

## ПІНОБЕТОН НА ЗМІШАНОМУ В'ЯЖУЧОМУ

Вінницький національний технічний університет<sup>1</sup>  
ДПТНЗ «Хмільницький аграрний центр ПТО»<sup>2</sup>

### Анотація

Розглянуто перспективні напрямки застосування вторинних ресурсів у виробництві ніздрюватих бетонів. Доведено доцільність виготовлення теплоізоляційного пінобетону на модифікованому в'язучому на основі відходів промисловості для отримання енергоефективного матеріалу з необхідними показниками будівельно-експлуатаційних характеристик. Визначено оптимальний склад компонентів модифікованого в'язучого, придатного для використання в будівництві з покращеними фізико-механічними властивостями.

**Ключові слова:** ніздрюватий бетон, пінобетон, змішане в'язуче, портландцемент, зола-винос, червоний шлам, карбонатні відходи, коефіцієнт конструктивної якості

### Abstract

The perspective directions of application of secondary resources in the production of porous concrete have been considered. It is proved the expediency of manufacturing of thermal insulating foam concrete on modified binder based on industrial waste in order to obtain energy-efficient material with necessary indicators of construction and operational characteristics. The optimal composition of modified binder components, suitable for use in construction with improved physical and mechanical properties, has been determined.

**Keywords:** porous concrete, foam concrete, mixed binder, Portland cement, fly ash, red mud, carbonate waste, coefficient of constructive quality.

### Вступ

У зв'язку з тим, що Україна бере участь у програмах енергозбереження, були підвищені теплотехнічні вимоги до огорожувальних конструкцій будинків, що викликало пошук нових ефективних стінових матеріалів. Використання для одношарових огорожувальних конструкцій таких традиційних матеріалів як керамзитобетон, силікатна і керамічна цегла є економічно не вигідним і технічно не доцільним, оскільки ці матеріали мають високий коефіцієнт теплопровідності. Для забезпечення встановленої нормами рівня теплозахисту в будинках необхідно застосовувати відповідні енергозберігаючі матеріали та вироби [1].

Одним з таких високоефективних стінових матеріалів є ніздрюватий бетон. Показники теплопровідності конструкційно-теплоізоляційного ніздрюватого бетону в 3-4 рази менше, ніж у керамзитобетону і в 5-7 разів менше ніж у цегли. Це дозволяє зводити одношарові зовнішні стіни завтовшки в 0,4-0,5 м практично у всіх кліматичних зонах України, що відповідає новим нормативним теплотехнічним вимогами щодо енергозбереження у новобудовах [1]. Використання відходів промисловості для виробництва ніздрюватих бетонів, дасть змогу знизити їх вартість, а також покращити фізико-механічні показники виробу.

Метою роботи є розробка теплоізоляційного пінобетону на модифікованому в'язучому на основі відходів промисловості для стінових виробів.

### Результати дослідження

Для розробки пінобетонів на основі відходів промисловості використовувались такі матеріали: портландцемент, зола-винос, червоний шлам, карбонатні відходи та піноутворювач.

Зола-винос являє собою дрібнодисперсний матеріал, що складається з часток розмірами від декількох мікронів до 0,14 мм. Хімічний та мінералогічний склад відповідають основним вимогам, що висуваються до зол для бетонів. В якості другого компонента змішаного в'язучого використовували відходи каменерізання карбонатних гірських порід. Використаний у дослідженнях карбонатний відсів характеризується наступним хімічним складом, мас. %: CaCO<sub>3</sub> 90,7-95,8; MgCO<sub>3</sub>

1,4-4,3; SiO<sub>2</sub> 0,4-7,15; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,08-1,08 [8]. Визначені властивості карбонатного відсіву відповідають технічним вимогам ДСТУ Б В.2.7-27-95.

Як комплексу алюмоферитну добавку для активації золи-винесення використовували червоний шлам Миколаївського глиноземного заводу. Будова червоного шламу дрібнодисперсна: 90 % частинок має радіус менший 10 мкм. Характерною особливістю червоного шламу, як лужного компоненту змішаного в'язучого є дрібнодисперсність та лужна реакція (рН від 10 до 12).

У якості в'язучого для звичайного бетону та активатора гідратації змішаного в'язучого використовували портландцемент (ПЦ) І-400 Кам'янець-Подільського цементного заводу із такими характеристиками: а) нормальна густина 23,6 %; б) термін тужавлення: початок – 1,5 год., кінець – 3,8 год.; в) істинна густина 3,1 г/см<sup>3</sup>; г) активність 39,4 МПа; д) насипна густина 1200 кг/м<sup>3</sup> [9].

При проведенні досліджень у якості піноутворювача був використаний розчин „СОФІР” (ТУ В 26.6-32440539-002:2005). Він являє собою концентровану рідину, що відноситься до біорозкладних піноутворювачів, малотоксичний, відповідає 4 класу небезпеки, невибухонебезпечний, незаймистий, температура самозаймання 430 °С. Призначений для одержання пінобетонів різних марок. Витрата піноутворювача складає 0,9-1,2 л на виготовлення 1 м<sup>3</sup> пінобетону [10]. Основні характеристики піноутворювача „СОФІР” (СПБ) приведені у табл. 1

Таблиця 1 – Характеристики піноутворювача СПБ

№ п/п	Назва показників	Нормативні значення
1	Щільність при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> в межах	1000-1200
2	Показник концентрації водневих іонів (рН)	7,5-10,0
3	Кратність піни: – низька, не більше	20
4	Температура застигання	-3
5	Стійкість піни, сек, не менше	240
6	Пори однорідні, мілкі, закритої структури	–

Таким чином, вибраний розчин піноутворювача відповідає вимогам стандартів, які ставляться до таких добавок та може бути використаний для розробки пінобетону.

Фізико-механічні властивості пінобетону досліджувались шляхом виготовлення зразків балочок розмірами 4×4×16 см. Підбір складу пінобетонної суміші полягав у встановленні найбільш раціонального співвідношення між його складовими компонентами. Були виготовлені дві серії зразків балочок: перша – для порівняння стандартного складу на портландцементному в'язучому, друга – на змішаному золошламокарбонатному в'язучому, 60 % якого складав цемент, а іншу частину – відходи промисловості: 10 % склав червоний шлам, 12 % зола-виносу, 18 % - карбонатні відходи [11]. Втрати матеріалів на лабораторний заміс наведені в Таблиці 2.

Таблиця 2 – Втрати матеріалів на лабораторний заміс

№ замісу	Витрати води, гр	Кількість піноутворювача, гр	В'язуче	
			Зола-винос, червоний шлам, карбонатні відходи, гр	ПЦ, гр
1	270	14	-	450
2	270	14	203	247

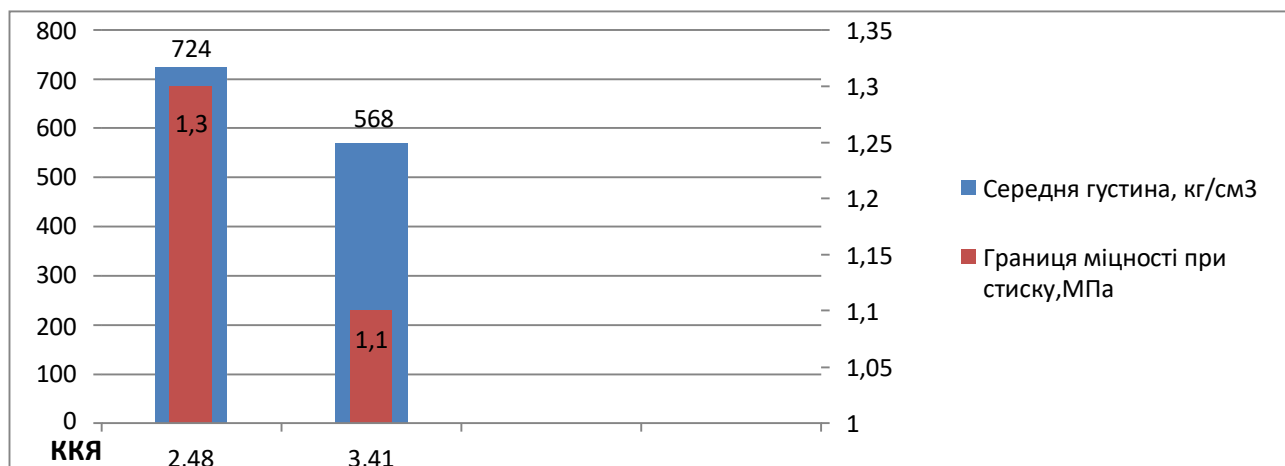
Склад замісу було розраховано згідно з методикою розрахунку ніздрюватих бетонів [12]. Час збивання пінобетонної суміші складав t = 3-5 хв, кількість обертів – N = 120 об.

Фізико-механічні властивості пінобетону досліджувалось за стандартною методикою на зразках балочок розмірами 4×4×16 см. Результати досліджень наведені в Таблиці 3 та Гістограмі 1.

Таблиця 3 – Фізико-механічні властивості зразків

№ замісу	Середня густина, г/см <sup>3</sup>	Границя міцності при згині, МПа	Границя міцності при стиску, МПа
1	0,724	1,2	1,3
2	0,568	1,1	1,1

Гістограма 1 – Значення показника ККЯ



Для зразків був розрахований коефіцієнт конструктивної якості (ККЯ) матеріалу, який підтверджує покращення властивостей пінобетонів на розробленому змішаному в'язучому. Використання запропонованого змішаного в'язучого призводить до зменшення середньої густини портландцементу на 21,5%, що в свою чергу зумовлює зменшення теплопровідності матеріалу. Проте, при даних умовах втрата міцності становить лише 0,2 МПа, що не призводить до зниження класу бетону та дозволяє зменшити витрати портландцементу на 40 %.

### Висновки

Встановлено залежність зміни фізико-механічних властивостей пінобетону від складу компонентів та отримано новий теплоізоляційний матеріал з середньою густиною  $D 600$ , класом бетону  $B 0,75$  та теплопровідністю  $0,14 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ , що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-45:2010.

Отримані результати дають змогу стверджувати, що застосування вторинних ресурсів у виробництві ніздрюватих бетонів, а саме запропонованого змішаного в'язучого, сприяє покращенню фізико-механічних властивостей пінобетону. Визначено, що оптимальний склад компонентів модифікованого в'язучого придатний для використання в будівництві та дозволить знизити вартість портландцементу на 10%.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Очеретний В. П. Використання відходів промисловості для виробництва ефективних будівельних матеріалів [Текст] / В. П. Ковальський, М. П. Машницький, А. Ф. Діденко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. - 2010. - № 2. - С. 53-55.
2. Очеретний В. П. Нове в технології виробництва цементно-карбонатних будівельних виробів з використанням промислових відходів [Текст] / В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, М. П. Машницький // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. - 2008. - № 5. - С. 33-36.
3. Друкований М. Ф. Комплексне золошламове в'язуче [Текст] / М. Ф. Друкований, В. П. Очеретний, В. П. Ковальський // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. - 2006. - Вип. 21. - С. 94-100.
4. Очеретний В. П. Определение факторного пространства для построения математической модели карбонатного пресс-бетона [Текст] / В. П. Очеретный, В. П. Ковальский // Материалы к 43-му международному семинару по моделированию и оптимизации композитов "Моделирование и оптимизация в материаловедении" (МОК'43). - Одесса : Астропринт, 2004. - С. 149.
5. Ковальський В. П. Передумови активації золи-винесення відходами глиноземного виробництва [Текст] / В. П. Ковальський // Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції "Наука і освіта 2005". - Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2005. - Т. 55. - С. 31-32.

6. Ковальський В. П. Применения красного бокситового шлама в производстве строительных материалов [Текст] / В. П. Ковальський // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2005. – № 1(49). – С. 55-60.
7. Ковальський В. П. Вплив мінеральних мікронаповнювачів на властивості поризованих сухих будівельних сумішей. [Текст] / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, А. В. Бондар // Вісник Сумського національного аграрного університету. – 2014. – № 10(18). – С. 44-47.
8. Очеретний В. П. Дрібношугучні стінові матеріали з використанням відходів промисловості [Текст] / В. П. Очеретний, В. П. Ковальський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2005. - № 1. - С. 16-21.
9. Ковальський В. П. Комплексне золоцементне в'язуче, модифіковане лужною алюмофериною добавкою [Текст] : монографія / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 98 с. - ISBN 978-966-641-338-6.
10. Очеретний В. П. Використання поверхнево-активних речовин у якості поризуючої добавки до сухих будівельних сумішей / В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, А. В. Бондар // Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». – Вінниця: ВНТУ, 2011. – № 1. – С. 33-40
11. Ковальський В. П. Композиційні в'язучі речовини на основі відходів промисловості [Електронний ресурс] / В. П. Ковальський, Т. Г. Шулік, В. П. Бурлаков // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. - Електрон. текст. дані. - 2018. - Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/5035/4128>
12. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л. Д24 Проектування складів бетонів: Монографія. – Рівне : НУВГП, 2015. – 353 с.- ISBN 978-966-327-312-9

**Ковальський Віктор Павлович** – к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету, kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com

**Вознюк Ігор Михайлович** – викладач ДПТНЗ «Хмільницький аграрний центр ПТО»

**Войтюк Діана Олександрівна** – студентка групи Б-176 факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання Вінницького національного технічного університету, dianavoitiuk26@gmail.com

**Victor Kowalski** – Ph.D., assistant professor of construction, urban and architectural Vinnytsia National Technical University, kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com

**Voznyuk Igor** – teacher of State Vocational and Technical Educational Establishment “ Khmilnyk Center of Vocational and Technical Education”

**Diana Voitiuk** – student, faculty of construction, heat power engineering and gas supply, Vinnytsia National Technical University, dianavoitiuk26@gmail.com