

Введення кремнійорганічних добавок також понижує середню густину пінобетонів за рахунок повітровтягувальній (ГКЖ-11Н) та газотвірній дії (136-157М). Підвищення міцності зразків пінобетону, очевидно, можна пояснити покращанням процесу гідратації портландцементу при твердненні та набиранні міцності [2].

Як видно із табл. 6, введення ГКЖ-11Н та 136-157М зменшує водопоглинання в 7–8 разів та, очевидно, сприяє підвищенню водостійкості пінобетонів.

**Висновки.** 1. Введення золи та меленого шлаку підвищує міцність зразків пінобетону при стиску з одночасним пониженням середньої густини.

2. Введення кремнійорганічних добавок частково посилює ефект підвищення міцності та пониження середньої густини зразків пінобетону з одночасним суттєвим зменшенням водопоглинання та підвищенням водостійкості.

1. Зудяев Е.А., Моисеев Е.В. *Приготовление пенобетонов методом сухой минерализации // Механизация строительства.* – 1999. – № 2. – С. 2–4. 2. Соболевский М.В., Музовская О.А., Попелева Г.С. *Свойства и области применения кремнийорганических продуктов.* – М.: Химия, 1975. – 296 с. 3. Глів В.В., Гивлюд М.М., Котів М.В. *Підвищення довговічності будівельних матеріалів і будівель кремнійорганічними речовинами // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”.* – 2002. – № 441. – С. 79–82.

УДК 691.327.333

**В.О. Каганов, І.Б. Горніковська**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра будівельного виробництва,

## **ШЛЯХИ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗАВТОКЛАВНОГО ПІНОБЕТОНУ У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ**

© Каганов В.О., Горніковська І.Б., 2008

**Розглянуто новітні підходи у використанні неавтоклавної пінобетону та шляхи реалізації сучасних конструктивних рішень у дорожньому будівництві.**

**In present article it was observed the modern approaches in usage of no autoclave aerated concrete and the ways of implementation for new constructive solutions in road building.**

**Постановка проблеми.** Останні роки характеризуються підвищенням інтересом до пінобетону, як до сучасного та ефективного будівельного матеріалу у дорожньому будівництві. Це обумовлено новими досягненнями у галузі будівельної хімії, у нових технологіях виробництва безавтоклавної пінобетону і підкріплено реалізацією Державної програми розвитку виробництва виробів з ніздрюватого бетону з метою їх використання у будівництві до 2011 року, яка затверджена Кабінетом Міністрів України ще у 2003 році.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Пінобетон є ефективним сучасним будівельним матеріалом з доволі широкою галуззю застосування. Ефективність використання пінобетону обумовлена: по-перше, простотою експлуатації обладнання для виготовлення пінобетонних сумішей, мобільністю технологічного устаткування; можливістю варіювання властивостями пінобетону від теплоізоляційного (з маркою по середній густині D300) до конструкційного (з маркою по середній густині D1800), мінімальним енергоспоживанням мобільних установок (встановлена потужність обладнання коливається від 5 до 10 кВт); по-друге, порівняно низькою матеріаломісткістю виробів, оскільки частково заповнювачем є повітря, та високою економічністю виробів.

Пінобетон потрібно вважати порівняно однорідним матеріалом, якщо порівнювати його з бетоном звичайної структури, оскільки він зовсім не містить крупного заповнювача. При цьому пінобетон характеризується високою мінливістю своїх експлуатаційних властивостей. Властивості пінобетону залежать від його мікроструктури (система пор та розташування капілярів) і складу, який, своєю чергою, залежать від виду зв'язного, методу поризації та догляду за бетоном під час тверднення. Хоча пінобетон спочатку вважався лише добрим теплоізолюючим матеріалом, нещодавно відновився інтерес до його конструкційно-теплоізоляційних властивостей з огляду на його невелику масу, економічність матеріалів та можливість масштабної утилізації промислових відходів, наприклад, таких як зола-виносу ТЕС.

Певний час в минулому проводились дослідження експлуатаційних властивостей пінобетону. Перше ґрунтовне дослідження пінобетону як матеріалу, здійснив Валор, після нього детально експериментально дослідили його Рундаї, Шорт і Кіннібург [1].

Оскільки, без сумніву, перевагою пінобетону є широка гама можливостей у способах його застосування, а саме – у вигляді особливо рухливої суміші або у вигляді безвипалювальних гранул; у монолітному або збірному варіанті з природним твердненням чи теплооброблених виробів, то саме цей факт дає шанс використати пінобетон у різних галузях будівельного сегменту.

Сьогодні переважає розвиток виробництва пінобетону на основі неавтоклавного тверднення. Це обумовлено простотою цієї технології, низькими затратами на організацію виробництва і доступністю матеріалів для приготування цього виду пінобетону. Спосіб приготування формувальних пінобетонних мас великою мірою залежить від вибраної технології та виду піноутворювача, що застосовується у цьому процесі. Приготування пінобетонної суміші, незалежно від методу спінення, ґрунтується на отриманні гетерогенної системи *газ-рідина-тверде тіло* і може бути здійснене декількома методами.

Згідно з першим методом спеціально приготовлену технологічну піну змішують з цементним тістом або цементно-піщаним розчином та внаслідок інтенсивного перемішування отримують ніздрювато-бетонну суміш. Подальші процеси тужавіння та тверднення зв'язного фіксують структуру матеріалу за певної температури та тиску у промислових автоклавах. Ця схема вважається класичною.

Другий метод виготовлення – це утворення пінобетону неавтоклавного тверднення, який може використовуватись в умовах будівельного майданчика. За допомогою спеціальних добавок-піноутворювачів, які подаються у цементно-піщану суміш під час перемішування, утворюють масив пінобетону, який в подальшому, транспортують для укладання в опалубку чи у зону бетонування. Така технологія значно спрощує і прискорює процес виконання будівельних робіт. Цей метод і є предметом нашого розгляду.

Досвід промислового виробництва безавтоклавного пінобетону розпочинається у 1930-х роках, а промислове виробництво почалося у 50-ті роки ХХ ст., що активно застосовувалось у вітчизняних та зарубіжних інвестиційних проектах. У наш час на будівельному ринку з'явилося багато технологій приготування пінобетону, але всі вони істотно не відрізняються від тієї, що була запропонована у середині ХХ століття.

Впродовж останнього десятиліття у будівництві України почали інтенсивно застосовувати вироби та конструктиви з безавтоклавного пінобетону. Тобто безавтоклавний пінобетон можна вважати новим поколінням матеріалу, що відрізняється від попередніх видів замкненою системою комірок, чіткішою структуризацією, здатністю до кращого перерозподілу експлуатаційних навантажень. Це досягається завдяки використанню сучасних піноутворювачів, відповідно підібраних композиційних або бездобавочних цементів, хімічних додатків та фракціонованих заповнювачів.

Останнім часом у дорожньому будівництві Нідерландів, Швеції, Польщі та інших країн почали застосовувати пінобетон як теплоізоляційний матеріал у дорожньому будівництві. Його застосування у дорожньому будівництві дає змогу повністю або частково запобігти промерзанню чи перегріванню дорожнього одягу автомобільних доріг. Дорожній одяг з пінобетонним шаром дає можливість істотно „гасити” періодичні хвилеподібні температурні впливи від дії зовнішнього середовища, що, своєю чергою, уможливує підвищити довговічність автодоріг.



*Рис. 1. Сучасне виробництво пінобетону*

Ідея перших експериментальних досліджень ефективних теплоізоляційних конструкцій дорожнього одягу полягала у зменшенні глибини промерзання та відповідно глибини теплозахисного насипу за рахунок інших будівельних матеріалів. Цими питаннями раніше займалися В.С. Іскрін, Л.Я Степанов, Д.І. Ізотов [3]. Спочатку як теплоізоляційні матеріали використовували тирсу, шлак, торф, мох, деревину тощо. За кордоном були спроби використовувати скловату (Швейцарія), деревоволокнисті плити і мінеральні волокна (Фінляндія). Потім завдяки досягненням будівельної хімії з'явилися теплоізоляційні матеріали на основі пінополістиролу.

Оскільки безавтоклавний пінобетон є штучним матеріалом, нейтральним по відношенню до зовнішнього середовища, то його виготовлення відбувається безпосередньо на будівельному майданчику з транспортуванням на місце укладання бетононасосом. Велика кількість бульбашок повітря розріджує суміш, яка легко заповнює усі нерівності, і тому поверхня бетону вже не потребує додаткового вирівнювання.

Густина пінобетону може коливатися від 300 до 1200 кг/м<sup>3</sup>, а від останньої залежать експлуатаційні і фізико-механічні властивості (табл. 1).

*Таблиця 1*

**Фізико-механічні властивості пінобетону**

Характеристики	Одиниця виміру	Величина
Середня густина в сухому стані	кг/м <sup>3</sup>	300–1200
Коефіцієнт теплопровідності	Вт/м×°С	0,17–0,49
Водопоглинання	%	3,8–16,0
Модуль пружності	МПа×10 <sup>3</sup>	0,9–6,2
Міцність на стиск	МПа	0,3–20
Морозостійкість	цикл	не менше 25
Коефіцієнт паропроникності	мг/м год Па	0,6–3,0

Ґрунтуючись на досвіді зарубіжних науковців, у 2007 році спеціалістами ДерждорНДІ ім. М.П. Шульгіна було побудовано дослідну ділянку дороги на пінобетонній основі в Одеській області [5]. У конструкції дорожнього одягу використано такі сучасні дорожньо-будівельні матеріали (рис. 2).

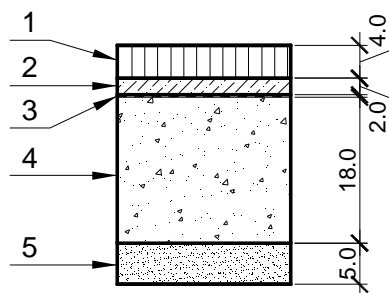


Рис. 2. Конструкція дорожнього одягу на дослідній ділянці:  
 1 – асфальтобетон; 2 – водостійкий бетон; 3 – геосітка Armatex RS 40x40 мм;  
 4 – пінобетон з густиною 800 кг/м<sup>3</sup>; 5 – пісок

У Львівській області у 2007 році під час влаштування капітального ремонту дорожнього одягу автомобільної дороги місцевого значення Давидів–Товщів силами ТзОВ «Магік» застосовано пінобетон густиною 800 кг/м<sup>3</sup> як конструктиву на дослідній ділянці дороги завдовжки 100 м.

Сьогодні можна виділити декілька основних перспективних сфер застосування безавтоклавного пінобетону у дорожньому будівництві:

**1. Пінобетон, який використовують як основу під дорожнє покриття.**

Використання пінобетону в конструкції дорожнього одягу показано на рис. 3.

Переваги використання пінобетону як основи під дорожнє покриття:

- пінобетон – ефективний теплоізолятор, тому взимку на дорозі не утворюються ділянки, на яких є лід;
- пінобетон – вдалий акумулятор тепла, тому влітку асфальт не деформується від сонячної енергії;
- пінобетон створює структуру в основі дороги, яка істотно впливає на традиційну основу з піску та щебеню за рахунок перерозподілу зусиль від коліс та включає в роботу значно більшу площу ґрунту;



Рис. 3. Виконання основи з пінобетону під паркінг в Нідерландах

Недоліки використання пінобетону як основи під дорожнє покриття:

- пінобетон є гігроскопічним матеріалом і має значний водопоглинальний ефект;
- пінобетон як конструктивний матеріал має певні обмеження у міцнісних характеристиках.

**2. Пінобетон, який використовують як заповнення порожнин у дорожньому полотні, вимоїн на приопорних ділянках мостів (рис. 4) для стабілізації дорожніх насипів, оскільки міцнісні**

характеристики компенсуються малою об'ємною масою порівняно з ґрунтовою основою дорожнього одягу.



*Рис. 4. Заповнення підпори віадука пінобетоном в м. Ольштин, Польща*

### **3. Пінобетон, який використовують як основу під дорожнє покриття на міських дорогах з перенасиченою сіткою інженерних мереж.**

Використання пінобетону дає змогу залишати старі комунікації без ремонту, які, як правило, знаходяться нижче від глибини промерзання ґрунту (приблизно на 1–1,2 м від поверхні). Їх традиційний ремонт потребує влаштування траншей, тільки для пошуку комунікацій та монтажу останніх з виконанням зворотного засипання і подальшим ущільненням ґрунту. Під час використання пінобетону за рахунок його теплоізоляційних властивостей усі нові комунікації можна прокладати на незначній глибині закладання (до 0,5 м) від поверхні без додаткових затрат.



*Рис. 5. Прокладання каналізаційних мереж в пінобетоні на глибині 40 см від поверхні (м. Замость, Польща, 2005 р.)*

Оскільки пінобетон має незначну міцність, то за допомогою металевих ріжучих засобів у ньому можна виконувати необхідні для прокладення комунікацій шурфи, а після їх встановлення заповнювати порожнини новою пінобетонною сумішшю та відновлювати незначні обсяги у дорожньо-тротуарному покритті. Наприклад, досить зручно та економічно проводити прокладання каналізаційних чи водяних мереж вздовж дороги завглибшки 0,4–0,5 м від поверхні (рис. 5).

**4. Використання безавтоклавного пінобетону під час будівництва мостів та транспортних тунелів** має декілька напрямків, а саме:

- зменшення ваги мостових прогонових конструкцій за заміни звичайних залізобетонних конструкцій на пінобетонні елементи, чим додатково збільшується загальна жорсткість несучих конструкцій;
- використання пінобетону для заповнення порожнин на ділянках примикання автомобільних доріг до залізобетонних та металевих мостів;
- використання пінобетону для посилення існуючих металевих конструкцій моста без припинення руху по ньому, що зображено на рис. 6.



*Рис. 6. Підсилення пінобетоном конструкцій масиву насипу залізничного моста в процесі його експлуатації*

**Висновки.** Безавтоклавні пінобетони та конструктивні елементи на їх основі доцільно використовувати як заповнювач порожнин у земляному полотні, як основу під дорожнє покриття, як конструктивний елемент та теплоізоляційний прошарок дорожнього одягу автомобільних доріг.

З урахуванням підвищення вимог до якості дорожньо-будівельних робіт та позитивного досвіду європейських країн використання безавтоклавного пінобетону може принести значний економічний ефект під час будівництва сучасних автомобільних доріг в Україні та змінити акценти в підходах до технології конструювання і влаштування дорожнього одягу у транспортному будівництві загалом.

1. Сажнев Н.П., Сажнев Н.Н. Ячеистый бетон – современный строительный материал // Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве: Сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2005. – С. 25–32. 2. Филатов А.Н. О производстве и применении изделий из ячеистого бетона в Украине // Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве: Сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2005. – С. 32–37. 3. Пастернак С. Я. Сегодняшние возможности пенобетона // Рынок строительный. – 2002. – № 11. – С. 8. 4. Instytut Badawczy Drog i Mostow Zastosowania pianobetonu w inzynierii komunikacyjnej. –2002. – 22 p. 5. Коваль П.М., Фаль А.Є., Кушнір О.В., Усатов В.В. Перспективи використання пінобетону в дорожньому будівництві України // Дорожня галузь України. – 2008. – № 2. – С. 54–56.