

**ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛЬНИХ ВІДХОДІВ ПРИ БУДІВНИЦТВІ  
ГРУНТОВИХ ОСНОВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

**EVERYTHING OF ASH WASTE IN THE CONSTRUCTION OF ROAD  
FOUNDATIONS**

**Фоменко О.О., асис. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет), Седов А.В., к.т.н., доц. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет)**

**Fomenko O.O., assistant (Kharkiv National Automobile and Road University), Sedov A.V., Ph.D., assoc. (Kharkiv National Automobile and Road University)**

*Проаналізована можливість використання відходів, таких як шлаки, золи уносу, золошлаки від спалювання різних твердих паливних матеріалів у дорожньому будівництві. Запропоновано використання золи, яка виявляє у структурі матеріалу активність і має власні в'язучі властивості. Це дозволяє покращити порову структуру, міцність, водо- та зсувостійкість укріпленого ґрунту.*

*Strengthening of soils with various binding materials has been one of the most relevant topics of research in the field of road construction for several decades. Currently, numerous evidences have been obtained that the use of soil strengthening methods is the most important factor in reducing the cost and speeding up the pace of road construction. Soils strengthened with organic binders also have disadvantages, which include their insufficient water resistance, high dependence of work performance on weather conditions, a limited range of soils suitable for bituminous treatment, a long period of bituminous soil structure formation in conditions of mandatory traffic regulation. The paper analyzes the possibility of using waste, such as slag, fly ash, ash slag from the burning of various solid fuel materials in road construction. Ash is a conglomerate of small (from 1-2  $\mu\text{m}$  to 10-50  $\mu\text{m}$ ) particles; the main components of ash are SiO<sub>2</sub> (more than 50%), CaO (about 6%), the rest - phosphates of iron, calcium, hematite, silicates of calcium, magnesium, iron, potassium, aluminum, sodium. It is proposed to use ash, which shows activity in the structure of the material and has its own binding properties. This makes it possible to improve the pore structure, strength, water and shear resistance of reinforced soil. The resulting material had good strength, but low elasticity. To provide greater elasticity of the material, it is possible to use organic binders, such as bitumen. When processing mineral materials with bitumen, new systems are formed that have a complex of physical and mechanical properties inherent in coagulation-type structures. The results of shear testing of ash-soil mixtures confirm that ash in mixtures with soil treated with bitumen is an active component in the processes of structuring of road construction material.*

Ключові слова: цементогрунт, зологрунтова суміш, дорожній одяг.  
Key words: cement soil, ash-soil mixture, road wear.

Одним із перспективних шляхів отримання якісного дорожнього одягу є удосконалення технології будівництва автомобільних доріг із застосуванням методів стабілізації (зміцнення) місцевих ґрунтів та відходів промисловості в конструкціях дорожніх одягів та робочого шару земляного полотна [1]. Причому за рахунок великої кількості відходів промислового виробництва, а також їх глибокої вивченості рекомендується широке застосування їх у будівництві доріг.

Зміцнення ґрунтів різними в'язучими матеріалами вже кілька десятиліть є однією з найактуальніших тем досліджень у галузі дорожнього будівництва. В даний час отримані численні докази того, що застосування методів зміцнення ґрунтів є найважливішим фактором здешевлення та прискорення темпів будівництва доріг (рис. 1).

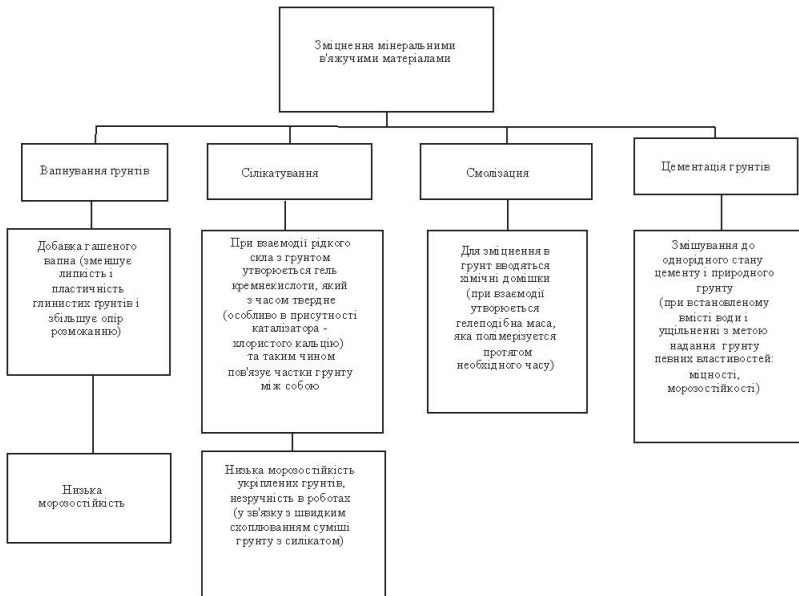


Рис. 1. Методи зміцнення ґрунту мінеральними в'язучими матеріалами

У таких монолітних основ присутній ряд переваг проти класичних дискретних (щебених) основ:

- зсувостійкість, більш високий модуль пружності;
- функції переривання капілярів, що не дозволяють ґрунтовим водам проникати в тіло дорожнього одягу;
- підвищені теплоізоляційні показники, що покращує морозостійкість всієї конструкції.

Не зважаючи на переваги, цементогрунти при їх використанні в дорожніх конструкціях мають такі недоліки, як зайва жорсткість і низька тріщиностійкість.

Вплив різних чинників на властивості одержуваного матеріалу розглянуто у роботах Безрука В.М. [2], Морозова С.С. [3], Єленовича А.С. [4] та інших дослідників. Детальне вивчення впливу мінералогічного складу ґрунтів, що зміцнюються, на кінетику твердіння і на кінцеву міцність цементогрунту було проведено Гончаровою Л.В. [5]. Цими дослідженнями було встановлено, що найбільшу негативну дію на зміцнення ґрунтів цементом мають такі фактори:

- підвищена кислотність ґрунтів ( $pH = 4,5 - 5,5$ );
- підвищений вміст (понад 20%) у комплексі катіонів натрію у солонців різного типу;
- часте надмірне зволоження ґрунтів, що ускладнює виконання робіт і перешкоджає високій щільності цементогрунту при його ущільненні;
- глибоке промерзання земляного полотна у сильні морози, що викликає необхідність надання цементогрунту підвищеної морозостійкості та водостійкості.

У деяких випадках для надання ґрунтам заданих властивостей необхідна надмірна витрата в'язучих матеріалів, що не виправдано економічно.

Ґрунти, зміцнені органічними в'язучими, також мають недоліки, до яких можна віднести їх недостатню водостійкість, велику залежність виконання робіт від погодних умов, обмежене коло ґрунтів, придатних для обробки бітумом, тривалий період формування структури бітумоґрунту в умовах обов'язкового регулювання руху [1].

Надання ґрунту структури з вищою тріщиностійкістю можливе введенням золи, що забезпечить необхідні експлуатаційні властивості дорожнього покриття.

У роботах вчених різних країн накопичено великий позитивний досвід використання відходів, таких як шлаки, золи уносу, золошлаки від спалювання різних твердих паливних матеріалів, які виявляють у структурі матеріалу активність і мають власні в'язучі властивості. Вирішенню цих проблем у різні роки присвячували свої роботи Гурячков І.Л. [6, 7], Волженський А.В. [8], Горелишев Н.В. [9] та ін.

Малі розміри та висока пористість золи, а, отже, велика сумарна поверхня частинок говорять про здатність матеріалу активно реагувати з рідким середовищем (водою, бітумом), що дозволяє використовувати його як активний заповнювач у суміші незв'язних ґрунтів із в'язучим [1].

Зола є конгломератом дрібних (від 1-2 мкм до 10-50 мкм) частинок; основними компонентами золи є  $SiO_2$  (більше 50%),  $CaO$  (близько 6%), решта – фосфати заліза, кальцію, гематит, силікати кальцію, магнею, заліза, калію, алюмінію, натрію [1].

Різний колір показує включення різних фракцій. Світліше забарвлення показує більш дрібні частинки. Розподіл фракцій у золи наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Розподіл частинок за крупністю

Колір на фото	Вміст, %	Максимальний розмір	Ідентифікація
Темні	20-30 %	0,1 мм	Пісок
Коричневі	20-25 %	0,01 мм	Пил
Жовті	50-60 %	0,005 мм	Колоїди



Рис. 2. Зовнішній вигляд золи

На рис. 3 представлено знімок свіжої золи під мікроскопом.

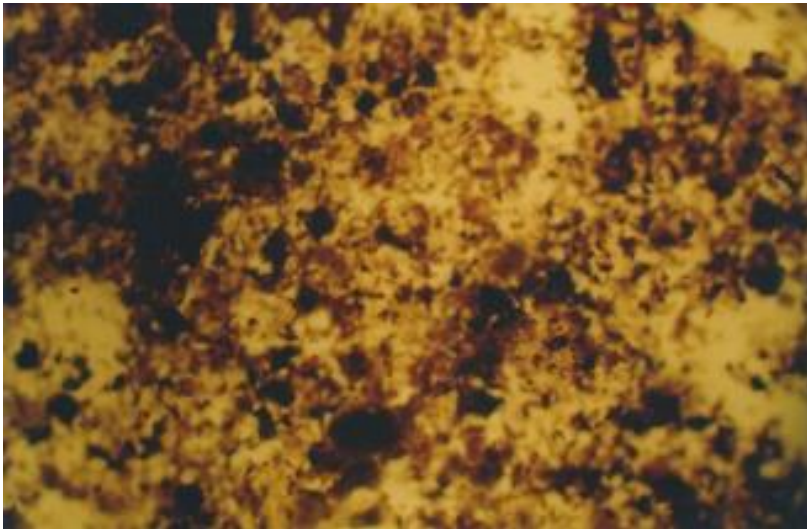


Рис. 3. Знімок свіжої золи під мікроскопом

Висновки з гранулометричного аналізу: зола має мономірність структури. Основна структура фракцій золи: пилюваті та колоїдні частинки. Активною речовиною в золі може виступати кремнезем, який активується в середовищі  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і починає проявляти гідралічні (в'язучі) властивості [1].

Аналіз досліджень показує, що при використанні піщаних і супіщаних ґрунтів збільшення вмісту золи знижує водопоглинання матеріалу на 21%. Отриманий матеріал володіє гарною міцністю, але малою пружністю. Для надання більшої пружності матеріалу можливе використання органічних в'язучих, таких як бітум.

При застосуванні органічних в'язучих (зокрема, рідких бітумів) найбільш характерними процесами в період структуроутворення є фізико-хімічні процеси, що протікають на межі контакту вуглеводневої рідини із заповнювачами. При обробці мінеральних матеріалів бітумом утворюються нові системи, що мають комплекс фізико-механічних властивостей, притаманних структурам коагуляційного типу [10].

Збільшення дозування бітуму з 1% до 5% підвищує міцність зразків у 1,5-2 рази і за абсолютним значенням становить 0,58-1,40 МПа (рис. 4).

Аналіз досліджень показує, що збільшення вмісту золи до 60% у суміші підвищує показник водопоглинання більш, ніж у 3 рази.

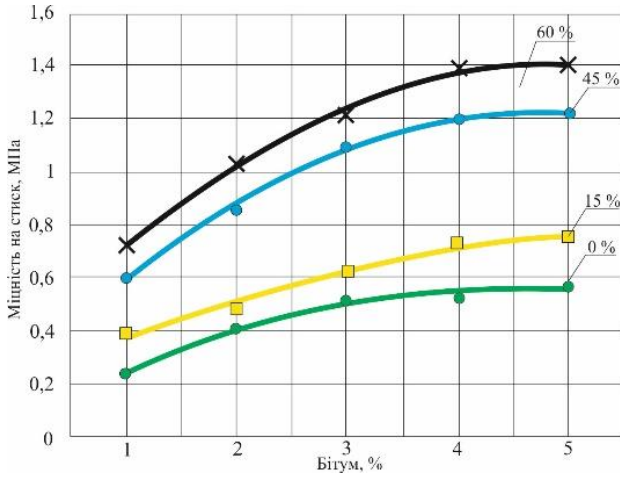


Рис. 4. Межа міцності при стиску зразків із суміші золи та ґрунту, оброблених бітумом

Однак додавання рідкого бітуму дозволяє знизити цей показник. Водопоглинання зразків із золоґрунтової суміші, залежно від збільшення дозування бітуму від мас. 1% до 5%, знижується пропорційно дозуванню бітуму в 1,35-2 рази (рис. 5).

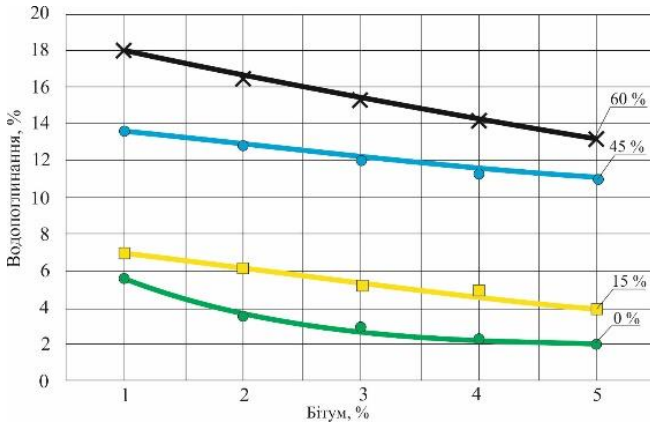


Рис. 5. Водопоглинання зразків із суміші золи та ґрунту, оброблених бітумом

Це зумовлено значною дисперсністю золи та невеликим вмістом в'язучого. Випробування зразків із золоґрунтової суміші з бітумом

показали, що матеріал має достатні властивості для використання його в дорожніх конструкціях [1].

Коефіцієнт водостійкості зразків із зологрунтової суміші (рис. 6) показує, що додавання бітуму 4-5% в зологрунтову суміш із вмістом золи 15-45% є достатнім для отримання міцного водостійкого матеріалу [1].

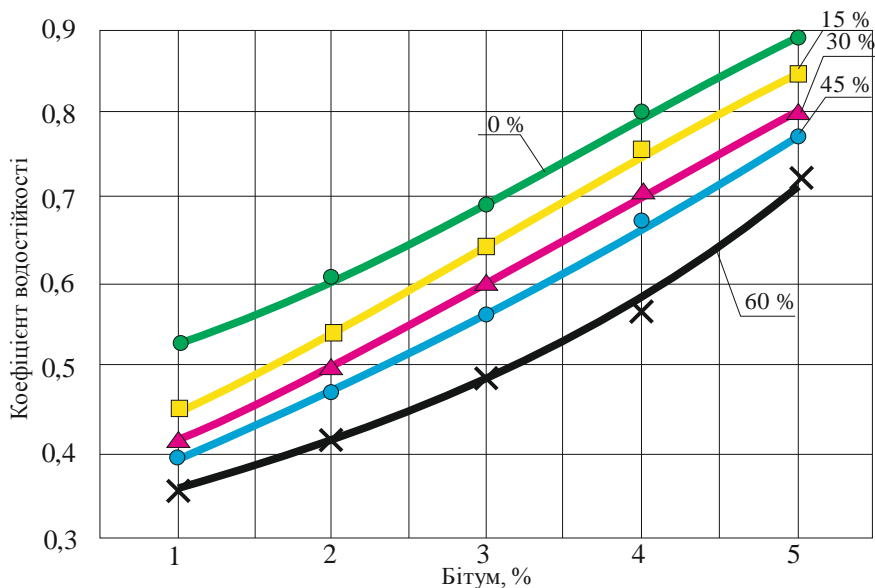


Рис. 6. Коефіцієнт водостійкості зразків із зологрунтової суміші, обробленої бітумом

Опір ґрунтів зсуву є основним фактором, що визначає поведінку ґрунту під навантаженням. При затримці процесів укладання та ущільнення суміші значення величини опору зсуву значно знижується. На рис. 7 наведені дані, які характеризують підвищення величини опору зсуву від вмісту золи у суміші при вмісті бітуму 4%.

Результати випробування зологрунтових сумішей на зсув підтверджують, що зола в сумішах з ґрунтом, оброблених бітумом, є активним компонентом у процесах структуроутворення дорожньо-будівельного матеріалу.

Результати досліджень показують потенційну можливість використання зологрунтових матеріалів, укріплених рідким бітумом, при влаштуванні шарів основи автомобільних доріг з капітальним або полегшеним дорожнім одягом.

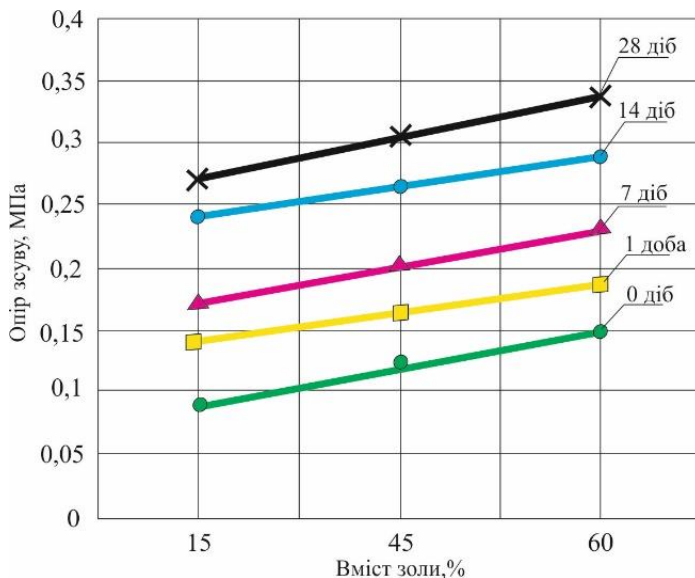


Рис. 7. Опір зсуву зологрунтової суміші, обробленої бітумом (4 %)

## References

1. Zubova O. V. Yspolzovanye v lesnom dorozhnom stroytelstve zolohruntovykh smesei, obrabotannykh viazhushchymy materyalamy URL: <http://www.dslib.net/les-texnologiy/ispolzovanie-v-lesnom-dorozhnom-stroitelstve-zolohruntovykh--smesej-obrabotannyh.html> (data zvernennia: 20.10.2022).
2. Bezruk V. M. Teoretycheskye osnovy ukrepleniya hruntov tsementam / Bezruk V. M. M.: Avtotransyzdat, 1956. 248 s.
3. Morozov S. S. Sovremennoe sostoianye tekhnicheskoi melyoratsyy hruntov y stoiashchye pered nei zadachy. Tr.soveshch. po teoret. Osnovam tekhnich. Melyoratsyy hruntov. M.: Yzd-vo MHU, 1961, s. 29-40.
4. Bezruk V. M. Dorozhnye odezhdyy yz ukreplennykh hruntov / Bezruk V. M., Elenovych A. S. M.: Vysshaya shkola, 1969. 330 s.
5. Honcharova L. V. Osnovy yskusstvennogo uluchsheniya hruntov. M.: MHU, 1973. 375 s.
6. Huriachkov Y. L. Ukrepleniye suhlynyistogo hrunta tsementom y dobavkoi zoly unosa: V kn.: Materyaly k V Soveshchaniyu po zakrepleniyu y uplotneniyu hruntov / Huriachkov Y. L. Novosybyrsk: NYZZhT, 1965. s. 563-567.
7. Huriachkov Y. L. Yssledovaniya po utochneniyu trebovaniy k zolam unosa, prymaniaemym v kachestve samostoiatel'nogo viazhushchego pry ukrepleniyu nesviaznykh hruntov. V sb.: Trudy Soiuzdornyy, vyp.82. M., 1975.



8. Volzhenskyi A. V. Prymenenye zol y toplyvnykh shlakov v proyzvodstve stroytelnykh materyalov / Volzhenskyi A. V., Yvanov Y. A., Vynogradov B. N. M.: Stroiyzdat, 1984. 255 s.

9. Horelyshev N. V. Asfaltobeton y druhye bytumomyneralnye materyaly./ Horelyshev N. V. M.: Mozhaisk-Terra, 1995. 176 s.

10. Zubova O. V. Yssledovanye vlyaniya hranulometrycheskoho sostava hruntov na prochnost zolohruntovoi smesy, obrabotanoi tsementom // Trudy BHTU. 2012. № 2. Lesnaia y derevoobrabatyvaiushchaia promyshlenno. 118-120 S.

### **Список використаної літератури**

1. Зубова О. В. Использование в лесном дорожном строительстве зологрунтовых смесей, обработанных вяжущими материалами URL: <http://www.dslib.net/les-texnology/ispolzovanie-v-lesnom-dorozhnom-stroitelstve-zologruntovyh--smesej-obrabotannyh.html> (дата звернення: 20.10.2022).

2. Безрук В. М. Теоретические основы укрепления грунтов цементом / Безрук В. М. М.: Автотрансиздат, 1956. 248 с.

3. Морозов С. С. Современное состояние технической мелиорации грунтов и стоящие перед ней задачи. Тр.совещ. по теорет. Основам технич. Мелиорации грунтов. М.: Изд-во МГУ, 1961, с. 29-40.

4. Безрук В. М. Дорожные одежды из укрепленных грунтов / Безрук В. М., Еленович А. С. М.: Высшая школа, 1969. 330 с.

5. Гончарова Л. В. Основы искусственного улучшения грунтов. М.: МГУ, 1973. 375 с.

6. Гурячков И. Л. Укрепление суглинистого грунта цементом и добавкой золы уноса: В кн.: Материалы к V Совещанию по закреплению и уплотнению грунтов / Гурячков И. Л. Новосибирск: НИИЖТ, 1965. с. 563-567.

7. Гурячков И. Л. Исследования по уточнению требований к золам уноса, применяемым в качестве самостоятельного вяжущего при укреплении несвязных грунтов. В сб.: Труды Союздорнии, вып.82. М., 1975.

8. Волженский А. В. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов / Волженский А. В., Иванов И. А., Виноградов Б. Н. М.: Стройиздат, 1984. 255 с.

9. Горельшев Н. В. Асфальтобетон и другие битумоминеральные материалы./ Горельшев Н. В. М.: Можайск-Тerra, 1995. 176 с.

10. Зубова О. В. Исследование влияния гранулометрического состава грунтов на прочность зологрунтовой смеси, обработанной цементом // Труды БГТУ. 2012. № 2. Лесная и деревообрабатывающая промышленно. 118-120 С.