

**УДК 691.5**

**НІЗДРЮВАТИЙ БЕТОН НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДНЕННЯ,  
ОДЕРЖАНИЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОГЕННИХ ВІДХОДІВ**

**ЯЧЕИСТЫЙ БЕТОН НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ,  
ПОЛУЧЕННЫЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ**

**NON-AUTOCLAVE CELLULAR CONCRETE OBTAINED USING  
INDUSTRIAL WASTE**

**Мельник А. Я., Позняк О. Р.** (Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів).

**Мельник А. Я., Позняк А. Г.** (Национальный университет "Львовская политехника", г.Львов).

**Miller A. J., Pozniak A. R.** (National University "L'viv Polytechnic", l'viv).

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

**Исследовано влияние карбонатсодержащего и сульфатного отходов переработки соли на свойства цементирующих систем и ячеистых бетонов на их основе.**

**Studied the effect carbonate and sulfate salt waste processing on the properties of cementitious systems and cellular concrete on the basis of their.**

**Ключові слова:**

Газобетон, відпадки переробки солі, кратність спучування, міцність, порова структура.

Газобетон, отход переработки соли, кратность вспучивания, прочность, порова структура.

Aerated concrete, waste salt processing, structure, frequency of flatulence, strength.

**Вступ.** З погляду стратегії збалансованого будівництва та принципу найкращих доступних технологій забезпечення енергозбереження в житлово-комунальному секторі України досягається спорудженням енергоефективних будинків за рахунок застосування ефективних будівельних матеріалів [1]. Ніздрюватий бетон набув широкого вжитку в житловому, промисловому, та

інших видах будівництва. Можливість отримання матеріалу з різними 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.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день найбільш економічним, простим і ефективним щодо теплозахисту варіантом будівництва споруд є одношарові конструкції з використанням конструкційно-теплоізоляційних будівельних матеріалів, що поєднують високу міцність і несучу здатність з низькою середньою густиною і теплопровідністю. Одним з таких матеріалів є газобетон. Цей матеріал відрізняється рівномірним розподілом пор, а, отже, високою теплоефективністю, екологічністю, яку можна порівняти, мабуть, тільки з виробами з дерева. Науково-практичні роботи в області ніздрюватих бетонів неавтоклавного тверднення ведуться в напрямку підвищення якості продукції при зниженні собівартості виробів.

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

**Аналіз останніх джерел і публікацій.** Згідно [2], в'яжучі речовини для неавтоклавного газобетону повинні володіти такими характеристиками: висока активність, швидкий набір міцності, стійкість до фізичних впливів навколишнього середовища, недефіцитні складові компоненти, невисока вартість. Ефективно використовувати в'яжучі із зниженою істинною густиною, але з високими показниками міцності. Звичайні клінкерні цементи не зовсім відповідають цим вимогам. З певним наближенням до таких в'яжучих речовин можна віднести гідралічні в'яжучі на основі глиноземистого цементу і деяких промислових відходів, що дозволяють за 4-6 годин отримувати відпускну міцність ніздрюватого бетону при твердненні в природних умовах. Перспективним є застосування змішаних цементів з використанням відходів промисловості.

В технології виготовлення ніздрюватих бетонів важливе значення має вид дрібнодисперсного наповнювача. Авторами [3] вивчено властивості ніздрюватих бетонів на заповнювачах 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 кварцових пісків гідратаційна активність цементу і міцність ніздрюватих бетонів не збільшуються, але спостерігається поліпшення теплофізичних характеристик.

Ніздрюватий бетон виготовляється на основі портландцементу витратою 400-500 кг/м<sup>3</sup>. Можливою економією цементу при виробництві ніздрюватих бетонів є використання вапняно-зольних або зололужних 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, 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 [5].

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 наступними показниками: питома поверхня  $S_{\text{пит}}$  - 350 м<sup>2</sup>/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/см<sup>3</sup>, насипна густина – 870 кг/м<sup>3</sup>, залишок на ситі №008 – 8,7 мас.%, хімічний склад, мас. %: SiO<sub>2</sub> – 54; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 23,75; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + FeO – 13,8; MgO – 1,91; CaO – 4,98; SO<sub>3</sub> – 0,53; K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O – 0,25.

В якості додаткових цементуючих матеріалів використовували відпадки переробки солі у вигляді карбонатвмісного та сульфатного компонентів з наступним хімічним складом, мас. %: карбонатвмісний компонент: SiO<sub>2</sub> – 1,8, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1,64, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,54, CaO – 39,42, MgO – 4,21, Na<sub>2</sub>O – 6,42, R<sub>2</sub>O – 6,57; сульфатний компонент: SiO<sub>2</sub> – 0,85, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1,01, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,14, CaO – 31,47, MgO – 1,38, Na<sub>2</sub>O – 2,85, R<sub>2</sub>O – 35,9.

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

**Результати досліджень.** В технології виготовлення ніздрюватих бетонів для забезпечення показників середньої густини та міцності важливою технологічною особливістю є створення оптимальних умов для двох процесів, що одночасно протікають: 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 схоплювання системи цемент-вода.

Проведеними експериментальними дослідженнями впливу додаткових цементуючих матеріалів на терміни тужавіння цементуючих систем встановлено, що введення карбонатвмісних відпадків переробки солі (КВ) в

склад цементуючої системи в кількості 10 мас.% зумовлює прискорення термінів тужавіння (рис. 1).

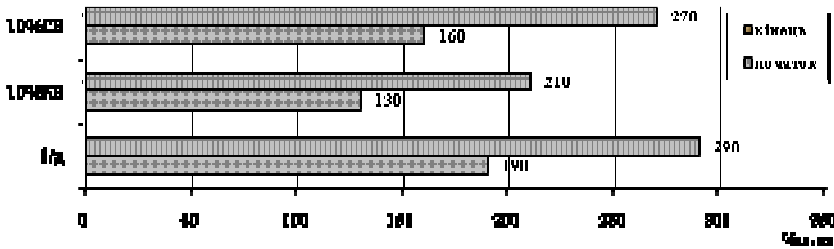


Рис. 1. Вплив відпадків переробки солі на терміни тужавіння цементуючих систем

Так, початок тужавіння такої системи становить 130 хв, в той час як для портландцементу - 190 хв, кінець тужавіння для цементуючої системи, що містить карбонатвмісні відпадки складає 210 хв, для звичайного портландцементу - 290 хв. При введенні в склад цементуючої системи сульфатних відпадків 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. Вплив додаткових цементуючих матеріалів на міцність цементуючих систем приведено в табл. 1.

Таблиця 1  
Вплив карбонатвмісних (КВ) та сульфатних(СВ) відпадків переробки солі на міцність цементуючих систем

№	Вид та вміст добавки	В/Ц	Границя міцності при стиску, МПа, через, діб тверднення				
			1	2	7	28	90
1	б/д	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 карбонатвмісних відпадків до 10 мас.%, міцність зростає до 15,3 МПа ( $\Delta R = 10,1 \%$ ). При подальшому збільшенні кількості карбонатвмісних відпадків 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 карбонатвмісні відпадки 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 I-500 – 69,0 МПа.

Дослідженнями впливу сульфатних відпадків на властивості цементуючих систем встановлено, що їх введення спричиняє спад міцності цементного каменю в усі терміни тверднення. Так, при введенні в склад цементуючої системи добавки сульфатних відпадків 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 %. Тому, в подальших дослідженнях їх не застосовували.

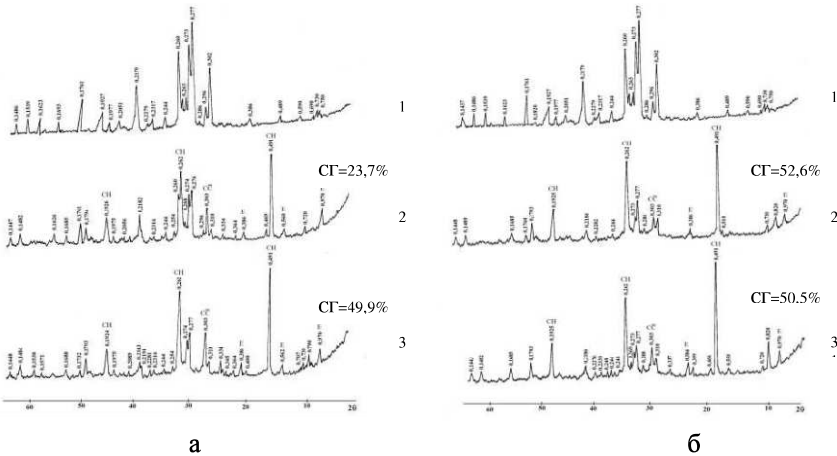


Рис. 2. Дифрактограма каменю на основі портландцементу ПЦ I-500, через 2 (а) та 28 (б) діб тверднення в нормальних умовах:

1 – негідратований; 2 - без добавок; 3 - з добавкою 10 мас. % КВ.

Слід відзначити, що введення карбонатвмісних відпадків переробки солі в склад цементуючої системи зумовлює підвищення ступеня гідратації портландцементу в ранні терміни тверднення (рис. 2). 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 ніздрюватих бетонів важливе значення має показник пластичної міцності газобетонного масиву. Від його значення

залежатиме як кінетика спучування газобетонного масиву так і швидкість тверднення, а відповідно і величина оборотності форм.

З метою визначення впливу додаткових цементуючих матеріалів на процеси набирання пластичної міцності в газобетонних сумішах проведено експериментальні дослідження. Слід відзначити, що дослідження пластичності цементуючих систем проводили без введення газоутворюючого компоненту. Результати експериментальних даних показали (рис. 3), що введення карбонатвмісних відпадків переробки солі в склад цементуючих систем зумовлює незначне пришвидшення набору пластичної міцності, що позитивно впливатиме на оборотність форм.

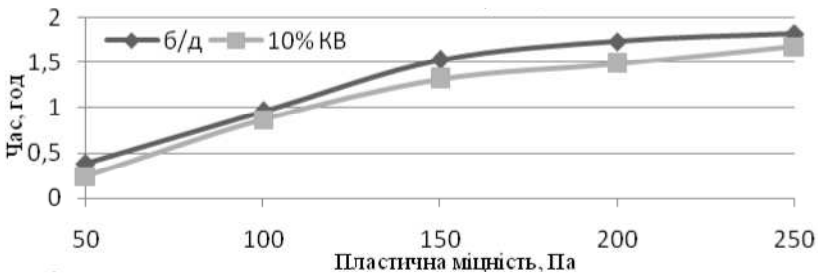


Рис. 3. Кінетика набору пластичної міцності газобетонних сумішей з відпадками переробки солі

На основі експериментальних досліджень встановлено (рис. 4), що введення в склад цементуючої системи додаткового цементуючого матеріалу у вигляді карбонатвмісних відпадків переробки солі зумовлює скорочення часу наростання газобетонного масиву з 21 до 13 хв. При цьому величина кратності спучування газобетонної суміші на основі модифікованої цементуючої системи, що містить карбонатвмісні відпадки переробки солі становить 2,91, в той час як газобетонна суміш на основі портландцементу характеризується величиною кратності спучування 2,83. Зростання величини кратності спучування свідчить про збільшення газотримувальної здатності.

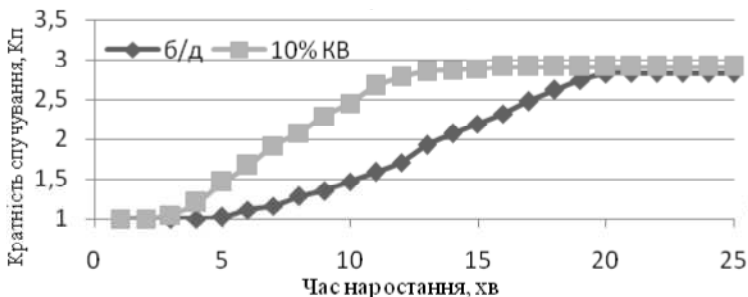


Рис. 4. Кінетика спучування газобетонних сумішей з відпадками переробки солі

Методом растрової електронної мікроскопії встановлено, що в структурі міжпорових перегородок газобетонів неавтоклавного 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 даних кристалів в 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

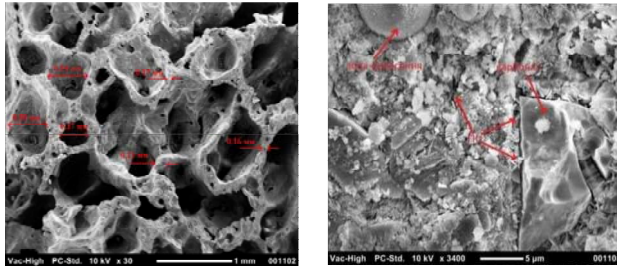


Рис. 5. Мікроструктура міжпорових перегородок газобетонів з карбонатвмісними відпадками переробки солі

Аналізом необхідного комплексу показників якості ніздрюватих бетонів встановлено, що використання модифікованих цементуючих систем, що містять карбонатвмісні відпадки переробки солі дозволяє підвищити показники якості готових виробів. Встановлено, що ніздрюваті бетони на основі модифікованих цементуючих систем, що містять карбонатвмісні відпадки переробки солі характеризуються 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 Пуасона зростає від 0,17 до 0,19, що сприяє зниженню можливості утворення тріщин та підвищує якість виробів. Для класу ніздрюватого бетону В 2,5 при його середній густині  $650 \text{ кг/м}^3$  розрахунковий коефіцієнт теплопровідності становить 0,23 Вт/(м·К), що сприяє зменшенню теплових втрат через стіну. Коефіцієнт розм'якшення при цьому становить 0,85, призмova міцність 1,92 МПа.

Ніздрюваті бетони неавтоклавного тверднення характеризуються підвищеними показниками усадки. Проведеними експериментальними дослідженнями визначення величини усадки ніздрюватих бетонів встановлено (рис. 6), що газобетон на основі портландцементу через 28 діб тверднення характеризується величиною усадки 3,6 мм/м. В той час як газобетони на основі модифікованих цементуючих систем, що містять

карбонатвмісні відпадки переробки солі  $-2,78$  мм/м. При введенні в склад ніздрюватих бетонів армуючого компоненту величина усадки зменшується до  $2,37$  мм/м.

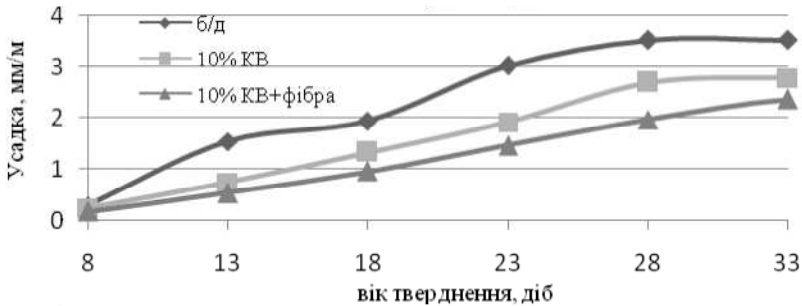


Рис. 6. Залежність величини усадки газобетонів від часу їх твердіння

**Висновок:** використання відпадків переробки солі дозволяє з одного боку досягнути екологічного ефекту – утилізація відпадків, з іншого боку – економічного та технічного ефектів. Так, ніздрюваті бетони, що містять карбонатвмісні відпадки переробки солі, характеризуються міцністю в 2,7 рази вищою, порівняно з газобетонами на основі портландцементу. Введення даного компоненту зумовлює підвищення ступеня гідратації цементного каменю вже на 2 добу твердіння в 2,1 рази. Ніздрюваті бетони, що містять карбонатвмісні відпадки переробки солі характеризуються покращеними показниками якості, зокрема зниженою усадкою на 34 %, для яких вона становить  $2,37$  мм/м, підвищеними призмовою міцністю, коефіцієнтом розм'якшення, коефіцієнтом Пуассона.

1. Саницький М.А. Энергозберігаючі технології в будівництві: навч. посібник / М.А. Саницький, О. Р. Позняк, У. Д. Марущак. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 236 с. 2. Сурков В. Н. Создание ячеистого бетона неавтоклавного твердения с улучшенными прочностными и теплозащитными свойствами. Новые исследования в материаловедении и экологии / В. Н. Сурков // Сборник научных статей. - № 6. – 2006. - С.78-79. 3. Маляр 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. Маляр, Д. В. Кононов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Днепропетровск: ПДАБА. - 2010. – №. 2-3. – С. 17-23. 4. Попова Е.А. Получение неавтоклавного ячеистого бетона повышенного качества с учетом природы вводимых добавок: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук./ Е. А. Попова. – Санкт-Петербург, 2006. – 24 с. 5. Саницький М.А. Модифіковані композиційні цементі: навч. посібник / М.А. Саницький, Х.С. Соболев, Т.Є. Марків. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 132 с.