

А.Я. Мельник, Я.Б. Якимечко\*, О.Р. Позняк  
Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра автомобільних шляхів,  
\*кафедра хімічної технології силікатів

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ТА СПУЧУВАННЯ В'ЯЖУЧИХ КОМПОЗИЦІЙ

© Мельник А.Я., Якимечко Я.Б., Позняк О.Р., 2010

Досліджено процеси структуроутворення та спучування в'язучої композиції цемент-зола з додатками каустичної соди та глини.

**Ключові слова:** газобетон, дрібнозернистий наповнювач, каустична сода, в'язуча композиція.

**The processes of gelation and foaming astringent composition of cement-ash with addition of caustic soda and clay were investigated.**

**Keywords:** aerocrete, fine-grained filler, caustic soda, astringent composition.

**Вступ.** Структура виробництва та застосування стінових виробів для будівництва житла, яка склалася за останні десятиріччя, призвела до того, що на опалення житлових і громадських будівель витрачається в 2–3 рази більше тепла порівняно з рівнем витрат в промислово розвинених країнах, близьких за кліматом до України. Постійне зростання вартості енергоносіїв зумовлює необхідність збільшити обсяги виробництва теплоефективних стінових матеріалів, одним з яких є ніздрюватий бетон. При виробництві ніздрюватого бетону, зокрема газобетону, дрібнозернистий наповнювач відіграє важливу роль в його складі, оскільки від його характеристик та вмісту залежатимуть такі фізико-механічні показники, як міцність при стиску, морозостійкість та величина зсідання. Бетонні суміші для виробництва газобетону повинні характеризуватися високою газоутримувальною здатністю, достатньою рухливістю, оптимальними термінами тужавіння, які в сукупності забезпечать високу якість готових виробів на основі цих сумішей. В цьому плані значний практичний інтерес викликає використання і дослідження модифікованих в'язучих систем, які забезпечують необхідні властивості.

**Постановка проблеми.** При одержанні неавтоклавного газобетону для інтенсифікації газотворення найчастіше вводиться мелене гашене чи негашене вапно. Під час гасіння виділяється тепло, яке прискорює процес спучування. Крім того, зв'язується деяка кількість води, а це сприяє зростанню пластичної міцності газобетонної суміші. В результаті взаємодії  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з порошкоподібним алюмінієм утворюються гідроалюмінати складу  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , які надалі при взаємодії з гіпсом утворюють еtringіт  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ . Однак утворення еtringіту у вже сформованій структурі може призводити до деякого падіння міцності. Вапно, що випускається на Україні, дуже часто характеризується нестабільністю складу та нерівномірністю зміни об'єму при гасінні. В складі меленого негашеного вапна часто відзначається велика кількість перепалених частинок. Їх гасіння в затверділому бетоні призводить до появи тріщин та значного зниження міцності [1]. Відзначимо, що терміни зберігання негашеного вапна є обмеженими. Волога, що міститься в повітрі, та вуглекислий газ значно знижують його активність при тривалому зберіганні. Використання гашеного вапна теж пов'язане з певними труднощами. Зокрема, гідратне вапно характеризується високою вартістю, дозування вапняного тіста пов'язане з певними технологічними труднощами.

Як відомо [1], до складу газобетонної суміші як наповнювач вводять золу виносу. В'язуча композиція, що містить портландцемент та золу виносу ТЕС, має недостатню газоутримувальну здатність, оскільки частинки золи виносу мають округлу форму, що не сприяє утримуванию газів у структурі.

У зв'язку з цим доцільно дослідити можливість використання як газотримувального компонента глини середньої пластичності, а як інтенсифікатора спучення – каустичну соду, яка має певні переваги над відомими реагентами, а саме: невисока вартість, стабільність хімічного складу, випускається в достатніх кількостях як вітчизняними, так і зарубіжними хімічними підприємствами.

**Аналіз останніх джерел і публікацій.** Одним з найефективніших стінових матеріалів сьогодні є ніздрюватий бетон. Його теплопровідність в 2–4 рази нижча, ніж традиційних для України стінових матеріалів: цегли та бетонних стінових каменів за однакових показників морозостійкості, що забезпечують довговічність конструкцій при їх експлуатації. Незважаючи на це, частка ніздрювато-бетонних виробів у загальному обсязі стінових матеріалів коливається в межах 6–8 %, тоді як в більшості країн цей показник перевищує 30 %. Ніздрювату бетону притаманні всі основні переваги, що відповідають сучасним вимогам до будівельних матеріалів за теплозахисними властивостями, але він потребує високої культури виконання будівельних робіт [2].

Багато вчених [6] досліджували можливість використання як активатора спучення вапна. При цьому відоме [7] додаткове введення добавок  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Встановлено, що в результаті обмінних реакцій між хлоридом і сульфатом натрію та вапном у присутності алюмінатів і алюмоферитів кальцію утворюється  $\text{NaOH}$ , а також  $\text{AF}_t$  і  $\text{AF}_m$  – фази різного складу. Луг, що утворився, є каталізатором процесів газовиділення, а  $\text{AF}_t$  і  $\text{AF}_m$ -фази – активними структуроутворюючими компонентами цементного каменю.

Експлуатаційні властивості газобетону можна в широких межах регулювати за допомогою зміни речовинного складу. Так, вивченням впливу виду кремнеземного компоненту на основні фізико-механічні властивості газобетонів нормального твердіння показано [3], що без автоклавної обробки найефективніші мікрокремнезем, зола, туф і цеоліт. Встановлено, що при введенні невеликої кількості кремнезему спостерігається підвищення значень реологічних характеристик газобетонної суміші, що дає змогу підвищити стійкість системи при поризації [4]. Мікрокремнезем, вступаючи в реакцію з гідроксидом кальцію, забезпечує значне зміцнення міжпорових перегородок газобетонних виробів. Відомо про можливість заміни традиційних кремнеземних наповнювачів на тонкодисперсні відходи дроблення альбітофірових і діабазових гірських порід [5]. Встановлено [6] можливість регулювати фізико-технічні властивості газобетону, частково замінюючи цемент тугоплавкою глиною, що вводиться в цемент при сумісному помелі. Показано, що при оптимальному  $V/T = 0,4$  можлива заміна 4 % цементу без зниження міцності і при збереженні середньої густини на рівні  $600 \text{ кг/м}^3$ .

**Мета роботи.** Дослідження впливу на процеси структуроутворення та спучування в'язучої композиції цемент-зола додатків каустичної соди та глини.

**Методи досліджень і матеріали.** У роботі для експериментальних досліджень використовували портландцемент ПЦ II/A-III-400 ВАТ "Миколаївцемент" з такими фізико-механічними показниками: питома поверхня  $S_{\text{пит}}=250 \text{ м}^2/\text{кг}$ , залишок на ситі №008 – 8,5 %, початок тужавіння – 1 год 05 хв, кінець тужавіння – 2 год 25 хв. Згідно з ДСТУ Б.В.2.7.-46-96 цемент містить 6–20 % доменного гранульованого шлаку.

Як інтенсифікатор спучування застосовували каустичну соду густиною  $2,13 \text{ г/см}^3$ , такого хімічного складу, мас. %:  $\text{NaOH}$  – 98,7,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 0,5,  $\text{NaCl}$  – 0,03.

Як дрібнодисперсний наповнювач використовували золу виносу Ладижинської ТЕС з такими фізичними властивостями: істинна густина –  $2,32 \text{ г/см}^3$ , насипна густина –  $910 \text{ кг/м}^3$ , залишок на ситі № 008 – 8,7 мас. %.

Як газотримувальний компонент – глину середньої пластичності Солонського родовища з такими гранулометричним складом: частинки розміром 0,05 мм – 16,36 мас. %, 0,05–0,01 мм –

42,9 мас. %, 0,01–0,005 мм – 16,3 мас. %, 0,005-0,001 мм – 12,33 мас. %, менше ніж 0,001 мм – 12,11 мас. %.

Фізико-механічні властивості цементного каменю визначали за допомогою стандартних методів випробувань, фазовий склад продуктів гідратації газобетону визначали за допомогою рентгенофазового та диференційно-термічного аналізів.

**Результати досліджень.** На основі експериментальних даних визначення впливу каустичної соди на терміни тужавіння встановлено, що при збільшенні кількості NaOH до 1 мас. % початок тужавіння збільшується з 60 хв – для цементу без додатка – до 171 хв – при кількості 1 мас. % NaOH. Подальше збільшення вмісту додатка каустичної соди призводить до різкого зменшення термінів тужавіння, і вже при вмісті 5 мас. % NaOH терміни тужавіння скорочуються до 45 хв. Отже, NaOH в кількості до 1 мас. % є сповільнювачем тужавіння, а за більшого вмісту навпаки – прискорювачем.

З метою наближення до умов експлуатації цементних систем вплив додатка NaOH на фізико-механічні показники цементного каменю вивчали на зразках цементного тіста 2x2x2 см (Ц:З=3,5:1) на основі портландцементу ПЦ-П/А-Ш-400, які тверднули в нормальних умовах. У табл. 1 наведені фізико-механічні характеристики цементного каменю з додатком різної кількості каустичної соди. Показано, що введення NaOH призводить до зростання механічної міцності в ранні терміни твердіння. Так, при вмісті NaOH 1 мас. % міцність при стиску становить на 7 добу 1,52 МПа, на 14 добу – 1,76 МПа. В подальші терміни твердіння спостерігається вирівнювання міцності. Зауважимо, що введення NaOH призводить до незначного зниження В/Т.

Таблиця 1

**Вплив додатка каустичної соди на фізико-механічні показники цементного каменю**

| № з/п | Вміст NaOH,<br>мас. % | В/Т  | Границя міцності при стиску, МПа, у віці, діб |      |      |      |
|-------|-----------------------|------|---|------|------|------|
|       |                       |      | 3   | 7    | 14   | 28   |
| 1     | –                     | 0,40 | 0,84  | 1,21 | 1,32 | 1,88 |
| 2     | 0,50                  | 0,39 | 0,90  | 1,38 | 1,64 | 1,90 |
| 3     | 0,75                  | 0,38 | 0,90  | 1,42 | 1,45 | 2,01 |
| 4     | 1,00                  | 0,38 | 0,97  | 1,52 | 1,76 | 2,24 |
| 5     | 1,25                  | 0,37 | 1,08  | 1,40 | 1,51 | 2,07 |
| 6     | 1,50                  | 0,36 | 1,10  | 1,41 | 1,44 | 2,03 |

Дослідженнями процесів спучування в'язучої композиції цемент-зола (рухливість газобетонної суміші за Суттардом становила 18 см) з різною кількістю активатора спучування NaOH встановлено, що при введенні в систему алюмінію змінюються терміни тужавіння цієї композиції. Введення NaOH понад 1 мас. % призводить до різкого загустівання газобетонної суміші вже після 2 хв спучування. При цьому кратність спучування становить менше ніж 1,5. Таке явище можна пояснити утворенням алюмінату натрію  $3\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  за реакцією  $6\text{NaOH} + 2\text{Al} + n\text{H}_2\text{O} = 3\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O} + 3\text{H}_2 \uparrow$ . Відомо [1], що алюмінат натрію є потужним прискорювачем структуроутворення цементних композицій. Найбільша кратність спучування досягається при вмісті 1 мас. % NaOH. При вмісті активатора понад 1 мас. % зменшується рухливість газобетонної суміші, що спричиняє сповільнення росту масиву.

При одержанні теплоізоляційного газобетону з густиною менше ніж  $500 \text{ кг/м}^3$  необхідно досягнути кратності спучування більше ніж 2,6 рази. Газобетонна суміш повинна характеризуватися високою рухливістю та газоутримувальною здатністю. В'язуча композиція цемент-зола має недостатню газоутримувальну здатність, оскільки частинки золи виносу мають округлу форму, що не сприяє утримуванию газів у структурі [8]. Як газоутримувальний компонент використовували глину середньої пластичності Солонського родовища. Перед використанням готували глиняну суспензію при водоглиняному відношенні 0,5, яку витримували не менше від трьох днів. У табл. 2 наведено результати фізико-механічних випробувань в'язучої композиції, в яку додатково вводили глиняну суспензію. Введення глини дещо знижує механічну міцність зразків

у ранні терміни твердіння. Однак з часом твердіння спостерігається наростання міцності і у віці 28 діб міцність вирівнюється. Оптимальним виявився склад з додатком 7 мас. % глини, який характеризується найвищою міцністю.

Встановлено, що додавання глини середньої пластичності не впливає на характер зміни рухливості газобетонної суміші. Так, визначення рухливості суміші за розливом циліндра Сутгарда показало, що достатня для спучування рухливість 19–14 см зберігається до 50 хв. Разом з тим, активний вплив (ударна дія) на газобетонну суміш призводить до збільшення інтервалу рухливості.

Таблиця 2

**Фізико-механічні характеристики в'язучої композиції з додатком глини**

| № з/п | Вміст глини, мас. % | В/Т  | Границя міцності при стиску, МПа, у віці діб |      |      |      |
|-------|---------------------|------|--|------|------|------|
|       |                     |      | 3  | 7    | 14   | 28   |
| 1     | 0                   | 0,38 | 0,97   | 1,42 | 1,45 | 2,01 |
| 2     | 2,5                 | 0,42 | 0,81   | 1,03 | 1,25 | 1,68 |
| 3     | 5,0                 | 0,43 | 0,94   | 1,06 | 1,47 | 1,84 |
| 4     | 7,0                 | 0,44 | 1,06   | 1,38 | 1,54 | 2,20 |
| 5     | 10,0                | 0,46 | 0,75   | 0,98 | 1,15 | 1,24 |

Для визначення впливу додатка NaOH на процеси гідратації та фазовий склад продуктів були сформовані зразки-кубики розміром 2x2x2 см складу, що містив: цемент – 3,5 м. ч., золу – 1 м. ч., NaOH – 1 мас. %. Зразки зберігалися у нормальних умовах за вологості 90 %. На рис. 1 зображені дифрактограми цементного каменю у різні терміни твердіння.

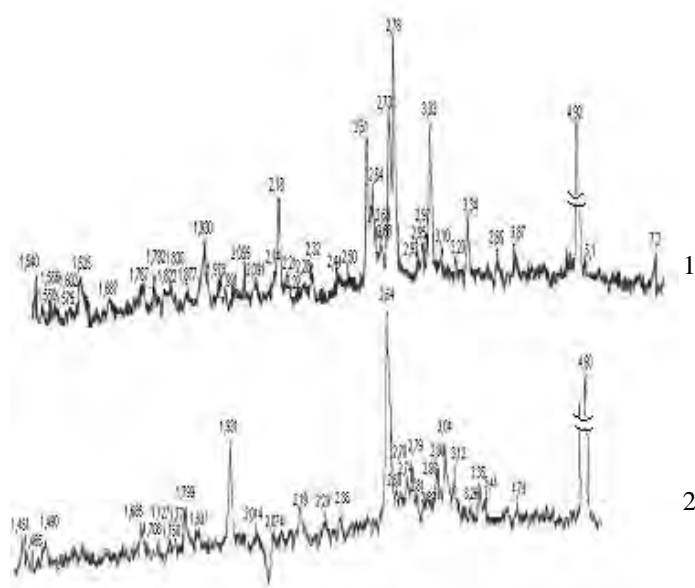


Рис. 1. Дифрактограма каменю на основі композиції Ц:З = 3,5:1 з 1 мас. % NaOH, гідратованої: 1 – 1 добу, 2 – 28 діб

Для дифрактограми каменю, що тверднув 1 добу (рис. 1), характерна наявність дифракційних максимумів, які відносяться до портландиту ( $d/n = 0,1687; 0,1792; 0,1930; 0,264; 0,492$  нм), кальциту ( $d/n = 0,1602; 0,2091; 0,250; 0,303$  нм). Визначено наявність деякої кількості еtringіту ( $d/n = 0,1566; 0,1575; 0,221; 0,278; 0,387$  нм), а також наявні лінії негідратованого  $C_3S$  та  $\beta$ -кварцу ( $d/n = 0,334$  нм). У віці 28 діб повністю відсутні лінії негідратованого  $C_3S$  та  $\beta$ -кварцу. Спостерігається утворення нових фаз, зокрема, гідросилікатів типу CSH (I) ( $d/n = 0,1837; 0,279$  нм), кількість яких помітно зростає. Не спостерігається зростання інтенсивності ліній портландиту, що свідчить про зв'язування його в гідросилікати, під час взаємодії з  $\beta$ -SiO<sub>2</sub>,

який входить до складу золи виносу. Це підтверджується різким зменшенням інтенсивностей дифракційних максимумів  $\beta$ -SiO<sub>2</sub>. Такий ефект взаємодії посилюється за рахунок наявності в системі одновалентних катіонів натрію. При їх впливі відбувається переведення кисню кремнекислоти в немісткову форму, а також дроблення кремнекисневих аніонів. За рахунок такого явища ці аніони стають рухливішими та спроможними до взаємодії з катіонами кальцію. У результаті цього утворюються упорядкованіші і більші за розміром кристали продуктів твердіння. Виявлено також, що в процесі твердіння відбувається зменшення кількості кальциту в системі. Це

можна пояснити зв'язуванням його в еtringітоподібні гідрокарбоалюмінати кальцію складу  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaCO}_3\cdot32\text{H}_2\text{O}$  ( $d/n = 0,251; 0,286\text{ нм}$ ). Такий склад продуктів гідратації сприяє утворенню щільнішого та міцнішого цементного каменю.

Для композиції, що містить додатково як модифікатор солонську глину середньої пластичності, на дифрактограмі (рис. 2) спостерігається наявність деякої кількості фаз, наявних в глині, зокрема  $\beta\text{-SiO}_2$  та гідрослюдистого мінералу – ілліту ( $d/n = 0,449\text{ нм}$ ), невеликої кількості каоолініту ( $d/n = 0,1480; 0,71\text{ нм}$ ). На 28 добу спостерігається практично повне зв'язування складників глинистого компонента в гідратні фази, такі як гідросилікати та гідроалюмінати кальцію, про що можна робити висновки з відсутності вихідних ліній глинистих компонентів, а також про зменшення інтенсивності ліній портландиту. Результати РФА підтверджуються даними диференційно-термічного аналізу. На кривій ДТА (рис. 3) спостерігаються ендотермічні ефекти в інтервалах температур  $100\text{--}270\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $470\text{--}540\text{ }^\circ\text{C}$  та  $760\text{--}800\text{ }^\circ\text{C}$ . Перший ефект зв'язаний з виділенням води з тоберморитоподібної фази типу CSH (B).

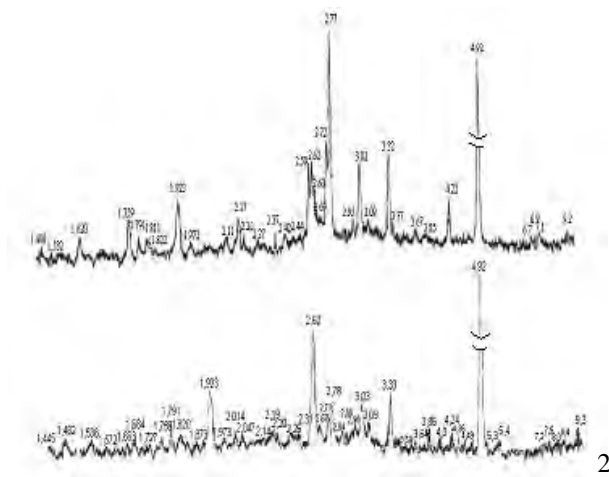


Рис. 2. Дифрактограма каменю на основі композиції Ц:З = 3,5:1 з 1 мас. % NaOH, 7 мас. % глини, гідратованої: 1 – 1 добу, 2 – 28 діб

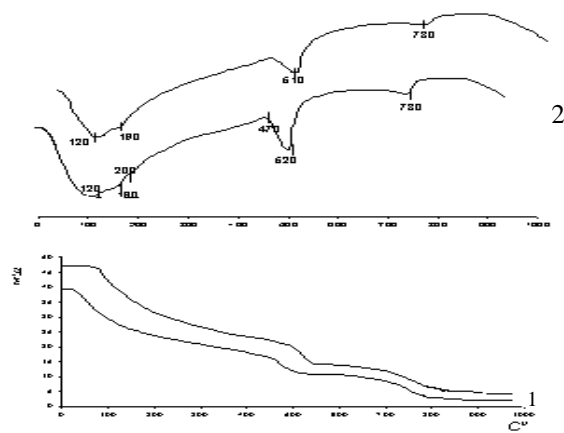


Рис. 3. Дериватограма газобетону, гідратованого 28 діб: 1 – дрібнодисперсний наповнювач–зола виносу; 2 – дрібнодисперсний наповнювач–зола виносу+глина

Другий ефект відповідає розкладу портландиту  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а на третій – накладаються два ефекти, пов'язані з виділенням хімічно зв'язаної води із  $\text{CS}\cdot\text{aq}$  і  $\text{C}_2\text{S}\cdot\text{aq}$  і розклад  $\text{CaCO}_3$ . За розрахунками втрати маси при розкладі портландиту становлять 6 мас. %, а за стехіометрією реакції вміст  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  дорівнює 24,7 г, або 8,2 %.

Склад, що містить глинистий компонент, дещо відрізняється характером ендоефектів (рис. 3). Зокрема, зазначимо, що зростають втрати маси в інтервалі температур  $100\text{--}200\text{ }^\circ\text{C}$  та  $470\text{--}540\text{ }^\circ\text{C}$ . Перший ендоефект значно розширений, спостерігається ступінчате виділення води при температурі  $120\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $190\text{ }^\circ\text{C}$  та  $200\text{ }^\circ\text{C}$ . Такий характер кривої ДТА за цих температур пов'язаний з додатковим розкладом або з виділенням механічно зв'язаної води з основного мінералу – глинистого компонента ілліту. Втрати маси при цьому, порівняно з композицією без глинистого компонента, зростають на 1,7 %. Ендоефект, пов'язаний з розкладом портландита, зміщується в сторону вищих температур, що свідчить про накладання двох процесів, а саме розкладу портландиту та виділення основної маси кристалізаційної води із мінералу ілліту. При цьому втрати маси збільшуються з 6 мас. % до 8 мас. %.

**Висновок.** Вид активатора спучування, стабільність його хімічного складу під час тривалого зберігання, невисока вартість та достатня кількість є одними з важливих факторів, що впливають на процес виготовлення газобетону. Саме такими властивостями характеризується каустична сода. Введення її до складу позитивно впливає на структуроутворення цементного каменю, дає змогу регулювати швидкість загустівання газобетонної маси. Встановлено можливість використання як газотримувального компонента глини, що дає змогу без помітної втрати рухливості газобетонної

суміші, підвищити газоутримувальну здатність, зменшити собівартість продукції. Також виявлено, що в кінцевих продуктах гідратації не спостерігається наявності глинистих мінералів, що пояснюється практично повним їх зв'язуванням в гідратні фази, такі як гідросилікати та гідроалюмінати кальцію.

1. Горлов Ю. П. *Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий*. – М.: Высш. шк., 1989. – 384 с. 2. Сай В.І. *Розвиток виробництва ніздрюватобетонних виробів – складова енергетичної незалежності держави // Будівельні матеріали та вироби, № 4, 2006.* – С.12. 3. *Разработка составов и технологий неавтоклавных ячеистых бетонов: материалы научно-практической конференции, Хабаровск, 20–23 окт., 1999. Т. 1. Хабаровск / Махинин Б. В. – Хабаровск, 1999. – 151 с.* 4. *Газобетон неавтоклавного твердения с модифицирующими добавками: труды 5 Международного научного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященного 100-летию горно-геологического образования в Сибири, Томск, 9-13 апр., 2001 / Митина Н. А., Ковкина Т. А. – Томск, 2001. – 666 с.* 5. *Фомичева Г.Н. Неавтоклавный газобетон на основе дисперсных отходов камнедробления: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд техн наук : Новосиб. гос. архит.-строит, ун-т / Г.Н. Фомичева. – Новосибирск, 2005. – 20 с.* 6. *Исследование свойств неавтоклавного газобетона: материалы Межрегиональной научно-практической конференции, Йошкар-Ола, 20–21 апр., 2000. Йошкар-Ола / Кононова О. В., Веденькин А. Н., Герасимова Л. М. – 2000. – С. 88–91 с.* 7. *Щукина Д.В. Неавтоклавный золо-цементный газобетон с хлоридом и сульфатом натрия: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: Барнаул. гос. техн. ун-т / Д.В. Щукина. – Барнаул, 2007. – 20 с.* 8. *Багатокомпонентні цементи для виготовлення ніздрюватого бетону / М.А. Саницький, О.Р. Позняк., В.М. Мельник, О.Т. Мазурак // Матеріали I Міжнародного науково-практичного семінару “Теорія і практика виробництва і застосування ніздрюватого бетону в будівництві”. – Дніпропетровськ. – 2003. – С. 125–127.*

УДК 624.012

І.В. Мельник, В.М. Сорохтей

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра будівельної механіки та мостів

## **ВИКОРИСТАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ВСТАВОК У МОНОЛІТНИХ І ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ ПЕРЕКРИТТЯХ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ БУДІВЛІ ОЗДОРОВЧОГО ВІДДІЛЕННЯ САНАТОРІЮ**

© Мельник І.В., Сорохтей В.М., 2010

**Подано конструктивні рішення монолітних і збірно-монолітних залізобетонних плоских перекриттів з полегшуючими вставками, використаних в практиці будівництва.**

**Ключові слова:** монолітні і збірно-монолітні залізобетонні перекриття, оптимізація, ефективні вставки.

**The structural decisions of the monolithic and collapsible-monolithic reinforced-concrete flat ceilings with facilitating insertions, utilized in practice of building are given in this article.**

**Keywords:** monolithic and collapsible-monolithic reinforced concrete, optimization, effective insertions.

**Постановка проблеми.** Матеріало- і ресурсозбереження – один з пріоритетних напрямів розвитку прикладної будівельної науки [1]. Особливо це важливо для конструкцій масового виготовлення. До таких конструкцій належать залізобетонні перекриття, на які припадає 60...70 %