

Опекунов В.В. Virишення задач ресурсозбереження в будівництві шляхом використання якісних виробів із пористих бетонів / В.В. Опекунов, О.М. Ободович, О.М. Недбайло // Керамика: наука и жизнь. – 2010. - № 2(8). – С. 45 – 57.

УДК 666.972.124

Опекунов В.В., д.т.н., Гродненський державний університет, м. Гродно, Республіка Беларусь.

Ободович О.М., д.т.н.; Недбайло О.М., к.т.н., Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ.

## **ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В БУДІВНИЦТВІ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ЯКІСНИХ ВІРОБІВ ІЗ ПОРИСТИХ БЕТОНІВ**

Розглянуто деякі науково-технічні аспекти проблеми ресурсозбереження при масовому будівництві та експлуатації енергоефективних (опалюваних) будівельних об'єктів. Звертається увага на необхідність використання виробів із пористих бетонів, насамперед із автоклавного ніздрюватого бетону й гідрофобізованого цементного перлітобетону.

Рассмотрены некоторые научно-технические аспекты проблемы ресурсосбережения при массовом строительстве и эксплуатации отапливаемых строительных объектов. Обращается внимание на необходимость применения изделий из пористых бетонов, прежде всего из автоклавного ячеистого бетона и гидрофобизированного цементного перлитобетона.

Some scientific and technical aspects of a problem resource saved are considered at mass building and operation of heated building objects. The attention to necessity of application of products from porous concrete, first of all from autoclave cellular concrete and hydrofobian cement perlite is paid.

Умовні скорочення та позначення.

АСНБ – автоклавний силікатний ніздрюватий бетон, ГАТ – газобетон автоклавного твердіння, КМБП – композиційний матеріал будівельного призначення, НЦНБ – Неавтоклавний цементний ніздрюватий бетон, НППСилікатобетон – Науково-дослідний і проектний інститут, ПЦВ – перлітоцементний вироб, СПП – силікатного бетону автоклавного твердіння,  $A$  – спучений перлітовий пісок,  $C$  – коефіцієнт анізотропії,  $D$  – ступінь структуроутворення,  $G$  – коефіцієнт однорідності,  $TE$  – тепло ефективний,  $TI$  –

теплоізоляційний,  $U$  – усадка,  $W$  – сорбційна вологість.

Проблема ресурсозбереження безпосередньо пов'язана з комплексом задач із забезпечення безпеки держави, яка включає, зокрема, економічні, науково-технічні та соціально-психологічні складові.

Світові тенденції посилення ресурсо-, енергозбереження у будівництві потребують застосування при спорудженні огорожуючих конструкцій опалюваних будівель неорганічних композиційних матеріалів будівельного призначення (КМБП) з покращеними теплотехнічними властивостями [1 - 7].

До 1993 р., відповідно до діючих у країнах Співдружності Незалежних Держав (СНД) нормативів, опір теплопередачі ( $R_T$ ), наприклад, зовнішніх стін був значно нижчий в порівнянні з вимогами відповідних стандартів країн Західної Європи. Рекомендовані для використання зараз в Україні КМБП повинні забезпечити рівень  $R_T \geq 2,8$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )/Вт, а у Білорусі -  $R_T \geq 3,2 - 6,0$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )/Вт.

Техніко-економічний аналіз показує, що найбільш конкурентоздатними є стінові вироби з КМБП у вигляді пористих бетонів з середньою густиною ( $\rho$ ) 500...800  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Этот вид искусственных камней не следует рассматривать в качестве альтернативы долговечным высокоточным стеновым блокам системы «Поротон» из пористо-пустотелой керамики (рис. 1).

До класу пористих бетонів можна віднести КМБП з пористою або зернистою макроструктурами. Суттєвою характеристикою макроструктури бетонів є пористість ( $\Pi$ ). Стандартизованого визначення пористих бетонів немає, але можна прийняти, що це є частка легких бетонів з  $\Pi > 50$  %. Зараз в нормативах СНД немає єдиної класифікації пористих бетонів за параметром  $\rho$ . За параметром міцності при стиску пористі бетони класифікувати не прийнято.

В зв'язку з цим, у роботах [1, 3, 6] пропонується наступна класифікація легких та пористих бетонів за параметром  $\rho$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ): конструкційні ( $\rho > 800$  ( $R > 4,0$  МПа)); конструкційно-теплоізоляційні або теплоефективні ( $500 \leq \rho \leq 800$ ; ( $R \cong 1,5 - 10,0$  МПа)); теплоізоляційні ( $\rho < 500$ ; ( $R < 3,5$  МПа)). Вироби з теплоефективних (ТЕ) КМБП пропонується класифікувати як ТЕ будівельні вироби [5]. У табл. 1 наведено перелік основних пористих бетонів, які виробляє промисловість СНД.



Рис.1. Стінові крупнорозмірні блоки системи «Поротон» із пористо-порожнотілої кераміки

Найважливішим показником якості пористих бетонів є їх міцність ( $R$ ). У результаті теоретичного аналізу встановлено, що міцність пористих КМБП із ніздрюватою або зернистою структурою суттєво залежить від факторів у вигляді функцій або параметрів [1, 3]:

$$R = \varphi (P_{i (i=1-7)}, \rho, R_a, R_m, R_c), \quad (1)$$

де  $P_{i (i=1-7)}$  – функції або параметри, які характеризують порову структуру матриці та мікрозаповнювача; ступінь однорідності ( $D$ ) КМБП; об’ємний вміст мікрозаповнювача та пористість КМБП; ступінь ізотропності ( $A_R$ ) КМБП; спосіб утворення поверхні та фізико-хімічні властивості мікрозаповнювача, його адгезійну активність;  $R_c, R_m, R_a$  - параметри чи функції, що характеризують когезійну міцність мікрозаповнювача ( $R_c$ ) та матриці ( $R_m$ ), а також адгезійну міцність ( $R_a$ ) контакту “мікрозаповнювач – матриця”.

Ступінь впливу факторів (1) на параметр  $R$  залежить насамперед від особливостей структуроутворення КМБП та заданого рівня  $\rho$ . Якщо прийняти  $R$  як параметр оптимізації структури, то умова  $R = R_{\max}$  для ніздрюватих бетонів виконується при  $R_c \geq R_a, R_c \geq R_m$  и  $R_m \leq R_a$ .

Згідно до відомої термодинамічної концепції адгезії для отримання міцного адгезійного контакту слід забезпечити виконання умови

$$E_1 < E_2, \quad (2)$$

де  $E_1, E_2$  - поверхневі енергії, відповідно, матриці та заповнювача.

При високому рівні  $R_m$  це досягається лише при активації мікрозаповнювача різноманітними способами. При використанні неактивованого мікрозаповнювача має місце  $R_m \gg R_a$  й здійснювати фізико-хімічну активацію в'язучого з метою підвищення рівня  $R$  не слід. Співвідношення між  $R_a$ ,  $R_m$ ,  $R_c$  визначає механізм руйнування бетону. Управління факторами, що входять до формули (1), дозволяє підвищити довговічність виробів із пористого бетону. Більш детально це питання викладено у роботах [1, 3, 4, 6, 7].

В Україні, як і у більшості країн СНД, виробляють ТЕ КМБП, в основному, у вигляді газобетонів автоклавного твердіння (ГАТ).

У загальному випадку для газобетонів на щільних заповнювачах формула (1) має вигляд

$$R = f_1(P_{(1 \div 3)}, R_a, R_m, \rho, A_R, D, U),$$

де  $P_1, P_2, P_3$  - функції, які характеризують розподіл капілярних, повітряних та газових пор в матриці.

Таблиця 1.

### Основна номенклатура виробів з пористих бетонів

Пористий бетон, код, спосіб виробництва виробів	Бетон із середньою густиною, кг/м <sup>3</sup>				
	теплоізоляційний			теплоефективний	конструкційний
	<300	300-400	400-500	500-800	>800
Автоклавний ніздрюватий бетон; РС; МО; М	ТП ТВ З	ТП ТВ З ТФ	БСМН БСМВ БСКН БСКНА ТВ	БСМН БСМВ БСКН БСКНА ПП ППК СП	БСМН БСМВ БСКН БСКНА ПП ППК СП П
Неавтоклавний цементний ніздрюватий бетон; РС; МО; М	ТВ З	ТП ТВ З	ТП ТВ	БСМН БСМВ	БСМН БСМВ БСКН БСКНА П
Цементний перлітобетон; И; ПР; МО; М	ТП ТВ З	ТП ТВ З	ТП ТВ	БСМВ	БСМН БСМВ П
Цементний перлітобетон гідрофобізований; И; ПР; МО; М	ТФ ТК З	ТФ ТК З	БСМН БСМВ ТФ ТК	БСМН БСМВ БСКН	БСМН БСМВ БСКН П
Гіпсобетон на основі волокнистого наповнювача; И; ПР; МО; М	ТВ З	ТВ З	ТВ	БСМВ П ПК	БСМВ П ПК КП

Примітка. Застосовані скорочення: БСМН – блоки стінові для зовнішніх стін; БСМВ – блоки стінові для внутрішніх стін; БСКН – блоки стінові крупні для зовнішніх стін; БСКНА – блоки стінові крупні для зовнішніх стін армовані; ПП – плити перекриття; ППК – плити покриття; СП – стінові панелі армовані; П – плити для перегородок; ПК – плити для перегородок крупно-розмірні; КП – крупнорозмірні пресовані вироби; З – звукова ізоляція; ТП – теплова ізоляція промислового обладнання при температурі експлуатації до 700°C; ТФ – зовнішня теплова ізоляція фасадів; ТВ – внутрішня теплова ізоляція стін; ТК – теплова ізоляція кам'яної кладки; РС – вироби, що виробляють за розрізальною технологією у стаціонарних заводських умовах; МО – вироби, що виробляють з застосуванням мобільного обладнання; И – вироби, що виробляють з застосуванням індивідуальних форм (касет); ПР – вироби, що виробляють з застосуванням методу пресування; М – можливість застосування бетону у монолітному будівництві.

До 1990 р. практично у кожній області України функціонував стаціонарний цех чи завод із річною продуктивністю не менш 60000 м<sup>3</sup> для виробництва стінових та перегородкових виробів із ГАТ або автоклавного силікатного ніздрюватого бетону (АСНБ). Ці виробництва створювалися у 1970 - 1980 рр. для реалізації державних завдань щодо масового будівництва теплих будинків шляхом створення сучасної номенклатури збірних виробів «комплектно на дом». З середини 1980-х років наші будівельники почали освоювання монтажу стін з використанням крупних стінових блоків та армованих стінових панелей з ГАТ. Проектні організації створили вітчизняні конструкції будівель.

Однак цей початковий досвід не був закріплений, не став будівельною традицією, як це сталося у Білорусі, Росії, країнах Балтії та Західної Європи. Зараз обладнання технологічних ліній (змішувачі, форми, розрізальні машини та інш.) та загальні проектні рішення цих виробництв (розробники – фахівці з України, Росії, Естонії) технічно та морально застаріли, внаслідок чого більшість заводів України зараз не може виробляти конкурентоздатну у СНД продукцію. Виключення становлять заводи, що побудовані в останні роки й імпортні технологічні лінії.

Роботи стосовно створення у нас нових економічних проектних рішень стаціонарних заводів і цехів для випуску сучасної номенклатури монтажних стінових та перегородкових елементів із ГАТ, у т.ч. і армованого, з  $\rho < 600 \text{ кг/м}^3$  із застосуванням сучасних конструкцій технологічного обладнання призупинені.

Наші наукові та промислові установи за власною ініціативою не приймають участь у науково-технічній коопераційній співпраці у рамках СНД стосовно розробки нового обладнання технологічних ліній, а також нової номенклатури виробів із ТЕ та теплоізоляційних (ТІ) АСНБ різноманітного складу.

У 1980 роки в Україні існував лише один малочисельний підрозділ з питань

ніздрюватого бетону, який було створено у складі галузевого інституту Мінбудматеріалів УРСР. У той же час, наприклад, Мінський НДІ будівельних матеріалів за підтримкою головного у СРСР інституту НДПІСилікатного бетону автоклавного твердіння (м. Таллін) впродовж 30 років системно спеціалізувався на розробці нових перспективних технологій виробництва сучасної номенклатури виробів з АСНБ.

Бетони у вигляді ГАТ, які зараз виготовляють в нас на стаціонарних заводах (стабільно працює декілька заводів у Центральному та Східному регіонах), представлені в основному газобетонами та застарілою номенклатурою виробів у вигляді неармованих стінових дрібних блоків згідно ГОСТ 21520-89 «Блоки из ячеистых бетонов стеновые мелкие. Технические условия» із бетонів марок Д600 - Д800, М25 - М50, мають недостатній рівень фізико-технічних властивостей (міждержавний ГОСТ 31360-2007 "Изделия стеновые неармированные из ячеистого бетона автоклавного твердения. Технические условия" в Україні не діє).

Прогресивні вироби з металевою арматурою (крупні стінові блоки, плити покриття, перекриття) з 1991 р. у нас практично не виробляються. Інші різновиди виробів із поризованих формувальних сумішей з високою гомогенністю (наприклад, вироби із автоклавних пінобетонів, неавтоклавних піно- та газобетонів з покращеними фізико-технічними властивостями) в Україні та СНД у промисловому обсязі також не виробляють.

Зараз практично відсутня раціональна концепція інтенсивного науково-технічного розвитку та переоснащення галузі, яка включає підприємства різноманітної форми власності (відома «Програма розвитку виробництва ніздрюватобетонних виробів та їх використання у будівництві на 2005 - 2011 роки», яка затверджена постановою Кабінету Міністрів (КМ) України № 684 від 26.05.2004 р., не відповідає потребам розвинутої країни).

Ігноруючи вітчизняні досягнення 1980-х років (розробки НДІ Будівельних Матеріалів та Виробів (НДІБМВ)), деякі підприємства, зокрема Києва, Запоріжжя, Дніпропетровська та інш. великих індустріальних центрів за комерційною участю державних наукових установ (за їх допомогою або ними розробляються багаточисельні технічно відсталі нормативні документи) освоїли масове виробництво відносно дешевих неармованих ТЕ та ТІ виробів (стінових блоків та плит для перегородок з неконтролюємими розмірами) із неавтоклавного цементного ніздрюватого бетону (НЦНБ) у вигляді газо- чи пінобетону з незадовільними фізико-технічними та споживчими властивостями (насамперед – тріщиностійкістю, міцністю при стиску, анізотропією та однорідністю властивостей, точністю розмірів). Це здійснюється шляхом використання технічно відсталого, непродуктивного обладнання (використовують як індивідуальні секційні форми, так і кустарні розрізальні установки).

Відмітимо як позитивне явище, що деякі прогресивні виробники намагаються

самостійно, без допомоги держави та державних наукових установ, створювати дослідницькі підрозділи з метою впровадження нових технічних рішень, базуючись на досвіді країн-сусідів (Білорусі, Росії).

Згідно Постанови КМ України № 483 від 11.04.2002 р. інвестиційні проекти і програми будівництва до їхнього затвердження підлягають комплексній державній експертизі, зокрема науково-технічній експертизі (ЗУ “Про наукову та науково-технічну експертизу” від 10.02.1995 р.) та експертизі з енергозбереження (ЗУ “Про енергозбереження” від 01.07.1994 р.). Але під гаслами енергозбереження наші будівельники, користуючись технічною несвідомістю замовників та споживачів будівельної продукції, неякісні вироби з неавтоклавних цементних пінобетонів застосовують при спорудженні, наприклад, перегородок та елементів стін (несучих та ТІ шарів) різноманітних об’єктів, зокрема житлових будинків.

У загальному випадку для пінобетонів на щільних заповнювачах формула (1) має вигляд

$$R = f_2(P_{(1,2)}, R_a, R_m, \rho, A_R, D, U),$$

де  $P_1, P_2$  - функції, які характеризують розподіл капілярних та пінних пор в матриці.

При цьому для отримання НЦНБ з необхідним рівнем усадки при висиханні, сорбційної вологості ( $W$ ), підвищеної  $R$  необхідно обов’язково здійснювати спеціальну підготовку як матриці (в’язучої системи композиційного складу), так і мікрозаповнювача, тобто здійснити відповідні втрати енергії. Однак, навіть при виконанні цих енерговитратних складних технологічних операцій, фізико-технічні властивості НЦНБ не досягають рівня властивостей АСНБ. Виходячи з цього, провідні світові виробники практично не виробляють ТЕ та ТІ вироби з НЦНБ, а у часи існування СРСР технології виробництва НЦНБ було віднесено до категорії неактуальних, тому що є АСНБ. Нам що, це невідомо?

Вироби с НЦНБ, оскільки вони вже у нас є, слід застосовувати при виконанні, наприклад, кам’яної кладки при зведенні стін господарчих будівель. Можна використовувати монолітні НЦНБ і при малоповерховому будівництві чи зведенні самонесучих стін у каркасних будівлях. Але ж при цьому слід використовувати спеціальні сировинні суміші, а не тільки портландцемент.

Слід констатувати, що впровадження у будівництво та ремонтні роботи виробів із ТЕ та ТІ НЦНБ, які зараз виготовляють наші підприємства з порушенням основних положень фізико-хімії будівельного матеріалознавства, не буде сприяти виконанню на необхідному сучасному технічному рівні задач в області ресурсозбереження. Більш детально питання

щодо використання НЦНБ викладено у роботах [2, 6, 7].

Серед ніздрюватих бетонів масового використання альтернативи АСНБ зараз і в доступному для огляду майбутньому немає.

Низькими темпами розвивається у нас виробництво довговічних ТЕ та ТІ виробів з зернистою структурою із сумішей на основі спученого перлітового піску (СПП) та портландцементу. Лише на декількох заводах Київської області освоєно випуск стінових дрібних блоків із ТЕ перлітоцементних КМБП згідно ДСТУ Б.В.2.7-7-94 “Вироби бетонні стінові дрібноштучні. Технічні умови” марок Д600 - Д800, М15 - М35. Основна причина недостатнього рівня фізико-технічних властивостей цих ТЕ і ТІ КМБП - відсутність раціональних схем підготовки сировинних компонентів, використання застарілого непристосованого для цих цілей пресового обладнання, яке не дозволяє виробляти вироби з необхідними розмірами та точністю розмірів при заданих параметрах фізико-технічних властивостей. Крім того, існуюча традиційна «суха» технологія припускає перевитрати цементу, що, враховуючи відносно високу вартість СПП, приводить до отримання ТЕ перлітоцементних виробів (ПЦВ), які мають собівартість, більшу за собівартість виробів з АСНБ.

Розрізняють два основних конструктивних рішення теплих стін: 1) одно- чи багат шарова стіна без повітряного прошарку [8, 9]; 2) стіна з повітряним прошарком (імпордне технічне рішення - «вентильований фасад»).

За схемою 1 можна створити, наприклад, двошарові теплі стіни з застосуванням ТЕ ніздрюватих і легких бетонів з  $\rho = 500 \dots 800 \text{ кг/м}^3$  (несучий шар) та ТІ виробів із різноманітних КМБП як вітчизняного, так і імпортного виробництва (рис. 2).

Застосування в Україні виробів із довговічних ТЕ АСНБ для виготовлення одношарових теплих стін обмежено (в основному – неіндустріальне малоповерхове будівництво з використанням дрібних блоків, які виробляються на наших заводах, з  $\rho > 500 \text{ кг/м}^3$ ) і у разі подальшого неминучого збільшення нормуємих значень термічного опору стін до 3,0 - 3,5 ( $\text{м}^2 \cdot \text{К}$ )/Вт буде практично неможливо без суттєвого покращення фізико-технічних властивостей серійного АСНБ. При цьому спочатку слід зменшити середню густину АСНБ до стабільного рівня  $\rho < 500 \text{ кг/м}^3$ , який зараз майже не виробляють, тому що це є дуже складною задачею, яка була вирішена у часи існування СРСР лише на кращих заводах кращими фахівцями Естонії, Росії, Білорусі.

Схема 1 особливо ефективна при наявності зовнішнього або/та внутрішнього ненесучого ТІ шарів із твердих (див. застарілий ГОСТ 16381-77 «Материалы строительные теплоизоляционные») КМБП з  $\rho < 300 \text{ кг/м}^3$ , і передбачає наявність захисно-декоративного шару.



При використанні м'яких чи жорстких ТІ КМБП, наприклад, відповідно до ТУ У В.2.7-45.3-21685172-004-2002 «Система скрепленої наружної теплоізоляції зданий и сооружений Ceresit», як це має місце на новобудовах Києва, виникає питання про паропроникність та довговічність конструкції ТІ шару стіни. Статистичних даних щодо цього питання в Україні немає. Не зрозуміло також, як ця конструкція стін узгоджується з ЗУ «О пожарной безопасности» №3745-ХІІ від 17.12.1994 р.



Рис. 2. Макроструктура теплоізоляційного газобетону автоклавного твердіння ( $\rho = 150 \text{ кг/м}^3$ ).

В останні роки у Києві побудовані експериментальні будівлі (т.з. «елітні») з використанням конструкцій зовнішніх стін за схемою 2 (ці дома слід віднести до «експериментальних» тому, що в іншому випадку виникають питання про патентну чистоту конструкцій стін, правах Західних розробників, про вміст у квартирах пилу волокон із складу м'яких чи жорстких ТІ імпортованих виробів та ін.).

В Україні та СНД зараз не існує розвинутого промислового виробництва твердих ТІ виробів з  $\rho < 300 \text{ кг/м}^3$  з застосуванням довговічної неорганічної сировини, які можна використовувати для потреб промисловості та будівництва. У загальному випадку основна номенклатура твердих ТІ виробів така: 1) литі вироби з АСНБ (рис. 2) або НЦНБ (дрібні блоки); 2) пресовані вироби на основі СПП та різноманітних в'язучих (блоки, цегла, шкарлупи).

Серійні вироби 1 групи на ринку СНД практично відсутні. Лише ціною неадекватних зусиль галузеві науковці можуть отримати за розрізальною технологією обмежені дослідні партії якісних виробів з АСНБ з  $\rho < 400 \text{ кг/м}^3$  на діючих стаціонарних заводах України. Результати цієї праці ми і бачимо на виставках. При цьому практично не вирішена проблема зменшення  $W$ , тобто пасивації, абсорбційних властивостей ніздрюватих бетонів (особливо –

газобетонів) при  $\rho < 400 \text{ кг/м}^3$  (необхідна регулюєма об'ємна, а не поверхнева гідрофобізація), ось чому зараз немає прикладів успішного застосування ТІ ніздрюватих бетонів для ефективною зовнішньої теплової ізоляції стін будівель. Є і інші причини, які стримують використання сбірних ТІ виробів, наприклад, із ГАТ (табл. 2).

Технології виробництва СПП відомі з 1960-х років, мають український пріоритет, постійно удосконалюються нашими виробниками СПП. Однак виробництво ТІ ПЦВ розвивається в Україні необгрунтовано повільно. Аналіз фізико-технічних і теплотехнічних властивостей свідчать, що достатньо перспективними є пресовані ТІ вироби згідно ТУ У В.2.7-19125402-002-97 «Вироби перлітоцементні та перлітогіпсові теплоізоляційні. Технічні умови» на основі вітчизняного СПП та портландцементу (рис. 4).

Результати досліджень свідчать про можливість стабільного отримання ПЦВ з рівнем  $\rho < 300 \text{ кг/м}^3$  (комерційна назва «Perisol») вже зараз за рахунок нової схеми підготовки формуальної суміші при використанні існуючого серійного пресового обладнання [2, 4]. При цьому доцільно використовувати СПП з більш пасивними вихідними абсорбційними властивостями.

Таблиця 2.

**Основні фізико-технічні властивості ТІ бетонів (приклад)**

Показники	Бетони			
	автоклашний силікатний газобетон	Перізол-Г на цементі	неавтоклашний цементний газобетон	неавтоклашний цементний піно- бетон
$\rho, \text{ кг/м}^3$	305	306	307	305
Коефіцієнт варіації	0,08	0,05	0,08	0,09
$R, \text{ МПа}$	0,79	0,85	0,77	0,70
Коефіцієнт варіації	0,17	0,14	0,17	0,18
W при відносній вологості середовища 97 %, мас. %	14,4	2,7	14,6	14,0
$\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	0,086	0,075	0,087	0,083
$U, \text{ мм/м}$				
Коефіцієнт однорідності	0,62	0,43	1,84	1,86
середньої густини	0,86	0,92	0,86	0,88
$A_R$	0,89	0,96	0,89	0,90
Пористість:				
відкрита	43	22	43	41
закрита	47	65	46	48

У роботах [3, 4] детально розглянуто особливості процесу структуроутворення ТЕ та ТІ цементних перлітобетонів з застосуванням вітчизняного СПП. Теоретично обгрунтована

нова роздільна технологія виготовлення ТЕ і ТІ ПЦВ з покращеними фізико-технічними властивостями, яка включає роздільне приготування дисперсної системи на основі СПП заданого фракційного складу, що пасивований (гідрофобізований), а також цементної в'язучої системи (ВС) малої концентрації ( $V/C \geq 1$ ), яка активована, наприклад, механічним способом. Проведені технологічні дослідження стосовно отримання ПЦВ на основі вітчизняного СПП, що модифікований (пасивований) шляхом обробки емульсією гідрофобізатору.

Встановлено, що активована цементна ВС містить дисперговані частинки клінкера зі зменшеним у 1,4 - 1,5 рази електрокінетичним потенціалом, що сприяє формуванню більш щільної та міцної зі зменшеною усадкою структури цементного каменя.

Недоліком пресової технології є неможливість виробництва виробів з різними розмірами, та необхідність застосування дефіцитного волокнистого заповнювача при виготовленні крупнорозмірних ТІ плит (табл. 3).

У роботах [3 - 5] показано, що ТІ цементний перлітобетон в порівнянні з ТІ автоклавним газобетоном має покращені фізико-технічні властивості (зменшену теплопровідність, відкриту пористість, усадку при висиханні, анізотропію міцності, підвищену міцність при стиску та однорідність середньої густини, регульовану сорбційну вологість), що дозволяє ефективно застосовувати його як ТІ шар огорожувальних конструкцій.

Основна номенклатура ПЦВ представлена у табл. 4.

Важливий показник якості пористих бетонів – усадка ( $U$ ). Процес усадки є руйнівний (створюються усадкові тріщини у різних зонах пористого бетону), тобто  $U > U_{кр.}$ , в будівельних виробках деякого критичного розміру.

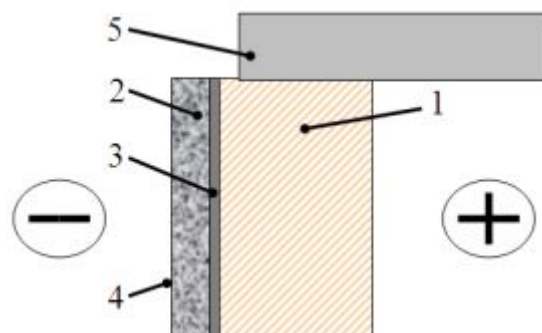


Рис. 3. Конструктивна схема теплої стіни:

- 1 – основний шар (важкий бетон, керамічна цегла, силікатна цегла, пористий бетон),
- 2 – ТІ шар (Perisol-A), 3 – клеєвий шар, 4 – захисно-декоративний шар (краска, штукатурка),
- 5 – плита перекриття.

У загальному випадку

$$U = \varphi(\rho, n, N, C, G, D, A),$$

де  $n$  – об’ємна частка цементуючої речовини;  $N$  – розміри виробу,  $C$  – ступінь структуроутворення КМБП, тобто якість мікроструктури ( $C \leq 1$ );  $G$  – параметри середовища експлуатації КМБП.

Враховуючи підвищену усадку цементуючої речовини, для зменшення впливу її властивостей на фізико-технічні властивості ніздрюватого бетону слід зменшити витрати в’язучого. Подальше зменшення усадки цементуючої речовини досягається шляхом формування мікроструктури, яка містить фази, наприклад гідрогранати, що мають зменшену усадку та більшу міцність у порівнянні з ГСК.

У ПЦВ, які виготовлені за роздільною технологією, незалежно від рівня значень параметрів  $\rho$ ,  $N$ ,  $C$  й  $G$ , виконується умова  $U \leq U_{кр}$ . Відмітимо, що за два десятиріччя спостережень усадкові тріщини не помічені навіть в ПЦВ (бетон з кодом 4-1 у табл. 1), які виготовлені за неефективною технологією напівсухого формування [4].

У процесі експлуатації КМБП можлива ситуація, коли частка ад(аб)сорбованої води перейде у розряд хемосорбованої або кристалізаційної з фактичним утворенням нових сполук у структурі КМБП. Для виключення цього явища необхідно зменшити в бетоні кількість негідратованих часток цементу при  $n \rightarrow n_{min}$ , що в процесі експлуатації суттєво послабить контракцію, яка приводить до збільшення поверхні сорбції й  $R_T$  конструкції, тому що у загальному випадку

$$\lambda = f(W_e, t, C, D, A_\lambda, P_i),$$

где  $W_e$  – експлуатаційна вологість КМБП,  $t$  - температура,  $P_i$  – функції або параметри, які характеризують порову структуру матриці та мікрозаповнювача КМБП при заданому рівні  $\rho$  (формула (1), а також дані, які приведені у роботах [1, 3]).

Як показують мікроскопічні дослідження, руйнування бетону з зернистою структурою, наприклад ТІ ПЦВ з  $\rho < 500 \text{ кг/м}^3$ , у яких  $R_c \ll R_m$ , здійснюється за зерном СПП ( $R_a > R_c$ ).

У загальному випадку для цементних перлітобетонів формула (1) має вигляд:

$$R = f_3(P_{(1,4)}, R_a, R_m, R_c, \rho),$$

где  $P_1$  - функція, яка характеризує розподіл капілярних пор в матриці;  $P_4$  – параметр або

функція, яка характеризує розподіл пор у СПП.

Враховуючи високий вихідний рівень  $E_2$  та  $R_a$  у СПП (2), можлива гідрофобізація СПП та часткова пасивація його поверхні, тобто зменшення рівнів  $E_2$  та  $R_a$  до рівня, при якому буде  $R_a \cong R_c$ . Для зменшення витрат в'язучого слід застосовувати активацію.

При  $\rho = 500 - 800 \text{ кг/м}^3$  у ПЦВ створюється монолітна просторова "ґратка" з речовини матриці. При цьому параметр  $R$  та інші властивості ПЦВ суттєво залежать від фізико-технічних властивостей, наприклад, портландцементу чи іншого в'язучого. При  $\rho > 800 \text{ кг/м}^3$  (конструкційні ПЦВ) зерна СПП виконують функцію пороутворюючої добавки.

Загальна пористість бетонів суттєво впливає на параметри довговічності, насамперед – на морозостійкість ( $M$ ). В ніздрюватих бетонах макропористість створюється у процесі формування та тужавлення сирцю, а мікропористість, в основному – в процесі його тужавлення. Пористість СПП вносить суттєвий внесок і в параметр  $\Pi$  усього перлітобетону.

Впровадження нового роздільного способу виробництва ТІ ПЦВ з покращеними фізико-технічними властивостями дозволяє розширити їх номенклатуру, тобто реалізувати у нас промислове виробництво різноманітних ПЦВ [3, 4]: 1) негідрофобізований Perisol-A для використання як теплової ізоляції промислового обладнання з ненормуєним значенням сорбційної вологості ( $W = W_{\max}$ ) (плити, цегла, напівциліндри); 2) гідрофобізований Perisol-B для застосування як внутрішній шар цегляної чи іншої стіни (плити, цегла, монолітний шар), який має  $W_1 \rightarrow W_{\min}$ ; 3) гідрофобізований Perisol-C як оздоблювальний шар огорожувальних конструкцій при житловому будівництві (наприклад, збірні або монолітні елементи зовнішньої теплової ізоляції фасадів, інших елементів будівель), який має  $W = 2 - 4 \%$ .

Таблиця 3.

### Основні фізико-технічні властивості вітчизняних ПЦВ (приклад)

Показники	Значення показників	
	ТІ бетон	ТЕ бетон
Середня густина у сухому стані, $\text{кг/м}^3$	280	560
Міцність при стиску, МПа	0,75	2,7
$W$ при відносній вологості середовища 97 %, мас. %	9,9	8,7
Марка щодо морозостійкості	F25	F25
Теплопровідність при 298 К, $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	0,071	0,098
Коефіцієнт анізотропії міцності	0,93	0,90

Виникає враження, що країни СНД взагалі не підготувалися до введення нових вимог стосовно параметру  $R_t$ , тому що нормативна база для виробництва та застосування

різноманітної номенклатури твердих ТІ КМБП, які експлуатують в атмосферних умовах, зараз практично відсутня (деякі нормативи є, наприклад, у Білорусі).

Є важлива обставина, яка повинна бути врахована при розробці нормативної документації. Умови експлуатації стінових ТЕ КМБП у кліматичних умовах України суттєво відрізняються від умов Росії, Білорусі і не потребують пред’явлення до них жорстких обмежень по параметру морозостійкості (М), особливо при відсутності складного напруженого стану у КМБП, що має місце, наприклад, у неармованих стінових блоках з АСНБ.

Існуюча з часів СРСР методика випробувань стінових ТЕ КМБП за параметром М неадекватна умовам їх реальної експлуатації в Україні. Відомі достовірні дані стосовно рівня параметру М низько- та високоосновних гідросилікатів кальцію (ГСК), які синтезуються при автоклавній обробці сирцю АСНБ, також наводять на думку про “помягшення” іспитів при оцінці параметру М стінових виробів з ТЕ АСНБ. Методику оцінки та вимоги щодо параметру М для твердих ТІ ненесучих КМБП потрібно розробляти, враховуючи фактичні умови їх експлуатації. У разі експорту вітчизняних виробів з ТЕ і ТІ КМБП у країни з більш холодним кліматом вони будуть проходити сертифікацію по параметру М у споживача. Ось тоді і будемо турбуватися, що малоімовірно взагалі тому, що ринок інших держав СНД насичується їхніми виробами більш інтенсивно, ніж наш внутрішній ринок.

Таблиця 4.

**Основна номенклатура виробів із цементних перлітобетонів  
з покращеними фізико-технічними властивостями**

Пористий бетон, код, спосіб виробництва виробів	Бетон середньою густиною, кг/м <sup>3</sup>				
	теплоізоляційний			тепloeфективний	конструкційний
	< 300	300-400	400-500	500-800	> 800
Перлітобетон на основі активованої цементної в’язучої системи (Перізол-НГ); И, ПР; МО; М	ТП ТВ 3	ТП ТВ 3	ТП ТВ	БСМВ	БСМН БСМВ П
Перлітобетон гідрофобізований на основі активованої цементної в’язучої системи (Перізол-Г); И, ПР; МО; М	ТФ ТК 3	ТФ ТК 3	БСМН БСМВ ТФ ТК	БСМН БСМВ БСКН	БСМН БСМВ БСКН П

Примітка. Див. табл. 1.

З нашими темпами розвитку підгалузі найбільш ймовірна ситуація, коли у разі фактичного створення Єдиного Економічного простору виробники Росії та Білорусі (у цих країнах функціонують сучасні заводи) почнуть пропонувати поставки широкої номенклатури виробів “комплектно на дім” з ТЕ та ТІ АСНБ по імпорту за досить низьку ціну. При цьому, нарешті, наші будівельники побачать, що це таке: стінові та перегородкові вироби з високою точністю розмірів та пазогребневою конструкцією стиків, а також зможуть освоїти кладку “на клею”.

Реально досягаємиий рівень фізико-технічних властивостей удосконалених ТІ та ТЕ ПЦВ статистично суттєво більше рівня відповідних показників виробів із ніздрюватих бетонів. Більша собівартість ПЦВ у порівнянні з аналогічними за середньою густиною автоклавними або неавтоклавними ніздрюватими бетонами компенсується за рахунок, наприклад, покращення показників за усадкою, теплопровідністю, анізотропією властивостей, міцністю, точністю розмірів, а також за рахунок можливості регулювання сорбційних властивостей. Це робить ТІ перлітобетони конкурентоздатним у СНД товаром тому, що ні у Росії, ні у Білорусі поки що також не вирішена дуже складна задача щодо стабільного отримання ТІ АСНБ з рівнем  $\rho < 300 \text{ кг/м}^3$  та зменшеною сорбційною вологістю.

Зараз вже є приклади успішного використання збірних ТІ ПЦВ (Perisol-A, B) для теплової ізоляції стін (об'єкти у Києві). Встановлено також, що при визначенні робочого положення збірних виробів у зовнішніх огороджуючих конструкціях слід враховувати якість пористих бетонів не тільки за критеріями  $R$ ,  $\lambda$  та  $U$ , але й за параметрами  $D$  та  $A$ .

Товщину додаткового безусадкового ТІ шару (без швів) стіни ( $\delta_{ТІ}$ ) приблизно можна визначити за формулою

$$\delta_{ТІ} = (R_T - \delta_{ст.} / \lambda_{ст.}) \cdot \lambda_{ТІ},$$

де  $\delta_{ст.}$ ,  $\lambda_{ст.}$  – товщина та коефіцієнт теплопровідності основного або несучого шару стіни;  $R_T$  - опір теплопередачі стіни;  $\lambda_{ТІ}$  - теплопровідність додаткового ТІ шару стіни.

Схема 1 конструкції теплих стін (рис. 3) для України є найбільш перспективною тому, що може бути масово реалізована з використанням вітчизняного інтелектуального, ресурсного та виробничого потенціалу.

Результати розрахунків деяких стін наведено у табл. 5 (розрахунки щодо м. Києва).

Найбільш важливим аспектом проблеми організації масового виробництва ТЕ та ТІ виробів є створення технологічного обладнання для переоснащення стаціонарних заводів АСНБ [1, 3, 5]. За останні роки ми не наблизилися до вирішення цієї задачі і зараз єю не займаємось.

## Теплотехнічні показники стін за системою теплової ізоляції "ПЕРІЗОЛ"

Схема стіни	$R_t$ , ( $m^2 \cdot K$ )/Вт	Матеріали шарів, що складають стіну	Товщина стіни, $D$ , мм	Властивості матеріалів		
				$\lambda$ , Вт/( $m \cdot K$ )	$d$ , мм (нове буд.)	$d$ , мм (ремонт)
Стіна на рис. 3		1 (автоклавний ніздрюватий бетон с $\rho=(500)700 \text{ кг/м}^3$ )		0,31 (0,20)	300	300
нове будівництво	2	2 (цементний перлітобетон Perisol-A)	<b>379</b> <b>(336)</b>	0,08	<b>69</b> <b>(26)</b>	<b>85</b> <b>(42)</b>
ремонт	2,2	3 (цементний клей)	<b>395</b> <b>(352)</b>	0,93	5	5
		4 (цементно-піщана штукатурка)		0,93	5	5

Одним із шляхів вирішення питання щодо організації масового виробництва пористих бетонів є застосування закордонного досвіду, який свідчить про наступне. Ведучі виробники КМБП поряд зі стаціонарними заводами, мають також і комплекти мобільного обладнання (КМО) - міні-аналоги заводських технологічних ліній чи їх елементів [3].

Обладнання КМО (з річною продуктивністю 20-50 тис.м<sup>3</sup>) дозволяє виготовляти КМБП з необхідними фізико-технічними властивостями в умовах, що максимально наближені до місця їх застосування, тобто, наприклад, в умовах будівельного майданчика. Цей підхід не суперечить вимогам ДСТУ Б А.3.1.-6-96. "Матеріали і вироби будівельні. Порядок розроблення і постановки на виробництво» [1, 3]. На основі вітчизняних дослідних зразків мобільного змішувально-формуального та розрізального обладнання (розробки ведуться з 1985 р.) можна створити уніфіковані змішувачі та розрізальні машини різноманітної продуктивності. Насамперед, слід створити КМО (з річною продуктивністю біля 50 тис. м<sup>3</sup> збірних виробів) для переоснащення заводів силікатної цегли з метою випуску виробів із ТЕ або ТІ ГАТ по розрізальній технології.

Зараз є намагання наших виробників застосовувати досвід розробників обладнання з Німеччини. Це явище негативне, тому що не сприяє розвитку вітчизняної науки, техніки та винахідництва. Потрібні також й КМО для виробництва СПП та пресованих ТІ ПЦВ.

Державі необхідно негайно оголосити стратегію щодо неминучого зростання показника  $R_t$  не тільки новобудівель, а також й існуючого житлового фонду, та темпи зростання тарифів на опалення на найближчі роки. Населення треба попередити, що ігнорування критерію  $R_t$ , наприклад, при масовому приватному будівництві приведе до перевитрат енергоносіїв, збільшенню шкідливих речовин в атмосфері і т.ін. Все це – підстави



для штрафних санкцій. Наявність такої інформації буде стимулювати відповідні адекватні дії фахівців у галузі будівельних композиційних матеріалів та власне будівельників.

Таким чином організація виробництва конкурентоспроможних збірних і монолітних виробів різноманітної номенклатури з пористих бетонів з покращеними фізико-технічними властивостями сприяє вирішенню проблеми ресурсозбереження й зменшення вартості будівництва.

#### Список літератури.

1. Опекунов В.В. Конструкційно-теплоізоляційні будівельні матеріали на основі активованих сировинних компонентів. - К.: Академперіодика”, 2001. – 216 с.
2. Опекунов В.В. Коли у нас будуть «теплі» будівлі? // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. – К.: НДІБК. – 2002. - вып. 56. - С. 265 - 273.
3. Опекунов В.В. Конструкционно-теплоизоляционные бетоны. - К.: Академперіодика, 2002. – 270 с.
4. Опекунов В.В. Цементные перлитобетоны и их применение. - К.: Академперіодика, 2004. – 45 с.
5. Опекунов В.В. Будут ли у нас теплые дома? - К.: Академперіодика, 2004. – 75 с.
6. В.В.Опекунов, А.Н. Ободович Пористые композиционные материалы для энергоэффективного строительства / В.В.Опекунов, А.Н. Ободович // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии : материалы 8-й междунар. научно-технической конференции, Гродно, 29-30 октября 2009 г.: ГрГУ им. Я.Купалы; редкол. : А.И.Свириденок [и др.]. – Гродно, 2009. - С. 87 - 88.
7. Опекунов В.В. Области применения пористых бетонов // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. – К.: НДІБК. – 2005.- вып. 63.- С. 321 - 325.
8. Патент 56768А Україна, Е04В1/14. Огороджувальна конструкція / В.В.Опекунов (власник патенту, Україна). - №2002097196; заявлено 04.09.02; опубл.15.05.03, Бюл. № 5. – 3 с.
9. Патент 60661А Україна, Е04В1/14. Шарова огороджувальна конструкція / В.В.Опекунов (власник патенту, Україна). - №2003010708; заявлено 27.01.03; опубл. 15.10.03, Бюл. № 10. – 3 с.