

В.П. Ковальський¹В. О. Тимошенко¹П. С. Боднар²М. Д. Бондар¹

ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ У ВИРОБНИЦТВІ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ ЗОЛИ-ВИНОСУ ТЕС

¹Вінницький національний технічний університет;²ТОВ «БМ-БУД».

Проведено огляд сучасних досліджень та досвіду використання золи виносу в будівництві, наведено приклади успішних випадків її застосування.

Досліджено перспективи використання золи виносу, яка утворюється під час спалювання вугілля у теплових електростанціях, у будівництві. Зола виносу розглядається як вторинний продукт, який може бути ефективно використаний для поліпшення якості будівельних матеріалів та зниження негативного впливу на навколишнє середовище.

Розглянуто вплив золи-виносу на міцність будівельних матеріалів, а також їх стійкість до агресивних факторів. Крім того, розглянуто вплив використання золи на енергоефективність будівельних матеріалів та зменшення викидів вуглекислого газу.

Отримані результати дослідження демонструють, що використання золи-виносу в будівництві має великий потенціал. Воно дозволяє зменшити використання первинних матеріалів, поліпшити якість будівельних матеріалів та знизити негативний вплив будівельної галузі на довкілля.

Ключові слова: зола, ТЕС, відходи, домішки, будівельні матеріали.

Вступ

Глобальне потепління – одна з найсерйозніших екологічних проблем сучасності, що спричиняє значні зміни в кліматі нашої планети. Промислові викиди парникових газів, зокрема від виробництва цементу, значною мірою сприяють цьому процесу. Промислове виробництво цементу є одним із найбільших джерел викидів вуглекислого газу (CO₂) у світі. За оцінками, виробництво цементу генерує близько 8% від загальних глобальних викидів CO₂. Це пов'язано з тим, що під час виробництва цементу використовуються вапняки, які при випалюванні виділяють значні обсяги вуглекислого газу [1-3]. Крім того, процес випалу цементної сировини потребує великої кількості енергії, що зазвичай отримується зі спалювання викопного палива, яке також сприяє викидам парникових газів. Одним із можливих рішень є утилізація золи, яка утворюється як побічний продукт при спалюванні вугілля на теплових електростанціях (ТЕС) [4-6]. Використання золи у виробництві будівельних матеріалів, таких як сухі будівельні суміші на цементних модифікованих в'язучих, може допомогти знизити екологічне навантаження на довкілля.

Зола-виносу, що утворюється при спалюванні вугілля на ТЕС, є одним із найбільших джерел промислових відходів. Вона містить значну кількість небезпечних речовин, таких як важкі метали, які можуть забруднювати ґрунт та водні ресурси при неправильному зберіганні та утилізації [7-10]. Крім того, накопичення золи створює серйозні екологічні та економічні проблеми, пов'язані з пошуком нових місць для її захоронення та високими витратами на транспортування.

Одним із перспективних рішень проблеми утилізації золи та зниження викидів CO₂ у цементній промисловості є використання золи-виносу як часткової заміни цементу [11-14]. Це має кілька ключових переваг: зменшення викидів CO₂, утилізація відходів, поліпшення властивостей бетону [2].

Незважаючи на численні переваги, використання золи у виробництві цементу має свої проблеми та виклики. Наприклад, необхідно забезпечити стабільну якість золи, що може змінюватися залежно від типу вугілля та умов його спалювання. Крім того, необхідні додаткові дослідження для визначення оптимальних пропорцій золи та цементу, а також для вивчення довгострокових ефектів використання золи в будівельних матеріалах [3].

Мета дослідження – огляд новітніх технологій та інновацій у сфері застосування золи-виносу при виробництві сухих будівельних сумішей.

Основна частина

Використання золи-виносу, яка є побічним продуктом спалювання вугілля на теплових електростанціях (ТЕС), при виробництві сухих будівельних сумішей має численні переваги, які охоплюють екологічні, економічні та технічні аспекти. Нижче розглянемо основні переваги детальніше.

До екологічних переваг можемо віднести зменшення кількості відходів, зниження викидів парникових газів, повторне використання. Використання золи-виносу дозволяє зменшити обсяги промислових відходів, що потребують захоронення. Це сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище та знижує потребу у створенні нових полігонів для відходів. Використання золи у виробництві будівельних матеріалів знижує потребу у видобутку та переробці природних матеріалів, таких як вапняк. Це, в свою чергу, призводить до зниження викидів CO₂, що утворюються при виробництві цементу. Використання золи-виносу сприяє концепції циркулярної економіки, де відходи одного виробництва стають сировиною для іншого. Це допомагає раціональніше використовувати ресурси та зменшувати екологічний слід виробництва [5].

До економічних переваг можемо віднести зниження виробничих витрат, підвищення конкурентоспроможності та зниження транспортних витрат. Зола-виносу є доступним та недорогим матеріалом, що дозволяє знизити загальні витрати на сировину при виробництві будівельних сумішей. Це особливо важливо в умовах зростання цін на традиційні матеріали. Використання золи, яка може бути доступною в безпосередній близькості від виробничих потужностей, знижує транспортні витрати на доставку сировини.

До технічних переваг можемо віднести покращення властивостей будівельних матеріалів. Додавання золи-виносу до сухих будівельних сумішей може покращити їх фізико-механічні властивості. Зокрема, зола може підвищувати міцність, зменшувати усадку та покращувати тріщиностійкість матеріалів. Будівельні суміші, що містять золу, можуть мати підвищену стійкість до впливу хімічних речовин та агресивних середовищ, що робить їх більш довговічними та надійними в експлуатації. Зола може підвищувати пластичність та покращувати робочі характеристики будівельних сумішей, що спрощує їх нанесення та обробку. Це знижує трудомісткість робіт та підвищує якість виконання будівельних операцій [4].

Використання золи-виносу у виробництві сухих будівельних сумішей надає значні переваги як з точки зору екології, так і економіки та технічних характеристик матеріалів. Це рішення сприяє зменшенню екологічного навантаження, знижує виробничі витрати та покращує властивості будівельних матеріалів, що робить його важливим кроком у напрямку сталого розвитку будівельної індустрії. Інноваційні рішення у виробництві сухих будівельних сумішей обумовлені використанням сучасних методів активації її активації.

Механічна активація полягає в підвищенні питомої поверхні вихідної золи шляхом її подрібнення. Для цього використовують шаровий млин, вібраційний млин, молотковий млин і дезінтегратор. Дезінтегратор є одним з найефективніших пристроїв для ультрадрібного подрібнення, включаючи золу. Цей процес сприяє не тільки кількісному підвищенню реакційної здатності реагентів, але й має якісний ефект: утворення нових активних поверхонь алюмосилікатної фази з мікрodefekтами, що мають високу поверхневу енергію та, відповідно, високу реакційну здатність. Однак, підвищення питомої поверхні золи понад 700 м²/кг може призвести до зниження міцності через збільшення потреби у воді.

Відокремлення більш дрібної фракції золи (до 45 або 90 мкм) може здійснюватися не тільки шляхом подрібнення, але й за допомогою сепарації. Такий підхід дозволяє економити енергію під час процесу подрібнення, але не забезпечує утилізацію всієї золи.

Хімічна активація золи зазвичай пов'язана з розчиненням алюмосилікатного складу золи у лужному середовищі. Кислотна активація, яка іноді використовується в хімічній технології, не набула широкого застосування в будівельних матеріалах через високу вартість матеріалів та процесу, а також небезпеку для персоналу та обладнання. Сьогодні існує кілька напрямків хімічної активації: лужноземельна, сульфатна та лужна [9].

У першому випадку як активатор золи використовують портландцемент або вапно; фазовий склад новоутворень представлений переважно низькоосновними гідросилікатами кальцію. У другому випадку активатором є сульфати кальцію (гіпс або речовини, близькі за складом), а фазовий склад новоутворень представлений різними видами гідросульфалоюмінатів кальцію. У третьому випадку активаторами є гідроксиди, силікати або карбонати лужних металів, а новоутворення представлені відповідно лужноземельними або лужними гідросилікатами та гідроалюмосилікатами [9].

Недоліком сульфатної активації золівмісного цементу є нестабільність гідросульфалоюмінатів, особливо еtringіту, а також можливість утворення вторинного еtringіту, що може призвести до руйнування структури бетону. Проте сульфатна активація з силікатними добавками може ефективно використовуватися для отримання довговічних золівмісних цементів незалежно від технології спалювання вугілля та вилучення золи.

Лужноземельна активація традиційно проводилась із застосуванням сполук на основі лужноземельних металів, таких як вапно чи портландцемент. Вапняно-зольні в'язучі або пуцоланові

портландцементи, отримані таким чином, широко використовуються в будівельній галузі. Проте традиційний підхід обмежує кількість золи, яку можна додати до в'язучої системи, що стримує розвиток концепції "високо золовмісних" цементів. Прогрес у розвитку лужних в'язучих дозволив запропонувати нові підходи, які передбачають використання сполук лужних металів. У таких системах лужна активація характеризується високим значенням рН дисперсійного середовища, що при правильному підборі складу та концентрації активатора значно інтенсифікує першу стадію хімічної деструкції алюмосилікатної фази золи та сприяє процесам синтезу [1].

Термічна активація базується на підвищенні розчинності кремнезему та глинозему при збільшенні температури. У випадку цементів на основі активованих зол термічна активація використовується під час мокрої помелу або теплової обробки виробів (пропарювання, автоклавовання тощо). Як і у випадку механічної, термічна активація ефективна тільки у поєднанні з хімічною. Важливо зазначити, що на відміну від механічної активації, яка в основному впливає на кінетику процесу, вибір температури обробки значно визначає напрям процесу структуроутворення та фазовий склад новоутворень.

Комбінована активація включає поєднання декількох методів активації, наприклад, механічної та хімічної, або термічної та хімічної активації. Це дозволяє максимізувати корисні властивості золи та підвищити її ефективність у будівельних матеріалах.

Кожен з цих методів має свої переваги та обмеження, і вибір конкретного методу залежить від специфічних вимог до кінцевого продукту та умов виробництва.

Використання наноматеріалів у поєднанні з золою виносу відкриває нові можливості для покращення властивостей будівельних сумішей. Наноматеріали, завдяки своїм унікальним фізико-хімічним властивостям, можуть значно впливати на мікроструктуру і макроскопічні властивості цементних та бетонних матеріалів.

Переваги використання наноматеріалів:

- Збільшення міцності. Наноматеріали можуть значно підвищити міцність кінцевих продуктів завдяки покращенню зв'язків між частинками цементу та заповнювача.
- Покращення адгезії. Наночастинки сприяють покращенню адгезії між компонентами суміші, що призводить до кращої зчеплення та міцності.
- Зменшення пористості. Наноматеріали допомагають зменшити пористість бетону, що підвищує його стійкість до води, агресивних середовищ та морозостійкість.
- Підвищення довговічності. Використання наноматеріалів може покращити довговічність матеріалів, знижуючи їхню схильність до утворення тріщин та інших дефектів.

Основні типи наноматеріалів, що використовуються:

1. Нанокремнезем (нано-SiO₂): підвищує міцність та довговічність бетону, зменшує пористість і покращує зчеплення між цементом та заповнювачем, сприяє утворенню більш щільної та однорідної структури цементного каменю.
2. Нанотитаніум (нано-TiO₂): підвищує механічні властивості та зносостійкість бетону, має фотокаталітичні властивості, що сприяють самоочищенню поверхонь.
3. Наноглинозем (нано-Al₂O₃): покращує міцність на стиск і згин, сприяє підвищенню термостійкості та хімічної стійкості матеріалів.
4. Нанографен (нано-GO): підвищує електропровідність і теплопровідність матеріалів зміцнює структуру бетону та покращує його механічні властивості.

Додавання наноматеріалів до золи виносу дозволяє значно покращити її властивості. Зокрема, наноматеріали сприяють активації поверхонь золи, що підвищує її реакційну здатність. Наноматеріали можуть зменшити водопотребу сумішей, що дозволяє знизити кількість води, необхідної для досягнення потрібної консистенції. Завдяки наноматеріалам зола краще диспергується у цементній матриці, що підвищує однорідність суміші.

Приклади використання:

1. Самовирівнюючі стяжки для підлог. Додавання нано-SiO₂ до золи виносу підвищує міцність та стійкість стяжки, зменшує усадку та підвищує довговічність.
2. Штукатурні суміші. Використання наноматеріалів у штукатурних сумішах покращує їх адгезію до поверхонь, підвищує міцність та стійкість до тріщин.
3. Клейові суміші для плитки. Наноматеріали підвищують зчеплення клею з плиткою та основою, що забезпечує надійне кріплення та довговічність укладання.

Інтеграція наноматеріалів у будівельні суміші з золою виносу є перспективним напрямком, що дозволяє значно покращити експлуатаційні властивості будівельних матеріалів. Це відкриває нові можливості для створення більш ефективних та екологічно безпечних будівельних продуктів, що відповідають сучасним вимогам до якості та довговічності.

Використання полімерних добавок разом з золою-виносу для покращення адгезії, еластичності та водостійкості сумішей. Полімерні добавки є ключовими компонентами сучасних будівельних сумішей, що дозволяють значно покращити їх властивості. Коли полімерні добавки використовуються разом із золою-виносу, вони забезпечують додаткові переваги, такі як підвищення адгезії, еластичності та водостійкості. Це відкриває нові можливості для створення високоякісних та надійних будівельних матеріалів.

Основні типи полімерних добавок та їх вплив на властивості сухих будівельних сумішей:

1. Полівінілацетат: підвищує адгезію та еластичність будівельних сумішей, використовується у клеях для плитки, штукатурних та шпаклювальних сумішах.

2. Латекси (акрилові, стирол-акрилові): підвищують водостійкість та гнучкість матеріалів. Застосовуються у самовирівнюючих стяжках для підлог, гідроізоляційних та штукатурних сумішах.

3. Поліетиленгліколь: покращує реологічні властивості сумішей, підвищує стійкість до морозу, використовується у бетонних та цементних сумішах.

4. Сополімери етилену та вінілового спирту: забезпечують високу адгезію та водостійкість, використовуються у гідроізоляційних та клеючих матеріалах.

Додавання полімерних добавок до золи-виносу дозволяє значно покращити її властивості: вони створюють міцні зв'язки між частинками золи та цементу, забезпечуючи кращу адгезію до основи, підвищують гнучкість сумішей, що дозволяє їм краще витримувати механічні навантаження без утворення тріщин, створюють гідрофобні бар'єри, що зменшують водопоглинання та підвищують стійкість до вологи.

Використання полімерних добавок разом із золою-виносу є перспективним напрямком у виробництві будівельних сумішей. Це дозволяє значно покращити адгезію, еластичність та водостійкість матеріалів, що робить їх більш надійними та довговічними. Інтеграція полімерних добавок у будівельні суміші сприяє створенню високоякісних продуктів, які відповідають сучасним вимогам будівництва та забезпечують підвищену ефективність і стійкість конструкцій.

Якість золи, яка використовується у виробництві будівельних сумішей, є критично важливим фактором, що впливає на кінцеві властивості матеріалів. Основні аспекти, які слід враховувати, включають стабільність складу та контроль забруднень:

1. Необхідність забезпечення стабільності складу золи. Склад золи може значно варіюватися в залежності від типу вугілля, що використовується, а також умов його спалювання. Для забезпечення стабільних властивостей будівельних сумішей важливо підтримувати постійну якість золи. Це включає регулярний хімічний аналіз та контроль параметрів процесу спалювання, щоб уникнути великих відхилень у складі золи.

2. Мінімізація вмісту важких металів та інших шкідливих речовин. Зола може містити важкі метали та інші шкідливі речовини, які можуть негативно впливати на безпеку та екологічні характеристики кінцевих продуктів. Важливо здійснювати ретельний контроль вмісту таких забруднень. Це допомагає забезпечити відповідність будівельних сумішей вимогам безпеки та знизити ризики для здоров'я людей та навколишнього середовища.

Забезпечення високої якості золи є необхідним кроком для досягнення стабільних та надійних характеристик будівельних сумішей, що сприяє підвищенню їх ефективності та довговічності у використанні.

Висновки

Інтеграція золи-виносу у виробництво цементу є важливим кроком у напрямку зниження викидів парникових газів та утилізації промислових відходів. Це може значно зменшити екологічний слід цементної промисловості та сприяти сталому розвитку будівельного сектору. Однак, для досягнення цих цілей необхідні подальші наукові дослідження та інноваційні підходи, які дозволять максимально ефективно використовувати золу у будівництві.

Використання золи-виносу ТЕС у виробництві сухих будівельних сумішей є перспективним напрямком, що дозволяє вирішувати екологічні та економічні проблеми одночасно з покращенням якості будівельних матеріалів. Інноваційні рішення у цій сфері сприяють сталому розвитку будівельної індустрії та відкривають нові можливості для виробників та споживачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Wilińska I., Pacewska B., Ostrowski A. Investigation of different ways of activation of fly ash–cement mixtures. *SpringerLink*. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10973-019-08485-1#auth-Barbara-Pacewska-Aff1>.
2. Ковальський, В.П. і Сідлак, О.С. 2014. ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ ВІНОСУ ТЕС У БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛАХ. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 16, 1 (Жов 2014), 35–40.
3. Кривенко П. В., Пушкарьова К. К., Кочевих М. О. Заповнювачі для бетону. – Підручник. – К.: ФАДА, ЛТД. 2001. – 399 с.

4. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Корнейчук Ю.А. Ефективні цементно-зольні бетони. – Рівне. – 1998. – 195 с.
5. К.К. Пушкарьова Ресурсозберігаючі мінеральні в'язучі речовини і високоефективні композиційні матеріали на основі паливних зол і шлаків. - Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2013, вип. 138.- 19-26с.
6. Пушкарьова, К.К. Перспективні технології утилізації відходів паливно-енергетичної промисловості та ефективність їх застосування при отриманні будівельних матеріалів з підвищеними експлуатаційними характеристиками [Текст] / К.К. Пушкарьова, О.А. Гончар, В.В. Павлюк // Строительные материалы и изделия. – 2005. – № 4. – С. 20-23.
7. Pushkarova K.K. Physical - chemical foundations for synthesis of a durable artificial stone based on ash-cement-sulfate binding systems / K.K. Pushkarova, V.I. Gots, V.V. Pavljuk // Ibausil. – Weimar, 2006. – P. 1-0829-0836.
8. Prof. Dr.-Ing. Detlef Heinz Technische Universität München Flugasche und Hüttensand – Zusatzstoffe mit Zukunft? – 14. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 21. März 2018 – 2018. – 27с.
9. Aggregates Obtained by Alkali Activation of Fly Ash: The Effect of Granulation, Pelletization Methods and Curing Regimes / O. Rudić et al. *The National Center for Biotechnology Information advances science and health by providing access to biomedical and genomic information.* URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6427724/>.
10. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 616 p. (2021).
11. Korniylo, I., Gnyp, O., Lemeshev, M., Bereziuk, O., Sivak, K., Romanova, M., ... & Narytnyk, T. (2022). Scientific foundations in research in Engineering. International Science Group.
12. Березюк, О. В., М. С. Лемешев, and В. П. Ковальський. "Будівельні вироби з механо-активованих промислових, побутових відходів." (2023).
13. Lemeshev, M., et al. "Complex binder based on industrial man-made waste." Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions: 51–59. (2023).
14. Hladyshev, D., et al. Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions. International Science Group, 2023

REFERENCES

1. Wilińska I., Pacewska B., Ostrowski A. Investigation of different ways of activation of fly ash–cement mixtures. SpringerLink. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10973-019-08485-1#auth-Barbara-Pacewska-Aff1>.
2. Kovalskiy, V.P. and Sidlak, O.S. 2014. USE OF TPP FLY ASH IN BUILDING MATERIALS. Modern technologies, materials and structures in construction. 16, 1 (October 2014), 35–40.
3. Kryvenko P.V., Pushkaryova K.K., Kochevykh M.O. Aggregates for concrete. - Textbook. - K.: FADA, LTD. 2001. – 399 p.
4. Dvorkin L.Y., Dvorkin O.L., Korneychuk Yu.A. Effective cement-ash concretes. - Exactly. - 1998. - 195 p.
5. K.K. Pushkaryova Resource-saving mineral binders and highly effective composite materials based on fuel ash and slag. - Collection of scientific works of UkrDAZT, 2013, issue 138.- 19-26 p.
6. Pushkaryova, K.K. Promising technologies for the utilization of fuel and energy industry waste and the effectiveness of their application in obtaining building materials with increased operational characteristics [Text] / K.K. Pushkaryova, O.A. Honchar, V.V. Pavlyuk // Building materials and products. - 2005. - No. 4. - P. 20-23.
7. Pushkarova K.K. Physical - chemical foundations for synthesis of a durable artificial stone based on ash-cement-sulfate binding systems / K.K. Pushkarova, V.I. Gots, V.V. Pavljuk // Ibausil. - Weimar, 2006. - R. 1-0829-0836.
8. Prof. Dr.-Ing. Detlef Heinz Technische Universität München Flugasche und Hüttensand – Zusatzstoffe mit Zukunft? – 14. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 21. März 2018 – 2018. – 27с.
9. Aggregates Obtained by Alkali Activation of Fly Ash: The Effect of Granulation, Pelletization Methods and Curing Regimes / O. Rudić et al. *The National Center for Biotechnology Information advances science and health by providing access to biomedical and genomic information.* URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6427724/>.
10. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 616 p. (2021).
11. Korniylo, I., Gnyp, O., Lemeshev, M., Bereziuk, O., Sivak, K., Romanova, M., ... & Narytnyk, T. (2022). Scientific foundations in research in Engineering. International Science Group.
12. Березюк, О. В., М. С. Лемешев, and В. П. Ковальський. "Будівельні вироби з механо-активованих промислових, побутових відходів." (2023).
13. Lemeshev, M., et al. "Complex binder based on industrial man-made waste." Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions: 51–59. (2023).
14. Hladyshev, D., et al. Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions. International Science Group, 2023

Ковальський Віктор Павлович – к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства і архітектури Вінницького національного технічного університету, e-mail: kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com ORCID 0000-0002-3103-6319.

Тимошенко Віталій Олександрович – магістр, факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vitaliktymoshenko@gmail.com.

Боднар Павло Степанович – канд. техн. наук, директор, ТОВ «БМ-БУД», м Вишневе.

Бондар Михайло Дмитрович – студент, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: m1507200bondar@gmail.com

V. Kovalskiy¹
V. Tymoshenko¹
P. Bodnar²
M. Bondar¹

INNOVATIVE SOLUTIONS IN THE PRODUCTION OF DRY CONSTRUCTION MIXTURES BASED ON TPP FLY ASH

¹Vinnitsia National Technical University;

²BM-BUD LLC

An overview of modern research and experience in the use of fly ash in construction is carried out, examples of successful cases of its application are given.

The prospects of using fly ash, which occurs during the burning of coal in thermal power plants, in construction were studied. Fly ash, which is a byproduct of coal combustion, has great potential for reuse in the construction industry, which contributes to reducing the environmental burden and increasing the efficiency of the production of construction materials.

The paper discusses in detail different methods of fly ash activation, such as mechanical, chemical and thermal activation, as well as combined approaches that combine these methods to achieve optimal results. Mechanical activation involves increasing the specific surface area of ash by grinding it, which helps to increase its reactivity. Chemical activation involves the use of various chemical reagents to increase the activity of ash, and thermal activation is based on increasing the solubility of silica and alumina with increasing temperature.

Particular attention is paid to the use of nanomaterials, such as nanosilica, nanotitanium and nanoalumina, which can significantly improve the properties of construction mixtures. Nanomaterials help increase strength, reduce porosity and improve water resistance of mixtures. The use of polymer additives, such as polyvinyl acetate, latexes and polyethylene glycol, which increase the adhesion, elasticity and water resistance of building materials, is also considered.

The influence of ash on the strength of building materials, as well as their resistance to aggressive factors, is considered. In addition, the impact of using ash on the energy efficiency of building materials and reducing carbon dioxide emissions is considered.

The development of new formulations of construction mixtures using fly ash helps to increase their strength, durability and environmental safety. The article gives examples of the practical application of such mixtures, in particular, in self-leveling screeds for floors, plaster and putty mixtures, adhesive mixtures for tiles and waterproofing materials. Key benefits of these innovative solutions are highlighted, including lower production costs, improved material performance and reduced environmental impact.

The research results show that the use of fly ash in construction has great potential. It allows to reduce the use of primary materials, improve the quality of construction materials and reduce the negative impact of the construction industry on the environment.

The article emphasizes the importance of using fly ash and innovative additives for the sustainable development of the construction industry and suggests promising directions for further research in this field.

Key words: ash, TPP, waste, impurities, building materials.

Kovalskiy Viktor – Ph.D., Associate Professor, Department of Urbanism and Architecture VNTU (Vinnitsa National Technical University), e-mail: kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com ORCID 0000-0002-3103-6319.

Tymoshenko Vitalii – Master of department construction, urban and architectural Vinnitsia National Technical University, e-mail: vitaliktymoshenko@gmail.com.

Bodnar Pavlo – PhD in Engineering, Director, BM-BUD LLC, Vyshneve.

Bondar Mykhailo D. – Department of Building, Civil and Environmental Engineering, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail: m1507200bondar@gmail.com