

ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ ВІНОСУ В ДОРОЖНЬОМУ
БУДІВНИЦТВІ

JUSTIFICATION OF THE FEASIBILITY OF USING FLY ASH IN ROAD CONSTRUCTION



Савенко В'ячеслав Якович, Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортного будівництва та управління майном Національно транспортного університету, E-mail: svi1310@ukr.net, тел. +380506572008.

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



Скоропадський Віктор Вікторович — аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном Національно транспортного університету. E-mail: viktorap333@gmail.com, тел. +380960736425.

<https://orcid.org/0000-0002-4404-7447>.

Анотація. В даній роботі детально наведено характеристику відходів вугільної промисловості та ТЕС, а саме золи виносу. Вказана природа утворення, хімічний склад, фізичні характеристики та класифікація золи. Розглянуто проблеми щодо світової утилізації техногенних відходів ТЕС. Вказані основні напрямки використання матеріалу з отриманням найбільш позитивних наслідків. Вивчена доцільність використання попелу в різних галузях та особливості використання. Всі напрямки використання обгрунтовані позитивними якостями, які утворюються при застосуванні попелу. Обгрунтована доцільність використання золи виносу яка позитивно впливає на економію матеріалів та на екологічну ситуацію. Вказаний вплив попелу на кожен із методів в якому він використовується. Проаналізовані проблеми які виникають паралельно із застосуванням даного матеріалу. Вказані механізми взаємодії золи виносу з іншими матеріалами та наслідки, які випливають з цього. Зачеплена екологічна ситуація і шляхи її покращення через використання попелу. На основі досліджень та спостережень складений висновок.

Ключові слова: зола виносу, попіл, пуцолан, мінеральна домішка, вільне вапно, гідратація, зольний бетон, текуча заливка, штучний наповнювач, затирка, працевдатність.

Вступ

Будівництво стає більш доцільним і ефективним із освоєнням нових технологій та створенням нових матеріалів які повинні бути малоенергоємні та екологічно чисті. Враховуючи те що частка сировини від вартості всього будівництва може становити до 50% як встановили В. Р. Сердюк, Б. І. Августович в своїй роботі [1], то існує потреба знаходження нових альтернативних матеріалів. Такими новими матеріалами можуть стати відходи промисловості, які за собою принесуть зниження вартості будівництва та поліпшення екологічної ситуації. Ці відходи дозволять економити природні ресурси. До цих відходів відноситься зола виносу, яка за своїм складом і властивостями близька до природної сировини і може її замінити до 40%.

У період бурхливого розвитку людської цивілізації головним джерелом отримання електроенергії є ТЕС. Один з основних недоліків вугільних теплових електростанцій є проблема утилізації золи виносу. За одну добу кожна теплова електростанція (ТЕС) спалює до 10 тис. т вугілля,

після чого залишається кілька тис. т шлаку і золи. Таким чином, щорічно в Україні утворюється близько 6 млн. тон золошлакових відходів, які займають великі площі земель. І більшість відведених земель для складування вже заповнені [2]. Раніше зола виносу розглядалася як відходи для захоронення, які становлять небезпеку для навколишнього середовища. Тому використання золи було дуже обмежено. На даний момент вивчено багато властивостей золи, що дають поштовх для її подальшого використання. Так як з кожним роком вимоги до конструкцій та матеріалів збільшуються то зола може виступити компонентом що дозволить досягнути підвищених вимог. Зараз золу виносу використовують в основному як будівельний матеріал, також її застосовують в сільському господарстві. В майбутньому ще з'являться нові шляхи для її використання, тому що теперішня ситуація не дає змогу використати золу в повній мірі. Це спричиняє негативні екологічні наслідки. Необхідно створення заохочувальних заходів зі сторони держави для того щоб було вивчено золу детальніше і вона використовувалася в повній мірі. В даній статті розказано існуючі шляхи використання золи. Вказано переваги цих методів, застереження та недоліки. Ціллю досліджень є підвищення кількості використання золи як будівельного матеріалу.

Загальні відомості про золу виносу

Зола виносу утворюється при твердінні відпрацьованих газів і збирається фільтрами. Зола зазвичай дрібніша, ніж портландцемент і вапно. Дрібність золи тісно пов'язана з робочим станом вугільних дробарок та дрібністю самого вугілля. Для використання золи в бетонних областях тонкість визначається як відсоток ваги матеріалу, що зберігається на решеті 0,044 мм. Через те що частинки швидко тверднуть тому мають, як правило, сферичну форму з розміром 0,5 мкм до 300 мкм [3]. Наслідком швидкого охолодження є аморфне гасне скло, проте деякі тугоплавкі фази не плавляться повністю та залишаються кристалічними.

Зола виносу найчастіше використовується в якості пуцолану (пуцолани - це кремнієві та глиноземні речовини, які у тонко роздрібненій формі та у присутності води реагують із гідроксидом кальцію при звичайній температурі з утворенням цементних сполук). Тонкість - одне з важливих властивостей, що сприяє пуцолановій реакційності золи.

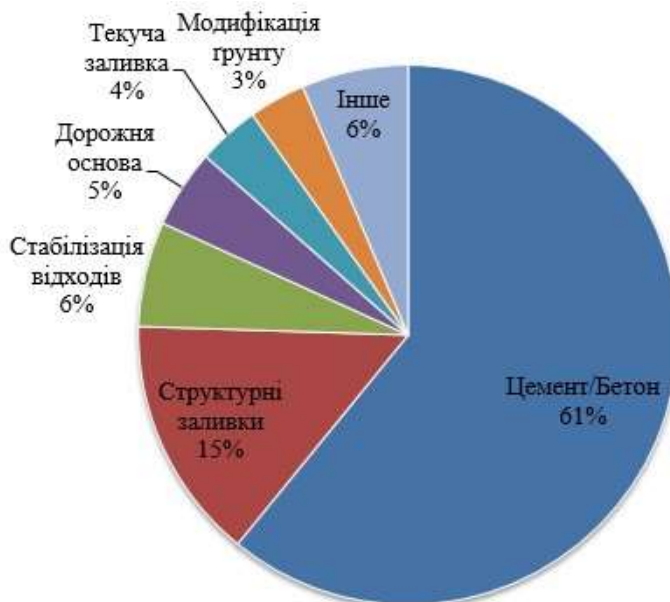


Рисунок 1 – Застосування золи в різних галузях
Figure 1 – Application of ash in different industries

Зола як будівельний матеріал застосовувалася ще в давнину, як будівельний матеріал. Римляни додавали вулканічний попіл до бетону для зміцнення Римського Пантеону і Колізею, які стоять і до сьогодні. У Вашингтоні обидві системи метрополітену та будівля Рональда Рейгана будувалися з бетону що містить золу виносу. І таких прикладів чимало, що показує її доцільність використання.

Американське агентство охорони навколишнього природного середовища [4] встановило відсотковий склад використання золи по різним галузям, що зображено на рис.1.

Фізико-хімічні властивості матеріалу

Хімічний склад золи виносу безпосередньо відноситься до хімії мінералів основного вугілля та будь-яких додаткових видів палива або добавок, що використовуються в процесах горіння або після згоряння. Було проведено безліч досліджень по виявленню хімічного складу. Серед яких треба відзначити дослідження Джамії Мілії та Джамії Нагар, які в своїй роботі визначили досить точні діапазони хімічних сполук в золі виносу та якісні фізичні характеристики [1].

Таблиця 1 – Хімічні властивості золи

Table 1 – Chemical properties of ash

Сполуки	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Інші лужні та неіндифіковані
Відсотковий вміст в золі	0,37-27,68	27,88-59,40	5,23-33,99	1,21-29,63	0,42-8,79	0,42-8,79	0,20-6,90	0,64-6,68	0,24-1,73	4,0-6,0

(CaO - Оксид кальцію; SiO₂ - Діоксид кремнію; Al₂O₃ - Оксид алюмінію; Fe₂O₃ - Оксид заліза; MgO - Оксид магнію; SO₃ - Триоксид сірки; Na₂O - Карбонат натрію; K₂O - Оксид калію; TiO₂ - Діоксид титану) Показник LOI – втрата при повторному спалюванні. Він показує кількість горючих речовин, які залишилися неспаленими в золі і цей показник в золі змінюється в межах 0,21-28,37%.

Таблиця 2 – Фізичні параметри золи

Table 2 – Physical parameters of ash

Параметри	Щільність, г / см ³	Об'ємна щільність, г / см ³	Вологість, %	PPH	Питома вага, г / см ³	Пористість, %	Водопоглинання, %
Кількісний показник	2,17	1,26	2	6,0-10,0	1,66-2,55	45-55	45-60

Застосовується як мінеральна домішка в бетоні і класифікується як зола класу С, і класу F за своїм хімічним складом. Клас С, як правило, отримують із суббітумінозного вугілля і складається головним чином з алюмосульфатного скла кальцію, а також кварцу, трикальцієвого алюмінату та вільного вапна (CaO) цей клас зазвичай містить більше 20% вапна. Клас С стійкий до хімічного розширення. Попіл класу F зазвичай отримують з бітумінозного та антрацитового вугілля і складається переважно з алюмосилікатного скла, а також присутній кварц, муліт та магнетит. Зола класу F має низький вміст вапна – менше 10% і частинки покриті різновидом розплавленого скла. Ця властивість значно знижує ризик розширення через атаку сульфату. Зола класу F має пуцолановий характер. Додаючи в золу силікат натрію утворюється геополімер. За даними Федеральної Дорожньої Адміністрації США [5] встановлено розбіжності між складом золи та портландцементом та наведено їх усереднений склад.

Таблиця 3 – Порівняння складу зол та цементу

Table 3 – Comparison of the composition of ashes and cement

Сполуки	Зола класу F	Зола класу С	Портландцемент
SiO ₂	55	40	25
Al ₂ O ₃	26	17	4
Fe ₂ O ₃	7	7	2
CaO (Вапно)	9	27	65
MgO	2	5	2
SO ₃	1	4	2

Напрямки застосування золи виносу

Застосування золи з портландцементом

Портландцемент містить близько 65 відсотків вапна. Частина вапна вільна і доступна для гідратації. Коли зола присутня з вапном, вона хімічно реагує та утворює додаткові цементні матеріали, покращуючи багато властивостей бетону. Найчастіше золою замінюють 30% портландцементу так як більша кількість недоцільна. Використання золи покращує якості бетону в свіжому стані та в затужавілому. В свіжому стані використання високоякісної золи з високою тонкістю і низьким вмістом вуглецю зменшує потребу у воді та збільшує рухливість.

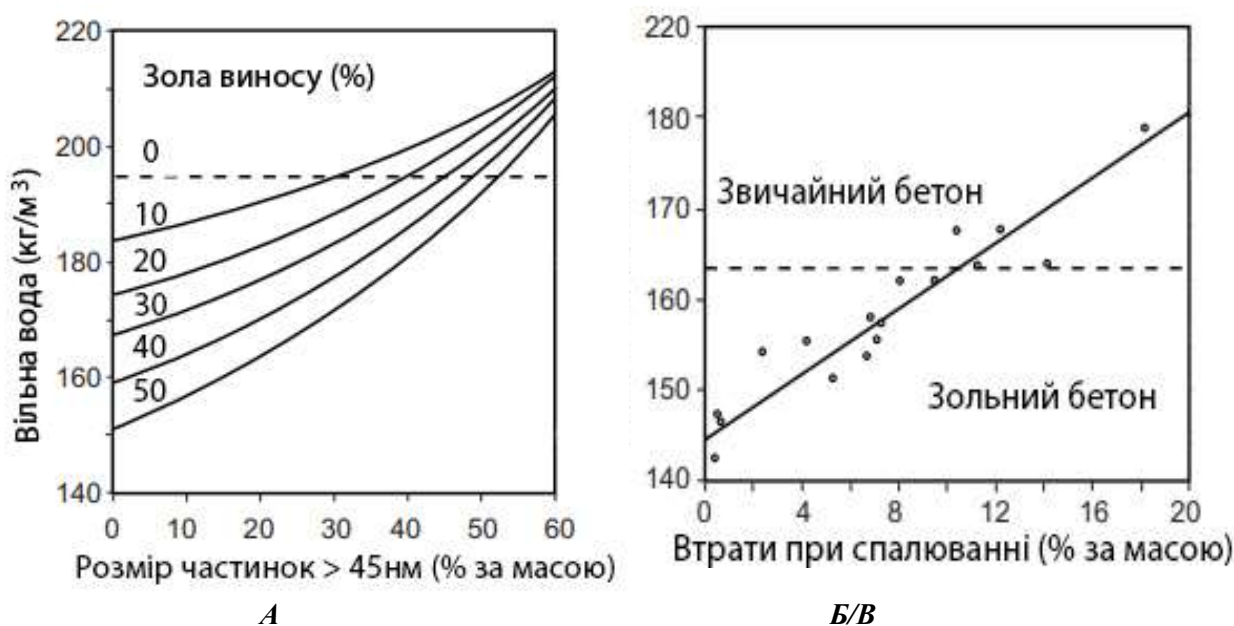


Рисунок 2 – Потреба у воді
 а - залежно від розмірів частинок; б - залежно від вмісту неспалених частинок
 Figure 2 – Water need
 a - depends on particle sizes; b - depends on the content of unburned particles

Майкл Томас у своїх дослідженнях встановив, як впливає кількість золи та її розміри на потребу у воді [6]. Зниження потреби у воді сприяє меншій усадці та меншому тріщиноутворенню. Добре пропорційна бетонна суміш з золи виносу покращує технологічність в порівнянні з портландцементним бетоном аналогічного складу. Куляста форма зерен покращує легкоукладальність через зниження тертя між частинками, дія схожа на підшипники. Це означає, що при заданому складі зольний бетон ущільнюється краще, ніж звичайний портландцементний бетон при вібрації. Також покращується згуртованість та зменшується сегрегація бетону.

На позитивні якості від внесення золи впливає також температура навколишнього середовища. При чому високі температури краще впливають на якість, а низькі – негативно. Тому вводяться певні обмеження використання бетонів на основі зол при низьких температурах. Важливим напрямком використання золи в бетоні є зниження виділення теплоти при тужавленні, що позитивно впливає на навколишнє середовище, так як енергія яка вивільняється не йде на нагрів конструкцій а йде на їх скріплення та зміцнення. В свіжому стані знижується температура гідратації і це позитивно впливає на набір довготривалої міцності та довговічності. Негативним фактором при цьому є продовжене твердіння при якому треба забезпечувати вологий стан укладеної суміші, відповідно до цього період введення в експлуатацію подовжується. Тому якщо не можна забезпечити повний період твердіння то кількість золи яку вводять обмежують.

З'являється економія ресурсів через заміну цементу та природнього заповнювача золою, що є дешевшою.

Усадка бетону при використанні золи менша ніж у еквівалентної суміші без золи. Тому що зменшується кількість води в бетоні і як наслідок знижується усадка.

Зола знижує проникність бетону для води та газу за умови правильного твердіння бетону. Враховуючи дані проникності можна зробити висновок що з віком бетон на основі золи стає майже непроникним, при чому зола класу F дає більш кращі показники в цьому параметрі ніж зола C. Переваги застосування золи для бетону варіюються в залежності від типу золи, пропорції, інших інгредієнтів суміші, процедури змішування, польових умов. Переваги золи в бетоні:

- Вища гранична сила
- Поліпшена працездатність
- Зниження тепла гідратації
- Знижена проникність та підвищена тріщиностійкість
- Підвищена стійкість до атаки сульфату
- Підвищена стійкість до лужно-кремнеземної реактивності
- Економія фінансів та природних ресурсів
- Зменшена усадка
- Підвищена міцність
- Холодостійкість
- Зменшення водоцементного відношення
- Вважається матеріалом, що не стискається
- Виробляє щільний бетон з гладкою поверхнею
- Зменшує викиди CO₂

Головною перевагою золи є її реакція з наявним вапном та лугом у бетоні, утворюючи додаткові цементні сполуки.

Цементна реакція: $C_3S + H \rightarrow CSH + CaOH$; Пуцоланова реакція: $CaOH + S \rightarrow CSH$ отримання додаткового сполучного силікат кальцію гідрату (CSH).

Підвищена гранична сила. Додаткова сполучна речовина, дозволяє бетону продовжувати набирати міцність з часом. Суміші з золою в кінцевому результаті перевищують міцність прямих цементно-бетонних сумішей. За даними досліджень Федеральної Дорожньої Адміністрації США [5] та Американського агентства охорони навколишнього природного середовища [4] можна зробити висновок, що додавання золи позитивно впливає на набір довготривалої міцності. І довготривала міцність зольного бетону вища ніж звичайного.

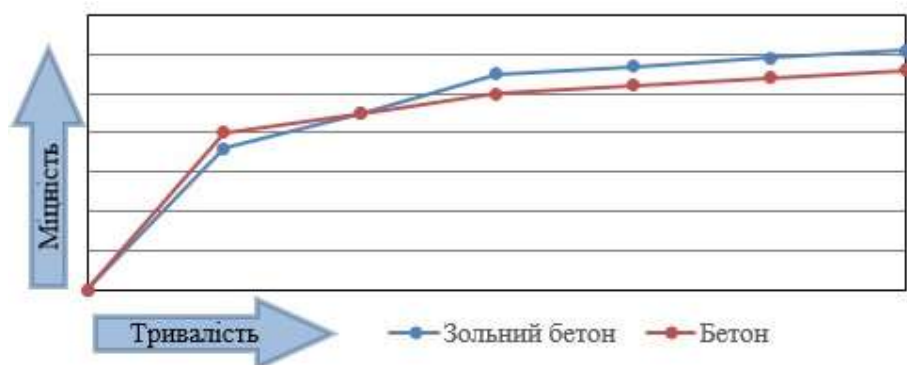


Рисунок 3 – Набір міцності із часом
Figure 3 – Gaining strength over time

Знижена проникність. Зниження вмісту води в поєднанні з утворенням додаткових цементних сполук зменшує взаєморозташування пор бетону, знижуючи, таким чином, проникність.

Підвищена довговічність. Зниження вільного вапна і внаслідок цього збільшення цементних сполук у поєднанні зі зниженням проникності підвищують міцність бетону. Це дає кілька переваг:

- 1) Підвищена стійкість до корозії. Зола реагує з наявними в бетоні лугами, що зменшує вірогідність реакції з кременеземом в агрегатах.
- 2) Підвищена стійкість до атаки сульфату. Це забезпечується через відсутність вільного вапна (вапно вступає в реакцію з золою), зниження проникності і зменшення реактивних алюмінатів внаслідок зменшення кількості цементу.
- 3) Підвищена стійкість до корозії завдяки зменшеній проникності.

Але треба обережно використовувати золу, так як вона знижує ранню міцність і зниження температури гідратації небажане в холодному кліматі. Так як бетонні суміші на основі золи набирають початкову міцність дуже повільно, то необхідно використовувати прискорювачі. Або відкривати рух тільки тоді коли набраної початкової міцності буде достатньо.

Екологічні переваги. Утилізація золи має значні переваги для навколишнього середовища, включаючи: (1) збільшення терміну експлуатації бетонних доріг і споруд; (2) скорочення чистого використання енергії та викидів парникових газів та інших викидів (3) зменшення кількості відходів, які підлягають захороненню на сміттєзвалищах, (4) збереження інших природних ресурсів і матеріалів.

Застосування золи в текучих заливках

Текуча заливка - це суміш вугільної золи, води та портландцементу, що тече як рідина, створюючи тверду речовину, самовирівнюється і не потребує ущільнення чи вібрації для досягнення максимальної щільності. Він призначений для функціонування замість звичайних засипних матеріалів, таких як ґрунт, пісок або гравій, і полегшує організацію робіт пов'язану з влаштуванням.

Ці суміші складають клас матеріалів що можуть замінити ущільнений ґрунт, ґрунтоцемент або бетон. На вид текуча заливка нагадує працездатний бетон, а в кінцевому результаті отримується продукт еквівалентний ущільненому ґрунту. Для заливки може бути використана будь-яка зола в сухому або вологому стані. Якщо в золі багато кальцію, то цемент може і не використовуватися. Зола виносу може бути головним інгредієнтом суміші як сипуча засипка, якщо це дешевше ніж використання піску. Заливка може бути двох видів – з великим вмістом золи і з малим. У першому випадку суміш складається з золи з невеликою кількістю цементу та води для забезпечення текучості. В другому випадку – великий відсоток дрібного заповнювача (піску), малий відсоток цементу, вода для забезпечення текучості і мала кількість золи для створення потоку малими частинками. Міцність залежить від вмісту цементу та СаО в золі. Коли занадто багато води то сповільнюється розвиток міцності на стиск з часом, а якщо її мало то максимальна міцність зменшується через наявні порожнечі в структурі. Тому необхідно підбирати оптимальну кількість води в заливці. Переваги використання текучої заливки:

- Влаштування в будь-яку погоду, навіть в умовах морозу;
- Досягнення 100-відсоткової щільності без зусиль;
- Заповнення навколо / під конструкціями, недоступними звичайним методам засипки/заливки;
- Збільшує несучу здатність;
- Збільшує швидкість та легкість операцій із засипання;
- Зменшується мінливість щільності залитих матеріалів;
- Підвищує безпеку на робочому місці та зменшує вартість;
- Зменшує витрати на земляні роботи;
- Легко викопується при правильному влаштуванні.

Застосування золи в насипах

В дорожній галузі золу ефективно використовувати через її малу питому вагу що позитивно впливає на нижче лежачі шари слабких ґрунтів або на підпірні стіни, які сприймають менші навантаження. Зола піддається обробці вапном і цементом, ущільнюється в великому діапазоні вологості, проста в транспортуванні та обробці, покращена дренажна властивість та консолідація, простіше ущільнення через нижчу стисливість, досягається економія природніх заповнювачів.

Зола може використовуватися як матеріал для спорудження насипів. Особливо в тих районах де природнього заповнювача мало. Зола стійкіша ніж природні заповнювачі, відсутні грудочки, тому її легше ущільнювати. Матеріал має більший показник внутрішнього тертя, тому укоси стійкіші та краща консолідація. Для досягнення всіх переваг потрібне правильне розміщення та ущільнення. Можливо використовувати в вологому і в сухому стані (тільки не в одній суміші). Не можна використовувати золи різного походження в одному насипі через їх різні властивості. Основні властивості що визначають поведінку насипу в подальшому є розподіл зерен за розмірами, співвідношення щільності і вологи, міцність на зсув, стисливість, проникність, капілярність та сприйнятливості до морозів. При використанні золи в насипах треба забезпечувати захист від вимивання золи виносу і забруднення вод. Переваги, що отримуються від використання золи виносу:

- Економічність (При наявності складів золи неподалік);
- Усуває необхідність розробки піщаних кар'єрів;

- Можливість розміщувати на слабких ґрунтах;
- Простота влаштування та ущільнення.

Разом з тим потрібно щоб зола не шкодила навколишньому середовищу і відповідала вимогам екологічності, та необхідні заходи боротьби з пилом і боротьбою ерозії.

Застосування золи для стабілізації ґрунтів

Зола - ефективний засіб для хімічної та / або механічної стабілізації ґрунтів. Стабілізація ґрунту - це зміна властивостей ґрунту для поліпшення технічних показників ґрунтів. Властивості, які найчастіше змінюються, - це щільність, вміст води, пластичність та міцність. До типових застосувань відносяться: стабілізація ґрунту, сушіння ґрунту та контроль усадки-набухання. Зола з високим вмістом СаО може бути використана як самостійний матеріал через цементуючі властивості, інші - тільки з цементуючим агентом. Зола найчастіше застосовується для поліпшення характеристик міцності ґрунтів. Типова глибина стабілізації - 15-46 см, відбувається поліпшення міцності ґрунту на стиск та зсув. Параметри покращення залежать від виду ґрунту та його вологості, часу витримки та коефіцієнту введення золи. Час витримки - це минулий час, виміряний між періодом вступу золи вперше у контакт з водою та остаточним ущільненням ґрунту, золи та водної суміші. Міцність на стиск сильно залежить від часу витримки і цей зв'язок є обернено пропорційним. Для досягнення найкращого ефекту вологість повинна бути меншою за оптимальну для ущільнення. Кількість золи що вноситься становить - 8-16 %, кількість визначається залежно від типу ґрунту та міцності яку хочуть досягнути. Зола додається в ґрунт для уникнення усадки і як наслідок руйнування конструкцій. Механізм покращення полягає в цементуванні частинок ґрунту і збільшення їх розмірів. Внаслідок цього зменшується набухання і усадка ґрунту. Для зменшення вологості зола використовується за допомогою двох механізмів - хімічного і фізичного. Хімічні реакції споживають зайву воду, а розведення ґрунту золою зменшує концентрацію води. Застосування золи виносу для стабілізації ґрунтів має переваги:

- Усувається потреба у дорогих позикових матеріалах;
- Прискорює будівництво за рахунок поліпшення надмірно мокрого або нестійкого ґрунту;
- Усуваючи усадку зменшується потреба в матеріалах.

Для досягнення нормального результату укріплення ґрунтів при введенні золи необхідно звертати увагу на:

- Швидкість реакції гідратації при впливі води;
- Вологість ґрунту в момент ущільнення;
- Вміст сульфату в золі (коли сульфату більше 10% то можливе розширення більше ніж бажане).

Застосування золи в ролі штучного наповнювача асфальтобетону

Зола виносу може бути використана як економічно ефективний мінеральний наповнювач у гарячих асфальтобетонних сумішах. Позитивний вплив досягається через те що зола заповнює дрібні порожнечі створюючи контактні місця між більш крупними матеріалами. В районах де є багато доступної золи вона коштує дешевше ніж природні заповнювачі. Так як зола має малу питому вагу, то це призводить до зменшення вартості транспортування асфальтобетонної суміші. Мінеральні наповнювачі підвищують жорсткість матриці асфальтобетонної суміші, покращуючи колієстійкість та довговічність. Зола яка використовується повинна бути сухою при додаванні в суміш. До переваг застосування золи належать:

- Знижений потенціал для зачищення асфальту завдяки гідрофобним властивостям золи;
- Вапно в золі може також зменшити зачистку;
- Менша вартість ніж у мінеральних заповнювачів.

Застосування золи в якості затирки

Затирки є пропорційними сумішами золи, води та інших матеріалів, що використовуються для заповнення порожнеч під тротуарною системою без підняття плит (підсадка) або для підняття та підтримки бетонних доріжок шляхом свердління та впорскування розчину у визначені ділянки бруківки. Затирки з попелу використовують для ущільнення порожнеч під секціями тротуарної плитки. Матеріал повинен бути достатньо текучим щоб заповнити пори і жорстким щоб утримувати тротуарну плитку, а також не розмиватися. Використання золи в даному випадку дає такі переваги:

- виправлення деформацій без знімання покриття, що лежить
- висока швидкість виконання робіт без значного порушення руху

- Розвиває значну граничну силу
- Застереження щодо застосування даного матеріалу :*
- Потрібен період затвердіння перед сильним завантаженням через низьку початкову міцність
 - Вимагає утримування розчинової суміші під бруківкою

Напрямок подальших досліджень

Отже, якщо взяти до уваги способи та напрямки використання золи виносу в дорожньому будівництві які наведені вище, то отримаємо чітку тенденцію. Ця тенденція заключається в тому що зола проявляє себе добре в сумішах які в своєму складі містять щебінь і/або пісок. Це пов'язано з властивістю золи заповняти порожнечу і тужавити при вмісті достатньої кількості СаО. При цьому щебінь і пісок виступають в ролі скелету, який зв'язує зола. Судячи з цього, золу можна успішно використовувати в щебенево-піщаних сумішах (ЩПС), в ролі мінерального заповнювача та додаткового в'язучого одночасно. В світовій практиці немає багато інформації про використання золи в ЩПС, тому виникає необхідність подальшого дослідження даного матеріалу і формулювання обґрунтувань щодо використання золи в ЩПС.

Висновок

Висновок: Зола, що утворюється як відходи при паливній промисловості, може бути гарним будівельним матеріалом в якості приготованих бетонів та інших сумішей, а також для спорудження насипів. Багаторічні дослідження та спостереження показали ряд переваг та недоліків золи, тому існуючої інформації достатньо щоб використовувати даний матеріал на належному рівні. Використання золи в щебенево-піщаних сумішах (ЩПС) може позитивно вплинути на якісні характеристики кінцевого матеріалу. Для обґрунтування застосування золи в ЩПС потрібно більше інформації та даних, тому наступним етапом роботи будуть експериментальні дослідження. Необхідно вивчити характер взаємодії, характеристики та технологію при введенні золи в ЩПС для досягнення найкращого результату.

Використання попелу призведе до суттєвої економії дорогіших природних ресурсів і вирішить питання утилізації золи яка займає значні площі. Це в свою чергу буде позитивно впливати і на загальну вартість будівництва знижуючи її, а при правильному проектуванні буде позитивно впливати і на якість будівельних робіт. Утилізація золи таким чином найбільш позитивна, так як і досягається екологічний ефект. По-перше зола не буде на відкритому повітрі і не зможе забруднювати воду та атмосферу. По-друге знижуються викиди CO₂ пов'язані з приготуванням цементу. Отже, використання золи виносу в перерахованих методах є прогресивним шляхом збереження екології та підвищення рівня будівництва.

Перелік посилань

1. В. Р. Сердюк, Б. І. Августович. Зола-виносу як важливий сировинний ресурс для виробництва ніздрюватих бетонів. науково-технічний збірник "Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві". С.22-28.
2. Інтернет джерело <https://www.thebalancesmb.com/fly-ash-applications-844761>
3. Доцент кафедри машинобудування, інженерно-технологічний факультет, Джамія Міллія Ісламія, Джамія Нагар. Утилізація та використання зол виносу для захисту середовища. Міжнародний журнал інноваційних досліджень у науці, інженерії та технології. Нью-Делі-110025, Індія. Том 2, випуск 10, жовтень 2013 року, с.5259-5266.
4. Американське агентство охорони навколишнього природного середовища (EPA), у співпраці з наступними агенціями та асоціаціями: Департамент енергетики (DOE); Федеральне управління автомобільних доріг (FHWA); Американська асоціація вугільної золи (АСАА); Група з утилізації твердих побутових відходів (USWAG). Використання вугільної золи в будівництві шосе. Посібник з користі та наслідків. США 2005, с-50.
5. Інтернет джерело <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/fach11.cfm>
6. Автор: Майкл Томас, кандидат фізико-математичних наук, професор цивільного будівництва, Університет Нью-Брансвік. Оптимізація використання золи виносу в бетоні. Асоціація Портландцементу 2007, с.24.
7. М. Саницький, Б. Русин, Й. Галбіняк. Львівський Національний Політехнічний Університет, Технологічний Університет Честохова. Вплив хорошої золи виносу на властивості бетону. С.266-271.
8. Ельжбета Хаштейн, Олександра Курилович-Кудовська. Кафедра механіки матеріалів та конструкцій, факультет цивільного та екологічного будівництва, Гданський технологічний

університет, Нарutowича 11/12, 80-233 Гданськ, Польща. Вплив мікросфер золи виносу на структуру пор бетону. 09.02.2020.

9. Ліндон К. А. доктор наук, Технічний директор Асоціація якості золи Великобританії. Дослідження та практичні заявки на використання міжнародних будівельних матеріалів та інженерна технологія в покриття з асфальту (20-21.02.2008, Ліверпуль, Великобританія) Використання вугільної золи в будівництві дороги.

10. Результатний центр дослідження попелу (FARC) державна рада контролю забруднення, ОДША. Утилізація порошоків золи в будівництві. A/118 Nilakantha Nagar, Bhubaneswar- 751012, 2015, с.35.

11. <https://www.researchgate.net/publication/321032676> Consistency of fly ash quality for making high volume fly ash concrete інтернет джерело.

12. Інтернет джерело https://en.wikipedia.org/wiki/Fly_ash

13. Інтернет джерело <https://ecolog-ua.com/news/ekotransformaciya-2018>

JUSTIFICATION OF THE FEASIBILITY OF USING FLY ASH IN ROAD CONSTRUCTION

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

Skoropadskyi Viktor V., is a graduate student of the Department of Transport Construction and Property Management of the National Transport University. E-mail: viktorap333@gmail.com, phone +380960736425, <https://orcid.org/0000-0002-4404-7447>.

Abstract. This paper describes in detail the characteristics of waste from the coal industry and thermal power plants, namely ash removal. The nature of formation, chemical composition, physical characteristics and ash classification are indicated. The problems of world utilization of technogenic waste of thermal power plants are considered. The main directions of use of the material with obtaining the most positive consequences are indicated. The feasibility of using ash in different fields and the peculiarities of use have been studied. All areas of use are substantiated by the positive qualities that are generated by the application of ash. The expediency of using ash is substantiated, which has a positive effect on the saving of materials and the environmental situation. The influence of ash on each of the methods in which it is used is indicated. Problems that arise in parallel with the application of this material are analyzed. The mechanisms of interaction of fly ash with other materials and the consequences that follow from this are indicated. Affected environmental situation and ways to improve it through the use of ash. Based on research and observations, a conclusion is drawn.

Keywords: fly ash, ash, pozzolan, mineral admixture, free lime, hydration, ash concrete, fluid pouring, artificial filler, grout, efficiency.

References

1. V. Serduk, B. Avgustovich. Fly ash takeaways how important raw resources to produce cellular concrete. scientific and technical collection "Modern technologies, materials and constructions in construction". P.22-28. [in Ukrainian].

2. Internet resource <https://www.thebalancesmb.com/fly-ash-applications-844761>

3. Elzbieta Haustejn, Aleksandra Kuryłowicz-Cudowska. Department of Mechanics of Materials and Structures, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Gdansk University of Technology, Narutowicza 11/12, 80-233 Gdansk, Poland. The Effect of Fly Ash Microspheres on the Pore Structure of Concrete. 09.02.2020. [in Ukrainian].

4. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), in cooperation with the following agencies and associations: Department of Energy (DOE) Federal Highway Administration (FHWA) The American Coal Ash Association (ACAA) The Utility Solid Waste Activities Group (USWAG) Using coal ash in highway construction. A guide to benefits and impacts. USA 2005, p-50. [in Ukrainian].

5. Internet resource <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/fach11.cfm>

6. By: Michael Thomas, Ph.D., P.Eng., Professor of Civil Engineering, University of New Brunswick. Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete. Portland Cement Association 2007, p.24. [in Ukrainian].

7. Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering & Technology, Jamia Millia Islamia, Jamianagar. Disposal and Utilization of Fly Ash to Protect the Environment. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. New Delhi-110025, India. Vol. 2, Issue 10, October 2013, p.5259-5266. [in Ukrainian].

8. M. Sanytsky, B. Rusyn, J. Halbiniak. Lviv Polytechnic National University, Czestochowa University of Technology. Effect of ultrafine fly ash on the properties of high performance concretes. P.266-271. [in Ukrainian].

9. Lindon K. A. Sear BSc, PhD. FICT Technical Director UK Quality Ash Association. Research and practical applications using sustainable construction materials and technology in asphalt and pavement engineering. (20th -21st february 2008, Liverpool, UK). Using coal fly ash in road construction. [in Ukrainian].

10. FLY ASH RESOURCE CENTRE (FARC) STATE POLLUTION CONTROL BOARD, ODISHA. FLY ASH UTILISATION IN ROAD CONSTRUCTION. A/118 Nilakantha Nagar, Bhubaneswar- 751012, 2015, p-35. [in Ukrainian].

11. https://www.researchgate.net/publication/321032676_Consistency_of_fly_ash_quality_for_making_high_volume_fly_ash_concrete internet resource.

12. Internet resource https://en.wikipedia.org/wiki/Fly_ash

13. Internet resource <https://ecolog-ua.com/news/ekotransformaciya-2018>