

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНУ

В. Р. Сердюк, Б. І. Августович, О. С. Сідлак

В даній статті наведені результати дослідження стану виробництва автоклавного газобетону в Україні та сусідніх країнах. Відображені нормативні вимоги щодо термічного опору огороджуючих конструкцій. Розглянуті особливості експлуатаційних властивостей газобетону в залежності від вологості бетону. Наведений аналіз впливу вологості газобетонної стіни та карбонізації на її експлуатаційні властивості.

Ключові слова: виробництво газобетону, особливості технології використання, водопоглинання та карбонізація.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

В. Р. Сердюк, Б. И. Августович, А. С. Сидлак

В данной статье приведены результаты исследования состояния производства автоклавного газобетона в Украине и соседних странах. Отражены нормативные требования по термического сопротивления ограждающих конструкций. Рассмотрены особенности эксплуатационных свойств газобетона в зависимости от влажности бетона. Приведенный анализ влияния влажности газобетонной стены и карбонизации на ее эксплуатационные свойства.

Ключевые слова: производство газобетона, особенности технологии использования, водопоглощение и карбонизация.

FEATURES THE PERFORMANCE PROPERTIES OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE

V. Serdyuk, B. Avgustovich, A. Sidlak

This article presents the results of investigation of autoclaved aerated concrete production in Ukraine and neighboring countries. Shown regulatory requirements for thermal resistance walling. Features of performance properties of aerated concrete, depending on the humidity of concrete. The above analysis influence humidity of gas-concrete walls and carbonization its operational properties.

Keywords: production of aerated concrete, using technology features, water absorption and carbonization.

Вступ

Газобетонні вироби - найбільш затребуваний матеріал для улаштування огорожувальних конструкцій житлових і громадських будівель в Україні. За даними Всеукраїнської асоціації виробників автоклавного газобетону з 2000 року обсяги виробництва газобетону зросли в 15 раз, стінові блоки, як і раніше, домінують в загальному обсязі виробництва газобетону. Якщо в 2000 році в Україні вироблялось біля 0,2 млн. м³, в 2008 році 0,8 млн. м³, то в 2014 році одинадцять діючих в Україні заводів виробили і продали близько 3 млн. м³ газобетону, що на 18% більше, ніж в 2013 році.

У порівнянні з керамічною, силікатною цеглою і цементними блоками ринок автоклавного газобетону в 2014 році склав близько 46%. Відповідно до даних офіційної статистики, газобетон в Білорусії, а в 2013 році і в Росії став основним стінових матеріалом, обсяги виробництва якого перевищили обсяги виробництва і використання традиційних керамічних стінових матеріалів.

Лідером в СНД, так і в Європі, за показниками відносних обсягів виробництва газобетону на 1 тис. чол. стала Білорусія. Там на 1 тис. чол. щорічно виробляється 320 м³ виробів з газобетону, в Росії - 79 м³, в Україні - 53 м³, Казахстані - 45 м³, в країнах Західної Європи - 180-220 м³ [1].

Мета роботи. Оцінити стан виробництва газобетону та особливості його експлуатаційних властивостей.

Результати досліджень. Важливу роль широкого поширення газобетонних виробів та

стрімкого зростання обсягів їх виробництва на пострадянському просторі приходиться на постійне вдосконалення нормативно-технічної бази, яка передбачає поступове зростання вимог до показників термічного опору огорожувальних конструкцій та низька енергоємність виробництва самого газобетону.

В 2013 році були внесені зміни №1 до ДБН В.2.6-31:2006 «Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель», які передбачають перехід від 4 до 2 кліматичних зон та суттєве зростання вимог до опору теплопередачі огорожувальних конструкцій житлових та громадський будинків (табл.1).

Таблиця 1 – Мінімум допустиме значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій житлових та громадський будинків.

№ пп	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{min}, M^2 \cdot K / Bt$, для температурної зони	
		I	II
1	Зовнішні стіни	3,3	2,8
2	Суміщені покриття	5,35	4,9
3	Горищні покриття та перекриття неопалювальних горищ	4,95	4,5
4	Перекриття над проїздами та неопалювальними підвалами	3,75	3,3
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,75	0,6
6	Вхідні двері в багатоквартирні житлові та громадські будинки	0,44	0,39
7	Вхідні двері в малоповерхові будинки та в квартири, що розташовані на перших поверхках багатоквартирних будинків	0,6	0,54

На сьогодні єдиним стіновим матеріалом, з якого можуть бути виготовлені одношарові конструкції стін являється газобетон. [2].

При цьому 85% споживання газобетону приходиться на малоповерхове будівництво і тільки 15% – на висотне. Оскільки, в економічно розвинених країнах, 75% населення проживає в малоповерхових будинках, то це означає, що Україна рухається в правильному напрямку при вирішенні житлової проблеми і збільшує нішу індивідуальних будинків в житловому фонді. Обсяги використання газобетону і його популярність в будівництві зростають, при цьому посилюється спрямованість продукції на ринку в сторону зниження густини газобетонних виробів з метою підвищення їх теплоефективності і зменшення матеріаломісткості.

Для будівництва малоповерхових будівель конструкції з ніздрюватого бетону є найбільш зручними і оптимальними з точки зору економічності, особливо коли для будівництва будинку застосовують газобетонні вироби в комплексі (стінові вироби, панелі перекриття і покриття, перегородкові матеріали, U-подібні (лоткові) блоки, тобто, майже весь комплекс виробів для надземної частини будівлі, включаючи великорозмірні збірні елементи покрівлі, які на будівельному ринку розвинених європейських країн широко поширені, в Україні - поки що відсутні.

Тенденції наукових досліджень газобетону. Зрозуміло, що стосується фізичних обсягів виробництва газобетону, то вони стрімко зростають. На сьогодні в Україні обсяги виробництва наблизились до 3млн. м³, Білорусія виробляє 3,4 млн. м³, в Росії працює 70 заводів по виробництву автоклавного газобетону встановленою потужністю 15,5 млн. м³/рік, Казахстан виробляє більше 1 млн. м³. Тоді як в 1990 році країни СНГ, без прибалтійських республік, виробляли всього 6,6 млн. м³ газобетону.

Наукові дослідження спрямовані, головним чином, на зростання коефіцієнта конструктивної якості (ККЯ) газобетону. Досить важливою складовою досліджень технології виробництва газобетонів являється використання побічних продуктів промисловості, зокрема золи-винос в якості кремнеземистого компоненту, хімічних добавок для інтенсифікації росту пластичної міцності «сирця» при доавтоклавній витримці, оптимізації режимів гідротермальної обробки, повторного використання «горбушки» та інше.

Основний обсяг газобетону (90%) представлений марками D500, D600. В останні роки у

великій кількості вводились в експлуатацію нові заводи, модернізувались існуючі технологічні лінії виробництва, що привело до підвищення якості продукції. На підприємствах з імпортними лініями розпочато випуск більш легких газобетонних виробів при максимально можливому збереженні їх міцності. Хоча частка теплоефективного газобетону марки D400 на пострадянському просторі є відносно не великою від загального випуску, але в Україні основні виробники газобетону, пропонують на ринку своїм клієнтам продукцію з густиною 300 і 400 кг/м³.

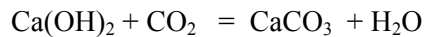
Для зниження вартості будівництва і впровадження енергозберігаючих стінових матеріалів продовжуються науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи по зниженню щільності конструкційно-теплоізоляційного бетону до 300-350 кг/м³ з забезпеченням міцності В1,0-2,0 і теплоізоляційного до густини 100-150 кг/м³ і міцністю В0,3-0,5.

Визначальними факторами, що впливають на експлуатаційні можливості і довговічність газобетону є підвищена вологість і карбонізація. Підвищення вологості газобетону приводить до зменшення його термічного опору.

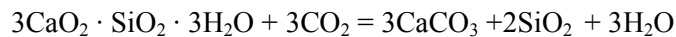
Карбонізація газобетону. Концентрація вуглекислого газу в повітрі на декілька порядків вище ніж інших кислих газів. Його концентрація в повітрі становить 0,037%, або 600 мг/м³, зрозуміло, що в приміщенні житлового будинку або виробничого приміщення його концентрація може зростати в декілька раз. Сам газобетон, як пористий матеріал, може адсорбувати з повітря і поглинати водяні пари, кисень, вуглекислий газ, які негативно можуть впливати на сам бетон та арматуру.

Саме тому при виготовленні армованих стінових виробів з газобетону передбачається нанесення на поверхню арматурних каркасів антикорозійних покриттів[3].

Вуглекислий газ вступає в реакцію з Ca(OH)₂ і продуктами гідратації мінерального в'язучого, або продуктами гідротермального синтезу кварцового піску і вапна в умовах автоклавної обробки виробів.



Гідратні новоутворення силікатного каменю також карбонізуються з утворенням карбонату кальцію, глинозему, оксидів заліза, гідратованого кремнезему.



Саме завдяки підвищеному значенні рН середовища в бетоні відбувається пасивація корозії арматури цементних матеріалах. Оскільки дифузія CO₂ у повітрі відбувається приблизно в 10⁴ разів швидше, ніж у воді – вологість самого бетону має вирішальне значення для швидкості карбонізації газобетону. При цьому важливим фактором залишається вологість повітря.

Карбонізація найбільш інтенсивно відбувається при вологості від 50 до 70% і значно повільніше, якщо вологість більше 75 або менше 45% [4.] Саме тому, карбонізація не може розвиватися далі границі висихання бетону, що залежить від умов середовища - експлуатаційної вологості стінової конструкції [5]

Карбонізація низькоосновних гідросилікатів кальцію, які містяться в автоклавному газобетоні, проходить з перекристалізацією в карбонати кальцію при виділенні кремнекислоти і втратою міцності кристалічної фази.

За даними досліджень проведених Е.С. Силаєнковим [6], ще в 80 роки минулого століття спостерігається значне зниження міцності газобетону, як автоклавного, так і неавтоклавного тверднення при експлуатації в звичайних атмосферних умовах. Як причина зниження міцності при цьому було встановлено вплив атмосферного вуглекислого газу на структуроутворюючі фази пористих бетонів. На момент проведення контрольних випробувань, після 15-20 років експлуатації, фактична міцність відібраних зразків була менше необхідної в 1,5 - 2 рази. На основі отриманих результатів ним була визначена статистична ймовірність зменшення міцності ніздрюватого бетону при карбонізації: для пінобетону - 0,95-0,999; для газобетону - 0,8-0,999 (в залежності від щільності).

Більш детальні дослідження впливу вуглекислого газу на фазові новоутворення, саме гідросилікатів кальцію приведені [7] показали про зміну молекулярної маси кристалічних фаз та зміни коефіцієнту об'єму кристалічної фази в процесі карбонізації саме тоберморіту, адже низькоосновні гідросилікати кальцію мають найбільшу міцність (табл. 2).

Як видно з таблиці 2, карбонізація газобетону приводить до «розшатування» його

мікроструктури і часткової зміни фазового складу газобетону, проте ці процеси являються досить тривалими у часі і практично не несуть небезпеки. При цьому слід зазначити, що автори зосередили увагу лише на карбонізації гідросилікатів кальцію, але в складі новоутворень автоклавного газобетону присутні і продукти гідратації C_3A і C_4AF .

З багато чисельних робіт науковців відомо, що основним носієм міцності в автоклавному силікатному бетоні є низькоосновні гідросилікати кальцію, зокрема тоберморит, але найбільша морозостійкість характерна для такого гідросилікату, як ксонотліт, тому у фазовому складі новоутворень мають бути присутні перший і другий вид новоутворень, які доповнюють один одного та забезпечують довговічність матеріалу.

Таблиця 2 – Зміни об'єму гідросилікатної фази газобетону при його карбонізації

Реакція карбонізації	Кристалічні фази до карбонізації		Кристалічні продукти після карбонізації		Коефіцієнт зміни об'єму кристалічної фази
	Молекулярна маса, m_x	Густина, g/cm^3	Молекулярна маса, m_y	Густина, g/cm^3	
$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$	74,09	2,23	100,09	2,72	1,11
2.1 (гіллебрандит) \rightarrow (ксонотліт) (гіллебрандит) $6C_2SH_{1,17} + 6CO_2 \rightarrow C_6S_6H + 6CaCO_3 + 6H_2O$	1159,8	2,64	714,96 600,54	2,69 2,71	1,11
2.2 (ксонотліт) $C_6S_6H + 6CaCO_3 + H_2O + 6CO_2 \rightarrow$ $\rightarrow 12CaCO_3 + 6SiO_2 + 7H_2O$	-	-	120,1	2,71	1,01
3.1 (фошагіт) \rightarrow (ксонотліт) $2C_5S_3H_3 + 4CO_2 \rightarrow C_6S_6H + 4CaCO_3 + 5H_2O$	1029,28	2,67	714,96	2,69	1,0734
3.2 (ксонотліт) $C_6S_6H + 4CaCO_3 + 5H_2O + 6CO_2$	-	-	400,36 1000,1	2,71 2,71	0,957
4.1 (афвілліт) \rightarrow (ксонотліт) $3C_3S_2H_3 + 3CO_2 \rightarrow C_6S_6H + 3CaCO_3 + 8H_2O$	1027,14	2,67	714,96 300,27	2,69 2,71	0,994
4.2 (ксонотліт) $C_6S_6H + 3CaCO_3 + 8H_2O + 6CO_2 \rightarrow$ $\rightarrow 9CaCO_3 + 6SiO_2 + 9H_2O$	-	-	600,54	2,71	0,877
5 (ксонотліт) $C_6S_6H + 6CO_2 \rightarrow 6CaCO_3 + 6SiO_2 + H_2O$	714,96	2,69	600,54	2,71	0,834
6 (ріверсайдіт) $C_6S_6H_3 + 5CO_2 \rightarrow 5CaCO_3 + 6SiO_2 + 3H_2O$	694,98	2,6	500,45	2,71	0,834
7 (тоберморит) $C_6S_5H_{5,5} + 5CO_2 \rightarrow$ $\rightarrow 5CaCO_3 + 6SiO_2 + 5,5H_2O$	739,8	2,43	500,45	2,71	0,601
8 (гідроліт) $C_2S_3H_{2,5} + 2CO_2 \rightarrow 2CaCO_3 + 3SiO_2 + 2,5H_2O$	328,4	2,4	200,18	2,71	0,54

Оштукатурювання стін з автоклавного газобетону з послідуною їх обробкою фарбами або декоративною штукатуркою, або навіть облицювання цеглою, є найбільш поширеним технологічним рішенням при будівництві малоповерхового житла з використанням ніздрюватих бетонів, яке зменшує доступ зовнішніх факторів до газобетону.

Теплофізичні переваги автоклавного газобетону можуть бути частково втрачені або просто загублені при невірному виконанні будівельно-монтажних робіт. Як не парадоксально звучить, але короткий проміжок часу між виготовленням газобетонних виробів і їх використанням на будівництві не завжди є бажаним через те, що вони не завжди встигають втратити вологу, яка накопичується в газобетоні при його гідротермальній обробці. Після автоклавної обробки в залежності від кремнеземистого компонента, щільності матеріалу його вологість становить 25; 30 і 35%.

Будівельники намагаються швидко будувати - «монтаж з коліс», виключає зайві розвантажувальні роботи та складування і з транспортного засобу краном подать газобетоні блоки

безпосередньо на робоче місце, не звертаючи уваги на зазначені технологічні нюанси, пов'язані з високою вологістю матеріалу.

Однією з особливостей виробництва газобетону являється те, що виробники газобетону для зручності погрузки, розгрузки та транспортування укладають газобетонні блоки на дерев'яні піддони і упаковують їх в поліетиленову термоусадочну плівку. Вартість упаковки і піддону включена у вартість продукції, сам піддон не є зворотною тарою. Як правило в упакованому вигляді блоки і зберігаються на складах і будівельному майданчику.

Відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-45 «Блоки з ніздрюватого бетону стінові дрібні» відпускна вологість бетонів за масою не повинна перевищувати, %: 25 – виготовлених із використанням піску; 35 – виготовлених із використанням зол та інших вторинних продуктів промисловості.

При швидких темпах будівництва досить часто вологість стіни тривалий час може бути підвищеною і коливатись в межах 12-14%, а через нанесення паронепроникних зовнішніх і внутрішніх покриттів стіна досить тривалий час залишається вологою.

Стіна з підвищеним вмістом вологи має менший рівень термічного опору, а нанесення на поверхню газобетонної стіни штукатурних сумішей з низьким коефіцієнтом паро проникності може в послідовному привести до появи тріщин і відшарування штукатурних сумішей на фасадах будинків.

Узагальнений графік зміни вологості одношарових зовнішніх стінових газозобетонних панелей густиною 600-700 кг/м³, свідчить, що рівномірна вологість 5% встановлюється лише через 5 років, а в панелях облицьованих паронепроникними покриттями не раніше ніж через 13 років експлуатації і становить 10% [6].

Підвищена вологість газобетону в стіні може привести до появи «площини можливої конденсації водяної пари», руйнації оздоблювального шару та зростання теплопровідності стіни.

Перехід в будівництві від одношарових стін до багатошарових не завжди є виправданим через недовговічність теплоізоляційних матеріалів. Застосування багатошарових стін з традиційних керамічних матеріалів та пінополістиролу обмежується та стримується через недостатню вогнестійкість і шкідливий екологічний вплив, хоча пінополістирол за ціновим фактором являється найбільш доступним теплоізоляційним матеріалом.

Європейський досвід свідчить про ефективність двошарових стін з повітряним прошарком (газобетон повітряний прошарок-цегла). Додаткове утеплення газобетонної стіни листовим пінопластом з послідовним нанесенням зовнішніх повітронепроникних покриттів досить часто приводить до зворотного ефекту, щодо утеплення, оскільки при цьому може суттєво ускладнюватись паро проникність конструкції стіни, яка регламентується для ніздрюватих бетонів (ДСТУ Б В.2.7-45).

Висновки

- Газобетон являється одним з найбільш перспективних стінових матеріалів з якого виготовляються основні конструктивні елементи будівлі (стінові блоки і панелі, панелі перекриття і покриття, стінові панелі).
- Обсяги виробництва автоклавного газобетону з 2000 року зросли в Україні майже в 15 раз і на сьогодні він виходить на перші позиції як основний стіновий матеріал з якого можуть бути виготовлені одношарові стінові конструкції.
- Основним недоліком газобетону, через його високу пористість, являється високе водопоглинання, капілярний підсос в процесі експлуатації та карбонізація.
- Важливою умовою використання газобетону являється використання внутрішніх та зовнішніх покриттів стін, які забезпечують регламентовану нормативними вимогами паро проникність, що виключає можливість консервації вологи в стіні і виключає зростання теплопровідності, можливість прискореної карбонізації.

Використана література

1. Вишневський А. А. Анализ рынка автоклавного газобетона в России / Вишневський А. А., Гринфельд Г. І., Смирнова, А. С. // Строительные материалы 2013. №6. - С. 40-44.
2. Ячеистый бетон как приоритетный энергосберегающий стеновой материал в странах СНГ / Сердюк В. Р., Августович Б. И., Абсеметов В. Э., Марданов А. К. // Сборник «Строительные материалы, изделия и санитарная техника» – 2014. – №52. – С. 54-61.

3. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона (СН 277-80). Госстрой СССР. М. Стройиздат. 1981. 46с.
4. Штарк Й. Долговечность бетона / Штарк Й., Вихт Б. Пер. с нем. – А. Тулаганова. Под ред. П. Кривенко. – Киев.: «Оранта», 2004. – 239 с.
5. Алексеев С. Н. Долговечность бетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев, Ф. М. Иванов, С. Мондры, П. Шиссель. – М.: Стройиздат, 1990. – С. 320.
6. Силаенков Е. С. Долговечность изделий из ячеистых бетонов. – М., Стройиздат, 1986. – 176 с.
7. Бабков В. В. / Бабков В. В., Кузнецов Д. В., Сахибгареев Р. Р., и др. // Проблемы долговечности автоклавного газобетона / Башкирский технологический журнал. – 2006. – Том 13. – №2. – С. 97-99.

Сердюк Василь Романович – д.т.н., профессор, завідувач кафедри інженерних систем в будівництві Вінницького національного технічного університету.

Августович Богдан Іванович – аспірант Вінницького національного технічного університету.

Сідлак Олександр Сергійович – магістр Вінницького національного технічного університету.

Сердюк Василий Романович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой инженерных систем в строительстве Винницкого национального технического университета.

Августович Богдан Иванович – аспирант Винницкого национального технического университета.

Сидлак Александр Сергеевич – магистр Винницкого национального технического университета.

Serdiuk Vasyl – Dr. Sc., Professor, Head of Systems Engineering in construction Vinnitsa national technical university.

Avgustovych Bohdan – Post-Graduate Student Vinnitsa national technical university.

Sidlak Aleksandr – master Vinnitsa national technical university.