

УДК 620.1:691.24(697)

СПОСОБИ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ МІНЕРАЛЬНОЇ ВАТИ У ВИРОБНИЦТВІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Трикоз Людмила Вікторівна, докт. техн. наук, професор каф. БМКС,
Український державний університет залізничного транспорту,
e-mail: lvtrikoz@ukr.net, ORCID ID 0000-0002-8531-7546

Сташко Микола Валерійович, аспірант,
Український державний університет залізничного транспорту,
e-mail: stashko.mykola@gmail.com

Камчатна Світлана Миколаївна, канд. техн. наук, доцент каф. ВМЗ,
Український державний університет залізничного транспорту,
e-mail: kamchatnayasn@gmail.com, ORCID ID 0000-0001-5711-4146

Проблеми, пов'язані з накопиченням промислових відходів, мають глобальний характер, а ефективне управління будівельними та демонтажними відходами перетворилося на один із ключових викликів сучасності. Упровадження принципів циркулярної економіки у створення нових, екологічно стійких будівельних матеріалів стає важливою умовою розвитку будівельної галузі майбутнього. В Україні значне збільшення обсягів зруйнованих або демонтованих конструкцій спричиняє утворення великої кількості відходів, серед яких важливе місце займає мінеральна вата. Цей матеріал традиційно застосовувався як тепло-, звукоізоляційний та вогнестійкий компонент. Попри активне вивчення можливостей повторного використання будівельних відходів, питання рециклінгу мінеральної вати досі досліджене недостатньо. Метою статті є узагальнення наукових джерел щодо потенціалу застосування переробленої мінеральної вати у виробництві будівельних матеріалів, зокрема для покращення їх механічних характеристик, зниження теплопровідності та підвищення довговічності, що сприятиме сталому розвитку галузі.

Одним із напрямів утилізації відходів мінеральної вати, що утворюються під час реконструкції або демонтажу будівель, є повернення їх у виробничий цикл шляхом повторного плавлення. У роботі [1] порівнювали теплову поведінку первинної мінеральної вати та відходів знесення. Встановлено, що вони демонструють різні термічні реакції: первинна сировина проходить через газовиділення, фазові переходи та плавлення окремих компонентів, тоді як відходи характеризуються процесами склування, кристалізації та остаточного плавлення. Відходи починають плавитися за нижчої температури та потребують меншої кількості енергії, що робить їх повторне використання технологічно та екологічно доцільним. Перспективним напрямом є також лужна активація подрібненої мінеральної вати для отримання легких теплоізоляційних заповнювачів [2]. Отримані матеріали мали насипну густину 720–850 кг/м³ та

теплопровідність 0,075–0,094 Вт/м·К у сухому стані. Морфологія волокон впливала на реологію сумішей, сприяючи утворенню пор і дефектів, що знижувало міцність. Гідротермальне моделювання показало, що застосування таких заповнювачів у теплоізоляційних шарах підлог сприяє зменшенню вологості ґрунту та підвищенню температури поверхні.

У низці досліджень розглядається використання подрібненої мінеральної вати як наповнювача для цементних та композиційних матеріалів. У [3] зазначено, що застосування вторинних матеріалів як матриці, наповнювача або волокон часто призводить до зниження міцності порівняно з первинною сировиною, а також потребує контролю забруднень. Найбільш перспективними відходами для композитів визначено термопласти, мінеральну вату, гіпс і деревину.

У роботі [4] досліджено теплові та структурні властивості переробленої мінеральної вати з будівельних відходів. Зразки щільністю 50–120 кг/м³ мали теплопровідність 0,040–0,055 Вт/(м·К), що дозволяє використовувати їх як засипну ізоляцію або наповнювач для екструдованих матеріалів.

Після завершення експлуатації мінеральна вата класифікується як небезпечний відхід, що ускладнює її захоронення через низьку щільність та нестабільність форми. Це підкреслює потребу у безпечних та ефективних методах переробки.

У [5] описано термохімічну переробку мінеральної вати для отримання додаткового цементного матеріалу. Після плавлення при 1400 °С та подрібнення отримували аморфну склоподібну фазу з гідравлічною активністю, подібною до портландцементу. Однак висока енергоємність процесу стимулює пошук економніших рішень, зокрема подрібнення до стану мікронаповнювача [6]. У цій роботі мікрофрезеруванням отримували наповнювач і короткі волокна для штукатурних розчинів. Додавання до 1,2 мас.% знижувало міцність на стиск, але підвищувало міцність на вигин і зменшувало теплопровідність.

Завдяки високому вмісту аморфного SiO₂ перероблена мінеральна вата може бути сировиною для кремнеземних аерогелів, отриманих методом атмосферного сушіння [7]. Аерогелі характеризуються низькою теплопровідністю (22–26 мВт/(м·К)), високою питомою поверхнею (603–676 м²/г) та густиною 86–136 кг/м³. Використання відходів як сировини дозволяє зменшити вартість виробництва та обсяг відходів.

У роботі [8] досліджено вплив вторинних волокон мінеральної вати на властивості будівельних розчинів із природним та переробленим заповнювачем. Додавання 10–20% волокон знижувало густину, твердість, капілярне водопоглинання та міцність на стиск, але водночас зменшувало теплопровідність, усадку, підвищувало міцність на вигин і морозостійкість. Подібні результати отримано в [9] для гіпсових композитів із додаванням гумових гранул та волокон мінеральної вати. Такі матеріали мали нижчу щільність і теплопровідність, кращу водостійкість і достатні механічні характеристики для застосування у вологих приміщеннях.

Висновки

Аналіз наукових джерел свідчить, що відходи мінеральної вати можуть бути ефективно залучені до виробництва нових будівельних матеріалів. Їх використання у цементних, гіпсових, полімерних та композитних системах дозволяє зменшити екологічний вплив, знизити витрати на утилізацію та частково замінити первинну сировину. Додавання переробленої мінеральної вати здатне покращувати окремі властивості матеріалів — зменшувати теплопровідність, підвищувати довговічність та міцність на вигин. Водночас існують виклики, пов'язані зі збором, сортуванням, безпечним транспортуванням та відповідністю нормативним вимогам. Подальші дослідження та впровадження інноваційних технологій переробки сприятимуть більш раціональному використанню цих відходів і зменшенню їх негативного впливу на довкілля.

Література

1. **Schultz-Falk V. et al.** Melting behaviour of raw materials and recycled stone wool waste. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2018. Vol. 485. P. 34–41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2018.01.035>.
2. **Koh C. H. et al.** A circular approach to stone wool: Alkali-activated lightweight aggregates. *Developments in the Built Environment*. 2024. Vol. 19. 100506. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100506>.
3. **Sormunen P., Kärki T.** Recycled construction and demolition waste as a possible source of materials for composite manufacturing. *Journal of Building Engineering*. 2019. Vol. 24. 100742. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100742>.
4. **Domonkos M. et al.** Thermal properties of mineral wool insulation recovered from construction and demolition waste. *Acta Polytechnica CTU Proceedings*. 2022. Vol. 34. P. 6–10. DOI: <https://doi.org/10.14311/APP.2022.34.0006>.
5. **Doschek-Held K. et al.** Recycling of mineral wool waste as supplementary cementitious material through thermochemical treatment. *Waste Management & Research*. 2024. Vol. 42 (9). P. 806–813. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242x241237199>.
6. **Trejbal J. et al.** New possibilities for recycling of mineral wool separated from thermal insulation waste. *Acta Polytechnica CTU Proceedings*. 2022. Vol. 34. P. 122–126. DOI: <https://doi.org/10.14311/app.2022.34.0122>.
7. **Borzova M., Gauvin F., Schollbach K.** Upcycling Waste Mineral Wool into Ambient Pressure-Dried Silica Aerogels. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2025. Vol. 13 (7). P. 2955–2965. DOI: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.4c09976>.
8. **Ferrández D. et al.** Recovery of Mineral Wool Waste and Recycled Aggregates for Use in the Manufacturing Processes of Masonry Mortars. *Processes*. 2022. Vol. 10. 830. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr10050830>.
9. **Zaragoza-Benzal A. et al.** Recovery of End-of-Life Tyres and Mineral Wool Waste: A Case Study with Gypsum Composite Materials Applying Circular Economy Criteria. *Materials*. 2023. Vol. 16. 243. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16010243>.