

УДК 625.7/.8  
UDC 625.7/.8

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-278-283

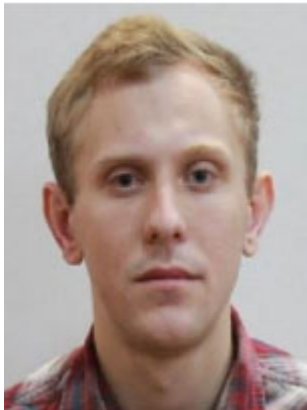
**АНАЛІЗ ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛОШЛАКОВИХ МАТЕРІАЛІВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В МАТЕРІАЛАХ ДОРОЖНИХ, ВИГОТОВЛЕНИХ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛІНГУ**

**ANALYSIS OF THE EXPERIENCE OF USING ASH SLAG MATERIALS OF THERMAL POWER PLANTS IN ROAD MATERIALS MADE BY COLD RECYCLING TECHNOLOGY**



***Савенко В'ячеслав Якович**, Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: [svi1310@ukr.net](mailto:svi1310@ukr.net), тел. +380506572008,*

*<https://orcid.org/0000-0001-8174-7728>*



***Биковець Микола Миколайович**, аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету. e-mail: [mbykovec@gmail.com](mailto:mbykovec@gmail.com), тел. +380662373208.*

*<https://orcid.org/0000-0002-7490-7479>*

**Анотація.** У даному науковому тексті розглядаються аналіз вітчизняного та світового досвіду використання золошлакових матеріалів теплових електростанцій в матеріалах дорожніх, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу. Вугілля є важливішим первинним джерелом енергії в Україні. У 2019 році на його частку припадало 28,9% від усіх енергоресурсів. В Україні наявні 15 вугільних паливних електростанцій, сумарна потужність яких становить 30-40% у загальній встановленій потужності енергогенерації в країні. У результаті діяльності теплоелектростанцій (ТЕС) утворюється значна кількість великотонажних відходів – золошлакових матеріалів (ЗШМ). На золовідвалах ТЕС накопичено 360 млн т золошлаків. Щорічно утворюється близько 5-10 млн т золошлаків. Тому постає питання зменшення відвалів ЗШМ, як матеріалів при дорожньому будівництві. В Україні основним способом використання золошлакових матеріалів є їх використання у виробництві цементу. Але при поточному рівні виробництва цементу потенціал використання шлаків у цій галузі вичерпаний. Тому постає питання використання золошлакових матеріалів в інших галузях. Як варіантом є використання ЗШМ в дорожньому будівництві.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, дорожній одяг, золошлакові матеріали, зола гідровидалення, зола-виносу, ресайклінг.

**Вступ.** У результаті експлуатації теплових електростанцій неминує утворюються значні обсяги відходів у вигляді золошлакових матеріалів. Завдяки використанню вугілля та іншого палива у процесі генерації електроенергії, ТЕС стають джерелом великогабаритних відходів, які потребують ефективної утилізації. Метою цього дослідження є встановлення можливостей використання золи-винесення, утвореної у процесі спалювання, в поєднанні з мінеральними в'язучими для створення суміші, придатної для улаштування основи дорожнього з матеріалів дорожніх, виготовлених за технологією холодного ресайклінгу. Такий підхід може відкрити нові перспективи у використанні відходів від ТЕС та сприяти зниженню негативного впливу їхнього накопичення на довкілля. Ця технологія відкриває можливості для подальшого використання відходів від ТЕС, сприяючи їхній ефективній утилізації та зменшенню негативного впливу на довкілля. При цьому необхідно провести подальші дослідження з метою визначення оптимальних співвідношень складових у суміші для досягнення оптимальних результатів.

**Виклад основного матеріалу.** Золошлакові матеріали - це тверді продукти згоряння вугілля, що складаються в основному з породотворюючих компонентів. Мінеральна частина вугільного палива на 85-95% складається з глинистих мінералів, аргілітів, алевролітів. Інші 5-15% - сполуки заліза, кальцію та мікроелементів.

Золошлакові відходи є дрібнозернистим матеріалом, у якого майже 30 % зерен має розміри від 1 мм до 5 мм. Характеристики золошлаків різняться в залежності з якої вони ТЕС, оскільки визначаються мінералогічним складом вугілля, підготовкою палива до спалювання, технологією спалювання, системою очищення димових газів від золи і їх транспортування до золовідвалів.

Аналіз закордонного досвіду показує, що однією з найперспективніших сфер їхньої утилізації може бути дорожнє будівництво. У Західній Європі найпрогресивнішою у вирішенні проблеми застосування відходів ТЕС для дорожнього будівництва вважається Франція, де використовується «сухе» видалення відходів. Вироблена зола-виносу, залежно від свого складу та властивостей, застосовується для всіх шарів дорожньої конструкції, і може використовуватися як для верхніх шарів конструкції дорожнього одягу як компонент в'язучого, так і для нижніх шарів як укріпленний мінеральний матеріал. Також ЗШМ застосовують у тілі дорожнього насипу як техногенний ґрунт. Наприклад, на півночі Франції, у Ленс-ла-Бассе, траса RN 47 завдовжки 7,5 км побудована з використанням майже 50 000 тонн золи. Дана дорога майже на 70 % складається із золи, і є прикладом ефективної утилізації ЗШМ. Для організації процесу утилізації у Франції існують державні пільги для бізнесу, що використовує золу, та запроваджено заборони на використання інших, більш витратних будівельних матеріалів, таких як ґрунт та пісок. Тому майже сто відсотків золи йде на подальшу переробку та утилізацію.

У Німеччині для продуктивного використання золи на багатьох електростанціях зводять силоси ємністю 40-60 тис. т і обов'язково будують невеликі силоси з добовою та дводобовою ємністю, з яких згодом відбирають проби для лабораторного аналізу золи, і в яких вона за допомогою технологічних методів перемішування за фракційним складом приводиться до необхідних нормативних вимог, після чого зола завантажується в основні силоси-сховища. Побічні продукти ТЕС експортуються до сусідніх країн. Для золи-винесення необхідно наявність сертифіката про пройдені лабораторні випробування, якщо вона йде в будівельну індустрію. Щорічно у Німеччині 3,1 млн. т цементу замінюється ЗШМ. Завдяки цьому економляться ресурси та енергія, необхідна для виробництва цементу, та окупуються витрати на силоси, транспорт та зарплату працівників [2].

У США застосовують для будівництва золу-винесення та золу гідровидалення. Зола-винесення служить для заміни портландцементу в бетонах та цементних розчинах, а також на повнювачем у основах дорожнього одягу та насипах. Використання золи дозволяє покращити деякі характеристики бетонів, у тому числі підвищити їхню міцність і збільшити довговічність готового бетонного виробу. Наприклад, бетон, 50% цементу якого замінили золою-винесення, називається бетоном з високою концентрацією золи (HFC). Даний бетон має низький вихід температури при гідратації, зменшену

усадку після висихання і кращу технологічність. Зола гідровидалення використовується як заповнювач для бетону і холодних асфальтобетонів, а також як структурний заповнювач для насипів і цементних основ автомобільних доріг

Ще в 1983 р. в США були прийняті норми про обов'язкове застосування золошлакових відходів у дорожньому будівництві. Масове використання золи в будівництві доріг почалося з 1986 р. Зараз, щоб стимулювати ширше використання продуктів згоряння вугілля, Федеральне агентство з охорони навколишнього середовища, Міністерство енергетики та Федеральне управління автомобільних доріг, а також Американська асоціація з виробництва золи вугілля та Група з утилізації твердих побутових відходів спільно спонсорують проєкт "Партнерство використання продуктів спалювання вугілля". Проєкт призначений для того, щоб допомогти будівельним організаціям та енергетичним компаніям зрозуміти екологічні переваги та потенційні наслідки вживання продуктів згоряння вугілля, а також стимулювати їх корисне використання [1].

У Південній Африці до золи-виносу додавали різні види цементів і утилізували як стабілізатор ґрунту для дорожнього будівництва. Результати спеціальних досліджень показали, що зола-виносу, збагачена цементом, не є шкідливою для людини та навколишнього середовища. Крім того, доведено, що суміші золи-винесення з інертними матеріалами (пісок, рисове лушпиння і т. д.) досягають від 50 до 70% міцності матеріалів, укріплених цементом. Загалом експлуатація золи-винесення для стабілізації ґрунтів у дорожньому будівництві має технічні переваги при правильному використанні. Сьогодні у ПАР, за фінансової державної підтримки, проводиться експериментальне будівництво доріг із золи-винесення [3].

В Україні основним способом використання золошлакових матеріалів є їх використання у виробництві цементу, що становить 86% від загального обсягу. За інформацією ринкових операторів, виробники цементу використовують золошлакові матеріали у максимально можливій пропорції. Іншими словами, при поточному рівні виробництва цементу потенціал використання шлаків у цьому секторі відсутній. Тому потрібно шукати інші сфери використання золошлакових матеріалів. Вирішення проблеми є використання ЗШМ в дорожньому будівництві.

В залежності від своїх характеристик ЗШМ поділяються на три групи. Суміші золошлакові I групи призначаються для влаштування додаткових шарів основи дорожнього одягу (дренуючих та морозозахисних шарів), а також в якості складової щебеневопопільної суміші або ґрунтової суміші. Золошлакові суміші цієї групи, укріплені неорганічними в'язучими, придатні для будівництва основи дорожнього одягу. Суміші золошлакові II групи можуть бути використані для будівництва основ тільки спільно з добавкою не менше 50 % щебеню або після їх укріплення неорганічними в'язучими. Суміші золошлакові III групи можуть бути використані спільно з вапном або цементом для укріплення крупноуламкових сумішей або незв'язних ґрунтів. Суміші золошлакові I-III групи можуть застосовуватись для будівництва насипів земляного полотна [4].

Використання зол-виносу в асфальтобетонній суміші в Україні в своїй науковій сфері досліджував О. Соколов. А дослідження золошлакової суміші укріпленої мінеральним в'язучим це перспективна тема яка ще не була досліджена.

Можливість застосування золошлакових матеріалів гідровидалення, укріплених неорганічними в'язучими матеріалами - цементом або вапном, для влаштування шарів дорожніх одягів вивчалася з кінця 70-х років минулого століття. В результаті було визначено два напрямки використання ЗШМ:

- обробка цементом або вапном та застосування як конструктивних шарів дорожнього одягу;
- як добавка до в'язучих з метою їхньої економії при укріпленні ґрунтів.

Золошлакові суміші, оброблені цементом або вапном, виявляють у процесі твердіння гідравлічну активність. Структурування забезпечується взаємодією клінкерних мінералів з водою з утворенням речовини, що цементує. Оксид кальцію, що виділяється при цьому, взаємодіє з кремнеземистою і глиноземною складовими золошлакової суміші і сприяє створенню новоутворень. В результаті підвищуються міцність укріпленого матеріалу у водонасиченому стані та його морозостійкість. Структурування протікає досить повільно (в порівнянні з грантами, укріпленими

цементом), тому результати доцільно отримувати не в 28-добовому віці, а ще через 90, 180 і 360 діб твердіння.

Результати обробки золошлакових сумішей цементом або вапном залежать від виду золошлакової суміші, її хімічного та зернового складу.

Застосування золошлакових сумішей гідровидалення в піщаних ґрунтах, що зміцнюються цементом, і гравійно-піщаних сумішах дозволяє знизити витрату в'язучого на 30 %[4].

Для підвищення морозостійкості піщаних ґрунтів, укріплених цементом із добавками золошлакових сумішей гідровидалення, доцільно використовувати добавки хлористого кальцію. Введення 1-3 % (маси золи) хлористого кальцію дозволяє активізувати структуроутворення укріпленого ґрунту та отримувати матеріал, що відповідає вимогам I та II класів міцності. Крім того, це дає можливість обробляти ґрунт при низьких плюсових та мінусових (до мінус 15 °С) температурах повітря [6].

Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 04 грудня 2019 року № 1420-р. сприяло використанню золошлакових матеріалів в дорожньому будівництві в Україні. Одним з варіантів використання ЗШМ в дорожньому будівництві є матеріал, виготовлений за технологією холодного ресайклінгу з додаванням золи-виносу. Було влаштовано експериментальну ділянку на автомобільній дорозі Т-10-18 Бориспіль – Березань – Яготин, км 3+227 – км 5+227 з шаром дорожнього одягу з матеріалу, виготовленого за технологією холодного ресайклінгу з використанням золошлакових матеріалів.



**Рисунок 1** — Процес будівництва на автомобільній дорозі Т-10-18 Бориспіль – Березань – Яготин, км 3+227 – км 5+227

Використання золи-виносу в матеріалі виготовленому за технологією холодного ресайклінгу дозволило збільшити його тріщиностійкість, що дало змогу відступити від вимог пункту 5.10 ГБН В.2.3-37641918-559:2019, в якому йдеться, що для обмеження появи відображених тріщин товщину шарів з матеріалів, що містять органічне в'язуче та укладаються на шар із матеріалів, оброблених неорганічним в'язучим, потрібно приймати не меншою за товщину шару такої основи. Це дозволило таку влаштувати конструкцію дорожнього одягу:

1. АБ.Др.Щ.А.НП.БМКП 60/90-65.ДСТУ 8959:2019 – 5 см;  
*Підґрунтовка – ЕКШМ-50 згідно з ДСТУ Б В.2.7-129:2013 – 0,50 л/м<sup>2</sup>*;
2. МДХР.МВ.Кз.М40.ДСТУ 8976:2020 з додаванням золи-винесення,  $h_{\min}$  – 12 см;

Існуючий дорожній одяг після фрезерування.

Використання золи-виносу дало змогу не влаштовувати додатковий шар асфальтобетону, що значно здешевило конструкцію.

### **Висновки**

Золошлакові матеріали (ЗШМ) є твердими продуктами згоряння вугілля, в яких основну частину становлять породоутворюючі компоненти. Характеристики ЗШМ залежать від мінералогічного складу вугілля, технології спалювання, систем очищення димових газів та транспортування відходів.

Закордонний досвід показує, що ЗШМ мають значний потенціал для застосування в дорожньому будівництві. Наприклад, у Франції вони широко використовуються в різних шарах дорожньої конструкції, що сприяє економії природних ресурсів і зниженню витрат.

Використання ЗШМ у будівництві сприяє збереженню природних ресурсів, знижує витрати на виробництво будівельних матеріалів та забезпечує ефективну утилізацію відходів ТЕС. Це також допомагає зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

ЗШМ мають значний потенціал для використання в будівництві, особливо в дорожньому, що підтверджується успішними прикладами з різних країн. Це не лише сприяє економії ресурсів, але й знижує екологічне навантаження. Впровадження подібних практик в Україні може стати ефективним рішенням для утилізації золошлакових відходів.

### **Перелік посилань**

1. Lindon K. A. Properties and use of coal fly ash: Use of fly ash for road construction, runways and similar projects. — London, 2015. — 132 p.
2. Hinweise zur Verwendung von Braunkohlenflugasche aus Kraftwerken mit Kohlenstaubfeuerung im Erdbau// Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen. - 2003. - №.627. - S. 150-153
3. Brooks R. M. Soil stabilization with fly ash and rice husk ash. // International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences. — 2009. — Vol. 1(3). — P. 209–217.
4. Використання золошлакових продуктів і гірничої породи в дорожньому будівництві. Європейський досвід і можливості для України. – Київ, 2021. – 13с.
5. Lahtinen P., Jyrävä H., Suni H. New methods for the renovation of gravel roads. Paper for IRF Regional Conference, European Transport and Roads. 1999. Lahti. 7 pp.
6. Haga N., Ohkawa V., Kawamoto T., Konno M., Mizoguchi J. Utilisation of blast furnace and steel slags in road construction. Nippon Steel Techn. Rept. 1981/N 17.

### **ANALYSIS OF THE EXPERIENCE OF USING ASH SLAG MATERIALS OF THERMAL POWER PLANTS IN ROAD MATERIALS MADE BY COLD RECYCLING TECHNOLOGY**

**Vyacheslav Savenko**, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Transport Construction and Property Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: svi1310@ukr.net, tel.+380506572008, <https://orcid.org/0000-0001-8174-7728>

**Mykola Bykovets**, graduate student of the Department of Transport Construction and Property Management of the National Transport University. , Kyiv, Ukraine, e-mail: mbykovec@gmail.com, tel. +380662373208 <https://orcid.org/0000-0002-7490-7479>

**Summary.** This scientific text examines the analysis of domestic and world experience of using ash slag materials of thermal power plants in road materials produced by cold recycling technology. Coal is the most important primary source of energy in Ukraine. In 2019, its share accounted for 28.9% of all energy resources. There are 15 coal-fired power plants in Ukraine, the total capacity of which is 30-40% of the total installed power generation capacity in the country. As a result of the operation of thermal power plants (TPP), a significant amount of large-tonnage waste - ash and slag materials (ZShM) is generated. 360 million tons of ash slag are accumulated in TPP ash dumps. About 5-10 million tons of ash and slag are produced annually. Therefore, there is a question of reducing waste materials as materials for road construction. In Ukraine, the main method of using fly ash materials is their use in the production of cement. But at the current level of cement production, the potential of using slag in this industry has been exhausted. Therefore, the question of using ash slag materials in other industries arises. As an option, it is the use of ZSHM in road construction.

**Key words:** road, road clothing, ash and slag materials, hydroremoval ash, takeaway ash, recycling.

#### References

1. Lindon K. A. Properties and use of coal fly ash: Use of fly ash for road construction, runways and similar projects. — London, 2015. — 132 p.
2. Hinweise zur Verwendung von Braunkohlenflugasche aus Kraftwerken mit Kohlenstaubfeuerung im Erdbau// Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen. - 2003. - №.627. - S. 150-153
3. Brooks R. M. Soil stabilization with fly ash and rice husk ash. // International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences. — 2009. — Vol. 1(3). — P. 209–217.
4. Use of ash and slag products and mining rock in road construction. European experience and opportunities for Ukraine. – Kyiv, 2021. – 13с.
5. Lahtinen P., Jyrävä H., Suni H. New methods for the renovation of gravel roads. Paper for IRF Regional Conference, European Transport and Roads. 1999. Lahti. 7 pp.
6. Haga N., Ohkawa V., Kawamoto T., Konno M., Mizoguchi J. Utilisation of blast furnace and steel slags in road construction. Nippon Steel Techn. Rept. 1981/N 17.