

О. Р. Позняк¹, І. В. Луцюк², Я. Б. Якимечко³, В. М. Мельник⁴
 Національний університет “Львівська політехніка”,
¹кафедра будівельного виробництва,
²кафедра хімічної технології силікатів,
⁴кафедра економіки підприємства і інвестицій;
 Інститут будівництва Політехніки Варшавської Філії (Плоцьк),
³кафедра механіки конструкцій і будівельних матеріалів

ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО НІЗДРЮВАТОГО БЕТОНУ НА ОСНОВІ КОМПОЗИЦІЙНИХ В'ЯЖУЧИХ

© Позняк О. Р., Луцюк І. В., Якимечко Я. Б., Мельник В. М., 2019

Показано, що вирішення проблеми енергозбереження об'єктів житлово-громадського призначення можливе завдяки зростанню виробництва та використанню ніздрюватого бетону як ефективного теплоізоляційного і конструкційно-теплоізоляційного матеріалу, що забезпечує реалізацію концепції сталого розвитку України. Встановлено, що однією з найактуальніших проблем технології теплоізоляційних та конструкційно-теплоізоляційних ніздрюватих бетонів є зниження їхньої середньої густини з одночасним забезпеченням необхідних значень міцності та інших експлуатаційних властивостей. Це передбачає розроблення оптимальних рецептурних складів газобетонних сумішей для ніздрюватих бетонів неавтоклавного тверднення, технологічних параметрів їхнього виробництва. Аргументовано вибір складів ніздрюватих бетонів неавтоклавного тверднення, що забезпечує створення оптимальної мікроструктури матеріалу, зменшення макропористості та підвищення тріщиностійкості, зміцнення контактних зон цементного каменю і наповнювачів завдяки спрямованому застосуванню ефективних хімічних модифікаторів і високоякісної сировини, використання високодисперсних цементуючих матеріалів з високою гідравлічною активністю.

Ключові слова: енергозбереження, газобетон, в'язучі композиції, модифікуючі добавки, структуроутворення.

O. R. Pozniak, I. V. Lutsyuk, Y. B. Yakymechko, V. M. Melnyk
 Lviv Polytechnic National University
 Department of construction production

PROSPECTS FOR PRODUCTION OF HEAT INSULATION AERATED CONCRETE BASED ON COMPOSITE BINDERS

© Pozniak O. R., Lutsyuk I. V., Yakymechko Y. B., Melnyk V. M., 2019

It is shown that solving the problem of energy saving of housing and public objects use is possible due to the growth of production and use of aerated concrete as an effective insulation material, which ensures the implementation of the concept of sustainable development of Ukraine. Analysis of the data of the Ukrainian Autoclaved Aerated Concrete Producers

Association has shown that the demand for aerated concrete constantly increases, and the growth of its production is about 40–45 %. It has been established that one of the most pressing problems of the technology of thermal insulation and constructional and thermal insulation of aerated concrete is to reduce their average density while providing the necessary strength values and other operational properties. This requires the design of optimal composition of aerated concrete mix for non-autoclaved aerated concrete, technological parameters of their production. It has been established that binders for non-autoclaved aerated concrete should be characterized by high activity, rapid strength development, resistance to physical and environmental influences, non-deficit and cheap ingredients of aerated concrete. Modern production is oriented on the production of effective materials using technologies that would provide minimum consumption of raw materials, energy, and the use of secondary resources. Gypsum binders of β -modification occupy a special place in this category of building materials due to low energy intensity and wide prevalence of raw materials.

The choice of compositions of non-autoclaved aerated concretes have been argumentated, which provides creation of optimum microstructure of the material, reduction of macroporosity and increase of crack resistance, strengthening of contact zones of cement paste and fillers due to the directed application of effective chemical modifiers and high-quality raw materials, the use of highly dispersed silicon containing materials with high hydraulic activity.

Key words: energy saving, aerated concrete, binder compositions, modifying additives, structure formation.

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими завданнями. Мінімізація витрати енергії та матеріальних ресурсів у процесі спорудження та експлуатації будівельних конструкцій зі зменшенням негативного впливу на довкілля відповідно до принципів сталого розвитку в будівництві (Міжнародна конференція з навколишнього середовища і розвитку, 1992 р.), а також положення Міжнародної кліматичної угоди (Паризький договір, 21 конференція сторін рамкової конвенції ООН зі зміни клімату, 2015 р.), спрямованої на скорочення і в перспективі усунення викидів парникових газів, стають пріоритетними при новому будівництві, реконструкції та модернізації існуючого житлового фонду [1, 2].

Будівельним сектором України споживається майже 50 % природних ресурсів та понад 40 % енергії. Істотні витрати енергії необхідні не тільки на спорудження будівель та споруд, але й на їхню експлуатацію протягом всього життєвого циклу. На житлово-комунальний сегмент припадає найбільша частка кінцевого споживання енергії, зокрема в країнах ЄС та Україні – близько 38–44 %, при цьому в будинках виникає емісія близько 35 % всіх парникових газів, що визначає необхідність охорони довкілля. Понад 60 % будинків житлового фонду України побудовані до 1970 р. та не відповідають сучасним архітектурно-планувальним, санітарно-гігієнічним та експлуатаційним вимогам. Зношення основних фондів перевищує 60 %, а енергоємність послуг у 2–3 рази перевищує показники європейських країн [1, 2].

Проблеми енергозбереження і екологічної безпеки ставлять перед будівельною галуззю низку невідкладних завдань, серед яких вирішальна роль належить створенню нових теплоізоляційних матеріалів і виробництв, що забезпечують їхній випуск [3, 4]. Тому вирішення проблеми енергозбереження об'єктів житлово-громадського призначення завдяки зростанню виробництва та використанню ніздрюватого бетону як ефективного теплоізоляційного і конструкційно-теплоізоляційного матеріалу, є пріоритетним напрямком реалізації концепції сталого розвитку України, а розроблення ніздрюватого теплоізоляційного газобетону на основі місцевих композиційних в'язучих матеріалів є важливим і актуальним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із пріоритетних напрямів сучасного будівництва є підвищення теплозахисних властивостей зовнішніх огорожувальних конструкцій,

що визначає вартість експлуатації будинків і споруд із забезпеченням комфортних умов мікроклімату в приміщенні. Враховуючи високу вартість енергоносіїв, у сучасних умовах експлуатація будівель неможлива без використання ефективних теплоізоляційних матеріалів, які характеризуються підвищеними теплоізоляційними властивостями [5, 6]. Одним із лідерів стінових матеріалів на сучасному ринку, який поєднує в собі високі конструкційні та теплоізоляційні властивості, є ніздрюватий бетон, зокрема газобетон неавтоклавного тверднення, якому властиве оптимальне співвідношення фізико-технічних властивостей. Використання такого теплоізоляційного бетону дає змогу нейтралізувати основні недоліки, притаманні теплоізоляційним матеріалам на основі мінеральної вати, пінополіуретанових та пінополістирольних виробів [7].

Розвиток будівельної індустрії в умовах світової промислової кризи показує, що виробництво ніздрюватих бетонів (як автоклавного, так і неавтоклавного тверднення) не скоротилося, а, навпаки, отримало додатковий поштовх для подальшого вдосконалення. Частка ніздрюватих бетонів серед будівельних матеріалів для огорожувальних конструкцій як у багатоповерхових каркасних будівлях, так і в малоповерховому будівництві стає дедалі більшою (рис. 1).

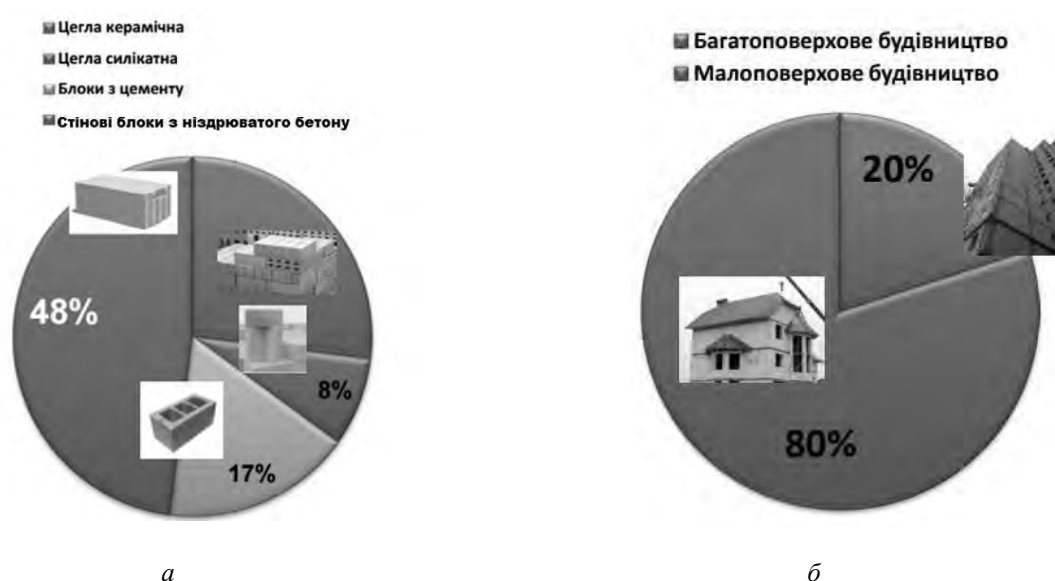


Рис. 1. Ринок стінових матеріалів (а) та споживання газобетону в Україні за типом будівництва (б) (за даними Всеукраїнської асоціації виробників автоклавного газобетону)

Згідно з даними Всеукраїнської асоціації виробників автоклавного газобетону, в Україні попит на газобетон постійно зростає (рис. 2), а приріст його виробництва становить приблизно 40–45 % [5, 7]. Останніми роками в Україні збудовано низку нових підприємств із високотехнологічним обладнанням для виробництва виробів із газобетону, а також реконструйовано лінії на заводах, які випускають вироби високої якості. На виробничих лініях ТОВ “Аерок” (м. Обухів, м. Березань, Київська обл.), ТОВ “Орієнтир-Буделемент” (м. Бровари, Київська обл.), ТОВ “ЮДК” (м. Дніпро), ВАТ “Житомирський комбінат силікатних виробів” (м. Житомир), компанії “Промислова база “ТОВ “Тернопільбуд” (м. Тернопіль) та деяких інших підприємств встановлено технологічне обладнання фірм HESS, WEHRHANN та MASA HENKE тощо, яке забезпечує випуск якісних дрібних блоків із високою точністю геометричних розмірів із максимальною виробничою потужністю ліній від 50 до 1380 тис. м³ за рік [6, 7].

Сьогодні у світі в 48 країнах працює близько 220 заводів із випуску ніздрюватого бетону, з них за технологією компанії “Хебель” – 29, “Кілсілокс” – 15, “Сипорекс” – 33, “Селкон” – 7, “Ітонг” – 44 заводів. У низці країн існують власні розробки і технології, в яких поряд із ліцензованими працюють заводи на основі своєї вітчизняної технології виробництва ніздрюватих бетонів. Ці методики відрізняються, як правило, способами помелу, формування і різання газобетонних масивів на вироби заданих розмірів [6].

Виробництво газобетонів переважно ґрунтується на автоклавному способі теплової обробки.

Однак автоклавному газобетону є альтернатива – неавтоклавний ніздрюватий бетон, який відрізняється низьким водопоглинанням, невисокими капітальними вкладеннями в обладнання і освоєння виробництва. При цьому затрати на виробництво газобетону неавтоклавного тверднення є значно нижчими порівняно з виробництвом автоклавного газобетону і в сучасних умовах виробництва проведення автоклавної обробки є складним як з технічного погляду, так і з погляду економії енергоресурсів. Проте неавтоклавний газобетон має суттєві недоліки, а саме: підвищену усадку під час експлуатації (2–3,5 мм), незначну тріщиностійкість і ударну міцність порівняно з автоклавним за однакової середньої густини виробів, що стримує їхнє поширення [8]. Це пов'язано насамперед з тим, що процеси гідратації газобетонів в умовах автоклавної обробки проходять повністю, і продукти гідратації термодинамічно стійкі за нормальної температури. Процеси гідратації неавтоклавних газобетонів не завершуються навіть після 28 діб тверднення, при цьому утворюється значна кількість гідросилікатів у вигляді гелю, який впливає на процеси усадки, і не всі продукти гідратації є стійкими. Для підвищення міцнісних властивостей неавтоклавних газобетонів доцільно зв'язувати гідроксид кальцію, що утворюється під час гідратації портландцементу, в міцніші і водостійкіші сполуки, наприклад, гідросилікати кальцію, а також знаходити оптимальне співвідношення між вмістом кристалічних і гелевих у продуктах гідратації [8–10].

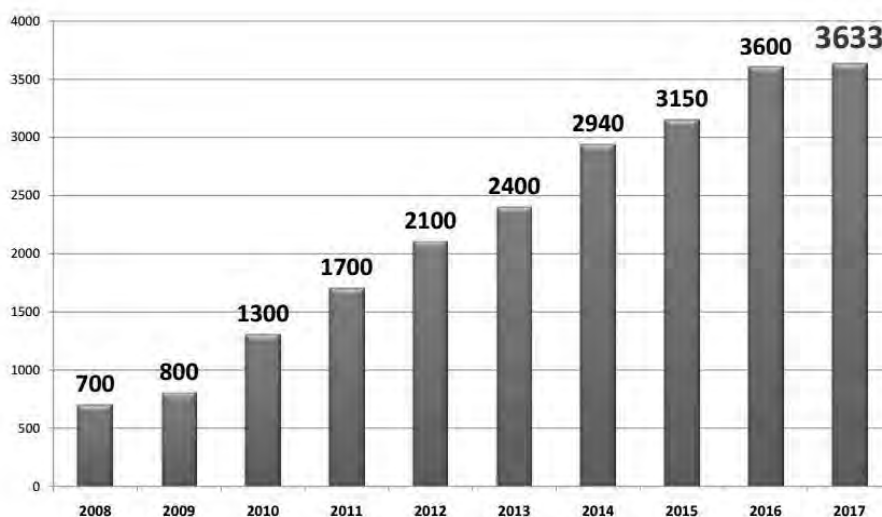


Рис. 2. Динаміка виробництва автоклавного газобетону в Україні протягом 2008–2017 рр., тис. м³ (за даними Всеукраїнської асоціації виробників автоклавного газобетону)

Однією з найактуальніших проблем технології теплоізоляційних та конструкційно-теплоізоляційних ніздрюватих бетонів є зниження їхньої середньої густини з одночасним забезпеченням необхідних значень міцності та інших експлуатаційних властивостей. У зв'язку з цим сьогодні важливо розробити оптимальні рецептурні склади газобетонних сумішей для ніздрюватих бетонів неавтоклавного тверднення, технологічних параметрів їхнього виробництва, що дасть змогу вирішити проблеми енергозбереження та покращити теплозахисні властивості огорожувальних конструкцій.

Згідно з ДСТУ Б В.2.7-45:2010 до теплоізоляційних належать неавтоклавні ніздрюваті бетони з маркою за середньою густиною D200–D350 і класом за міцністю на стиск B0,35–B0,75, до конструкційно-теплоізоляційних – з маркою за середньою густиною D500–D900 і класом за міцністю на стиск B1–B5. Для виготовлення ніздрюватих бетонів використовують сировинні матеріали, які відповідають вимогам чинних нормативних документів: в'язучі матеріали – портландцемент, вапно будівельне, шлак доменний гранульований, в'язуче гіпсове; кремнеземисті матеріали – пісок природний, зола-винос ТЕС, зола гідровидалення, інші вторинні кремнеземисті продукти промисловості зі вмістом SiO₂ не меншим ніж 60 %; вода; газоутворювач – пудра алюмінієва, пасти на її основі; піноутворювачі; добавки-регулятори структуроутворення [11].

В'язучі композиції для газобетону неавтоклавного тверднення. Найвагомими чинниками формування структури в'язучих композицій для отримання неавтоклавних газобетонів є склад і відсоткове співвідношення компонентів, що входять до їхньої рецептури, а також розмір зерен мінеральної частини. Саме ці параметри визначають якість як готових в'язучих систем, так і кінцевого продукту на їхній основі [12].

Згідно з дослідженнями [13], в'язучі речовини для неавтоклавного газобетону повинні характеризуватися високою активністю, швидким набором міцності, стійкістю до фізичних впливів довкілля, недефіцитними і дешевими складовими. При цьому варто зазначити, що ефективним є використання в'язучих зі зниженою істинною густиною, але з високими показниками міцності. В. М. Селіванов [14] запропонував склади газобетонних сумішей на основі змішаних безклінкерних в'язучих, що містять висококальцієву золу ТЕС і розкриті глинисті породи. Отриманий за такою рецептурою газобетон має середню густину 170–205 кг/м³ та міцність на стиск 0,06–0,11 МПа.

Автори [13, 15] дослідили, що для отримання неавтоклавного ніздрюватого бетону із середньою густиною 400–500 кг/м³ та якісними показниками, аналогічними до автоклавного, ефективно використовувати мінерально-однорідні компоненти відповідної дисперсності: бездобавковий портландцемент підвищеної активності, безусадковий і розширний цемент, негашене вапно, напівводний гіпс, конденсований мікрокремнезем із підвищеною пуцолановою активністю та інші активні мінеральні добавки. Вказані компоненти володіють високою поверхневою активністю та енергією взаємодії у водному середовищі. При цьому спостерігається значне виділення тепла і ущільнення структури цементного каменю.

У роботі [16] показано, що використання цементів із підвищеним вмістом аліту і трикальцієвого алюмінату сприяє отриманню газобетону із максимальною міцністю і мінімальними деформаціями усадки. Застосування шлакопортландцементу і пуцоланового портландцементу призводить до зниження міцності газобетону з погіршенням його повітрястійкості і збільшенням деформацій усадки. Поширення за кордоном набули вартісні кальційалюмінатні цементы, застосування яких дає змогу отримувати бетони із покращеними показниками якості, відмовитися від тепловологої обробки та скоротити терміни набирання відпускну міцності. Використання гідралічних в'язучих на основі глиноземистого цементу і деяких промислових відходів дає змогу через 4–6 годин отримувати відпускну міцність бетону.

Для забезпечення високопористої структури теплоізоляційного ніздрюватого бетону можна застосовувати принципи проектування, ґрунтовані на обліку гранулометричного складу цементів [9]. Існує взаємозв'язок між товщиною міжпорових перегородок ніздрюватого бетону і розміром зерен цементу, з одного боку, і дисперсністю в'язучого та седиментаційною стійкістю цементоводних суспензій, з іншого. Встановлено, що величина граничного розміру зерен в'язучого в теплоізоляційному ніздрюватому бетоні становить 50 мкм.

Сучасне виробництво орієнтується на виготовлення ефективних матеріалів за технологіями, які б передбачали мінімальні витрати сировини, енергії, застосування вторинних ресурсів тощо. У цій категорії будівельних матеріалів особливе місце займають композиційні в'язучі на основі вапна завдяки нижчій енергоємності порівняно з портландцементом та доступності сировинних матеріалів [17]. Проте існує багато технічних проблем, які стримують широке впровадження в'язучих композицій із використанням негашеного вапна у сучасному будівництві. Зокрема, це недостатньо вивчений вплив виду вапна на структуроутворення в'язучих, відсутність систематизації хімічних добавок, використання яких дає змогу створити умови для їхнього гідратаційного тверднення. Під час гідратації СаО відбувається перебудова щільнішої кубічної ґратки кальцію оксиду з утворенням шаруватої структури нижчої симетрії. Перебудова кристалічної ґратки СаО до менш щільної у Са(ОН)₂ супроводжується зростанням молярного об'єму, що призводить до розширення вапна у 2,0–2,5 разу. Це супроводжується виникненням напружень, руйнуванням зерен СаО та подальшим каталітичним прискоренням реакції.

Разом з тим, автор [18] встановив, що під час використання комплексної добавки на основі Na₂SO₄ і СаО в неавтоклавному газобетоні утворюється високодисперсний гіпс двогідрат. При цьому відбувається гідратаційне тверднення кальцію оксиду з утворенням портландиту у вигляді кристалів пластинчастої форми. Наявність підвищеної кількості портландиту та еtringіту у цементному камені забезпечує зменшення усадки газобетону з комплексною добавкою від 3,2–3,5 до 1,5–1,8 мм/м порівняно з газобетоном без добавок. Крім того, із введенням добавки у

1,2–1,4 разу зростає кратність спучування газобетону, на 20–25 % – газоутримувальна здатність та на 1–2 год скорочується час набору пластичної міцності.

Модифікування в'язучих композицій та ніздрюватих бетонів на їхній основі. Незважаючи на значний доробок науковців у галузі отримання неавтоклавного газобетону, актуальними з теоретичного і практичного аспектів є дослідження, спрямовані на вивчення фізико-хімічних процесів, що відбуваються під час виробництва неавтоклавних газобетонів за умови введення до їхнього складу різного роду модифікуючих добавок, завдяки яким можна в достатньо широкому діапазоні змінювати густину і міцність ніздрюватого бетону, що є важливим для розв'язання різних конструктивних задач у будівництві [19].

Теоретичними передумовами синтезу міцності, щільності й довговічності в'язучих композицій та бетонів на їхній основі є повніше використання енергії портландцементу чи інших в'язучих речовин, створення оптимальної мікроструктури матеріалу, зменшення макропористості та підвищення тріщиностійкості, зміцнення контактних зон цементного каменю і наповнювачів завдяки спрямованому застосуванню ефективних хімічних модифікаторів і високоякісної сировини, використання високодисперсних цементуючих матеріалів із підвищеною гідравлічною активністю і нових добавок із регульованою енергією розширення [19, 20]. Останнім часом як високоефективну пуцоланову добавку використовують високоактивний метаколін (ВМК), введення якого до складу ніздрюватобетонних сумішей дає змогу підвищити міцність газобетонів без зменшення густини або знизити густину без втрати міцності. Це зумовлено такими чинниками: зростанням міцності міжпорових перегородок завдяки підвищенню міцності цементного каменю і покращенню порової структури газобетону. Крім цього, алюмосилікатна складова метаколіну здатна активно взаємодіяти з гіпсом, що міститься в портландцементі. Контрольоване утворення еtringіту на ранніх стадіях тверднення газобетону дає змогу суттєво зменшити усадкові деформації [21]. За даними [21], введення як модифікуючої добавки ВМК призводить до зниження густини і міцності каменю з гіпсового в'язучого. Дещо інша картина спостерігається при модифікуванні вапняного в'язучого високоактивним метаколіном: за його оптимального вмісту 20 % підвищуються міцнісні властивості і водостійкість каменю, що дає змогу отримувати сухі будівельні суміші з технологічними властивостями, близькими до сумішей на цементному в'язучому.

Невелика кількість кремнезему у складі газобетонної суміші приводить до покращення її реологічних характеристик, що сприяє підвищенню стійкості системи під час поризації [22]. Крім того, мікрокремнезем, реагуючи з гідроксидом кальцію, забезпечує значне зміцнення міжпорових перегородок газобетонних виробів. Автори [23] розробили склади композиційного гіпсового в'язучого з введенням наноструктурованого кремнеземистого компонента в кількості 15–20 %, що забезпечує приріст міцності до 40 %. Сьогодні можлива заміна традиційних кремнеземних наповнювачів тонкодисперсними відходами дроблення діабазових гірських порід.

Переважаючо на міцність газобетону впливає міцність міжпорових перегородок. Розглядаючи міжпорові перегородки газобетону з позицій бетонознавства, варто враховувати негативний вплив на їхню міцність надлишкової кількості води замішування. Тому одним з головних шляхів збільшення міцності міжпорових перегородок є зниження водотвердого (водоцементного) відношення, що зменшує капілярну пористість матеріалу та підвищує його міцність [24]. У практиці виробництва різних видів бетону широко застосовують пластифікатори, що дають змогу підвищити рухливість газобетонної суміші без збільшення кількості вільної води. Особливий інтерес викликають суперпластифікатори нової генерації на основі полікарбоксилатів, які відрізняються від традиційних добавок типом і значно меншою кількістю іонних груп (слабкі поліелектроліти), а також зв'язаною просторовою структурою наявних бічних ланцюгів [20].

Висновки. Серед численних запропонованих шляхів покращення показників якості неавтоклавних бетонів найперспективнішим є застосування нових цементуючих матеріалів та хімічних добавок у їхньому складі. Це дасть змогу отримувати ніздрюваті бетони із заданими властивостями, що є актуальним вирішенням завдань у технології ефективних теплоізоляційних та конструкційно-теплоізоляційних будівельних матеріалів.

1. Саницький М. А. *Енергозберігаючі технології в будівництві : навч. посібник* / М. А. Саницький, О. Р. Позняк, У. Д. Маруцак. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 236 с.
2. Солтисік Р. А. *Аспекти сталого розвитку в будівництві* / Солтисік Р. А., Маруцак У. Д., Позняк О. Р., Дума В. О. // *Сталий розвиток – стан та перспективи: матеріали міжнародного наукового симпозіуму SDEV'2018 (28 лютого–3 березня 2018 року, Львів-Славське, Україна).* – 2018. – С. 92–93.
3. *Объёмы современного производства и потребления газобетона.* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pp-budpostach.com.ua/a255738-obsyagi-suchasnogo-virobnitstva.html>.
4. Томилиן К. В. *Ячеистый бетон – перспективы развития* / К. В. Томилиן, Н. С. Сторчай // *Бетон и железобетон в Украине.* – 2006. – № 3. – С. 2–3.
5. Червяков Ю. М. *Ніздрюватий бетон – ефективний стіновий матеріал* / Ю. М. Червяков // *Строительные материалы и изделия.* – 2008. – № 6. – С. 35–37.
6. Namsone E. *Durability Properties of High Performance Foamed Concrete* / E. Namsone, G. Šahmenko, A. Korjakins // *Procedia Engineering.* – 2017. – No. 172. – P. 760–767.
7. *Електронний ресурс.* – Режим доступу: <https://gazobeton.org>.
8. Абдыраймов Ж. А. *Улучшение свойств газобетонных смесей и неавтоклавного газобетона введением различных добавок* / Ж. А. Абдыраймов, С. Ж. Мелибаев // *Вестник КГУСТА.* – 2013. – № 3. – С. 119–123.
9. Лотов В. А. *Влияние добавок на фазовый состав газобетонной смеси в процессе ее твердения* / В. А. Лотов, Н. А. Митина // *Матер. научно-практ. конф. “Химия и химическая технология на рубеже тысячелетий”.* – Томск, 2009. – Т. 1. – С. 98–100.
10. *Виробництво, властивості і застосування газобетону неавтоклавного тверднення* / О. Р. Позняк, В. М. Мельник, І. О. Завадський, А. Я. Мельник // *Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. “Теорія і практика будівництва”.* – 2017. – № 877. – С. 160–166.
11. Рунова Р. Ф. *Основы производства стеновых та оздоблювальних матеріалів : підручник* / Р. Ф. Рунова, В. І. Гоц, О. Г. Гелевера, О. П. Константиновський, Ю. Л. Носовський, В. В. Піна. – 3-тє вид. – К.: Основа, 2017. – 528 с.
12. Poznyak O., Sanytsky M., Zavadsky I., Braichenko S., Melnyk A. *Research into structure formation and properties of the fiber-reinforced aerated concrete obtained by the non-autoclaved hardening* // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2018. – № 3/6 (93). – с. 39–46.
13. Якимечко Я. Б. *Вапняно-гіпсові в'язучі з покращеними експлуатаційними характеристиками* / Я. Б. Якимечко, М. А. Саницький // *Будівельні матеріали та виробн.* – 2012. – № 5 (76). – С. 4–8.
14. Селиванов В. М. *Сухие газобетонные смеси на основе вторичного сырья и отходов промышленности* / В. М. Селиванов, А. Д. Шильцина, А. И. Гныря // *Строительные материалы.* – 2000. – № 9. – С. 10–11.
15. Amran Y. H. M. *Properties and applications of foamed concrete; a review.* / Amran Y. H. M., Farzadnia N., Abang Ali A. A. // *Construction and Building Materials.* – Vol. 101, Part 1. – 2015. – P. 990-1005.
16. Martynov V. *Influence of the Structure of a Material Solid Phase on the Properties of Cellular Concrete* / V. Martynov and oth. // *National Journal of Composite Materials.* – 2015. – №4. Vol. 5. – P. 79–80.
17. Якимечко Я. Б. *Некоторые особенности использования негашеной извести в ячеистых бетонах* / Я. Б. Якимечко // *Строительные материалы.* – 2006. – № 6. – С. 26–27.
18. Якимечко Я. Б. *Кінетичні параметри гідратації СаО в розчинах електролітів* / Я. Б. Якимечко, В. А. Волошинець // *Технології та дизайн: електронне фахове видання.* – 2012. – № 1 (2). – 11 с. – Режим доступу до журн.: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/td/2012_1/2012-1.html.
19. Pozniak O. *Non-autoclave aerated concrete from modified binders composition containing supplementary cementitious materials* / Pozniak O., Melnyk A. // *Vidownictwo I architektura. Politechnika Lubelska.* – 2014. – Vol. 13(2). – P.127–134.
20. Троян В. В. *Добавки для бетонів і будівельних розчинів* / В. В. Троян.– Ніжин : ТОВ “Видавництво “Аспект-Поліграф”, 2010. – 228 с.
21. *Метакаолін в будівельних розчинах і бетонах* / [Дворкін Л. Й., Лушнікова Н. В., Рунова Р. Ф., Троян В. В.]. – [монографія]. – К.: КНУБіА, 2007. – 216 с.
22. Zulkarnain F. *Durability of Performance Foamed Concrete Mix Design with Silica Fume for Housing Development* / F. Zulkarnain, M. Ramli // *Journal of Material Sciences and Engineering.* – 2011. – P. 518–527.
23. Ганина Е. А. *Композиционное гипсовое вяжущее с применением наноструктурированного кремнеземистого компонента* / Е. А. Ганина, Л. В. Закревская // *Актуальные проблемы архитектуры, строительства и дизайна : Материалы Ежегодной международной студенческой научной конференции института строительства, архитектуры и искусства. Магнитогорск, 23–24 апреля 2015.* Магнитогорск. – 2015. – С. 121–124.
24. Сердюк В. Р. *Мінеральні та хімічні*

References

1. Sanytsky M. A., Poznyak O. R., Marushchak U. D. (2013). Enerhozberihayuchi tekhnolohiyi v budivnytstvi: navch. posibnyk, 2013. – 236 p. [in Ukrainian].
2. Soltysik R. A., Marushchak U. D., Poznyak O. R., Duma V. O. (2018) Aspekty staloho rozvytku v budivnytstvi, Stalyy rozvytok – stan ta perspektyvy: materialy mizhnarodnoho naukovoho sympoziumu SDEV'2018, pp. 92–93. [in Ukrainian].
3. Obsyagy suchasnoho vyrobnytstva i spozhyvannya hazobetonu. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <https://pp-budpostach.com.ua/a255738-obsyagi-suchasnoho-virobnitstva.html>. [in Ukrainian].
4. Tomilin K. V., Storchay N. S. (2006) Yacheisty beton – perspektyvy razvitiya, Beton i zhelezobeton v Ukraine, No. 3, P. 2–3. [in Russian].
5. Chervyakov Yu. M. (2008) Nizdryuvatiy beton – yefektivniy stinovy material, Stroitel'nyye materialy i izdeliya. – No. 6. – S. 35–37. [in Ukrainian].
6. E. Namsone, G. Šahmenko, A. Korjamins (2017) Durability Properties of High Performance Foamed Concrete, Procedia Engineering, No. 172, P. 760–767.
7. Elektronnyy resurs. – Rezhym dostupu: <https://gazobeton.org>. [in Ukrainian].
8. Zh. A. Abdyraymov, S. Zh. Melibayev (2013) Uluchsheniye svoystv gazobetonnykh smesey i neavtoklavnoho gazobetonu vedeniyem razlichnykh dobavok, Vestnik KGUSTA, No. 3, P. 119–123. [in Russian].
9. V. A. Lotov, N. A. Mitina (2009) Vliyaniniye dobavok na fazovyy sostav gazobetonnoy smesi v protsesse yeye tverdeniya, Materialy nauchno–prakt. konferentsii “Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya na rubezhe tysyachilet’”, T. 1, P. 98–100. [in Russian].
10. Pozniak O. R., Melnyk V. M., Zavadskiy Í. O., Melnyk A. Ya. (2017) Vyrobnytstvo, vlastivost’ i zastosuvannia gazobetonu neavtoklavnoho tverdnennia, Visnyk Natsionalnogo universitetu “Lvivska politehnika”. “Teoriya i praktika budivnytstva”, No. 877, P. 160–166. [in Ukrainian].
11. R. F. Runova, V. Í. Gots, O. G. Gelevera, O. P. Konstantinovskiy, Yu. L. Nosovskiy, V. V. Pípa (2017) Osnovy vyrobnytstva stinovykh ta ozdobyvalnykh materialiv, 528 s. [in Ukrainian].
12. Poznyak O., Sanytsky M., Zavadsky I., Braichenko S., Melnyk A. (2018) Research into structure formation and properties of the fiber-reinforced aerated concrete obtained by the non-autoclaved hardening // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, No. 3/6 (93), P. 39–46.
13. Ya. B. Yakymchko, M. A. Sanytskyy (2012) Vapnyano-hipsovi vyazhuchi z pokrashchenymy ekspluatatsiynymy kharakterystykamy, Budivelni materialy ta vyroby, No. 5 (76), P. 4–8. [in Ukrainian].
14. V. M. Selyvanov, A. D. Shyltsyna, A. Y. Hnyrya (2000) Sukhye hazobetonnye smesy na osnove vtorychnoho syr'ya y otkhodov promyshlennosty, Stroytelnye materialy, No. 9, P. 10–11. [in Russian].
15. Amran Y. H. M., Farzadnia N., Abang Ali A. A. (2015) Properties and applications of foamed concrete; a review, Construction and Building Materials, Vol. 101, Part 1, P. 990–1005.
16. Martynov V. and oth. (2015) Influence of the Structure of a Material Solid Phase on the Properties of Cellular Concrete, National Journal of Composite Materials, No. 4. Vol. 5, P. 79–80.
17. Yakymchko Ya. B. (2006) Nekotorye osobennosty yspolzovannya nehashenoy yzvesty v yacheistykh betonakh, Stroytelnye materyaly, No. 6, P. 26–27. [in Russian].
18. Yakymchko Ya. B., Voloshynets V. A. (2012) Kinetychni parametry hidratatsiyi CaO v rozchynakh elektrolitiv, Tekhnolohiyi ta dizayn: elektronne fakhove vydannya, No. 1 (2), 11 p. – Rezhym dostupu do zhurn.: http://www.nbuy.gov.ua/e-journals/td/2012_1/2012-1.html. [in Ukrainian].
19. Pozniak O. Melnyk A. (2014) Non-autoclave aerated concrete from modified binders composition containing supplementary cementitious materials, Budownictwo I architektura. Politechnika Lubelska, Vol. 13(2), P.127–134.
20. Troyan V. V. (2010) Dobavky dlya betoniv i budivelnykh rozchyniv, 2010, 228 p. [in Ukrainian].
21. Dvorkin L. Y., Lushnikova N. V., Runova R. F., Troyan V. V. (2007) Metakaolin v budivelnykh rozchynakh i betonakh, 2007, 216 p.
22. Zulkarnain F., Ramli M. (2011) Durability of Performance Foamed Concrete Mix Design with Silica Fume for Housing Development, Journal of Material Sciences and Engineering, P. 518–527.
23. Ganina Ye. A., Zakrevskaya L. V. (2015) Kompozitsionnoye gipsovoye vyazhushcheye s primeneniyem nanostrukturi-rovannogo kremnezemistogo komponenta (2015) Aktualnyye problemy arkhitektury, stroitelstva i dizayna: Materialy Yezhegodnoy mezhdunarodnoy studencheskoy nauchnoy konferentsii instituta stroitel'stva, arkhitektury i iskusstva, P. 121–124. [in Russian].
24. Serdyuk V. R., Mishchenko O. O. (2011) Mineralni ta khimichni dobavki v tekhnologii gazobetoniv, Stroitelnyye materialy, izdeliya i sanitarnaya tekhnika, No. 39, P. 141–146. [in Ukrainian].