

**АЛЮМІНІЄВІ ГАЗОУТВОРЮВАЧІ
В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВАНІЗДРЮВАТОГО БЕТОНА**

Сердюк В. Р., Рудченко Д. Г.

В даній статті наведені дослідження сучасного стану використання газоутворювачів для виробництва газобетонів. Розглянуті сучасні наукові концепції вдосконалення алюмінієвих газоутворювачів, показана перспектива переходу від пігментної алюмінієвої пудри до алюмінієвих порошків монодисперсного складу. Показаний вплив інших технологічних властивостей суміші на формування оптимальної макроструктури ніздрюватого бетону. Відмічена перспективність використання спеціалізованих алюмінієвих паст.

Ключові слова: алюмінієва пудра, порошки монодисперсного складу, ринок спеціалізованих газоутворювачів

**АЛЮМИНИЕВЫЕ ГАЗООБРАЗОВАТЕЛИ
В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА**

Сердюк В. Р., Рудченко Д. Г.

В данной статье приведены исследования современного состояния использования газообразователей для производства газобетона. Рассмотрены современные научные концепции совершенствования алюминиевых газообразователей, показана перспектива перехода от пигментной алюминиевой пудры к алюминиевым порошкам монодисперсного состава. Показано влияние других технологических свойств смеси на формирование оптимальной макроструктуры ячеистого бетона. Отмечена перспективность использования специализированных алюминиевых паст.

Ключевые слова: алюминиевая пудра, порошки монодисперсного состава, рынок специализированных газообразователей.

**ALUMINIUM PRODUCTION TECHNOLOGIES BLOWING AGENT
IN CELLULAR CONCRETE**

Serdyuk V., Rudchenko D.

In this article the current state of research using blowing agent for the production of aerated concrete. The modern scientific concept of improving aluminum blowing agent, shows the transition from prospect aluminum powder pigment to aluminum powders monodisperse composition. The influence of other technological properties of the mixture on the formation of the optimal macrostructure cellular concrete. The noted perspectives of specialized aluminum pastes.

Key words: aluminum powder, powders monodisperse composition, blowing agent market specialist.

Вступ. Сучасний будівельний ринок потребує збільшення виробництва енергоефективних будівельних матеріалів. Переважний розвиток отримують такі технології, які забезпечують зменшення вартості, матеріаломісткості, трудомісткості виробництва сучасних ефективних будівельних матеріалів. До таких матеріалів слід віднести поризовані ефективні будівельні матеріали автоклавного і неавтоклавного тверднення. Їх виробники намагаються отримати стіновий матеріал з високим коефіцієнтом конструктивної якості та можливістю мінімізації затрат на його виробництво.

У зв'язку з підвищенням показників термічного опору огорожуючих конструкцій альтернативою багатошаровим стіновим конструкціям є стіни, які виготовлені з деревини або ніздрюватого газобетону автоклавного або неавтоклавного тверднення. Суттєве зростання вартості енергетичної складової у виробництві автоклавного газобетону та транспортних витрат приводить до суттєвого зростання його вартості для споживача. Саме тому, виникає економічна доцільність зростання обсягів виробництва і неавтоклавних газобетонів з використанням місцевої сировини у

тому числі подрібнених будівельних відходів.

Україна суттєво відстає за показниками відносних обсягів виробництва газобетону від сусідніх країн. На 1 тис. жителів в Україні виробляється 48,7 м³ виробів з ніздрюватого бетону в рік, в Росії - 69 м³, в країнах Західної Європи - 180-220 м³, Казахстані – 45 м³, в Білорусії - 320-340 м³ [1-2].

Наряду з традиційними доступними сировинними матеріалами (цемент, пісок, зола-винос, вода) для неавтоклавних бетонів крім традиційного кварцового піску можуть бути використані дисперсні мінеральні подрібнені матеріали природного та штучного походження (хвости, шлами), які виконують функцію мінерального наповнювача і на відміну від автоклавних бетонів, практично не приймають участі в синтезі гідросилікатів кальцію, який відбувається при автоклавній обробці. Також подрібнені залишки цегли, цементного розчину, бетону (будівельні відходи), за умови їх поризації можуть бути використані при виробництві газобетону оскільки вони зберігають певний невикористаний клінкерний запас.

При виробництві ніздрюватих бетонів надзвичайно важливою і обов'язковою складовою являється наявність газотворючої добавки, функцію якої виконує алюмінієва пудра, наявність якої забезпечує наближення густини водноцементно-мінеральної композиції до густини 150-1200 кг/м³. Європейський досвід виробництва і застосування газобетону свідчить про те, що попит на газобетон зниженої щільності буде і надалі неухильно зростати, при цьому має розширюватись сировинна база його виробництва.

Мета дослідження. Дослідити сучасний стан і тенденції підвищення якості газотворючої добавки в технології виробництва газобетону.

Результати дослідження. Ще з 30-х років минулого сторіччя в колишньому СРСР пудра алюмінієва пігментна ПАП-1 і ПАП-2, виготовлена відповідно до ГОСТ 5494 [3] використовуються при виробництві газобетону [4].

Як відомо, алюмінієві порошки застосовуються при виробництві ракетного палива, вибухових речовин, піротехнічної продукції, в хімії, металургії, нафтохімії, лакофарбові, будівельні промисловості та ін. [5].

Вміст активного алюмінію визначається газоволюметричним методом [6], який базується на вимірюванні кількості водню, що виділяється при розчиненні навіски порошку в розчині лугу. За кількістю виділеного водню розраховується вміст активного алюмінію за наведеною формулою (1):

$$Al = V (p - p^1) \cdot 0,0288 / (273 + t) q \quad (1)$$

Де: V - об'єм утвореного водню, мл;

p - барометричний тиск, мм рт. ст. ;

p¹ - тиск водяної пари, мм рт. ст. ;

t - температура охолоджуючої води, °С;

q - навіска, г;

0,0288 - коефіцієнт перерахунку.

Алюмінієва пудра при зберіганні у великому обсязі може самозайматися. Для запобігання цьому при виготовленні її покривають парафіною або стеариною плівкою, внаслідок чого її частинки не окисляються, плавають на поверхні води і цементного розчину. Плівка перешкоджає протіканню реакції газотворення з виділенням водню в газобетонну суміш.

Для підвищення реакційної здатності і кращого змішування алюмінієвої пудри з водою раніше рекомендувалось її попередньо прожарювати протягом 2-3 годин при температурі, що не перевищує 190-200 °С в сушильній шафі. На сьогодні її, як правило, обезжирюють у водному розчині ПАВ, що є безпечнішим і менш затратним способом. Витрати алюмінієвої пудри на 1 м³ газобетону залежать від заданої його густини і становлять від 300 до 600 г. У 1994 році в РФ були розроблені, так звані, гідрофільні пудри ПАГ-1, ПАГ-2 і ПАГ-3. До промислового виробництва була доведена тільки ПАГ-1, але в 2008 році вона була знята з виробництва.

Оскільки цільове застосування пігментної алюмінієвої пудри – це добавка-пігмент для виготовлення фарбувальних розчинів у 1995 році зазначений вище стандарт спробували адаптувати під вимоги виробництва газобетону. Контроль якості пудри, за вимогами ГОСТ 5494 все ще ведеться за показниками «пігменту», а її характеристики, які суттєво впливають на процес формування газобетонного масиву, так і залишаються не визначеними. На думку [7] практично і по сьогодні виробники газобетону країн СНД, які використовують газотворювачі (ПАП-1 і ПАП-2), вироблені в РФ, працюють з відносно не стабільними продуктами (табл. 1).

Таблиця 1 – Фізико-хімічні характеристики пігментних алюмінієвих пудр, обов’язкових до контролю.

| Назва показника | Марка | | |
|--|-----------------|---------|------|
| | ПАП - 1 | ПАП - 2 | |
| Покрівельна спроможність на воді, см ² /г, не менше | 7000 | 10000 | |
| Гранулометричний склад | | | |
| Залишок на ситах, %, не більше (номера сіток по ГОСТ 6613) | +008 | 1,0 | - |
| | +0056 | - | 0,3 |
| | +0045 | - | 0,5 |
| Хімічний склад, %: | | | |
| Алюміній активний, не менше | - | - | |
| Домішки, не більше | Заліза | 0,5 | 0,5 |
| | Кремнію | 0,4 | 0,4 |
| | Міді | 0,05 | 0,05 |
| | Марганцю | 0,01 | 0,01 |
| | Вологи | 0,2 | 0,2 |
| | Жирових добавок | 3,8 | 3,8 |
| Вспливаємість, %, не менше | 80 | 80 | |

Насипна щільність пудри складає близько 0,15-0,30 г/см. куб., вміст активного алюмінію – 85-93%. Середня товщина частинок-пелюсток становить приблизно 0,25-0,50 мкм, а середній лінійний розмір 20-30 мкм. Насипна щільність пудри, вміст активного алюмінію та середній розмір часток не регламентуються.

Криюча здатність пудри на воді може значно відрізнятися для однієї і тієї ж марки. Виникає ситуація, коли криюча здатність на воді ПАП-1 (7000 – 11000 см²/г) може бути вищою, ніж у ПАП-2. Застосування такої пудри у виробництві газобетону може впливати на макропористість газобетонного масиву, швидкості газовиділення, а в кінцевому підсумку це може впливати на фізико-механічні характеристики газобетону. Нестабільність властивостей пігментної пудри, що випускається промисловістю, а так саме її підвищена пожежо- і вибухо небезпека привела до необхідності розробки нових видів газоутворювачів, що відповідають сучасним вимогам газобетонного виробництва.

У зарубіжній і вітчизняній практиці виробництва газобетону широке поширення отримують пасти з алюмінієвої пудри (газопаст). При цьому, для різних щільностей газобетону використовуються пасти з різною крупністю частинок алюмінію. Кінетика газовиділення, вміст активного алюмінію, середній розмір часток (D50), а також величини D10 і D90, характеризують їх однорідність - параметри, які суттєво впливають на технологічний процес виробництва газобетону.

На ринку країн СНГ присутні і зарубіжні виробники алюмінієвих порошоків. Основними зарубіжними постачальниками алюмінієвих паст для країн СНД є фірми Schlenk, Eckart і Benda-Lutz [8].

В зв’язку з стрімким зростанням обсягів виробництва газобетону на пострадянському просторі в Росії реалізується галузева програма «Нові алюмінієві газоутворювачі» [9] з розробки та впровадження нових видів алюмінієвих газоутворювачів для ніздрюватих бетонів.

Російські виробники алюмінієвої пудри досить інтенсивно займаються впровадженнями нових сучасних технологій виробництва газопаст, оснащують підприємства новітнім лабораторним обладнанням та засобами експрес-контролю якості гранулометричного складу частинок алюмінію. У 2006 році випущено ТУ 1791-001-75754739-2006 «Паста алюминиевая для производства газобетона», зареєстровані торгові марки газоутворювачів «Газобетолукс», «Газобетолайт» і «Газобетопласт». Тоді ж був розпочатий їх промисловий випуск. Станом ще на 2008 рік четверта частина газобетону в РФ газобетону вироблялась з використанням алюмінієвих паст [10-11].

У 2010 році 4-й етап галузевої програми завершився випуском серійного виробництва газоутворювачів під торговою маркою «Газобет⁺ 500» і «Газобет⁺ 400». У 2012 році стартував 5-й етап програми (2012-2015 р.) основним завданням якого є структурування і якісна зміна ринку газоутворювачів. Ставиться задача подальшої розробки і розширення лінійки алюмінієвих

газоутворювачів під маркою «Газобет⁺», забезпечення експлуатаційної стабільності сировинних компонентів і кінцевої продукції. Проводиться модернізація підприємств порошкової металургії, здійснюється заміна млинів помелу алюмінію на німецькі системи Hosokawa Alpine. На сьогодні більше 30% виробників газобетону РФ використовують спеціалізовані газоутворювачі. В табл. 2 приведена характеристика газоутворювачів марок «Газобет⁺ 500» і «Газобет⁺ 400» та ПАП-1 і ПАП - 2.

Таблиця 2 – Характеристика газоутворювачів «Газобето⁺»

| Марка | Кінетика газовиділення, см ³ , не менше хв. (довідково) | | | Ступінь подрібнення (залишок на ситі,% не більше) | | | Змочуваність | Ступінь пиління, % | Активність Al, % не менше |
|---------------------------------------|--|----|----|---|------|------|---------------|--------------------|---------------------------|
| | 2 | 8 | 16 | 008 | 0056 | 0045 | | | |
| Газобет ⁺ 500 [®] | 19 | 62 | 70 | 1,0 | | 8,0 | змочується | 1,6 | 91 |
| Газобет ⁺ 400 [®] | 27 | 62 | 66 | | 0,3 | 0,5 | змочується | 2,1 | 90 |
| ПАП I | - | - | - | 1,0 | | 15,0 | не змочується | 3,5 | - |
| ПАП II | - | - | - | | 0,3 | 0,5 | не змочується | 5,9 | - |

До переваг газоутворювача марки «Газобет⁺» слід віднести те, що частинки алюмінію після обробки спеціальними органічними добавками утворюють конгломерати, які мають незначну міцність і легко руйнуються при взаємодії з водою і представляють собою тонкоподрібнений алюмінієвий порошок сріблясто-сірого кольору зі зниженим виділенням пилу при пересипанні.

Нове обладнання дозволяє покращити якість продукції. З його допомогою стало можливим отримувати нові пудри монодисперсного складу - так звані «вузькі» пудри з гранулометричним складом від 10 до 70 мкм. Вузький діапазон гранулометричного складу і якість помелу - це основні характеристики, які суттєво впливають на кінетику газовиділення. Повне закінчення газовиділення нових продуктів відбувається через 10-12 хвилин, що значно раніше ніж у пудри, які виготовлені за старою технологією. Цей показник є визначальним для багатьох виробників пористого бетону[12].

На рис. 1 приведена структура сучасного ринку алюмінієвих газоутворювачів станом на 2014 рік [13] Періодично на ринку з'являються газоутворювачі китайського і румунського виробництва, але їх присутність не перевищує 0,1%.

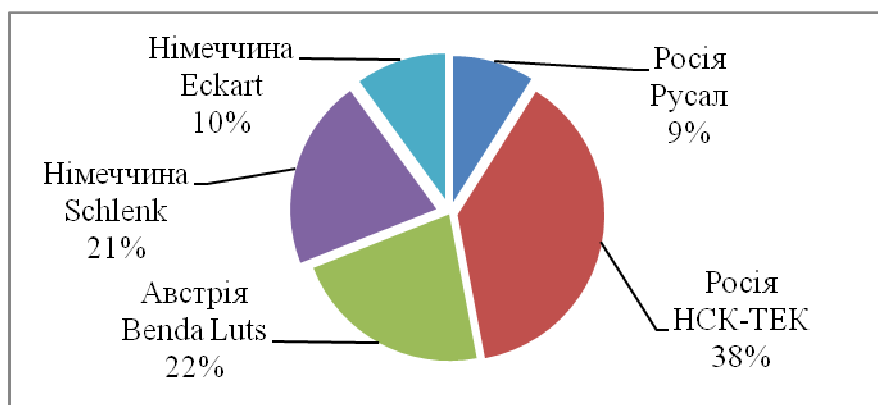


Рис. 1. Структура ринку алюмінієвих газоутворювачів РФ станом на 2014 рік

При зменшенні густини газобетону зростають вимоги до якості та стабільності газоутворюючої добавки. При D300 і нижче потрібно досягти ідеальної відповідності у часі закінчення фази газовиділення і початку процесу пластичного твердіння.

На підприємствах ТОВ«Аерок» в Україні при виробництві ніздрюватого бетону густиною 150 кг/м³ використовується імпортна алюмінієва паста RO 550 FS фірми «ЕккартГмбх», (Вельден, Німеччина) з вмістом активного алюмінію в твердому залишку - 92% і наявності твердої речовини

- 70%. Газоутворювач характеризується такими показниками: проходження через сито 71 мкм \geq 99%, проходження через сито 45 мкм – 96–99%[14].

В Україні, Білорусії, Казахстані відсутні виробничі потужності виробництва алюмінієвої пудри, український ДСТУ Б В.2.7-45:2010 «Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови» передбачає використання в якості газоутворювача пудру алюмінієву російського виробництва згідно з ГОСТ 5494, або пасти на її основі. В Білорусії підприємства в переважній більшості використовують ПАП - 1 і ПАП - 2.

На формування макропористості ніздрюватого бетону крім алюмінієвої пудри впливає температура суміші, яка приблизно становить 40-45 °С, при цьому важливу функцію відіграє добавка СаО. Добавки вапна в суміш змішаного в'язучого в технології виробництва автоклавних газобетонів сприяє створенню необхідної концентрації гідроксильних іонів в розчинній суміші. В результаті його гасіння та гідролізу новоутворена Са(ОН)₂сприяє інтенсифікації проходження реакції газоутворення і отриманню необхідної середньої щільності газобетону. При гідратації вапна виділяється теплова енергія, що забезпечує внутрішній розігрів масиву. При цьому утворення високодисперсної маси під час гасіння вапна дозволяє стабілізувати пористу структуру матеріалу і покращити її якість в результаті формування рівномірних пор.

При наявності в складі газоутворювача полідисперсного алюмінієвого порошку через наявність часток алюмінію різних розмірів цілком вірогідно, що при низькій в'язкості суміші до початку тужавіння можливий «переток» водню в більш великі макропори, які мають деформовану сферичну форму (рис. 2.).Наслідком такої макропористості газобетону є зменшення показника коефіцієнта конструктивної якості.

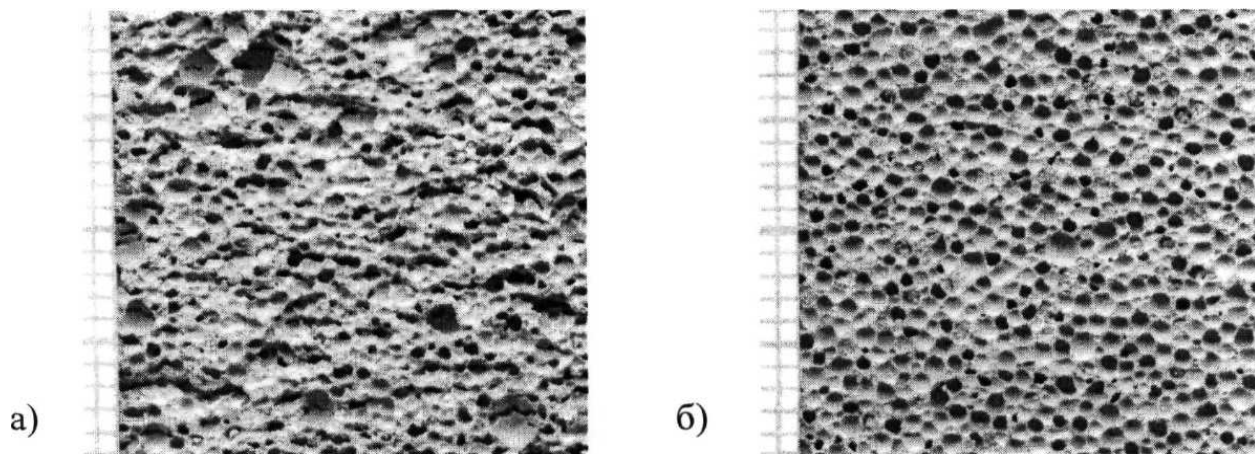
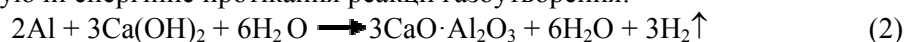


Рис. 2. Макроструктуразразків газобетону при однаковому складі в'язучого:
а) портландцемент; б) комбіноване в'язуче (портландцемент + вапно).

Навіть за умови наявності якісної газоутворюючої добавки, якщо тужавіння суміші випереджає газовиділення відбуваються «вихлопи» водню. І навпаки, якщо суміш не тужавіє і має низьку в'язкість, відбувається «кипіння» масиву – бульбашки водню пронизують масив і виділяються в атмосферу, суміш - не до спучується. Кінцевий продукт (газобетонні вироби) характеризуються нерівномірною показників густини і міцності на стиск по висоті виробу.

Введення вапна, як добавки, до цементу скорочує витрати цементу і одночасно збільшує лужність розчину, забезпечуючи енергійне протікання реакції газоутворення:



З реакції випливає, що при взаємодії 54 г алюмінію з вапном виділяється 6 г водню. Одна грам-молекула газу займає при нормальних умовах обсяг 22,4 літра, отже, 1 гр. алюмінію при нормальних умовах виділяє 1,244 літра водню. При використанні в якості в'язучого лише портландцементу джерелом Са(ОН)₂ є аліт (С₃С), при гідратації якого утворюється С₂С та Са(ОН)₂.

При виробництві автоклавного газобетону і використанні вапна особливу увагу приділяють кількості активних оксидів кальцію (СаО) і магнію (MgO). Загальна активність вапна не повинна бути менше 75%, кількість MgO - не більше 1,5%. Кремнеземистий компонент при автоклавній обробці газобетону являється компонентом в'язучого [15], а для неавтоклавного газобетону -

виконує функцію заповнювача. Проведені нами дослідження показали можливість використання при виробництві неавтоклавного газобетону домеленого відсіву гранітних кар'єрів, цегляного бою, бетонних відходів, використаних цементних розчинів замість кварцового піску, який не скрізь присутній.

Тоді, як мінеральне в'язуче, вид кремнеземистого компонента, водоцементне відношення, гідротермальна обробка, головним чином, формують фазовий склад новоутворень і забезпечують міцність самої міжпорової перегородки газобетону, то газоутворювач має забезпечувати створення макропор правильної форми.

Порівняння обсягів виробництва газобетону свідчить, щов колишньому СРСР, в 1990 році вироблялось 6,6 млн. м³, а в 2014 році Росія виробила 12,5 млн. м³, Білорусія – 3,4 млн. м³, Україна – біля 3 млн. м³, Казахстан - 1,16 млн. м³. Обсяги виробництва газобетону перевищили 21 млн. м³ і надалі будуть зростати, саме тому виробництво і використання паст «Газобет⁺» та інших газоутворювачів буде зростати надалі. Перехід на виробництво монодисперсних паст забезпечить можливість зростання питомої ваги газобетону з низькою густиною при збереженні міцнісних характеристик газобетону. Наявність на ринку України високоякісних імпортних газоутворювачів має постійно спонукати їх виробників до здорової конкуренції за двома основними показниками «ціна-якість».

Висновки

- З 2007 року на пострадянському просторі сформувався ринок спеціалізованих газоутворювачів під торговою маркою Газобет⁺. Це продукт з нормованим вмістом активного алюмінію і кінетикою газовиділення, він не потребує завчасного введення ПАР для обезжирювання пудри, є пожежо- і вибухобезпечний в застосуванні і відповідає сучасним санітарно гігієнічним нормам умов праці. Його використання дозволяє оптимізувати процес формування і поліпшити якісні показники масиву-сирця.
- Через нормований вміст активного алюмінію і кінетику газовиділення його використання дозволяє збалансувати у часі процес кінця газовиділення з початком росту пластичної міцності, що забезпечує оптимальну макроструктуру газобетонного сирця.
- Структурування ринку газоутворювачів відбувається в умовах ринкової конкуренції на тлі підвищення вимог до якості, безпеки, екологічності та економічності їх використання. На сучасному ринку України є доступними газоутворювачі російських, німецьких і австрійських виробників.
- В найближчі роки на ринку газоутворювачів слід очікувати поширення спеціалізованих газоутворювачів у вигляді паст з монодисперсним алюмінієвим порошком, які будуть витіснити традиційні пігментні алюмінієві пудри.

Список використаних джерел

1. Сажнев Н.П., Ткачик П.П. Ячеистый бетон в Республике Беларусь / Материалы 8-й МНП конференции. Минск-Могилев, 11-13 июня 2014 года. - С. 5-9.
2. Вишнеvский, А.А., Гринфельд, Г.И., Куликова, Н.О. «Анализ рынка автоклавного газобетона России» // «Строительные материалы». - 2013. - №4. - С. 40-44.
3. ГОСТ 5494-95 Пудра алюминиевая. Технические условия. - М.: Изд-во Стандартов. 1997.-16с.
4. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона (СН 277-80). - М.: Стройиздат, 1981.- 44 с.
5. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. – М.: Металлургия, 1972. - 528 с.
6. Гопиенко В.Г. Осипова Л. Состояние и направления развития производства порошков алюминия и магния М: Знание, 1971. - 115 с.
7. Змановский С.В. Производство современных гидрофильных алюминиевых пудр и паст для газобетона. В сб. тр. НПК «Современный автоклавный газобетон»/ С.В. Змановский, П.Н. Никитин // Краснодар, май 2013. - С. 132-139.
8. Шпикер Г. Свойства алюминиевых пигментов и их влияние на производство ячеистых бетонов. В сб. тр. НПК «Современное производство автоклавного газобетона» // Санкт-Петербург, ноябрь 2011. -С.10-21.
9. Прохоров С.Б. Перспективы использования алюминиевых порошков в стройиндустрии // Доклад на МПК «Перспективы производства и применения продукции глубокой переработки алюминия», Каменск-Уральский, октябрь 2005.

10. Прохоров С.Б. Опыт и особенности применения алюминиевых паст марок «Газобетолукс», «Газобетолит» и «Газобетопласт» /С.Б. Прохоров, М.А. Короткий// Сборник научных трудов «Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве». Вып. 3. Днепропетровск, ПГАСА, 2007. – С. 132-138.
11. Прохоров С.Б. Специализированные алюминиевые газообразователи. Результаты внедрения и перспективы развития / С.Б. Прохоров // Строительные материалы. 2008. №6. –С.2-3.
12. Змановский С.В., Игуменьцев А.С. Алюминиевый газообразователь. Процесс непрерывного улучшения. 8-я Международная НПК Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения Минск, Могилев, 11-13.06.2014 г.
13. Прохоров С.Б. Анализ рынка алюминиевых газообразователей в России/ Строительные материалы . №5. 2014. - С. 1-3.
14. Рудченко Д.Г. Ячеистый бетон автоклавного твердения АЕРОС плотностью 150 кг/м³. Особенности производства и применения Материалы 8-й МНПК Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения. Минск, Могилев, 11-13.06.2014. - С. 31-39.
15. Сердюк В.Р. Функциональные свойства кремнеземистого компонента в ячеистых бетонах.// Строительные материалы и изделия. 2011. №1. - С. 10-13.

Сердюк Василь Романович – д.т.н., професор, завідувач кафедри менеджменту будівництва та цивільної оборони Вінницького національного технічного університету.

Рудченко Дмитро Геннадійович – к.т.н., генеральний директор ТОВ «Аерок».

Сердюк Василий Романович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой менеджмента строительства и гражданской обороны Винницкого национального технического университета.

Рудченко Дмитрий Геннадиевич – к.т.н., генеральный директор ООО «Аэрок».

Vasil Serdyuk – Professor, head of construction management and civil defense Vinnytsia National Technical University.

Rudchenko Dmitry – Ph.D., General Director of "Aerok."