

## ОЦІНКА УСАДКИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНУ

**Сердюк В. Р., д.т.н., проф., Ковальський В. П., к.т.н., доц.**  
*Вінницький національний технічний університет*

В сучасному будівництві автоклавний газобетон (АГБ) через відносно високу міцність, високі теплоізоляційні властивості, низьку енергоємність виробництва - практично в 2-3 меншу ніж в традиційних стінових матеріалах (цегли глиняної, силікатної), став основним стіновим матеріалом. За даними Всеукраїнської асоціації виробників автоклавного газобетону його доля в структурі стінових матеріалів України перевищила 50%. З 2000 по 2022 рік обсяги виробництва АГБ зросли в 46 раз, Україна вийшла на 4 місце в Європі за обсягами його виробництва. Стінові матеріали - це переважно марка D300, D400 і D500, а газобетон густиною 100-200 кг/м<sup>3</sup> являється ефективною теплоізоляцією для внутрішнього і зовнішнього утеплення [1].

В Проекті Плану відновлення України (Матеріали робочої групи «Енергетична безпека». Житловий сектор) зазначено, що ~50% будівель будуть термомодернізовані до 2032 року, ~100% до 2050 року.

З 2024 року Україна офіційно заявила про відмову від імпорту природного газу і переходу до впровадження електроопалення в новому будівництві житла. Через війну зруйновано майже 50% електрогенеруючих потужностей тому не існує альтернативи утепленню застарілого житлового фонду, який відволікає до 40% всіх енергоносіїв і провокує до 37% викидів парникових газів.

Велика увага сьогодні приділяється теплоізоляційним стіновим матеріалам. Найбільш вживаними на сьогодні являється енергозатратна на стадії виробництва базальтова вата (до 1200 °С) та пінополістирол, який є горючим матеріалом, тому негорючий АГБ густиною 100-200 кг/м<sup>3</sup> має зайняти свою нішу, оскільки межа його міцності зберігається до підвищення температурного режиму до 700 °С.

За рахунок використання сучасного європейського обладнання якість продукції виробників вітчизняного газобетону можна порівняти з якістю європейських виробників АГБ, відбулось підвищення коефіцієнта конструктивної якості матеріалу [2]. Розширений діапазон АГБ в сторону більш низької його густини та внесені зміни до державного стандарту України (табл.1).

Таблиця 1. Розширення марки теплоізоляційного автоклавного газобетону відповідно до внесених змін до ДСТУ Б В.2.7-45:2010 «Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови».

Марка за середньою густиною	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>
D100	понад 70 до 120 включ.
D150	» 120 » 170 »
D200	» 170 » 220 »
D250	» 220 » 270 »
D 300	» 270 » 320 »
D 350	» 320 » 370 »

Існуюча технологія виробництва АГБ передбачає упаковку його в вологонепроникну плівку. Газобетон виходить з автоклава з вологістю до 40%, тому потребує певного часу для видалення вологи. У Великобританії газобетонні блоки виготовлені з використанням золи-винос (так званий сірий газобетон) використовуються в якості стінових фундаментних блоків. В Україні за рахунок підвищення коефіцієнта конструктивної якості АГБ марки D300 і D350 в залежності від класу міцності, залишаючись теплоізоляційним, одночасно отримав статус конструкційно-теплоізоляційного газобетону.

Сучасні тенденції виробництва АГБ свідчать про постійне зменшення його густини при збереженні або навіть при підвищенні його міцності. При цьому самі передові заводи колишніх пострадянських республік лише наближаються до масштабного промислового виробництва газобетону D100, D200. На європейському ринку по технології «Masa-LithoPore®» виробляються найлегші мінеральні теплоізоляційні панелі з ніздрюватого бетону густиною марки D100 ( $\geq 70-150$  кг/м<sup>3</sup>), по технології виробництва пінобетону, які характеризуються коефіцієнтом паропроникнення 2,2 відповідно до німецького стандарту DIN EN ISO 12572 [3]. На європейському ринку поширена теплоізоляція Multipor. Це екологічно чиста, не схильна до займання система на мінеральній основі, яку виробляє концерн XELLA, який являється провідним виробником будівельних матеріалів на європейському ринку [4].

Газобетон, як штучно синтезований матеріал за рахунок високої пористості протягом тривалої експлуатації під дією атмосферних факторів може змінювати свої властивості шляхом адсорбції водяних парів, кисню, кислих газів, що особливо важливо для армованих вибів.

Якщо деформаційні процеси у важкому бетоні зв'язані з деформаційними властивостями цементного в'язучого і заповнювача, який займає приблизно 70% об'єму бетону, і під дією навантаження деформується упруго, то цементний камінь в автоклавному газобетоні характеризується повзучістю і представлений переважно низькоосновними гідросилікатами кальцію – тоберморітом, ксонотлітом. Через високу пористість матеріал може асорбувати водяні пари, вуглекислий газ.

Висока пористість газобетону, наявність резервних пор, з однієї сторони забезпечує АГБ високу морозостійкість, с іншої - може приводити до його зволоження шляхом замочування, капілярного підсмоктування, адсорбції водяних парів з повітря що впливає на експлуатаційні властивості матеріалу.

Таким чином, до основних причин появи деформацій АГБ, що потенційно можуть вплинути його на довговічність в конструкційних елементах та виробках, слід віднести:

- карбонізацію;
- зволоження та висушування;
- заморожування та відтаювання.

Подібні проблема вирішуються шляхом армування стін конструкції, влаштуванням якісної гідроізоляції будівлі, оптимізацією технології виробництва газобетону.

Ще на етапі становлення промисловості виробництва АГБ в колишньому СРСР проводились багаточисельні дослідження технології виробництва автоклавного газобетону з використанням різних видів в'язучого, кремнеземистого компоненту, шлаків, зол у тому числі і дослідження карбонізації автоклавного газобетону.

В роботі Силаєнкова Е.С.[5] ще в 80-х роках минулого століття було встановлено, що під дією  $CO_2$  має місце зниження міцності газобетону на вапняно-кремнеземистих в'язучих, сформованих з низькоосновних гідросилікатів кальцію. АГБ через високу пористість легко піддається карбонізації і, на відміну від щільних бетонів, не створює бар'єрів для проникнення вуглекислого газу. Швидкість карбонізації залежить від середньої густини матеріалу і становить в середньому 5-7 мм/рік.

Проблемі вивчення природи усадочних деформацій присвячені численні роботи багатьох дослідників, вони показали, що усадка цементних матеріалів негативно впливає на їх довговічність. На загальну величину усадочних деформацій газобетону впливають такі види усадки:

- контракційна;
- вологісна;

➤ карбонізаційна.

Контракційна усадка вважається малозначущою і стосується переважно щільних бетонів, вологісна виникає в наслідок фізичних і фізико-хімічних процесів, пов'язаних з зневодненням структури цементного каменю. Карбонізаційна усадка пов'язана з проникненням в газобетон  $\text{CO}_2$ .

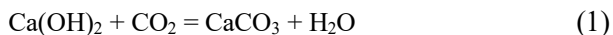
Якщо в звичайних бетонах при визначенні вологісної усадки отриманий результат є сумарною величиною контракційної і вологісної усадки то формування макроструктури АГБ поєднує зростання об'єму суміші при її вспучиванні, зростанні пластичної міцності сирця в камерах попереднього дозрівання газобетонної суміші та послідовними фізико-хімічними процесами гідротермального синтезу новоутворень при автоклавній обробці газобетону.

Саме тому мова може йти про вологісну усадку кінцевого продукту після автоклавної обробки, оскільки вологість АГБ після автоклавної обробки може досягати 40%. В ранній період експлуатації АГБ переважно сумарна величина контракційної і вологісної усадки, а зі збільшенням терміну їх служби все більшого значення набуває карбонізаційна усадка.

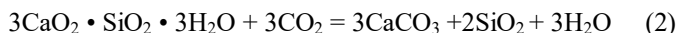
Відповідно до нормативних вимог ДСТУ Б В.2.7-45:2010 «Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови» вимоги усадки при висиханні пористих бетонів повністю повторюють вимоги європейських стандартів. Величина усадки оцінюється при втраті газобетоном вологості від 35% до 5% за масою на зразках - призмах 160 мм x 40 мм x 40 мм.

Використання АГБ обмежується вологістю повітря (не більше 75%), або потребує захисту поверхні огорожувальної конструкції від сорбції води. Змочений водою газобетон в умовах експлуатації змінює термічний опір огорожувальної конструкції стіни. Коефіцієнт теплопровідності води -  $\lambda = 0,55 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , практично в 20 разів більший, ніж коефіцієнт теплопровідності повітря, льоду становить  $\lambda = 2,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , або в 4-5 разів більше ніж коефіцієнт теплопровідності води і майже в 100 разів більше коефіцієнта теплопровідності повітря в порах газобетону середнього розміру.

Вуглекислий газ вступає в реакцію з  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і продуктами гідратації мінерального в'язучого, або продуктами гідротермального синтезу кварцового піску і вапна в умовах автоклавної обробки виробів (1).



Карбонізація приводить до старіння бетону, а газобетону в більшій мірі, оскільки кислотоутворюючі гази - двоокис вуглецю (CO<sub>2</sub>) і двоокис сірки (SO<sub>2</sub>) легше проникають в його структуру і в присутності вологи зменшують лужне середовище цементного каменя. Гідратні новоутворення силікатного каменя (тоберморит) також карбонізуються з утворенням карбонату кальцію, глинозему, оксидів заліза, гідратованого кремнезему (2).



З термодинамічної точки зору, в принципі, карбонізації підлягають всі продукти гідратації в'язучого з утворенням кальциту CaCO<sub>3</sub>, кварцу SiO<sub>2</sub>, гібситу Al(OH)<sub>3</sub>.

Позитивний вплив карбонізації на бетон полягає в ущільненні структури бетону в результаті збільшення об'єму за рахунок утворення карбонату кальцію. При цьому слід очікувати підвищення і водо - газонепроникності АГБ за рахунок зменшення загального об'єму пор та підвищення міцності бетону за рахунок поверхневого його ущільнення. З іншої сторони, негативна дія карбонізації полягає в зменшенні рН цементного каменя, внаслідок чого виникає небезпека корозії арматури та втрата несучої спроможності армованих конструкцій. Крім того, при карбонізації відбувається руйнація гідросилікатів кальцію – основних носіїв міцності автоклавного газобетону – трберморіту.

Щільний бетон тривалий час зберігає лужне середовище і виключає можливість корозії арматури. В армованих газобетонних виробках через низьку їх густину і високу паропроникність, яка по мірі зменшення густини газобетону стрімко зростає (рис. 1) тому виникає потреба в захисті арматури від корозії спеціальними антикорозійними покриттями. Для цього арматура покривається цементно-бітумними, цементно-полістирольними, сланцебітумно-цементними, цементно-латексними мастиками.

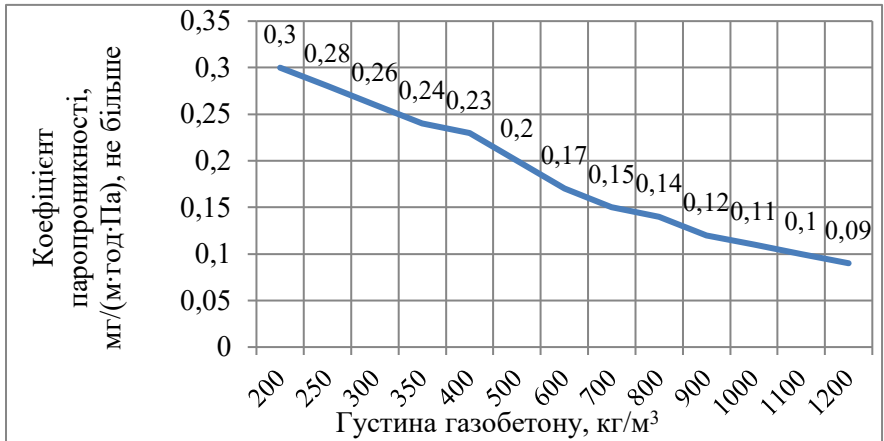


Рис. 1. Залежність коефіцієнта паропроникності від густини АГБ (AAC).

На 7-й міжнародній конференції з автоклавного газобетону в роботі П. Вальчака «Життєвий цикл AAC: Як довго може використовувати будівлі з газобетону» [6] приведена оцінка впливу тривалої карбонізації на фазовий склад газобетону. Дослідження були проведені в Польщі, мали за мету оцінити ступень карбонізації зразків з існуючих будівель та зразків віком близько 60 років що були взяті з 2-х різних будівель, що були знесені. На основі рентгеноструктурного та рентгенофлуоресцентного аналізів досліджено початковий вміст оксидів кальцію  $\text{CaO}$ , та діоксиду кремнію  $\text{SiO}_2$ , після чого визначено ступень карбонізації досліджуваних зразків. В обох випадках рентгеноструктурний аналіз показав наявність тобермориту у мінералогічному складі зразків. Присутність тобермориту також була підтверджена спостереженнями під растровим мікроскопом, де кристали тобермориту все ще були присутні.

Зроблено висновок, що припущення про повну карбонізацію АГБ через 60 років є неправильним. Досвід будівництва, а також аналіз існуючих будівель і тих, що призначені до знесення, чітко показують, що через 60 років тоберморит все ще присутній у внутрішній структурі АГБ і матеріал зберігає свої властивості. Припущення, яке було викладене в дорожній карті, розробленій Європейською асоціацією автоклавного газобетону та Британською федерацією залізобетонних виробів, про встановлення терміну служби кладки з газобетону до 150

років, є реалістичним. При аналізі життєвого циклу ніздрюватого бетону необхідно враховувати "загальну картину", оскільки результати часткових випробувань можуть помилково свідчити про те що карбонізація є лінійним процесом. Найважливішим є те, що закінчення карбонізації не є кінцем життя для кладки з блоків АГБ, і не є кінцем життя будівлі.

На деформаційні усадки (карбонізаційні, зволоження-висушування, замерзання-відтаювання) автоклавного газобетону впливає наявність вологи в газобетоні. Рівноважна вологість автоклавного газобетону по товщині стінової конструкції встановлюється після 3-5 років експлуатації. Рівноважну вагову вологість в зовнішніх стінах в нормальних кліматичних зонах вологості і будівель та нормальним режимом експлуатації приймають рівною 4-5%.

#### Література

1. Сердюк В.Р., Рудченко Д.Г. Зростання обсягів виробництва та сфери використання газобетонних блоків. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2021. № 5.- С.7-18.
2. Рудченко Д.Г. Газобетон автоклавного твердження с повышенным коэффициентом конструктивного качества. Материалы НПК «Современный автоклавный газобетон», май 2013 г.-С. 85-93.
3. Олвер Штрототте, Матиас Кларе, А.К. Иванов Производство минерального теплоизоляционного строительного материала низкой плотности.//Современный автоклавный газобетон: сборник докладов НПК. Краснодар, 15-17 мая 2013.- С.140-146.
4. Можно ли утеплить стены газобетоном: применение плит «Мультипор» для теплоизоляции помещений. <https://kraska.guru/dom/istorii/plity-multipor.html>.
5. Силаенков Е.С. Долговечность изделий из ячеистых бетонов.– М.: Стройиздат, 1986 – 176 с.
6. This article appeared in its original form in the proceedings of ICAAC 2023 (7th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete): Walczak P. AAC life cycle: How long can au-toclaved aerated concrete buildings be used. Ce papers. 2023;6:41-45.<https://doi.org/10.1002/cepa.2095>.