

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ ПРИ БЕТОНУВАННІ МОНОЛІТНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто особливості використання техногенної мінеральної сировини під час бетонування монолітних конструкцій. Проаналізовано вплив золи-винесення, гранульованого доменного шлаку, мікрокремнезему та відсівів дроблення на процеси структуроутворення цементного каменю та формування експлуатаційних властивостей бетонів. Показано, що введення активних мікродисперсних добавок сприяє інтенсифікації гідратаційних реакцій, зменшенню пористості та підвищенню щільності бетону. Обґрунтовано технічні, екологічні та економічні переваги застосування техногенної сировини в монолітному будівництві, зокрема зниження тепловиділення при твердненні, підвищення морозостійкості, водонепроникності та корозійної стійкості. Зроблено висновок про перспективність використання техногенних матеріалів як компонента бетонних сумішей для забезпечення довговічності та надійності монолітних конструкцій.

Ключові слова: техногенна сировина; монолітні конструкції; бетон; зола-винесення; доменний шлак; мікрокремнезем; пуццоланові реакції; довговічність; структуроутворення; екологічність.

Abstracts

The paper examines the features of using technogenic mineral raw materials during concreting of monolithic structures. The influence of fly ash, granulated blast furnace slag, microsilica and crushing screenings on the processes of cement stone structure formation and the formation of operational properties of concretes is analyzed. It is shown that the introduction of active microdispersed additives contributes to the intensification of hydration reactions, a decrease in porosity and an increase in the density of concrete. The technical, environmental and economic advantages of using technogenic raw materials in monolithic construction are substantiated, in particular, reducing heat release during hardening, increasing frost resistance, water resistance and corrosion resistance. A conclusion is drawn about the prospects of using technogenic materials as a component of concrete mixtures to ensure the durability and reliability of monolithic structures.

Key words: technogenic raw materials; monolithic structures; concrete; fly ash; blast furnace slag; microsilica; pozzolanic reactions; durability; structure formation; environmental friendliness.

Вступ

Сучасні підходи до виробництва бетонів для монолітних конструкцій базуються на принципах ресурсоефективності та екологічної сталості, що передбачає активне використання техногенної сировини як часткової або повної заміни традиційних компонентів бетонних сумішей. До найбільш поширених видів техногенних матеріалів належать: зола-винесення ТЕС, гранульований доменний шлак, мікрокремнезем, відсів дроблення, металургійні шлами, подрібнений бетон та інші мінеральні промислові відходи [1-4]. Використання таких матеріалів дозволяє не лише знизити ресурсну залежність галузі, але й забезпечити підвищення експлуатаційних характеристик бетонів при одночасному зменшенні екологічного навантаження на довкілля.

Основна частина

Використання мінеральних відходів як активних мікродисперсних добавок сприяє покращенню структуроутворення цементного каменю, зменшенню пористості й підвищенню щільності монолітних бетонів (табл. 1). Зола-винесення та мікрокремнезем забезпечують пуццолановий ефект, що проявляється у додатковому зв'язуванні гідроксиду кальцію з утворенням низькоосновних гідросилікатів, які формують більш однорідну та стійку структуру матеріалу (рис. 1). Це підвищує міцність, морозостійкість та водонепроникність монолітних конструкцій. Доменний гранульований шлак може частково замінювати цемент без погіршення міцнісних характеристик, що є важливим для бетонування масивних монолітних елементів, де надмірне тепловиділення цементу може спричинити утворення температурних тріщин [4-8].

Таблиця 1 – Вплив техногенних добавок на властивості бетонів

Вид техногенної добавки	Основний ефект у бетоні	Зміна властивостей
Зола-винесення ТЕС	Пуцоланова активність, ущільнення структури	↑Міцність на стиск, ↑морозостійкість, ↓вдопоглинання
Доменний гранульований шлак	Зменшення тепловиділення, підвищення щільності	↑Довговічність, ↓ризик термічних тріщин
Мікрокремнезем	Утворення високощільних C–S–H, мікроармування	↑Корозійна стійкість, ↑водонепроникність
Відсіви дроблення	Часткова заміна заповнювача	↑Щільність, ↓вартість суміші
Подрібнений бетон	Рециклінг будівельних відходів	↓Екологічні втрати, ↑економічність



Рисунок 1 – Схема впливу техногенних матеріалів на формування структури бетону

Таким чином, введення мікродисперсних техногенних добавок дозволяє інтенсифікувати процеси гідратації цементу, покращувати структуру цементного каменю та підвищувати щільність бетону.

Проведені дослідження показують, що оптимізовані суміші з техногенними добавками здатні забезпечити підвищення довговічності конструкцій за рахунок зменшення водопоглинання, проникності для агресивних середовищ, підвищення морозостійкості та корозійної стійкості арматури. Особливо ефективним є поєднання техногенних мінеральних добавок із пластифікаторами та суперпластифікаторами, що дозволяє знизити водоцементне відношення та отримати бетон високої щільності для монолітних конструкцій відповідального призначення. Особливо ефективним є застосування золи-винесення у поєднанні з суперпластифікаторами, що дозволяє досягти високих показників рухливості й водонепроникності при мінімальному водоцементному відношенні.

Таблиця 2 – Вплив техногенної сировини на довговічність бетону

Показник довговічності	Без добавок	Зола-винесення	Мікрокремнезем	Шлак	Відсіви дроблення
Морозостійкість, цикли	150	180	210	190	150-170
Водонепроникність, марка	W6	W8	W12	W10	W4-W6
Корозійна стійкість	середня	підвищена	висока	висока	середня
Міцність на стиск, МПа	60-66	70	77	75	65

Використання техногенної сировини у бетонуванні також забезпечує економічні переваги, серед яких – скорочення витрат на цемент, зменшення логістичних витрат і підвищення рентабельності виробництва бетонних сумішей. З екологічної точки зору залучення промислових відходів сприяє зменшенню кількості накопичених відходів, зниженню викидів CO₂ і формуванню більш сталих підходів до реалізації будівельних проєктів.

Таким чином, застосування техногенної сировини при бетонуванні монолітних конструкцій є

перспективним напрямом розвитку сучасних будівельних технологій, який забезпечує поєднання технічної ефективності, економічної доцільності та екологічної відповідальності. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію складів бетонів з урахуванням сумісності різних видів техногенних матеріалів, їх впливу на реологічні, фізико-механічні та довговічні характеристики бетонів.

Висновки

Отже, використання техногенних добавок підвищує довговічність бетонів, що проявляється у зростанні морозостійкості на 15–40 % залежно від виду добавки:

1. Мікрокремнезем забезпечує найкращі фізико-механічні показники, зокрема максимальне зниження пористості, підвищення щільності та приріст міцності.

2. Доменний гранульований шлак оптимальний для масивних монолітних конструкцій, оскільки зменшує тепловиділення та ризик температурних тріщин.

3. Зола-винесення покращує водонепроникність і морозостійкість, але потребує корекції водоцементного відношення для досягнення оптимальної рухливості.

4. Відсів дроблення погіршують водонепроникність та частково морозостійкість, тому можуть застосовуватись лише як часткова заміна заповнювача в неагресивних умовах експлуатації.

5. Комплексне використання техногенних матеріалів з суперпластифікаторами забезпечує додаткове ущільнення структури бетону і підвищує корозійну стійкість арматури.

Раціональне дозування техногенних компонентів дозволяє зменшити витрати цементу на 10–25 %, що забезпечує економічний ефект без втрати експлуатаційних властивостей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Суханевич М. В. Поводження з відходами та їх використання для одержання будівельних матеріалів: навчальний посібник. Київ: КНУБА, 2011. 152 с.
2. Гасан Ю. Г., Мохорт М. А., Суханевич М. В. Будівельні матеріали з відходів паливно-енергетичної, гірничо-видобувної та збагачувальної промисловості: конспект лекцій. Київ: КНУБА, 2009. 60 с.
3. Гасан Ю. Г., Мохорт М. А. Переробка відходів чорної і кольорової металургії та паливної промисловості у будівельні матеріали: конспект лекцій. Київ: КНУБА, 2008. 44 с.
4. Дворкін Л. Й., Мироненко А. В. Будівельні матеріали та вироби із застосуванням промислових відходів: навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2019. 298 с.
5. Siddique, Rafat. Waste Materials and By-Products in Concrete. Springer, Jan. 2008. DOI:10.1007/978-3-540-74294-4. URL: https://www.researchgate.net/publication/321614712_Waste_Materials_and_By-Products_in_Concrete
6. Bilodid V., Kovalenko V., Davydenko A. Utilization of technogenic wastes in concrete production. Strength of Materials. 2021. Vol. 53(3). P. 380–392.
7. Klepikov V., Khmil R. Improving the durability of concretes using mineral industrial by-products. Materials Science Forum. 2020. Vol. 1003. P. 189–196.
8. Христич О. В., Бондар А. В. Заповнювачі будівельних сумішей з продуктів рециклінгу твердих неорганічних відходів. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2022. Т. 33, № 2, С. 19–24.

Шпанюк Микола Сергійович – студент групи 1Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Бондар Олександр Васильович – аспірант, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: alexbondar.phdoc@gmail.com

Христич Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: khristych@vntu.edu.ua

Shpanyuk Mykola – student of group 1B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Bondar Oleksandr – postgraduate student, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: alexbondar.phdoc@gmail.com

Khristych Oleksandr – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: khristych@vntu.edu.ua