

**БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ**

УДК 666.972

DOI 10.31649/2311-1429-2023-1-36-42

**В. П. Ковальський****В. О. Тимошенко****ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ  
ВИНОСУ В БУДІВНИЦТВІ**

Вінницький національний технічний університет

*Досліджено перспективи використання золи виносу, яка виникає 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 основні методи активації золи-винесення та її позитивний вплив 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. Проведено огляд сучасних досліджень та перспективних напрямків використання золи виносу в будівництві для проведення подальших досліджень з її комплексної модифікації і застосування що дозволить суттєво зменшити антропогенний вплив на довкілля, з метою отримання будівельних матеріалів.*

*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 енергетичної галузі на довкілля.*

**Ключові слова:** зола-винесення, відходи, методи активації, будівельні матеріали.

**Вступ**

В енергетичному комплексі України найбільшу загрозу для довкілля становлять теплові електростанції. Вони чинять істотний негативний вплив на навколишнє природне середовище. Щороку в Україні утворюється 6-7 млн тон золошлакових відходів. Поки вугілля буде основним джерелом енергії, вони утворюватимуться всюди, де працюють вугільні ТЕС. В Європі до 92 % золошлаків утилізується [1-3]. В Україні поки зарано говорити про такі цифри, однак золошлакові матеріали вже успішно використовуються у виробництві цементу, бетону, будівельних сумішей, а відтепер і в дорожньому будівництві [4-6]. Застосування відходів одних виробництв в якості сировини для інших, в тому числі для інших галузей – головний принцип циркулярної економіки, яка є основою для сталого розвитку країн і підприємств.

Розширення використання вторинної сировини дозволяє більш оперативно вирішувати ресурсні і екологічні проблеми. При цьому головним напрямком науково-технічного прогресу є створення та впровадження у виробництво ресурсо- і енергозберігаючих безвідходних технологій та виробництв, при роботі яких усі компоненти сировини, що добувається і переробляється, використовуються ощадливо та в повному обсязі.

Золошлакові відходи (ЗШВ) від спалювання на теплових станціях твердих видів палива (вугілля, горючі сланці, торф) відносять до найбільш багатотонажних промислових відходів. Орієнтовно, теплоелектростанція (ТЕС) потужністю 1 млн. кВт за добу роботи спалює 10000 т вугілля, виділяючи при цьому, біля 1000 т шлаку та золи. Займаючи величезні площі, вони є джерелом забруднення оточуючого середовища, небезпечні для здоров'я населення, становлять загрозу рослинному та тваринному світу [7-9]. Разом з тим, за хімічним і мінералогічним складом вони багато в чому ідентичні природним мінеральним матеріалам та є перспективним джерелом сировини.

**Мета дослідження** – проаналізувати процес утворення золи-винесення на теплоелектростанціях. Визначити основні властивості золи виносу. Розглянути основні шляхи використання золи виносу, як комплексної добавки для будівельних матеріалів та виробів.

**Аналітичні дослідження**

При спалюванні твердого палива в топках при температурі близько 1200-1700°C теплових електричних станцій утворюються великотоннажні тверді мінеральні відходи, представлені шлаком і летючою золою. Схема утворення золи ТЕС показана на рис. 1.

Золошлакові відвали на більшості електростанцій переповнені. Якщо не вирішувати цю проблему, то такі електростанції доведеться у найближчі роки зупиняти і виводити з енергосистеми. Подальше

розміщення відходів потребує будівництва нових, або розширення існуючих золовідвалів, що призводить до відчуження значних територій та забруднення навколишнього середовища [10-12].

Експерименти показують, що термічні відходи - це мінеральна сировина, яка використовується для виробництва цементу та кераміки. У той же час використання очисних споруд зменшує виробничі витрати на основні будівельні матеріали (цемент, суха суміш, бетон, розчин, бетонні та пінобетонні блоки, цегла, тротуарна плитка та ін.) щонайменше на 15-20 %. Його можна використовувати для бетону – від важкого гідравлічного до легкого лакобетону та стінової плитки.

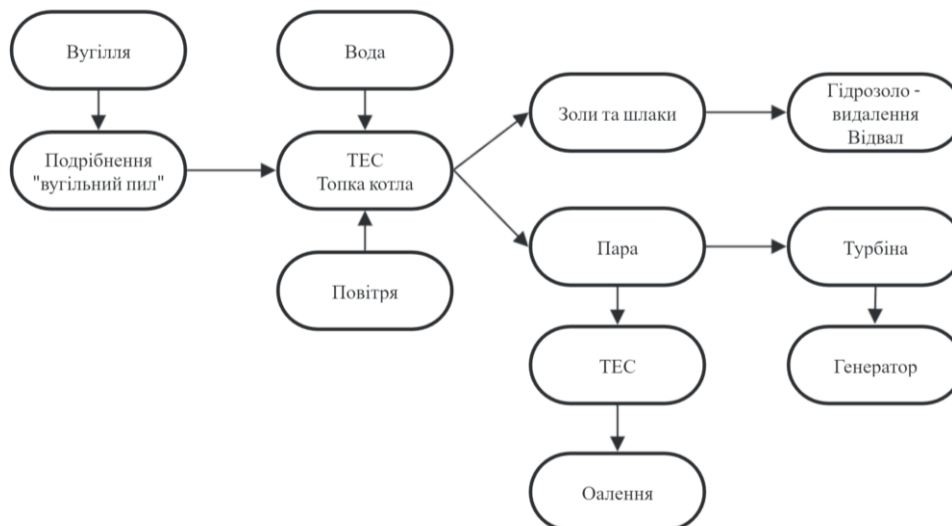


Рисунок 1 – Загальна схема утворення золи ТЕС

Дрібні і легкі частинки з питомою поверхнею 1500-3000 см<sup>2</sup>/г, що містяться в кількості близько 90%, виходять з топки у вигляді газів, а більші за розміром осідають і сплавляються в кускові шлаки.

На сучасних теплоелектростанціях спалювання вугільної сировини відбувається у пилоподібному стані. Найбільший існуючий розмір зерен шлаку в складі золошлакової суміші було прийнято 20 мм. Зола з димовими газами (зола виносу) виноситься з топки і затримується для їх очищення в циклонах і електрофільтрах [13-16]. Для переважної кількості фрагментів золи характерна склоподібна фактура поверхні. Розмір сферичних частинок коливається в районі кількох мікрон до 50-60 мкм (рис. 2).

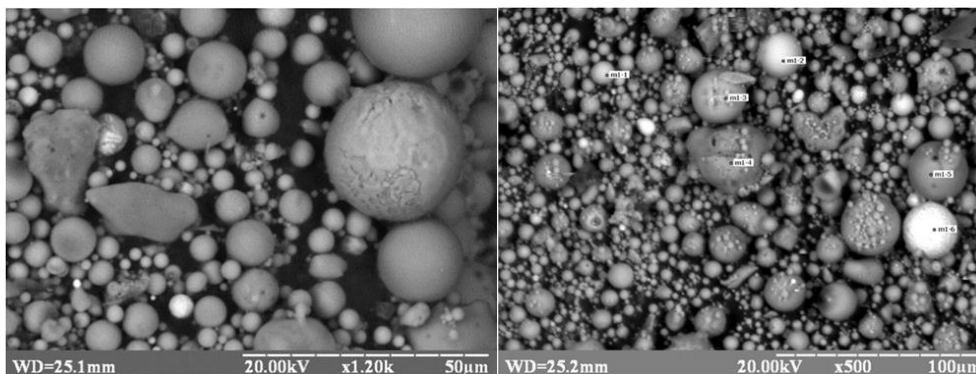


Рисунок 2 – Зображення частинок золи виносу

Будова і склад золи залежить від цілого комплексу одночасно діючих факторів: виду і морфологічних особливостей палива, що спалюється, тонини помолу в процесі його підготовки, зольності палива, хімічного складу мінеральної частини палива, температури в зоні горіння, часу перебування частинок в цій зоні та ін. При значному вмісті карбонатів кальцію в мінеральній частині вихідного палива під впливом високих температур в процесі горіння утворюються силікати, алюмінати і ферити кальцію – мінерали, здатні до гідратації. Такі золи при замішуванні з водою здатні до тужавлення і самостійного твердіння. У них, як правило, містяться оксид кальцію і оксид магнію у вільному стані.

Відходи частково замінюють великі та малі наповнювачі в бетоні. Отже, у важкому бетоні зола-винесення може замінити до 25 % цементу, тоді як у легеньких вона може зменшити споживання цементу на 10-15 %, тоді як керамзитовий гравій може зменшитись на 15-20 %.

Кількість золошлакових відходів, що використовується у складі в'язучої речовини та бетонної суміші, може бути збільшена за рахунок її активації різними способами, в тому числі механічним, хімічним, термічним, за допомогою НВЧ-енергії та комплексним (гідромеханічним, механохімічним, електро-механохімічним).

Механічна активація полягає у збільшенні питомої поверхні вихідної золи шляхом подрібнення. Для подрібнення: кульові млини, вібраційні млини, молоткові млини. Для помелу використовують: шаровий млин, вібраційний млин, молотковий млин дезінтегратор. Дезінтегратор являється однією з найкращих установок для ультра-мілкого помелу в тому числі й для помелу золи [17-19].

Це сприяє не тільки кількісному підвищенню реакційної здатності реагентів, але й має якісний ефект: формування нових активних поверхонь алюмосилікатної фази, що містять мікродефекти, які відрізняються високою поверхневою енергією і, відповідно, реакційною здатністю. У той же час підвищення питомої поверхні золи більше 700 м<sup>2</sup>/кг призводить до зниження міцності внаслідок збільшення водопотреби.

Відокремлення більш тонкої фракції золи (до 45 або 90 мкм) можливо не тільки завдяки помелу, але й шляхом сепарації. Такий підхід сприяє економії енергії в процесі помелу, але не дозволяє утилізувати всі 100 % золи. [12, 14].

В свою чергу вибір способу активації залежить від хіміко-мінералогічного складу золи, способу її отримання, а також від складу в'язучої системи, до якої цю золу додають.

Хімічна активація золи-винесення зазвичай пов'язана з розчиненням алюмосилікатного скла золи у лужному або кислому середовищі. Кислотна активація, яка іноді використовується у хімічній технології, широко не використовується в галузі будівельних матеріалів у зв'язку з високою вартістю як матеріалів, так і процесу, а також небезпечністю для персоналу та обладнання [19-21].

Лужноземельна, сульфатна та лужна. У першому випадку як активатор золи використовують портландцемент або вапно; фазовий склад новоутворень представлений переважно низько основними гідросилікатами кальцію. У другому випадку як активатор використовують сульфати кальцію (гіпс або наближені до нього за складом речовини), а фазовий склад новоутворень представлений переважно різними видами гідросульфо-алюмінатів кальцію.

У третьому випадку активаторами є гідроксиди, силікати або карбонати лужних металів, а новоутворення представлені відповідно лужноземельними або лужними гідросилікатами та гідроалюмосилікатами. Недоліком сульфатної активації золівмісного цементу є нестабільність у часі гідросульфоалюмінатів, у першу чергу – етрингіту, а також можливість утворення вторинного етрингіту, що може призвести до розвитку деструктивних процесів у структурі бетону, що твердіє. У той же час, сульфатна активація за наявності силікатних добавок може бути ефективно використана для отримання довговічних золівмісних цементів та матеріалів на їх основі незалежно від технології випалювання вугілля та вилучення золи. [12, 21].

Лужноземельна активація традиційно проводилась з використанням сполук на основі лужноземельних металів (кальцієвмісних речовин: вапна, портландцементу тощо). Отримані таким чином вапняно-зольні в'язучі або пуцоланові портландцементи на основі золи широко використовуються у будівельній галузі. Прогрес у розвитку лужних в'язучих дозволив запропонувати інші підходи до вирішення цієї проблеми, що передбачають використання сполук лужних металів. Особливістю таких систем, де використовується лужна активація, є високе значення рН дисперсійного середовища. При правильному підборі складу та концентрації лужного активатора сполуки лужних металів різко інтенсифікують першу стадію хімічної деструкції вихідної алюмосилікатної фази золи, а потім беруть активну участь у процесах синтезу. [12-14].

Термічна активація полягає в збільшенні розчинності глинозему та кремнезему за рахунок підвищення температури. Стосовно цементів з використанням активованих зол, то термічна активація використовується на етапі мокрої помелу або теплової обробки відформованих виробів (пропарювання, автоклавної обробки тощо). Як і у випадку механічної, термічна активація ефективна тільки у поєднанні з хімічною. Слід зазначити, що на відміну від механічної активації, яка визначає переважно кінетичний аспект активації, вибір температури обробки в значному ступені може визначати напрям процесу структуроутворення і, відповідно, фазовий склад новоутворень.

Ознайомившись з результатами багаторічних досліджень для хімічної активації кислій золи як з технологічної, так і з економічної точок зору, найбільш придатним є лужноземельно-сульфатний метод, причому при такій активації додатково потрібно використовувати пуцоланові та пластифікуючі добавки. Введення пуцоланової добавки необхідно для формування довговічного штучного каменю шляхом попередження та запобігання протіканню процесів утворення вторинного етрингіту або

таумаситу [14, 15]. Додавання золи виносення дозволяє підвищити міцність штучного каменю в довготривалій перспективі (рис. 3) [22, 23].

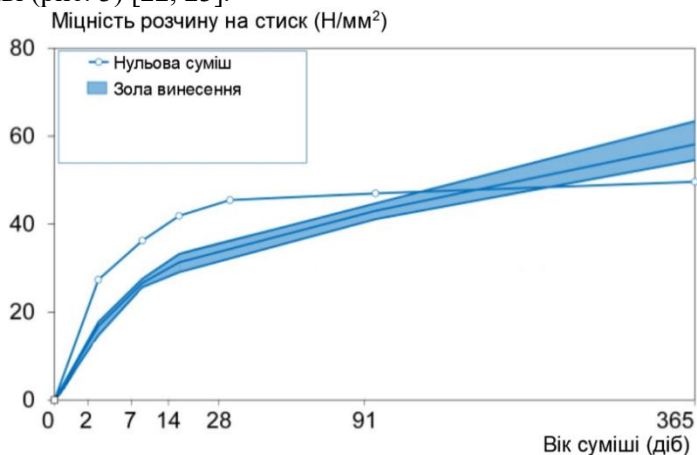


Рисунок 3 – Графік залежності зміни міцності бетонної суміші протягом року з додаванням золи виносення і без

Активация золи виносу призводить до підвищення наступних властивостей композиційних в'язучих та виробів на їх основі:

1. Міцність та довговічність: ефективна активація золи виносу призводить до покращення міцності та довговічності будівельних матеріалів.
2. Покращення реактивної активності: активація золи може змінити її хімічний склад та поверхневі властивості, що впливає на реактивну активність.
3. Розподіл частинок та площа поверхні: активована зола має більшу поверхню та зменшений розмір частинок, що сприяє збільшенню контактної площі та збільшенню активності.
4. Енергоефективність: використання активованої золи може покращити енергоефективність будівельних матеріалів, зменшуючи споживання енергії під час їх виробництва або експлуатації.

Додаткове використання пластифікуючих добавок необхідно як для регулювання реологічних властивостей бетонних сумішей, так і кінетики набору міцності на ранніх етапах твердіння.

Одним з основних застосувань золи виносу є її використання як домішки до цементу або бетону. Зола додається до суміші цементу, піску, води та щебеню для створення бетону або цементної суміші. Вона виступає в якості підвищувача міцності та ультрафіолетового захисту, поліпшує робочі характеристики бетону і забезпечує його більшу тривалість та стійкість до дії агресивних середовищ, наприклад, хлоридного впливу або сільськогосподарських добрив.

Застосування золи виносу також сприяє зменшенню використання первинних матеріалів, таких як цемент, що допомагає зберегти природні ресурси та зменшити енерговитрати на їх виробництво. Крім того, використання золи сприяє скороченню викидів вуглекислого газу, пов'язаних з виробництвом цементу, оскільки заміна частини цементу золою виносу зменшує кількість необхідного цементу у будівельних матеріалах.

Використання золи виносу також розширює можливості використання відходів будівельної галузі. Наприклад, зола може використовуватись у виробництві блоків, цегли, асфальту, штукатурки та інших будівельних матеріалів. Вона додає матеріалам більшу міцність, покращує їх теплоізоляційні властивості та зменшує їх вартість.

Досвід роботи заводів ряду країн показав, що економічно доцільно вводити золу до складу звичайного бетону. Дослідникам давно відомо, що при заміні частини цементу золою поліпшується зручність вкладення бетонної суміші. Це відбувається, головним чином, за рахунок гладкої поверхні і сферичної форми зольних частинок. Чим дрібніша зола тим більша кількість цих частинок. Відповідно з цим зменшується і кількість води для отримання необхідної консистенції бетонної суміші і поліпшуються її показники: підвищується пластичність, однорідність і щільність бетонної суміші. Зола дозволяє поліпшити гранулометрію піску, в якому відсутні дрібні фракції. Особливо доцільно її додавати в важко обробні бетонні суміші з малою кількістю цементу.

Наприклад, використання золи-виносення і золошлакових відходів ТЕС в керамзитобетоні замість кварцового піску, знижує його щільність на 40-80 кг/м<sup>3</sup> і дозволяє скоротити витрати цементу при виробництві бетону на 15-50 кг у розрахунку на 1 м<sup>3</sup> бетону. При цьому підвищується корозійна стійкість і теплофізичні показники бетону. Застосування золи при виробництві бетону забезпечує максимальну економію цементу (10-25 % залежно від виду, якості заповнювачів і типу конструкцій).

У європейських країнах і Японії частка корисного використання золи (в основному в будівництві) досягає 90-95 %. Із застосуванням золи виносу побудовані такі об'єкти, як найбільший хмарочос в світі - Бурдж-Халіф в ОАЕ, один з найдовших мостів у світі - Великий Бельт в Данії, тунель під Ла-Маншем, а також ряд великих гребель, градирень електростанцій, аеродромів і інших відповідальних інженерних споруд і промислових будівель.

### Висновки

Використання золи виносу в будівництві є одним з ефективних способів використання відходів та ресурсозбереження. Зола виносу виникає як вторинний продукт під час спалювання вугілля або біомаси у теплових електростанціях або промислових печах. Замість того, щоб просто зберігати її на полігоні відходів, золу використовують в будівельній галузі з метою поліпшення якості будівельних матеріалів та зниження негативного впливу на навколишнє середовище.

Загалом, використання золи виносу в будівництві є перспективним напрямом, який сприяє сталому розвитку та зменшенню негативного впливу будівельної галузі на довкілля. Вона дозволяє ефективно використовувати відходи та забезпечує створення екологічно стійких та енергоефективних будівельних матеріалів

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. М. С. Лемешев, та О. В. Березюк, «Антистатичні покриття із електропровідного бетону», Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві, No 2, 2017, с. 26-30.
2. 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>
3. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 616 p. (2021).
4. Drukovanyy M. Activation of gold-cement binding systems [Електронний ресурс] / М. Drukovanyy, V. Ocheretnyi, V. Kovalskiy // Матеріали L науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 10-12 березня 2021 р. – Електрон. текст. дані. – 2021. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/12714>.
5. Lyubarsky V. Use of fly ash in production wall materials [Електронний ресурс] / V. Lyubarsky, V. Kovalskiy // Матеріали LI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 31 травня 2022 р. – Електрон. текст. дані. – 2022. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2022/paper/view/16112>.
6. 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.
7. Кривенко П. В., Пушкарьова К. К., Кочевих М. О. Заповнювачі для бетону. – Підручник. – К.: ФАДА, ЛТД. 2001. – 399 с.
8. 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-fbtegp2018/paper/view/5035/4128>
9. Очеретний В. П. Мінерально-фазовий склад новоутворень зола шламового в'язучого [Текст] / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, М. П. Машницький // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. - 2006. - No 3. – С. 41–45.
10. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л., Корнейчук Ю.А. Эффективные цементно-золяные бетоны. – Ровно. – 1998. – 195 с.
11. Утилізація відходів промисловості шляхом виготовлення на їх основі сухих будівельних сумішей [Текст] / А. В. Бондар, В. П. Ковальський, В. П. Бурлаков, Є. Р. Матвійчук // Екологічні науки : науково-практичний журнал. – Київ ДЕА, 2018. – № 3(22). – С. 21-24.
12. 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.
13. Очеретний В. П. Комплексна активна мінеральна добавка на основі відходів промисловості / В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, М. П. Машницький // Стан сучасної будівельної науки - 2006 : IV міжнар. наук.-практ. інтернет-конф, 12–20 травня 2006 р.: зб. наукових праць. – 2006. – С. 116–121..
14. 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.
15. Postolatii M. Building products using industrial waste [Електронний ресурс] / М. Postolatii, S. Yakivchuk, V. Kovalskiy // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Інноваційні технології в будівництві, Вінниця", 10-12 листопада 2020 р. – Електрон. текст. дані. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/view/10896>.
16. М. С. Лемешев, та О. В. Березюк, «Антистатичні покриття із електропровідного бетону», Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві, No 2, 2017, с. 26-30.
17. Ковальський В. П. Обґрунтування доцільності використання золошламового в'язучого для приготування сухих будівельних сумішей / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, М. С. Лемешев, А. В. Бондар. – Рівне: Видавництво НУВГіП, 2013. – Випуск 26. – С. 186 – 193.
18. Мінцзюнь, Го, А. П. Оленюк, and В. П. Ковальський. Використання техногенної сировини для будівництва автомобільних доріг. Харківський національний університет міського господарства імені ОМ Бекетова, 2022.

19. Очеретний В. П. Мінерально-фазовий склад новоутворень зола шламового в'язучого [Текст] / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, М. П. Машницький // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. - 2006. - № 3. – С. 41–45.
20. Друкований М. Ф. Комплексне золошламове в'язуче / М. Ф. Друкований, В. П. Очеретний, В. П. Ковальський // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса, 2006. – № 21. – С. 94–100.
21. 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 // Ibaasil. – Weimar, 2006. – P. 1-0829-0836.
22. Очеретний, В. П., et al. *Определение факторного пространства для построения математической модели карбонатного пресс-бетона*. Одеська державна академія будівництва та архітектури, 2004.
23. 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.

## REFERENCES

1. M. S. Lemeshev, та O. V. Berezyuk, «Antystatichni pokryttya iz elektroprovodnoho betonu», Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi u budivnytstvi, No 2, 2017, s. 26-30.
2. Koval's'kyy V . p. Kompozytsiyni v'yazhuchi rehovyny na osnovi vidkhodiv promyslovosti [Elektronnyy resurs] / V.V. p. Koval's'kyy, T. H. Shulik, V. p. Burlakov //Materialy XLVII naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi pidrozdiliv VNTU, Vinnytsya, 14–23 bereznya 2018 r. – Elektron. tekst. data. – 2018. – Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/5035/4128>
3. Kalafat K., Vakhitova L., Drizhd V. «Tekhnichni doslidzhennya i rozrobky». Mizhnarodna naukova hrupa. – Boston: Primedia eLaunch, 616 r. (2021).
4. Drukovanyy M . Aktyvatsiya zolototsementnykh zv'yazuyuchykh system [Elektronnyy resurs] / M.V. Drukovanyy, V. Ocheretnyi, V. Kovalskiy // Materialy L naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi pidrozdiliv VNTU, Vinnytsya, 10-12 bereznya 2021 r. – Elektron. tekst. data. – 2021. – Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/12714>.
5. Lyubarsky V. Use of fly ash in production wall materials [Elektronnyy resurs] / V. Lyubarsky, V. Kovalskiy // Materialy LI naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi pidrozdiliv VNTU, Vinnytsya, 31 travnya 2022 r. – Elektron. tekst. data. – 2022. – Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2022/paper/view/16112>.
6. Koval's'kyy, V.P. i Sidlak, O.S. 2014. VYKORYSTANNYA ZOLY VYNOSU TES U BUDIVEL'NYKH MATERIALIKH. Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi. 16, 1 (Zhov 2014), 35–40.
7. Kryvenko P . V., Pushkar'ova K. K., Kochevykh M. O. Zapovnyuvachi dlya betonu. – Pidruchnyk. – K.: FADA, TOV. 2001. – 399 s.i. - 2006. - № 3. – S. 41–45.
8. Koval's'kyy V . p. Kompozytsiyni v'yazhuchi rehovyny na osnovi vidkhodiv promyslovosti [Elektronnyy resurs] / V.V. p. Koval's'kyy, T. H. Shulik, V. p. Burlakov // Materialy XLVII naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi pidrozdiliv VNTU, Vinnytsya, 14-23 bereznya 2018 r. - Elektron. tekst. data. - 2018. - Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp2018/paper/view/5035/4128>
9. Ocheretnyy V . p. Mineral'no-fazovyy sklad novoutvoren' zolo shlamovoho v'yazhuchoho [Tekst] / V.V. p. Koval's'kyy, V. p. Ocheretnyy, M. p. Mashnyts'kyy // Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi. - 2006. - № 3. – S. 41–45.
10. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L., Korneychuk YU.A. Efektyvni tsementno-zol'ni betony. – Rovno. – 1998. – 195 s.
11. Utylizatsiya vidkhodiv promyslovosti shlyakhom vyhotovlennya na yikh osnovi sukhykh budivel'nykh sumishey [Tekst] / A.A. V. Bondar, V. p. Koval's'kyy, V. p. Burlakov, YE. R. Matviyчук // Ekolohichni nauky : naukovo-praktychnyy zhurnal. – Kyiv DEA, 2018. – № 3(22). – S. 21-24.
12. K.K. Pushkar'ova Resursozberihayuchi mineral'ni v'yazhuchi rehovyny ta vysokoeffektyvni kompozytsiyni materialy na osnovi palyvnykh zol i shlakiv. - Zbirnyk naukovykh prats' UkrDAZT, 2013, vyp. 138.- 19-26s.
13. Ocheretnyy V . p. Kompleksna aktyvna mineral'na dobavka na osnovi vidkhodiv promyslovosti / V.V. p. Ocheretnyy, V. p. Koval's'kyy, M. p. Mashnyts'kyy // Sostoyanye sovremennoy stroytel'noy nauky – 2006 : IV mizhnar. nauch.-prakt. internet-konf, 12–20 travnya 2006 r. : sb. naukovykh trudov. – 2006. – S. 116–121.
14. Pushkar'ova, K.K. Perspektivni tekhnolohiyi utylizatsiyi vidkhodiv palyvno-enerhetychnoyi promyslovosti ta efektyvnist' yikh zastosuvannya pry otrymanni budivel'nykh materialiv z pidvyshchenymy ekspluatatsiynymy kharakterystykamy [Tekst] / K.K. Pushkar'ova, O.A. Honchar, V.V. Pavlyuk // Budivel'ni materialy ta vyroby. – 2005. – № 4. – S. 20-23.
15. Postolatii M . Budivel'ni vyroby z vykorystanniam promyslovykh vidkhodiv [Elektronnyy resurs] / M. Postolatii, S. Yakivchuk, V. Kovalskiy // Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi "Innovatsiyni tekhnolohiyi v budivnytstvi, Vinnytsya", 10-12 lystopada 2020 r. – Elektron. tekst. data. – Vinnytsya : VNTU, 2020. – Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/view/10896>.
16. M. S. Lemeshev, та O. V. Berezyuk, «Antystatichni pokryttya iz elektroprovodnoho betonu», Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi u budivnytstvi, No 2, 2017, s. 26-30.
17. Koval's'kyy V . p. Obruntovuvannya dotsil'nosti vykorystannya zoloshlamovoho v'yazhuchoho dlya pryhotovuvannya sukhykh budivel'nykh sumishey / V. p. Koval's'kyy, V. p. Ocheretnyy, M. S. Lemeshev, A. V. Bondar. – Rivne: Vydavnytstvo NUVHiP, 2013. – Vypusk 26. – S. 186 – 193.
18. Mintszyun', Ho, A . p. Olenyuk ta V. p. Koval's'kyy. Vykorystannya tekhnohennoyi syrovyny dlya budivnytstva avtomobil'nykh dorih. Kharkivs'kyy natsional'nyy universytet mis'koho hospodarstva imeni O. M. Beketova, 2022.
19. Ocheretnyy V . p. Mineral'no-fazovyy sklad novoutvoren' zolo shlamovoho v'yazhuchoho [Tekst] / V.V. p. Koval's'kyy, V. p. Ocheretnyy, M. p. Mashnyts'kyy // Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi. - 2006. - № 3. – S. 41–45.
20. Drukovanyy M . f. Kompleksne zoloshlamove v'yazhuche /M. f. Drukovanyy, V. p. Ocheretnyy, V. p. Koval's'kyy // Visnyk Odes'koyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury. – Odesa, 2006. – No 21. – S. 94–100.
21. Pushkarova K.K. Fizyko – khimichni osnovy syntezu mitsnoho shuchnoho kamenyu na osnovi zo tsementno sul'fatnykh v'yazhuchykh system / K.K. Pushkarova, V.I. Hots, V.V. Pavlyuk // Ibaasil. – Veymar, 2006. – S. 1-0829-0836.
22. Ocheretnyy V . P. ta in. Opredelenye faktornogo prostoru dlya pobudovy matematycheskoy modely karbonatnoho pres-betona. Odes'ka derzhavna akademiya budivnytstva ta arkhitektury, 2004.
23. Profesor d.t.n. Detlef Heinz Technische Universität München Flugasche und Hüttensand – Zusatzstoffe mit Zukunft? – 14. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 21 bereznya 2018 – 2018. – 27с.

**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 газопо-стачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vitaliktymoshenko@gmail.com.

**V. Kowalski**  
**V. Tymoshenko**

## STUDY OF THE PROSPECTS OF USING FLY ASH IN CONSTRUCTION

Vinnitsia National Technical University

*The prospects of using fly ash, which occurs during the burning of coal in thermal power plants, in construction were studied. Fly ash is considered as a secondary product that can be effectively used to improve the quality of building materials and reduce the negative impact on the environment.*

*The impact 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.*

*Ways of processing waste, which allow to significantly reduce the negative anthropogenic impact on the environment, are considered. It was found that gold and varnish waste can be used in construction, agriculture, and water treatment technologies. Ash and slag waste is most widely used in the construction industry as a ready aggregate and raw material. In particular, the use of thermal power plant slag for road construction is widespread.*

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

*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.*

*In general, the use of fly ash in construction is a promising direction that contributes to sustainable development and reducing the negative impact of the construction industry on the environment. It allows efficient use of waste and ensures the creation of environmentally sustainable and energy-efficient building materials*

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

**Kowalski 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](mailto:vitaliktymoshenko@gmail.com).