

УДК 666.973.6:666.973.3:691.32

ЗАЛЕЖНІСТЬ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НІЗДРЮВАТИХ БЕТОНІВ ВІД ПАРАМЕТРІВ ВИГОТОВЛЕННЯ

В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, М. П. Машницький, А. В. Бондар

Дано загальну характеристику ніздрюватого бетону та його основних видів, їх властивостей та способів отримання. Проаналізовано залежність основних теплотехнічних та фізико-механічних властивостей ніздрюватих бетонів від способу їх виготовлення.

Дана общая характеристика ячеистого бетона и его основных видов, их свойств и способов получения. Проанализирована зависимость основных теплотехнических и физико-механических свойств ячеистых бетонов от способа их изготовления.

It was given the general characteristic of porous concretes and its basic kinds, their properties and production methods. It was analysed dependence of basic heat-engineering and physical-mechanical properties of porous cocncretes on method of their production.

Сьогодні через свою високу вартість будівництво в нашій країні переживає не найкращі часи. Одним з шляхів здешевлення будівель є використання дешевих, одночасно якісних та простих у використанні матеріалів. Такі якості вмають ніздрюваті бетони. Вітчизняний та зарубіжний досвід будівництва та експлуатації житлових, цивільних будинків та споруд показали ефективність використання в якості огорожуючих та теплоізоляційних елементів з ніздрюватих бетонів. За рахунок їх високих теплотехнічних властивостей досягається зниження експлуатаційних енергетичних витрат, підвищується комфортність житла. Використання ніздрюватого бетонних виробів у будівництві дозволяє знизити вартість житла, що зараз є дуже актуальним.

Ще на початку 20-го століття шведським архітектором А. Еріксоном була винайдена технологія одержання бетону з близькими до деревини характеристиками, а в 1924 році матеріал було захищено міжнародним патентом. На теренах СРСР пінобетон почав широко застосовуватись вже в 30-х роках для монолітної теплоізоляції покрівель. Проте в зв'язку з невисокими показниками тріщиностійкості пінобетон почав витіснятись більш міцним газобетоном. В зв'язку з ростом вартості енергоносіїв, тенденція почала змінюватись, і на сьогодні пінобетон та газобетон не є конкурентами на ринку будівельних матеріалів. Кожен з цих матеріалів заповнює свою нішу.

Ніздрюваті бетони за своїми фізичними та технічними властивостями повною мірою відповідають вимогам раціонального використання енергоресурсів на обігрівання, забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних параметрів мікроклімату приміщень, довговічності огорожувальних конструкцій під час експлуатації будинків та споруд.

Поняття ніздрюватого бетону

Ніздрюватий бетон – це штучний пористий матеріал, структура якого характеризується наявністю пор діаметром до 2 мм, заповнених повітрям або газом. Основними характеристиками ніздрюватих бетонів є середня густина, міцність та теплопровідність. За екологічними показниками характеристики наближені до деревини, за радіоактивністю нижчі за допустимі 350 Бк/кг.

Ніздрюваті бетони – це різновид легких бетонів. Їх отримують в результаті твердіння поризованої за допомогою поро- або газоутворюючих добавок суміші в'язучого, кремнеземистого компонента і води. При спучуванні цієї суміші утворюється пориста структура, яка на 80-85 % складається з рівномірно розподілених повітряних пор. Завдяки своїй структурі ніздрюваті бетони мають незначну середню густину, високі тепло-, звуко- і пароізоляційні властивості. Вони вогнестійкі, довговічні і їх виготовляють за достатньо простою технологією. Використання саме ніздрюватих бетонів значно покращує теплоізоляційні властивості зовнішніх та внутрішніх стін і дозволяє знизити вагу виробів, зменшивши навантаження на фундаменти.

Основними різновидами ніздрюватих бетонів є піно- та газобетони.

Газобетон утворюється спученням маси, що твердне, газами, які виділяються за рахунок реакції в системі.

Пінобетон одержують змішуванням водної суспензії тонкодисперсних матеріалів з попередньо одержаною піною.

Найважливішими характеристиками ніздрюватих бетонів є щільність і міцність. Щільність є мірою теплопровідності, а міцність – мірою несучої здатності.

Теплотехнічні властивості ніздрюватих бетонів

Теплопровідність ніздрюватих бетонів залежить від таких факторів:

- фізичного стану і структури, котрі визначаються фазовим станом речовини; ступенем кристалізації і розмірами кристалів; анізотропією теплопровідності кристалів; напрямком теплового потоку, об'ємом пористості матеріалу; характеристиками пористої структури;
- хімічного складу і присутністю домішок, останні в свою чергу особливо впливають на властивості теплоізоляційних матеріалів;
- умов експлуатації, що залежать від температури, тиску, вологості, матеріалу.

Теплофізичні властивості ніздрюватих бетонів залежать багато в чому від їх вологості. Водопоглинання ніздрюватого бетону залежить від виду в'язучого, характеру пористості і ряду інших факторів. Величина приросту теплопровідності ніздрюватого бетону на кожен відсоток збільшення вологості становить від 6 до 8 %.

Вирішальним фактором зниження теплопровідності таких бетонів є підвищення загальної пористості. Так, зниження середньої щільності на 100 кг/м^3 призводить до зменшення теплопровідності на 20 %. У зв'язку з цим зниження середньої щільності пористого бетону до 200 кг/м^3 забезпечує зменшення теплопровідності до $0,06 \text{ Вт/(мград)}$ і нижче, що відповідає теплопровідності високоефективних теплоізоляційних матеріалів, таких як мінеральна вата і пористі пластмаси. Теплопровідність поризованих матеріалів при постійному складі твердої фази залежить від об'єму пористості, виду і характеристик пористої структури. Теплопровідність змінюється обернено пропорційно об'єму пористості, зменшуючись з її збільшенням.

Фізико-механічні властивості ніздрюватих бетонів

Фізико-механічні характеристики ніздрюватих бетонів визначають область їхнього доцільного використання в практиці будівництва.

Фізико-механічні та експлуатаційні властивості ніздрюватих матеріалів значною мірою залежать від співвідношення твердої та газової фази, та властивостей твердої фази. Крім загального співвідношення твердої та газової складових відмічається, що властивості ніздрюватих матеріалів визначаються геометричними характеристиками розподілу твердої складової. Під ними розуміють протяжність та форму міжпорових перегородок. При незмінних геометричних параметрах розподілу твердої складової властивості ніздрюватих матеріалів є функцією властивостей матеріалу твердої фази. В свою чергу, властивості твердої складової залежать від її складу, та технологічних умов отримання. Одною з важливих характеристик, яка визначає ефективність технології, є початковий набір міцності пінобетону. Відомо, що для інтенсифікації кінетики структуроутворення мінеральних в'язучих використовують хімічні домішки-прискорювачі, наповнювачі та фізико-механічні методи активації. Цільовий набір складових твердої фази та методів їх активації дозволять не тільки скоротити технологічний цикл при загальному підвищенню об'ємів виробництва, але і поліпшити властивості затверділого матеріалу.

Фізико-механічні властивості ніздрюватих бетонів (газо- та пінобетонних) залежать від способів утворення пористості, рівномірності розподілу пор, їх характеру (відкриті або замкнуті), виду в'язучого, умов твердіння та ряду інших факторів.

Властивості ніздрюватих бетонів взаємопов'язані між собою. Так, коефіцієнт теплопровідності (λ) в сухому стані залежить в основному від величини середньої щільності. Несуттєвий вплив на величину λ чинять вид в'язучого, умови твердіння та інші фактори. Це пояснюється тим, що матеріал стінок, які утворюють пори, складається з цементного каменю або близького до нього гідросілікатного каркаса. Тому величина пористості і відповідно середньої щільності переважно визначає теплопровідність пористого бетону. Пористість матеріалу з комірчастою структурою утворюється з повітряної пористості (макропористості) і пористості міжпорових перегородок (мікропористості).

Характер комірчастої пористості визначається просторовим розташуванням пор (упаковкою), розподілом пор за розмірами (поєднання пор різних розмірів), максимальним і

середнім розміром пор, їх формою, товщиною міжпорових перегородок.

Форма пор – параметр, що характеризує ступінь деформування сферичних пор у правильні многогранники. Підвищення комірчастої пористості системи, зниження поверхневого натягу, підвищення стійкості маси, швидка фіксація структури шляхом затвердіння призводить до формування пор-багатогранників. Про ступінь деформування пор можна судити за обсягом комірчастої пористості: якщо її значення перевищує 75-80 %, це вказує на можливість переходу сферичних пор в многогранники. Чим вища пористість, тим більш правильної форми повинні бути многогранники. Прагнуть до таких параметрів поризації, які забезпечують формування пор з щільною, гладкою поверхнею.

Підвищення пористості досягається тоді, коли пори мають різний розмір і характеризуються несферичною формою. Полідисперсний характер розподілу пор за розмірами забезпечує високу ймовірність рівномірного розміщення пор менших розмірів між порами великих діаметрів. Розмір пор переважно визначається в'язкістю суспензії і видом піноутворювача.

Висушування ніздрюватого бетону (зменшення вологості) до рівноважного стану з навколишнім середовищем супроводжується деформаціями усадки. Величина вологості усадки становить від 0,2 до 3,0 мм/м і залежить переважно від вихідного вмісту води, рівноважної вологості, середньої щільності та виду в'язучого. Як при зміні вологості, так і при карбонізації пінобетон менш тріщинотійкий, ніж автоклавний газобетон.

Якість ніздрюватого бетону оцінюють коефіцієнтом конструкційної якості (А), який являє собою частку від розподілу міцності при стисненні ($R_{ст}$, МПа) на величину квадрату середньої щільності (ρ_0 , кг/м³). Величина А дає можливість порівнювати властивості матеріалів, що розрізняються за складом та структурою.

Міцність матеріалу стінок пор пінобетону переважно визначає кількість води змішування. При твердненні пористого бетону на основі портландцементу, тільки частина води бере участь у формуванні структури. Кількість зв'язаної води при гідратації цементу залежить від його мінералогічного складу і складає в 28-добовому віці 15-20 % від маси цементу. Надмірна кількість води формує капілярну пористість в обсязі цементного каменю. Після сушіння в цементному камені міжпорових перегородок пористого бетону залишаються гелеві і капілярні пори.

Для ніздрюватих бетонів, до складу яких, разом з в'язучим, вводять певну кількість тонкодисперсних добавок, замість В/Ц прийнято визначати водотвердне відношення (В/Т). У міру збільшення В/Т міцність газобетону зменшується. Ця залежність характерна для пористих бетонів на всіх в'язучих.

Міцність ніздрюватого бетону залежить від його щільності, виду і властивостей вихідних матеріалів, режиму теплової обробки, вологості та інших факторів. Для конструкційно-теплоізоляційного пористого бетону встановлені такі класи по міцності на стиск: В 0,5; В 0,75; В 1; В 1,5; В 2,5. Теплоізоляційний бетон із середньою щільністю D400 повинен мати клас по міцності на стиск В 0,5 або В 0,75. У марок неавтоклавного бетону D 350 і D 300 клас по міцності на стиск і марка по морозостійкості не нормуються.

Встановлено, що при збільшенні В/Т від 0,3 до 1,0 капілярна пористість збільшується в 1,5 рази. Міцність залежить від рівномірності розподілу пор в бетоні і їх розміру. Збільшення кількості повітряних мікропор призводить до підвищення міцності і зниження теплопровідності.

Морозостійкість конструкційно-теплоізоляційних пористих бетонів, як правило, перевищує 25 циклів. Істотний вплив на морозостійкість надає структура міжпорових перегородок і вид в'язучого. Ніздрюватий бетон на портландцементі характеризується більш високою морозостійкістю, ніж на інших видах в'язучого. Морозостійкість пінобетону при рівноважній вологості від 4 до 6 % перевищує 500 циклів.

Технологія виготовлення ніздрюватих бетонів

Автоклавний газобетон виробляється на заводах і на будмайданчик потрапляє у вигляді готових блоків. Виготовлення цього матеріалу на малому виробництві неможливе. Процес виробництва: у змішувачі змішується вода, цемент, мелений кварцовий пісок, ретельно розмільчене вапно і гіпсовий камінь, додається алюмінієва пудра як газоутворювач – і суміш ніздрюватого бетону готова. У теплій вологій камері суміш піднімається, при цьому утворюється численна кількість пор. У автоклавній печі ніздрюватий бетон твердне під тиском в атмосфері

насиченої пари при температурі близько 184 °С. Технологія виробництва, що застосовується, забезпечує рівномірну щільність масиву і високі показники міцності.

Є три основні технології виготовлення газобетону: литьова, вібраційна та ударна.

Литьова технологія пов'язана з використанням формувальної суміші з досить високим вмістом води ($V/T = 0,5 \dots 0,6$), що позначається на основних характеристиках кінцевого продукту.

Більш краща за литьову вібраційна технологія дозволяє зменшити витрати води ($V/T = 0,3 \dots 0,4$, Рис. 1), а також завдяки виникненню ефекту тиксотропного розрідження знижується в'язкість та пластична міцність.

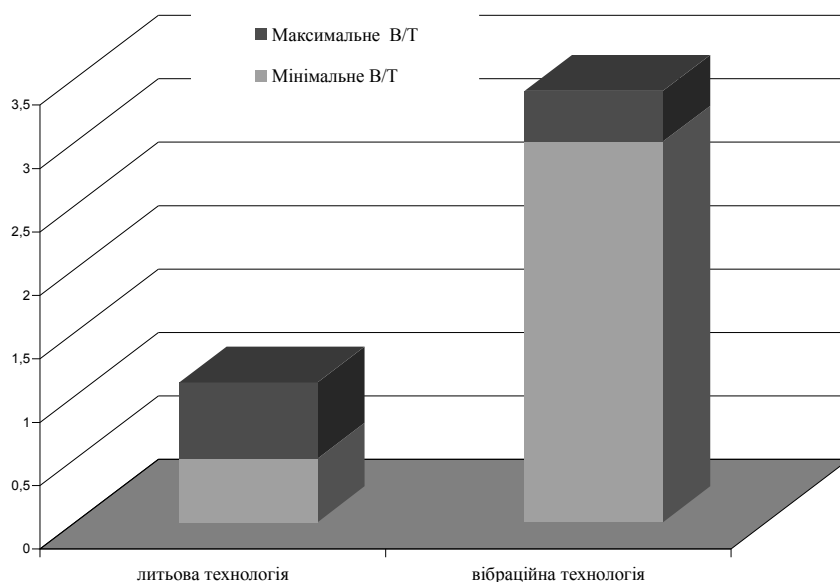


Рис. 1. Залежність V/T від технології виготовлення газобетону

Застосування вібрації дає змогу керувати реологічними властивостями сумішей. В результаті використання даної технології підвищується міцність, збільшується морозостійкість та знижуються деформаційні усадки, що дає змогу покращити теплотехнічні характеристики матеріалу.

Пінобетон отримують завдяки змішуванню водного розчину в'язучих речовин з піною.

Традиційний піний спосіб полягає в роздільному приготуванні розчинної суміші та піни та їх спільним змішуванням далі. Для успішного виготовлення якісного виробу піногенератор повинен забезпечувати приготування піни середньої кратності (10...40) з високим її застосуванням за об'ємом (більше 0,8).

Метод сухої мінералізації піни полягає в попередньому приготуванні піни з подальшим насиченням її сухими компонентами з одночасним перемішуванням в змішувачі. Необхідне приготування піни низької кратності (4...6, Рис. 2) яку можна приготувати і в високообертovому змішувачі. Швидке адсорбування води дає змогу знизити рухомість пінобетонної суміші, стабілізувати її, зменшити водотвердне відношення, за рахунок чого покращується макроструктура та отримується пінобетон з досить високими конструктивними показниками.

Метод приготування піномаси аеруванням полягає у втягуванні повітря сумішшю розчину та піномаси та їх швидкісному перемішуванні у високообертovому змішувачі, що дозволяє відмовитись від піногенератора. У результаті маса може поризуватися до 12 %, що не дає високих теплотехнічних характеристик проте при цьому способі досягаються досить непогані конструктивні характеристики.

Технологія виробництва пінобетону дозволяє виготовляти його в приватному порядку невеликими партіями в безпосередній близькості від місця будівництва. Сьогодні на ринку представлено устаткування невеликих потужностей і, відповідно, малих габаритів, розраховане на приватного забудовника. Установка з виробництва пінобетону дозволяє подавати готову суміш на велику висоту без використання спеціального насоса. Завдяки цьому з використанням такого будівельного матеріалу можна виконувати як монолітне, так і блокове житлове будівництво.

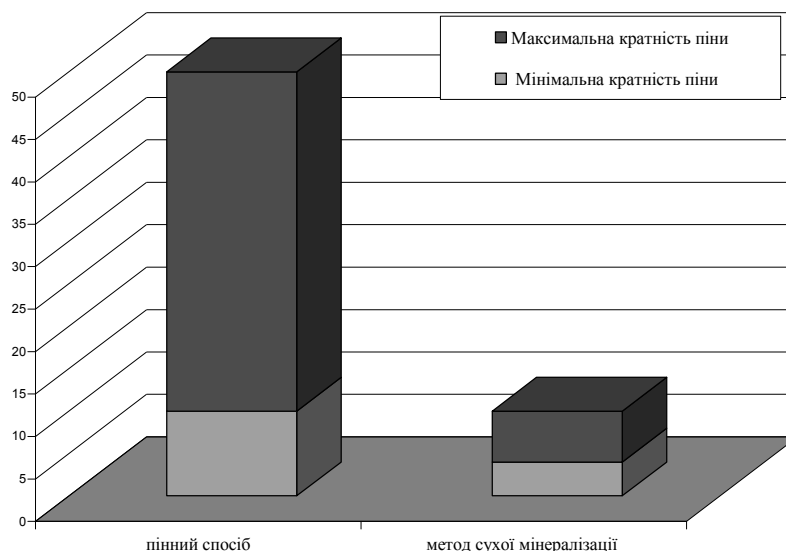


Рис 2. Залежність значення кратності піни від технології виготовлення пінобетону

Пориста структура газобетонів характеризується рядом органічно притаманних їй недоліків. По-перше, наявністю в міжпорових перегородках контактних дірок і тріщин. Пов'язано це з тим, що кількість газоутворювача в різних мікрооб'ємах неоднакова, в результаті між сусідніми порами виникає перепад тисків. Прорив газу, як правило, відбувається на завершальній стадії спучування, і в цей період реологічні параметри маси перешкоджають мимовільній ліквідації дефекту. Порушення замкнутості пористої структури негативно позначається на всіх властивостях газобетону. По-друге, для газобетонів характерна розпушення поверхні пор. Для газобетонів характерна також еліптичність газових пор, як результат подолання зростаючого з часом гідростатичного тиску вищерозташованого стовпа маси. Мікроструктура ніздрюватих бетонів пінного способу виробництва позбавлена зазначених недоліків і має переваги в порівнянні з газобетоном.

У виготовленні цементного пінобетону поширена неавтоклавна схема виробництва. Відмова від автоклавної обробки веде до деякого зниження міцності пористого бетону і його тріщиностійкості. При пропарюванні пористого бетону в ньому зростає кількість сполучених капілярів, що підвищує водопоглинання і проникність, створюються вологісний і термічний градієнти, що сприяє виникненню внутрішніх напруг.

Останнім часом технології неавтоклавного пінобетону присвячено більше число робіт, тому що він не потребує автоклавування і пропарювання, а його властивості при раціональній організації виробництва відповідають вимогам сучасного будівництва.

Висновки

- Проведений аналіз основних технологій виготовлення газобетонів та пінобетонів, розглянуто залежності зміни водотвердого відношення відповідно до технології виготовлення ніздрюватих виробів.
- Встановлено, що вібраційна технологія є більш перспективною (порівняно з литьовою), і її особливість полягає в тому, що вироби отримують на основі високов'язких сумішей із низьким водотвердим відношенням ($B/T - 0,3...0,4$). При цьому відбувається тиксотропне розрідження, внаслідок чого знижується в'язкість і пластична міцність.
- Використання ударної технології при формуванні газобетонних виробів дає можливість скоротити витрати цементу на 30 %, вапна та газоутворювача 10...12 %, зменшити тривалість набору пластичної міцності, а також підвищити однорідність виробів та покращити теплотехнічні та фізико-механічні властивості ніздрюватих бетонів.

Використана література

1. Горлов Ю. П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий: учебник для вузов / Горлов Юрий Павлович. – М.: Высш. шк., 1989. – 384 с.
2. Опекунов В. В. Конструкційно-теплоізоляційні будівельні матеріали на основі активованих сировинних компонентів / В. В. Опекунов. – К.: Академперіодика, 2001. – 216 с.
3. Рунова Р. Ф. Основи виробництва стінових та оздоблювальних матеріалів: Підручник / Р. Ф. Рунова, Л. О. Штейн, О. Г. Гелевера, В. І. Гоц. – К.: КНУБА, 2001. – 354 с. IDSN 966-627-043-9.
4. Опекунов В. В. Пористі композиційні матеріали та їх використання у будівництві / В. В. Опекунов. – К.: Академія будівництва України, 2006. – 85 с.
5. Опекунов В. В. Прочность, однородность и анизотропия свойств пористых бетонов / В. В. Опекунов // Строительные материалы. – 2006.– № 11.– С. 17-21.
6. Очеретний В. П. Будівельні матеріали і вироби: Навчальний посібник / В. П. Очеретний. – К.: НМК ВО, 1992. – 172 с.

Очеретний Володимир Петрович – к.т.н., доцент кафедри містобудування та архітектури, Вінницький національний технічний університет.

Ковальський Віктор Павлович – к.т.н., старший викладач кафедри містобудування та архітектури, Вінницький національний технічний університет.

Машницький Микола Петрович – аспірант кафедри містобудування та архітектури, Вінницький національний технічний університет.

Бондар Альона Василівна – студентка Вінницького національного технічного університету.