

ПЕРЕДУМОВИ АКТИВАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ МАЛОКЛІНКЕРНИХ В'ЯЖУЧИХ МАТЕРІАЛІВ

¹ ВСП Вінницький фаховий коледж будівництва, архітектури та дизайну КНУБА;

² Вінницький національний технічний університет;

Анотація

У роботі розглянуто можливості використання промислових відходів як вторинної сировини у виробництві будівельних матеріалів в умовах енергетичної кризи та необхідності підвищення ресурсної ефективності будівельної галузі. Проаналізовано особливості застосування золю-шлакових відходів теплоелектростанцій, фосфогіпсу, червоних шламів та інших побічних продуктів промисловості у складі будівельних матеріалів. Особливу увагу приділено використанню надвисокочастотного (НВЧ) випромінювання для активації мінеральних компонентів і підвищення їхньої реакційної здатності. Показано, що НВЧ-обробка забезпечує рівномірне нагрівання матеріалу, сприяє виникненню внутрішніх термічних напружень і утворенню мікротріщин, що полегшує подрібнення матеріалів та зменшує енерговитрати технологічних процесів. Застосування мікрохвильового випромінювання також дозволяє прискорити процеси тужавлення цементних систем і підвищити міцність готових виробів. Отримані результати свідчать про перспективність використання НВЧ-технологій для створення енергоефективних будівельних матеріалів та залучення значних обсягів промислових відходів до господарського обігу.

Ключові слова: промислові відходи, будівельні матеріали, НВЧ-випромінювання, мікрохвильова обробка, вторинна сировина, енергоефективність, золю-шлакові матеріали, активація мінеральних компонентів, малоклінкерні в'язучі.

Abstract

The paper considers the possibilities of using industrial waste as secondary raw materials in the production of building materials under conditions of the energy crisis and the need to increase resource efficiency in the construction industry. The features of using ash and slag waste from thermal power plants, phosphogypsum, red mud, and other industrial by-products in the composition of building materials are analyzed. Particular attention is paid to the use of microwave (MW) radiation for the activation of mineral components and increasing their reactivity. It is shown that microwave treatment ensures uniform heating of the material, promotes the formation of internal thermal stresses and microcracks, which facilitates grinding and reduces the energy consumption of technological processes. The use of microwave radiation also makes it possible to accelerate the setting processes of cement systems and increase the strength of finished products. The obtained results indicate the perspective of microwave technologies for the creation of energy-efficient building materials and for involving significant amounts of industrial waste in economic circulation.

Keywords: industrial waste, building materials, microwave radiation, microwave treatment, secondary raw materials, energy efficiency, ash and slag materials, activation of mineral components, low-clinker binders.

Вступ

Сучасний стан енергетичного сектору та економіки України характеризується значними викликами, пов'язаними з дефіцитом енергетичних ресурсів, зростанням вартості енергоносіїв і необхідністю підвищення ефективності використання природних ресурсів [1-3]. В умовах енергетичної кризи особливої актуальності набуває впровадження ресурсозберігаючих технологій у виробництво будівельних матеріалів [4-6]. Одним із перспективних напрямів є використання промислових відходів як вторинної сировини для створення нових матеріалів із покращеними технічними та експлуатаційними характеристиками.

Будівельна галузь є одним із найбільших споживачів природної сировини та енергетичних ресурсів. Традиційні технології виготовлення цементу, бетону та інших будівельних матеріалів потребують значних витрат енергії, що негативно впливає як на економіку виробництва, так і на екологічний стан навколишнього середовища [7-9]. Саме тому пошук альтернативних джерел сировини та нових

методів обробки матеріалів є важливим завданням сучасної науки і техніки.

Одним із таких джерел є відходи підприємств енергетичної та хімічної промисловості [10-12]. У відвалах теплоелектростанцій накопичуються значні обсяги золо-шлакових матеріалів, які можуть бути використані як компонент для виробництва ніздрюватих бетонів та інших будівельних виробів [13-15]. Крім того, значні обсяги відходів утворюються на підприємствах хімічної промисловості, зокрема фосфогіпс, червоні шлами, а також стічні води з високим вмістом кислот. Більшість цих матеріалів не використовується у виробництві та накопичується у відвалах, що створює значні екологічні проблеми.

У зв'язку з цим важливим напрямом розвитку будівельної індустрії є впровадження технологій переробки промислових відходів та використання їх як вторинної сировини для виробництва будівельних матеріалів. Особливий інтерес викликає застосування нових фізичних методів обробки матеріалів, зокрема використання надвисокочастотного (НВЧ) випромінювання. [16-18]. Ця технологія дозволяє змінювати структуру матеріалів на мікрорівні, що сприяє підвищенню їхньої міцності, прискоренню процесів тужавлення та покращенню інших фізико-хімічних властивостей.

Таким чином, дослідження можливостей використання НВЧ-випромінювання для активації компонентів будівельних матеріалів та залучення промислових відходів до виробництва є актуальним науковим і практичним завданням.

Основна частина

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності виробництва будівельних матеріалів є розширення використання промислових відходів як вторинної сировини. Такий підхід дозволяє одночасно вирішувати кілька важливих завдань: зменшувати витрати природних ресурсів, знижувати собівартість продукції та зменшувати негативний вплив промисловості на навколишнє середовище.

На сьогоднішній день у відвалах теплоелектростанцій накопичено значні обсяги золи та шлаку, які можуть бути використані у виробництві будівельних матеріалів. Ці матеріали містять значну кількість оксидів кремнію, алюмінію та кальцію, що робить їх придатними для використання як мінеральні добавки у цементних системах. Проте широкомасштабне використання цих відходів у промисловості будівельних матеріалів поки що обмежене через недостатню активність цих компонентів та складність їхньої обробки.

Крім відходів енергетичної галузі, значні ресурси вторинної сировини містяться у відходах хімічної промисловості. До таких матеріалів належать фосфогіпс, червоні шлами, а також різноманітні стічні води з високим вмістом кислот. Ці матеріали мають складний хімічний склад і потребують спеціальної обробки перед використанням у виробництві будівельних матеріалів.

Одним із ефективних способів підвищення активності мінеральних компонентів є їх механічна та хімічна активація. Комплексне використання цих методів дозволяє значно покращити властивості в'язучих систем. Зокрема, перспективним є використання вібраційних млинів для домелювання портландцементу разом із мінеральними та хімічними добавками. Така обробка сприяє збільшенню дисперсності матеріалу, що позитивно впливає на процеси гідратації та формування структури цементного каменю.

Гідравлічна активність металургійних шлаків і золи-виносу значною мірою залежить від їхнього хімічного складу та ступеня подрібнення. Чим вища дисперсність матеріалу, тим більша площа його поверхні взаємодіє з водою та іншими компонентами в'язучої системи. Це призводить до прискорення хімічних реакцій і формування більш щільної структури матеріалу.

Останніми роками значно зростає інтерес до використання НВЧ-випромінювання для обробки мінеральних матеріалів. НВЧ-випромінювання являє собою електромагнітні хвилі сантиметрового та міліметрового діапазону з частотами від 1 до 300 ГГц. Особливістю цього виду випромінювання є його здатність проникати у матеріал на значну глибину та взаємодіяти з речовиною на молекулярно-молекулярному рівні.

Під час дії НВЧ-випромінювання відбувається поглинання електромагнітної енергії матеріалом. У результаті цього електрони та іони починають рухатися інтенсивніше, що призводить до перетворення електромагнітної енергії на теплову. Такий процес нагрівання має низку переваг порівняно з традиційними методами, оскільки тепло генерується безпосередньо всередині матеріалу, а не передається від поверхні.

Завдяки цьому забезпечується більш рівномірний нагрів матеріалу та значне скорочення часу об-

робки. Крім того, використання НВЧ-випромінювання дозволяє здійснювати селективний вплив на різні компоненти матеріалу. Це означає, що окремі мінерали можуть нагріватися швидше за інші, що створює внутрішні термічні напруження.

У теплопровідних мінералах температура поверхні під впливом мікрохвильового випромінювання може досягати 800–1200 °С. Таке різке підвищення температури призводить до виникнення термічних напружень у структурі матеріалу, що спричиняє утворення мікротріщин між зернами та всередині зерен. У результаті цього матеріал стає більш крихким і легше піддається подрібненню.

Створення умов термічного удару при високій швидкості нагрівання дозволяє переходити від в'язкого механізму руйнування матеріалу до крихкого. Це значно зменшує витрати енергії, необхідні для подрібнення матеріалів, у порівнянні з традиційними механічними способами, такими як використання дробарок або кульових млинів.

Мікрохвильове випромінювання по-різному впливає на різні типи матеріалів. Умовно всі матеріали можна поділити на три групи. До першої групи належать метали, поверхня яких відбиває мікрохвилі, що робить їх практично нечутливими до такого виду випромінювання. До другої групи відносяться діелектрики, які пропускають випромінювання через свій об'єм майже без змін. До цієї групи належать оксиди кремнію, різні види скла, фарфор, поліетилен, полістирол, фторопласти та інші матеріали.

До третьої групи належать матеріали, які здатні поглинати мікрохвильове випромінювання. У процесі проходження хвиль через їхній об'єм відбувається поглинання енергії та інтенсивне нагрівання матеріалу. Саме ця група матеріалів є найбільш перспективною для використання у технологіях НВЧ-обробки.

Наукові дослідження показують, що використання НВЧ-енергії може значно покращити фізико-хімічні властивості будівельних матеріалів. Зокрема, експерименти, проведені О. С. Сідлаком, показали, що застосування мікрохвильового випромінювання сприяє прискоренню процесів тужавлення цементних систем, а також підвищенню міцності готових виробів.

Крім того, НВЧ-обробка дозволяє активувати мінеральні компоненти, що входять до складу малоклінкерних в'язучих матеріалів. Це відкриває нові можливості для створення будівельних матеріалів зниженої енергоємності, оскільки виробництво клінкеру є одним із найбільш енергозатратних процесів у цементній промисловості.

Таким чином, використання НВЧ-випромінювання може стати ефективним інструментом для підвищення ефективності виробництва будівельних матеріалів, а також для залучення значних обсягів промислових відходів до господарського обігу.

Подальші дослідження у цьому напрямі мають бути спрямовані на розробку ефективних технологій активації компонентів малоклінкерних в'язучих матеріалів із використанням НВЧ-випромінювання, а також на оптимізацію параметрів такої обробки для отримання матеріалів із зада

Висновки

Проведений аналіз сучасних наукових досліджень та технологічних розробок свідчить про значний потенціал використання промислових відходів у виробництві будівельних матеріалів. Залучення таких матеріалів як золо-шлакові відходи теплоелектростанцій, фосфогіпс, червоні шлами та інші побічні продукти промисловості дозволяє не лише знизити витрати природних ресурсів, але й вирішити важливі екологічні проблеми, пов'язані з накопиченням відходів.

Одним із найбільш перспективних напрямів удосконалення технологій виробництва будівельних матеріалів є застосування НВЧ-випромінювання для активації мінеральних компонентів. Така технологія дозволяє змінювати структуру матеріалів на мікрорівні, прискорювати процеси тужавлення, підвищувати міцність готових виробів та зменшувати енерговитрати на їх виготовлення.

Використання мікрохвильового випромінювання сприяє селективному нагріванню матеріалів, що створює умови для виникнення внутрішніх термічних напружень та утворення мікротріщин. Це полегшує подрібнення матеріалів і значно зменшує витрати енергії порівняно з традиційними механічними методами.

ними фізико-механічними властивостями.

Таким чином, впровадження НВЧ-технологій у виробництво будівельних матеріалів може стати важливим кроком у напрямі підвищення ресурсної ефективності будівельної галузі та сталого розвитку економіки України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковальський В. П., Тимошенко В. О., Боднар П. С., Бондар П. С. Інноваційні рішення у виробництві сухих будівельних сумішей на основі золи-виносу ТЕС. Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві. 2024. № 1. С. 52-57.
2. Bereziuk V. et al. High-precision ultrasonic method for determining the distance between garbage truck and waste bin // *Mechatronic Systems* 1. – Routledge, 2021. – С. 279-290.
3. Мицик Т. С. Переваги застосування композиційних матеріалів [Текст] / Т. С. Мицик, В. П. Ковальський // Сучасні світові тенденції розвитку науки, освіти, технологій та суспільства: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Кропивницький, 28 червня 2023 р.). Кропивницький: ЦФЕНД, 2023. – С. 66-68.
4. Wójcik, W., Bereziuk, O. V., Lemeshev, M. S., Bohachuk, V., Polishchuk, L., Bezsmertna, O., Smailova, S., and Kurmagazhanova, S. "Metrological Aspects of Controlling the Rotational Movement Parameters of the Auger for Dewatering Solid Waste in a Garbage Truck." *International Journal of Electronics and Telecommunications* 69 (2) (2023): 233-238. <https://doi.org/10.24425/ijet.2023.144355>
5. Lemeshev M. Complex binder based on industrial man-made waste [Text] / M. Lemeshev, O. Bereziuk, D. Cherepakha, V. Kovalskiy // *Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions: collective monograph*. – Boston : Primedia eLaunch, 2023. – 1.3. – P. 51–59.
6. Ковальський В.П. Дослідження перспективи використання золи виносу в будівництві [Текст] / В.П. Ковальський, В. О. Тимошенко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2023. – № 1. – С. 36–42.
7. Khodetskyi O. Ash and slag waste utilization in construction / O. Khodetskyi, V. Kovalsky // *Abstracts of XXXII International Scientific and Practical Conference «Science, modern trends and society»*, Bilbao, Spain, 2023. – Pp. 8-10.
8. Тимошенко В. О., Любарський В. С., Ковальський В. П. Будівельні суміші для підлог на модифікованих в'язучих. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», Вінниця, 11-20 травня 2024 р. Електрон. текст. дані. 2024. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/21755>.
9. Ковальський В.П. Використання відходів теплових електростанцій / В.П. Ковальський, В.О. Тимошенко, М.В. Ковальський // *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. IX Міжнародний молодіжний конгрес, 28-29 березня 2024, Україна, Львів : зб. матер. — Електрон. дан. — Київ : Яроченко Я. В., 2024. — С. 72 — on-line. — Режим доступу: <https://liegudzyk.com/stalyy-rozvytok-IX-mizhnarodnyy-molodizhnyy-konhres> ISBN 978-617-7826-43-8 (On-line)*
10. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." *International Science Group*. Boston : Primedia eLaunch, 616 . (2021).
11. Мицик Т. С. Переваги застосування композиційних матеріалів [Текст] / Т. С. Мицик, В. П. Ковальський // Сучасні світові тенденції розвитку науки, освіти, технологій та суспільства: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Кропивницький, 28 червня 2023 р.). Кропивницький: ЦФЕНД, 2023. – С. 66-68. В'язуче з відходів для дорожнього будівництва [Текст] / М. Ф. Друкований, В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, В. П. Чепуренко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – Т. 1. - С. 50-54.
12. Сердюк В. Р., Ковальський В. П. Оцінка усадки теплоізоляційного автоклавного газобетону. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Структурутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій», 23 квітня 2024 р. Одеса, 2024. С. 129-135.
13. Tymoshenko V. Prospects of using ash-alkaline concretes [Електронний ресурс] / V. Tymoshenko, V. Kovalskiy // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023)», Вінниця, 22 червня 2023 р. – Еле-

- ктрон. текст. дані. – 2023. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2023/paper/view/18933>.
14. Ковальський В. П. Пріоритетні напрямки утилізації фосфогіпсових відходів [Текст] / В. П. Ковальський // Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції "Прикладні науково-технічні дослідження", Івано-Франківськ, 5-7 квітня 2021 р. – Івано-Франківськ : Кушнір Г.М. - 2021. – С. 309-310.
 15. Сердюк В.Р., Сидлак О.С. Теоретические предпосылки внедрения СВЧ излучений при активации золы-выноса для бетонных смесей. // Научно-технический сборник —Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. Випуск № 56 (2015). – с. 104-110.
 16. Пат. 110732 UA, МПК C04B 14/04, C04B 7/17, C04B 7/32 . Спосіб термічної активації в'язучих властивостей мінеральних техногенних продуктів [Текст] / В. Р. Сердюк, О. С. Сідлак, В. Л. Вакулов, В. П. Ковальський, О. В. Христич (Україна). - № у 2016 02713 ; заявл. 18.03.2016 ; опубл. 25.10.2016, Бюл. № 20. - 5 с. : табл.
 17. Василюк А. В. Активні мінеральні добавки з техногенних відходів промисловості [Текст] / А. В. Василюк, В. П. Ковальський // Проблеми цивільного захисту населення та безпеки життєдіяльності: сучасні реалії України : Матеріали IX Всеукраїнської заочної науково-практичної конференції, Київ, 28 квітня 2023 р. – Київ : НПУ імені М. П. Драгоманова, 2023. – С. 32-33.
 18. Drukovanyy M. Enhancement of environmental safety of building materials [Електронний ресурс] / М. Drukovanyy, І. Voznyuk, V. Kovalskiy // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Інноваційні технології в будівництві – 2022», Вінниця, 25 листопада 2022 р. – Електрон. текст. дані. – 2022. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2022/paper/view/16750>.

Притолуок Наталя Анатолівна - спеціаліст вищої категорії, викладач-методист, Вінницький фаховий коледж будівництва, архітектури та дизайну Київського національного університету будівництва і архітектури e-mail: 19pna70@gmail.com

Ковальський Максим Вікторович - студент групи 21Б-1, відділення архітектури будівництво та урбаністика, Вінницький фаховий коледж будівництва, архітектури та дизайну Київського національного університету будівництва і архітектури koval10mv@gmail.com

Смоляк Богдан Вікторович— студент групи 1Б-24Б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: smolakbogdan841@gmail.com

Науковий керівник: **Ковальський Віктор Павлович** — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця e-mail: kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com

Natalia Prytolyuk A. – senior specialist, lecturer-methodologist, Vinnytsia Professional College of Construction, Architecture and Design of the Kyiv National University of Construction and Architecture e-mail: 19pna70@gmail.com

Maksym Kovalskiy V. – student of group 21B-1, Department of Architecture, Construction and Urban Planning, Vinnytsia Professional College of Construction, Architecture and Design of the Kyiv National University of Construction and Architecture koval10mv@gmail.com

Smolyak Bogdan V. – student of group 1M-24B, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: smolakbogdan841@gmail.com

Supervisor: **Kovalskiy Viktor P.** — Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia e-mail: kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com