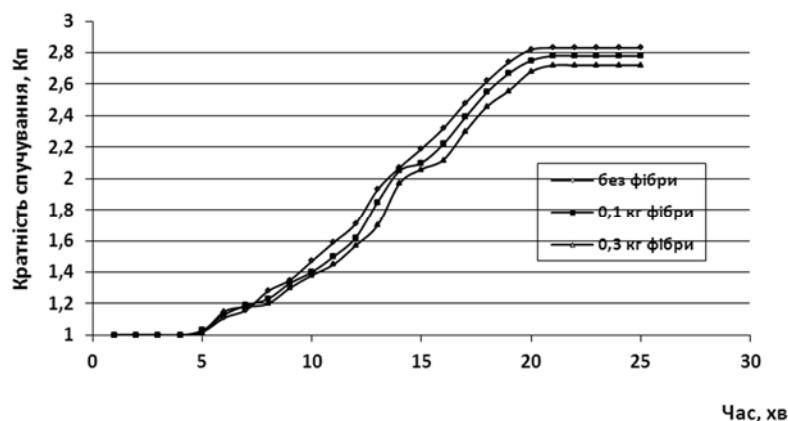


Рис. 6. Вплив поліпропіленової фібри на кінетику спучування газобетонного масиву

Результатами експериментальних досліджень встановлено (рис. 7), що введення армуючих волокон до складу ніздрюватих бетонів на основі модифікованих цементуючих систем, що містять додаткові цементуючі матеріали у вигляді відпадків переробки солі, підвищує міцність газобетонів неавтоклавної твердіння.

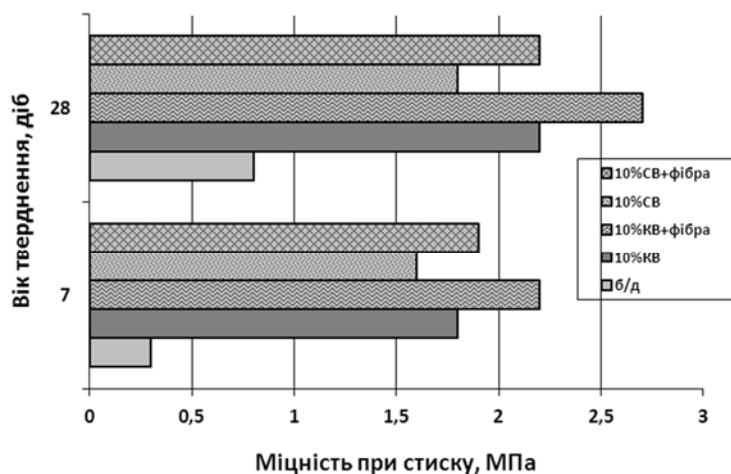


Рис. 7. Вплив поліпропіленової фібри на міцнісні характеристики ніздрюватих бетонів

Так, міцність ніздрюватого бетону, що містить карбонатвмісний відпадок переробки солі, при введенні армуючого компонента через 28 діб твердіння зростає з 2,2 МПа до 2,7 МПа, що містить сульфатний відпадок – з 1,8 до 2,2 МПа, відповідно.

### Висновок

Використання відпадків переробки солі дає змогу, з одного боку, досягти екологічного ефекту – утилізація відпадків, з іншого боку – економічного та технічного ефектів. Введення до

складу цементуючих систем карбонатвмісного відпадку переробки солі в кількості до 10 мас.% зумовлює зростання як ранньої міцності цементного каменю, так і в віддаленіші терміни тверднення, використання ж сульфатного відпадку спричиняє зниження механічної міцності в усі терміни тверднення. Газобетонні суміші, що містять в своєму складі карбонатвмісний компонент, характеризуються покращеною газоутримувальною здатністю, про що свідчить скорочення часу наростання газобетонного масиву з 21 до 12–14 хв. та зростання величини кратності спучування з 2,8 до 2,9. Введення до складу ніздрюватих бетонів армуючого компонента у вигляді поліпропіленових волокон підвищує міцнісні характеристики газобетонів. Ніздрюватий бетон на основі модифікованої цементуючої системи, що містить в своєму складі карбонатвмісний відпадок переробки солі, армований поліпропіленовими волокнами, характеризується міцністю при стиску через 28 діб тверднення 2,7 МПа, середньою густиною 650 кг/м<sup>3</sup>, товщина міжпорових перегородок становить 0,16 – 0,21 мм, кількість дрібних пор розміром 0,2–1,0 мм становить 76,4 %.

1. Попова Е.А. Получение неавтоклавного ячеистого бетона повышенного качества с учетом природы вводимых добавок: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. А. Попова. – СПб., 2006. – 24 с.
2. Щукина Д.В. Неавтоклавный золо-цементный газобетон с хлоридом и сульфатом натрия: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д.В. Щукина. – Барнаул, 2007. – 20 с.
3. Митина Н.А. Получение прочного неавтоклавного газобетона путем регулирования состава и свойств исходных смесей: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук / Н.А. Митина. – Томск, 2003. – 20 с.
4. 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.
5. Лаповская С.Д. Ячеистые фибробетоны – композиционные материалы для строительства / С.Д. Лаповская, Т.Н. Волошина // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2009. – №32. – С.25–29.