

## Use in the construction of heat-efficient cavity ceramics and porous concrete

O.M. Nedbailo, O.G. Chernyshyn

*The State Enterprise «Engineering Center «Drying» Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, str. Bulakhovskogo, 2, Bldg. 2, Kyiv, 03164, Ukraine  
Tel.: +380444240279, tel./fax +380444243283  
E-mail: icsushka@gmail.com*

*Article info: received 11.02.2018, revised 21.02.2018, accepted 12.03.2018*

*Nedbailo, O.M., Chernyshyn, O.G. (2018) Experimental investigation of thermal conductivity of moisture ceramic building materials 1(38), doi: 10.26909/csl.1.2018.1*

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 gydrofobian cement perlite is paid.

As a result of the theoretical analysis, it has been established that the strength of porous composite materials of construction purpose with a noodle or granular structure essentially depends on factors in the form of certain functions or parameters.

It was established that the activated cement mixture contains dispersed clinker particles with a 1,4 to 1,5 times reduced electrokinetic potential, which helps to form a more dense and strong with a reduced shrinkage of the structure of the cement stone. The disadvantage of the press technology is the impossibility of producing products of different sizes and the need to use a scarce fiber filler in the production of large-sized heat-insulating slabs. It is known that thermal insulating cement pearlite concrete has improved physical and technical properties (reduced thermal conductivity, open porosity, drying shrinkage, anisotropy of strength, increased compression strength and homogeneity of average density, adjustable sorption moisture content), which allows to effectively apply It is a heat-insulating layer of fencing structures.

Taking into account the increased shrinkage of cementing material to reduce the effect of its properties on the physical and technical properties of alkyd concrete, the costs of the binding agent should be reduced. Further reduction of shrinkage of the cementing material is achieved by forming a microstructure containing phases, for example, hydrogranates with reduced shrinkage and greater strength.

During the operation of composite materials of construction purpose, a situation may arise when the percentage of sorbed water passes into a chemisorbed or crystallization dissociation with the actual formation of new compounds in the structure of composite materials of construction purpose. To exclude this phenomenon, it is necessary to reduce the amount of non-hydrated particles of cement in concrete.

Thus, the organization of production of competitive prefabricated and monolithic products of a diverse range of porous concrete with improved physical and technical properties contributes to solving the problem of resource conservation and reducing the cost of construction.

Key words: porous concrete, cavity ceramics, autoclaved aerated concrete.

## Використання в будівництві теплоефективної порожнотілої кераміки та пористих бетонів

A.H. Nedbailo, A.G. Chernyshyn

*Державне підприємство «Інженерний центр «Сушка» Інституту технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна*

Розглянуті 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.

У результаті теоретичного аналізу встановлено, що міцність пористих композиційних матеріалів будівельного призначення із ніздрюватою або зернистою структурою суттєво залежить від факторів у вигляді певних функцій або параметрів.

Встановлено, що активована цементна суміш містить дисперговані частинки клінкера зі зменшенням 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 теплоізоляційних плит. Відомо, що теплоізоляційний цементний перлітобетон в порівнянні з теплоізоляційним 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 теплоізоляційний шар огорожувальних конструкцій.

### Умовні скорочення та позначення

АСНБ – автоклавний силікатний ніздрюватий бетон, ГАТ – газобетон автоклавного твердіння, КМБП – композиційний матеріал будівельного призначення, НЦНБ – неавтоклавний цементний ніздрюватий бетон, ПЦВ – перлітоцементний виріб, СПП – силікатного бетону автоклавного твердіння,  $A$  – спучений перлітовий пісок,  $C$  – коефіцієнт анізотропії,  $D$  – ступінь структуроутворення,  $G$  – коефіцієнт однорідності,  $TE$  – теплоефективний,  $TI$  – теплоізоляційний,  $U$  – усадка,  $W$  – сорбційна вологість.

### Вступ

Світові тенденції посилення ресурсо-, енергозбереження у будівництві потребують застосування при спорудженні конструкцій опалюваних будівель неорганічних композиційних матеріалів будівельного призначення (КМБП) з покращеними тепло-технічними властивостями. Проблема ресурсозбереження безпосередньо пов'язана з комплексом задач із забезпечення безпеки держави, що включає, зокрема, економічні, науково-технічні та соціально-психологічні складові.

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 ГАТа або автоклавного силікатного ніздрюватою бетону (АСНБ). Ці виробництва створювалися у 1970 – 1980 рр. для реалізації державних завдань щодо масового будівництва шляхом створення сучасної номенклатури збірних виробів. З середини 1980-х років будівельники почали освоювання монтажу стін із 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 інші.) 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 продук-

цію. 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  $\rho < 600$  кг/м<sup>3</sup> із застосуванням сучасних конструкцій технологічного обладнання призупинені.

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

Бетони, що зараз виготовляють у 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 з ГОСТом 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 у промисловому обсязі також не виробляють.

Зараз практично відсутня раціональна концепція інтенсивного науково-технічного розвитку та перенесення галузі, яка включає підприємства різноманітної форми власності (відома «Програма розвитку виробництва ніздрюватобетонних виробів та їх використання у будівництві на 2005 – 2011 роки», що 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 інших великих індустріальних центрів, за комерційною участю державних наукових установ (за їх допомогою або ними розробляються 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, базуючись на досвіді інших країн, намагаються самостійно, без допомоги держави та державних наукових установ, створювати дослідницькі підрозділи з метою впровадження нових технічних рішень.

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 обладнання, яке не дозволяє виготовляти вироби з необхідними розмірами та точністю розмірів при заданих параметрах фізико-технічних властивостей. Крім того, існуюча

традиційна «суха» технологія припускає перевищити вартість СПП, враховуючи відносно високу вартість СПП, приводить до отримання ТЕ перлітоцементних виробів (ПЦВ), які мають собівартість, більшу за собівартість виробів з АСНБ.

Техніко-економічний аналіз показує, що найбільш конкурентоздатними є стінові вироби з КМБП у вигляді пористих бетонів з середньою густиною  $\rho = 500 \dots 800 \text{ кг/м}^3$ .

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

### Матеріали та методи дослідження

В зв'язку з цим, у роботах [1, 2] пропонується наступна легка та пористих бетонів за параметром густини  $\rho$ : конструкційні ( $\rho > 800 \text{ кг/м}^3$  ( $R > 4,0 \text{ МПа}$ )); конструкційно-теплоізоляційні ( $500 \leq \rho \leq 800 \text{ кг/м}^3$ ; ( $R \cong 1,5 - 10,0 \text{ МПа}$ )); теплоізоляційні ( $\rho < 500 \text{ кг/м}^3$ ; ( $R < 3,5 \text{ МПа}$ )). Вироби з теплоефективних (ТЕ) КМБП пропонується класифікувати як ТЕ будівельні вироби [3].

Найважливішим показником якості пористих бетонів є їх міцність. 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 активність;  $R_c, R_m, R_a$  – параметри чи функції, що характеризують міцність мікрозаповнювача ( $R_c$ ) та матриці ( $R_m$ ), а також міцність ( $R_a$ ) контакту «мікрозаповнювач – матриця».

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

Згідно з відомою термодинамічною концепцією 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  $R$  недоцільно. 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.

В Україні, виробляються ТЕ КМБП, в основному, у вигляді газобетонів автоклавного твердіння (ГАТ).

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

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

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

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

$$R = f_2(P_{(1,2)}, R_a, R_m, \rho, A_R, D, U), \quad (4)$$

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

### Результати та їх обговорення

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.

Доцільно також 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, що зараз виготовляють наші підприємства з порушенням основних положень 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, 3].

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

Розрізняють два основних конструктивних рішення теплих стін: 1) одно- чи багатошарова стіна без повітряного прошарку; 2) стіна з повітряним прошарком (імпортне 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. 1).



Рис. 1. Стінові блоки будівельної системи із пористо-порожнотілої кераміки

Застосування в Україні виробів із довговічних ТЕ АСНБ для виготовлення одношарових теплоефективних стін обмежене (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 складною задачею.

Схема 1 особливо ефективна при наявності зовнішнього або/та внутрішнього ТІ шарів із твердих

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 зданих и сооружений Ceresit», як це має місце на новобудовах Києва, виникає питання про довговічність конструкції ТІ шару стіни. Статистичних даних щодо цього питання в Україні немає. Не зрозуміло також, як ця конструкція стін узгоджується з Законом України «Про пожежну безпеку» №3745-ХІІ від 17.12.1994 р.

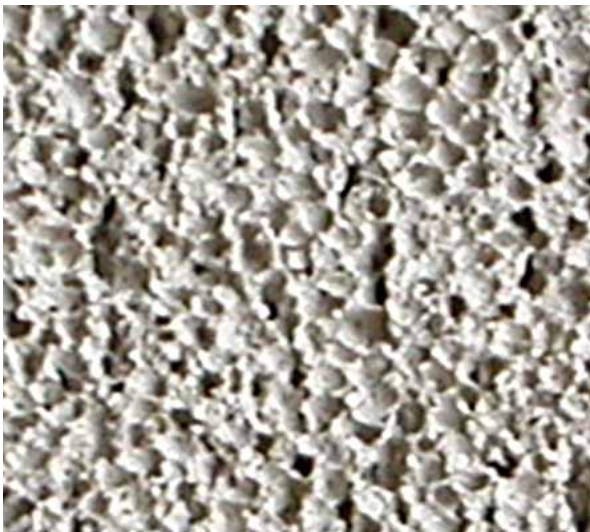


Рис. 2. Макроструктура теплоізоляційного газобетону автоклавного твердіння ( $\rho = 150 \text{ кг/м}^3$ )

В останні роки у Києві побудовані експериментальні будівлі з використанням конструкцій зовнішніх стін за схемою 2.

Таблиця 1.

Основні фізико-технічні властивості ТІ бетонів

Показники	Бетони			
	автоклавний силікатний газобетон	перізол-Г на цементі	неавтоклавний цементний газобетон	неавтоклавний цементний пінобетон
$\rho, \text{ кг/м}^3$	305	306	307	305
$R, \text{ Мпа}$	0,79	0,85	0,77	0,70
$\lambda, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	0,62	0,43	1,84	1,86
$U, \text{ мм/м}$	0,86	0,92	0,86	0,88
Коефіцієнт однорідності середньої густини $A_R$	0,89	0,96	0,89	0,90
Пористість:				
відкрита	43	22	43	41
закрита	47	65	46	48

В Україні зараз немає розвинутого промислового виробництва твердих ТІ виробів з  $\rho < 300 \text{ кг/м}^3$  з застосуванням довговічної неорганічної сировини, що 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 України практично відсутні. Лише ціною неадекватних зусиль галузеві науковці можуть отримати за розривальною технологією обмежені дослідні партії якісних виробів з АСНБ з  $\rho < 400 \text{ кг/м}^3$  на діючих стаціонарних заводах України. При цьому практично не вирішена проблема зменшення  $W$ , тобто пасивації, абсорбційних властивостей ніздрюватих бетонів (особливо – газобетонів) при  $\rho < 400 \text{ кг/м}^3$  (необхідна регульована об'ємна, а не поверхнева гідрофобізація), ось чому зараз немає прикладів успішного застосування ТІ ніздрюватих бетонів для ефективною зовнішньої теплової ізоляції стін будівель. Є й інші причини, що стримують використання сбірних ТІ виробів.

Технології виробництва СПП відомі з 1960-х років, мають український пріоритет, постійно удосконалюються нашими виробниками СПП. Однак виробництво ТІ ПЦВ розвивається в Україні не обґрунтовано 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 (табл. 1).

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 формувальної суміші при використанні існуючого серійного пресового обладнання [2]. При цьому доцільно використовувати СПП з більш пасивними вихідними абсорбційними властивостями.

Теоретично обґрунтована нова роздільна технологія виготовлення ТЕ і ТІ ПЦВ з покращеними фізико-технічними властивостями, що включає роздільне приготування дисперсної системи на основі СПП фракційного складу, що пасивований (гідрофобізований), а також цементної в'язучої системи (ВС) малої концентрації ( $V/C \geq 1$ ), що активована, наприклад, механічним способом. Проведені технологічні дослідження стосовно отримання ПЦВ на основі вітчизняного СПП, що модифікований (пасивований) шляхом обробки емульсією гідрофобізатору (табл. 2).

Встановлено, що активована цементна ВС містить дисперговані частинки клінкера зі зменшенням 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 ТІ плит. Відомо, що ТІ цементний перлітобетон в порівнянні з ТІ 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.

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

Таблиця 2.

Основні фізико-технічні властивості вітчизняних ПЦВ

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

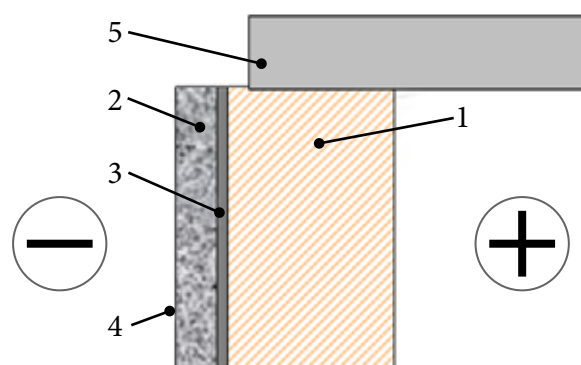


Рис. 3. Конструктивна схема огорожувальної конструкції:

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

У загальному випадку:

$$U = \varphi(\rho, n, N, C, G, D, A), \quad (5)$$

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 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, що виготовлені за неефективною технологією напівсухого формування [2].

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:

$$\lambda = f(W_e, t, C, D, A_\lambda, P_i), \quad (6)$$

де  $W_e$  – 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:

$$R = f_3(P_{(1,4)}, R_a, R_m, R_c, \rho), \quad (7)$$

де  $P_1$  – 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 (М). В ніздрюватих бетонах макропористість створюється у процесі формування та тужавлення сирцю, а мікропористість, в основно-

му – в процесі його тужавлення. Пористість СПП вносить суттєвий внесок і в параметр П 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]: 1) негідрофобізований Perisol-A для використання як теплової ізоляції промислового обладнання з ненормованим 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  $W = 2 - 4 \%$ .

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 низькото високоосновних гідросилікатів кальцію (ГСК), які синтезуються при автоклавній обробці сирцю 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.

Реально досягнутий 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.

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 огорожувальних конструкціях слід врахо-

вувати якість пористих бетонів не тільки за критеріями  $R$ ,  $\lambda$  та  $U$ , але й за параметрами  $D$  та  $A$ .

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

$$\delta_{\text{ПІ}} = (R_{\text{т}} - \delta_{\text{ст}} / \lambda_{\text{ст}}) \lambda_{\text{ПІ}},$$

де  $\delta_{\text{ст}}$ ,  $\lambda_{\text{ст}}$  – відповідно, товщина та коефіцієнт теплопровідності основного (або несучого) шару стіни;  $R_{\text{т}}$  – опір теплопередачі стіни;  $\lambda_{\text{ПІ}}$  – теплопровідність додаткового ПІ шару стіни.

## Висновки

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 [4].

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». 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 ПІ ГАТ по розрізувальній технології.

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.

## References

1. *Опекунов, В.В.* Конструкційно-теплоізоляційні будівельні матеріали на основі активованих сировинних компонентів [Текст]. – К.: Академперіодика, – 2001. – 216 с.
2. *Опекунов, В.В.* Конструкционно-теплоизоляционные бетоны [Текст]. – К.: Академперіодика, – 2002. – 270 с.
3. *Опекунов, В.В.* Цементные перлитобетоны и их применение [Текст]. – К.: Академперіодика, – 2004. – 45 с.
4. *Опекунов, В.В.* Вирішення задач ресурсозбереження в будівництві шляхом використання якісних виробів із пористих бетонів [Текст] // В.В. Опекунов, О.М. Ободович, О.М. Недбайло / Кераміка: наука і життя. – 2010. – № 2(8). – С. 45 – 57.