

ВИБІР ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ РЕМОНТІ ТА БУДІВНИЦТВІ ДОРІГ**Галушко В. О., Галушко О. М., Уваров Д. Ю., Уварова А. С.**

Об'єктом дослідження є технологія влаштування дорожнього покриття з використанням альтернативних матеріалів та можливість впровадження автоматизованих систем для підвищення продуктивності. Основна гіпотеза дослідження полягає в знаходженні альтернативного матеріалу, за допомогою якого можна знизити вартість будівництва доріг, та збільшити якість, строк служби. Для зниження вартості доріг необхідно утворювати нові технології будівництва з залученням інноваційних або альтернативних матеріалів, використовувати новітні механізми та впроваджувати автоматизовані та роботизовані системи. Це можливо досягти, якщо ретельно вивчити технологію влаштування будівельних процесів. Одним з матеріалів дорожнього покриття є щебінь, гравій та пісок. Розглянемо, як один з альтернативних варіантів відходи гірничого виробництва – шлаковий щебінь. При визначенні основних фізико-механічних властивостей шлакового щебню використовували стандартну методика випробування щебня в стаціонарних лабораторних умовах. У ході дослідження були використані методи системного аналізу та узагальнення, а також методика випробування матеріалу. Автори роботи проаналізували технологічні процеси будівництва доріг та запропонували матеріал за результатами випробувань – шлаковий щебінь феросплавного заводу. В ході випробувань отримали підтвердження, що матеріал є альтернативним кар'єрному щебню. Щебінь феросплавного виробництва має однакову область застосування, міцність, щільність, морозостійкість, але вартість на порядок менша за тону, що створює економічний ефект 31,93 дол. на тоні. Це дає можливість знизити вартість дорожнього покриття та забезпечує відповідну нормативним вимогам якість, а впровадження сучасних технологій зменшить норму часу на деяких об'єктах будівництва.

При проведенні випробувань шлакового щебню отримані результати підтверджують, що даний матеріал відповідає всім вимогам і цілком може замінити гранітний щебінь при будівництві доріг різного призначення. Такий матеріал можна використовувати не тільки на Україні, а і в країнах з аналогічними вимогами до складу дорожнього полотна.

Ключові слова: історія створення доріг, дорожнє покриття, якість автомобільних доріг, сучасні технології, шлаковий щебень.

1. Вступ

В сучасних умовах дороги є невід'ємною частиною в життєдіяльності людини. Країни, регіони, населені пункти та їх райони з'єднані між собою різного роду транспортними шляхами. Шляхи дають можливість людству підтримувати зв'язки особистого та ділового характеру між населеними

пунктами. Для того, щоб розуміти, скільки часу займе шлях, необхідно приблизно обчислити швидкість руху та витрачений час до пункту призначення. Від стану доріг часто залежить життя самої людини [1].

Так, автори робіт [2, 3] досліджували стану та конструктивну структуру дорожнього покриття. В [4–6] вивчені технологічні процеси, які застосовувалися в різні періоди будівництва доріг. На базі експериментально-дослідних та розрахункових було наведено обґрунтування ефективності альтернативного рішення у порівнянні з існуючими технологіями.

В цьому напрямі актуальним подальшим розвитком є залученням інноваційних або альтернативних матеріалів, за допомогою якого знизиться вартість, та збільшиться якість, строк служби доріг.

Дана робота описує проблематику сучасного будівництва доріг та їх експлуатацію на прикладі доріг України. Українські дороги визнані одними з найгірших у світі. Як свідчать дані досліджень 2019 року, які проводять американські соціологи Інституту Геллапа, в рейтингу стану доріг Україна посіла 114 місце з 137. Більшість доріг на території України перебуває в жахливому стані. Державна служба автомобільних доріг визнає, що в Білорусі фінансування на кілометр шляху втричі більше, ніж в Україні. За 2020 рік по програмі «Велике будівництво» повинно бути відремонтовано, та побудовано 6,5 тис. км (за фактом 5,1 тис. км доріг, які знаходяться в ідеальному стані). А на те, щоб відремонтувати всі українські дороги такими темпами, як зараз, буде потрібно (при фінансуванні) всього 4,5 роки [7]. В різних районах жахливі дороги ремонтуються, як правило, латками або окремими шматками. Якість при цьому невисока та термін служби їх мінімальний (сезон або рік). Тому актуальним є підбір матеріалу, який дозволить знизити витрати, але при цьому поліпшить якість дорожнього покриття.

Таким чином, *об'єктом дослідження* обрано технологію влаштування дорожнього покриття з використанням альтернативних матеріалів та можливість впровадження автоматизованих систем для підвищення продуктивності. *Мета дослідження* полягає в виборі технології, за допомогою якої можливо знизити вартість та збільшити строк експлуатації доріг.

2. Методика проведення досліджень

Для вирішення поставленої мети необхідно вивчити історію будівництва доріг, технології при будівництві доріг та підібрати альтернативний матеріал існуючим.

Для зниження вартості доріг необхідне створення нових технологій будівництва з залученням інноваційних або альтернативних матеріалів. Вивчення історії створення доріг, розробка класифікації, а також пошук нових рішень, вивчення фізико-механічних характеристик альтернативних та нових матеріалів дає шанс на підвищення якості автомобільних шляхів з економією коштів на реалізацію даних технологій [1].

Вивчення інформаційних джерел дозволило авторам визначити, результати робіт близьких до теми досліджень. Це [3, 8, 9]. Аналіз цих робіт дав можливість визначити поняття дороги, історію будівництва доріг, технологічний регламент робіт.

Поняття «дорога» – це шлях напрямку, призначений для переміщення технічних засобів і людей. Дорога, виходячи з виду транспорту, який по ній рухається, може бути автомобільною, залізничною або повітряною. Розглянемо більш детально автомобільні дороги. Автомобільна дорога – це частина транспортної інфраструктури, яка призначена для руху механічних транспортних засобів і включає в себе пов'язані конструктивні елементи (дорожні покриття та полотно) та штучні інженерні споруди, а також ділянки землі, на яких вона розташована.

Вивчаючи історію створення доріг, найбільш древні дороги відносяться до IV тисячоліття до н. е. До початку цього тисячоліття відносяться: дорога, знайдена біля міста Ур в Месопотамії, і дорога, знайдена поряд з англійським містом Гластонбері. Одна з найбільш стародавніх доріг в Європі, названа Світ-Трек, виявлена на острові Великобританія. Дорога, яка споруджена в XXXIX столітті до н. е., складається з накладених один на одного перекладин з молодих ясеня, дуба та липи та дубового настилу зверху них. До найдавніших мощених доріг відносять дороги, знайдені на острові Крит. Критські дороги покриті вапняковими плитами товщиною до 15 см датуються III тисячоліттям до н. е. Цегла для мощення доріг вперше була використана в стародавній Індії близько 3000 років до н. е. Дороги з кам'яним покриттям існували в Хетському царстві, Ассирії, імперії Ахеменідів. Під час правління засновника китайської династії Цинь – Цинь Шихуана (221–210 до н. е.) – мережа доріг загальною довжиною 7,5 тис. км оперізувала країну; дороги були шириною 15 м з трьома смугами, причому центральна смуга призначалася для імператора. На магістральних дорогах Риму для приватних осіб були побудовані готелі, а для офіційних осіб – станції, на яких міняли коней, можна було отримати ночівлю та харчування, утримували станцію жителі довколишнього селища (рис. 1). Загальна довжина римських доріг (з урахуванням ґрунтових і гравійних) до IV століття до н. е. склала 300 тис. км [1, 5, 6].

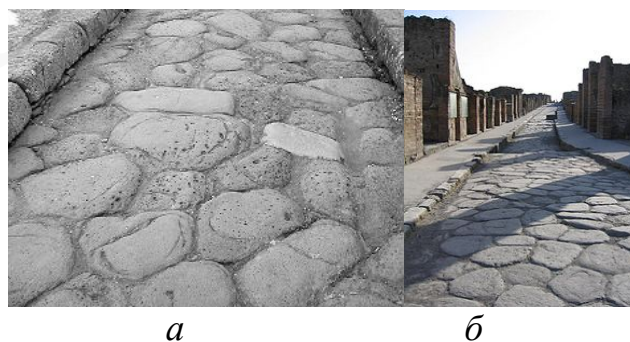


Рис. 1. Фото-фрагмент римської дороги в Помпеях:

а – фото-фрагмент буличної мостової; *б* – загальний вид дороги

Дорожні роботи в Середні віки Київської Русі в основному полягали в ремонті ґрунтових доріг і будівництві мостів. Чернечий орден «Братів-мостобудівників» за час свого існування (XII–XVI століття) побудував близько 1700 мостів [1, 4].

Технологія доріг минулого полягала в наступному:

- проводилися дослідження території;
- виконувалися геодезичні роботи;
- проводилась підготовка території, а саме вирубувалися дерева, чагарники, паростки, що заважали будівництву дороги;
- викопувалось невелике заглиблення;
- далі укладалася основа дороги.

Для основи бралися кам'яні блоки, які служили фундаментом дороги. Між кам'яними блоками були щілини, які служили дренажем. Наступний шар наносився з піску або гравію для вирівнювання поверхні. Верхній шар наносився з дрібного піску, гравію, вапна або землі. Така дорога мала вигнуту поверхню. Це система дозволяла дощовій воді стікати в дренажні канали, вириті уздовж дороги [1].

Сучасна структура дорожнього полотна відрізняється від минулих і складається з наступних шарів: ґрунтова основа, основа, додатковий шар основи, шари покриття. На рис. 2 показана структура основних шарів покриття. Товщина конструктивного шару в усіх випадках повинна бути не менш 1,5 розміру найбільш великої фракції матеріалу, який застосовується у шарі.

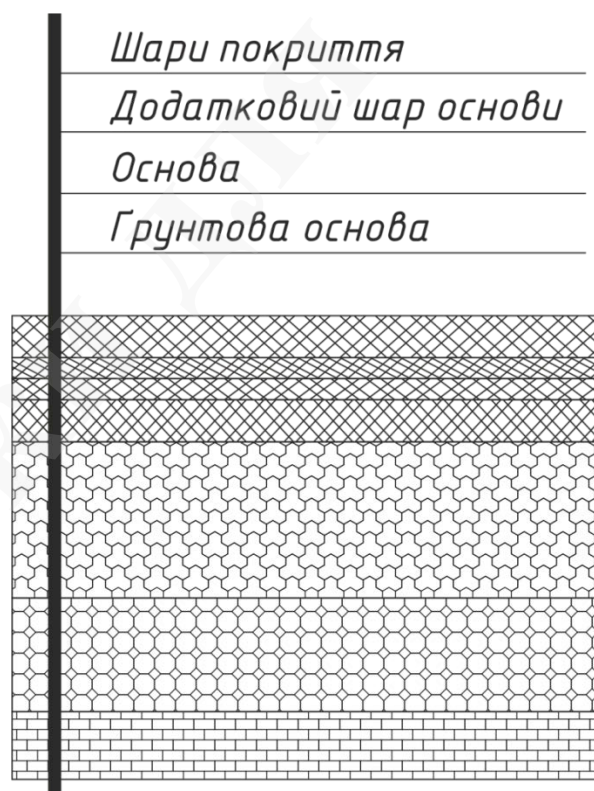


Рис. 2. Основні шари дорожнього покриття

Вибір дорожнього одягу залежить від: загальних вимог, що ставляться до дороги як до транспортної споруди, конструкції дорожнього одягу та типу покриття, кількості шарів, які забезпечують міцність, навантаженість, морозостійкість, та ін. характеристики матеріалів.

Одним з матеріалів дорожнього покриття є щебінь, гравій та пісок. В даному випадку використовуємо альтернативне рішення відходів гірничих

виробіток, особливо у великих промислових містах, де накопичено багато таких відходів – це шлаковий щебінь. Для цієї мети були проведені обстеження шлакового щебня.

3. Результати досліджень та обговорення

При визначенні основних фізико-механічних властивостей шлакового щебню використовували стандартну методику випробування щебня у стаціонарних лабораторних умовах [10].

Отримані результати щебню феросплавного виробництва виявилися однаковими з результатами кар'єрного щебню. А саме: по зерновому складу відповідає фракції 5–10 мм; марку по дробимості М1400, марку по стиранності І-2, марку по морозостійкості F300, радіоактивності (не більш 370 Бк/кг) тобто відповідає – 1 класу.

Для підтвердження, що шлаковий щебінь легко може використовуватися у дорожньому будівництві проведено ряд лабораторних випробувань. У зв'язку з цим виготовлені два варіанти зразків: 1 варіант – типовий, який складався з піску (П), цементу (Ц) та кар'єрного щебню (Щ); 2 варіант – складався з піску (П), цементу (Ц) та шлакового щебню (Щ).

У дослідах застосовувалася суха суміш складу Ц:П:Щ (1:2,5:1,5). Перший варіант – використовувався кар'єрний щебінь фракцією 5–10 мм, цемент марки 400, другий варіант – використовували шлаковий щебінь фракцією 5–10 мм, цемент марки 400, діаметр сопла обирали – 35 мм, довжина шлангу – 30 м, витрата повітря 8 м³/хв.

На якість дорожнього покриття впливає відстань від сопла до ремонтної горизонтальної поверхні. Цей параметр змінювався від 0,9 до 1,5 м при фіксованих значеннях В/Ц=0,4 (водоцементне відношення) та швидкості виходу суміші з сопла 130 м/с.

Для визначення кількості відскоку брали ділянку розміром 3x4 м, огорожену щитами висотою 1 м. Ділянку застеляли будівельною плівкою, на яку встановлювали обладнання. Перед подачею бетонну суміш зважували та подавали в форму. Потім, суміш, яка опинилася за формою збиралася, висушувалася та зважувалася. Отримані дані заносилися у табл. 1.

Таблиця 1

Міцність набризкбетона та кількість відскоку в залежності від відстані сопла до бетонованої поверхні за варіантами

Показники	Відстань до бетонованої поверхні, м															
	0,8		0,9		1		1,1		1,2		1,3		1,4		1,5	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
$R_{сж}$, МПа	20,8	21,7	23,5	24,3	24,9	24,9	25,9	26,5	27,8	27,9	25,6	26,4	23	23,4	19,4	19,8
$R_{из}$, МПа	5,3	5,4	5,9	6,1	6,2	6,7	7,4	7,8	7,6	7,9	6,4	6,6	5,3	5,5	4,5	4,8
Кількість відскоку, %	26,6	26,5	21,2	21	17,4	17,3	14,2	14,1	12,1	12	14	13,9	16,9	16,9	22,1	22,1

Примітка: $R_{сж}$ – міцність на стиснення; $R_{из}$ – міцність на вигин

При порівнянні варіантів (табл. 1) показники міцності набризкбетону

практично ідентичні. Як видно з даних в табл. 1, оптимальною відстанню від сопла до бетонованої поверхні як для першого варіанту, так і для другого є 1,1 до 1,3 м. Межа міцності на стиск і вигин можуть відрізнитися при різних відстанях у порівнянні з отриманими міцнісними характеристиками при оптимальній відстані на 22–30 % та 32–39 %, відповідно. Мінімальна кількість відскоку отримано при оптимальній відстані від 1,1 до 1,3. Це пояснюється тим, що зі збільшенням відстані від сопла до поверхні суміш недоуцільнюється, а при малій відстані – розпушується.

Ще один не менш важливий показник дорожнього покриття є стирання. Це пов'язано з впливом інтенсивності коліс автомобільного транспорту на покриття автомобільних доріг.

Раніше зразки-куби 70x70x70 мм випилювалися з готової залізобетонної плити. Потім ці зразки поміщалися в спеціальну камеру зі сталевими кулями. Сутність методу полягає у визначенні втрати маси випробовуваного зразка. Цей зразок піддається стираючому впливу сталевих куль. Сталеві кулі є аналогом шин машин, які впливають на асфальтобетон [10].

Стиранність набризкбетону $C_{аб}$, $см^2$, обчислюють за формулою:

$$C_{аб} = \frac{m_1 - m_2}{F_{mb}},$$

де m_1 – маса зразка перед випробуваннями, г;

m_2 – маса зразка після випробування, г;

F_{mb} – площа стирання грані зразка, $см^2$, з точністю до першого знаку після коми, яка визначається по ПНСТ 106-2016 (попередній національний стандарт).

Отримані результати заносимо в табл. 2.

Таблиця 2

Стиранність за порівняльними варіантами






Варіанти	Площа стирання зразка	Маса зразка до випробування	Маса зразка після випробування	Утрата маси, %	Стиранність	Середнє значення
1	51,3	652,4	630	3,5	0,44	0,49 (0,5)
	50,5	673,3	634,8	5,8	0,76	
	50	644	629,5	2,3	0,29	
2	49,7	712,7	692,3	2,86	0,41	0,37 (0,4)
	50,5	731,3	716,8	2	0,29	
	50	724,2	703,8	2,8	0,41	

Як видно з отриманих результатів в табл. 2, стиранність по другому варіанту значно менше. Отже, щебінь феросплавного виробництва може застосовуватися для покриттів автомобільних доріг.

І ще не менш важливий показник – це вартість. У табл. 3 представлені порівняльні характеристики різних матеріалів.

Таблиця 3

Порівняльні характеристики різних матеріалів

№	Показники	Варіанти				
		1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
1	Найменування	Камінь для габіонів (бутовий камінь) Щебінь гранітний фракції 70–150	Камінь для габіонів (бутове каміння) Щебінь гранітний фракції 100–250	Щебінь гранітний фракції 40–70	Щебінь гранітний фракції 20–40	Щебінь феросплавного виробництва фракції 5–10
2	Область застосування	Заповнювач габіонів Дорожнє будівництво Ландшафтні роботи Фундаменти	Заповнювач габіонів Дорожнє будівництво Ландшафтні роботи Фундаменти	Дорожнє будівництво Будівництво залізниць	Фундаменти Дорожнє покриття Високоміцні бетони	Дорожнє будівництво Ландшафтні роботи Фундаменти
3	Міцність	M1200	M1200	M1200	M1200	M1400
4	Морозостійкість	F300	F300	F300	F300	F300
5	Щільність, т/м ³	1,50	1,46	1,36	1,36	1,50
6	Трудомісткість, люд-дні	20,58	20,58	20,58	20,58	–
7	Вироблення в зміну, м ²	143	143	143	143	–
8	Тривалість на 100 м ² , год	10,8	10,8	10,8	10,8	–
9	Вартість за т, дол.	34,41	34,41	34,41	34,41	2,48
10	Опис					
11	Економічний ефект від вартості матеріалу	–	–	–	–	31,93

Як бачимо з отриманих показників в табл. 3, щебінь феросплавного виробництва має однакову область застосування, міцність, щільність, морозостійкість, а ось вартість шлакового щебню складає 2,48 дол. за тону. Тобто економічний ефект складає від вартості – 31,93 дол. Це дає можливість знизити вартість дорожнього покриття.

Більшу частину традиційного обладнання для дорожніх робіт можна автоматизувати, щоб пришвидшити час будівництва. Їх можна модернізувати, щоб запропонувати справді автономні режими роботи, або вони можуть просто працювати разом з аналогами людей, як більш спільний механізм.

Автоматизація та роботизація механізмів у технології будівництва доріг на рівних поверхнях – питання програмного забезпечення та контролю якості виконаних робіт. Щодо виконання робіт на складних рельєфах і похилих поверхнях, необхідно застосовувати інше спеціалізоване обладнання. Для такого типу робіт можуть бути використані порталні роботи [11], що будуть виконувати роботи різних видів: переміщення ґрунту, влаштування основи з щебню, роботи з бетонування та ін.

Використання альтернативних матеріалів при класичній технології влаштування автомобільних шляхів у поєднанні з автоматизованими та роботизованими механізмами дозволяє не лише впроваджувати економію, але й збільшити продуктивність робіт. Таким чином інновації здатні відновити та створити нову автотранспортну інфраструктуру України на порядок швидше, ніж це відбувається на даний момент.

4. Висновки

На підставі вивченого матеріалу з інформаційних джерел була розроблена сучасна класифікація доріг по значенню, категорії, технічному стандарту та типу покриття, яка відповідає стандартам різних країн.

При вивченні структури сучасних доріг виявлено, що одним з компонентів є кар'єрний щебінь. Одним з альтернативних варіантів був запропонований шлаковий щебінь, який є відходами металургійного виробництва.

При проведенні випробувань шлакового щебню отримані результати підтверджують, що даний матеріал відповідає всім вимогам і цілком може замінити гранітний щебінь при будівництві доріг різного призначення. Такий матеріал можна використовувати не тільки на Україні, а і в країнах з аналогічними вимогами до складу дорожнього полотна.

Література

1. Halushko, V. O., Halushko, O. M., Uvarov, D. Yu., Uvarova, A. S. (2009). Suchasni dorohy maibutnoho. *Suchasnyi rukh nauky*. Dnipro, 1, 366–372. Available at: <http://www.wayscience.com/wp-content/uploads/2019/10/TOM-1-Zbirnik-8-mizhnarodna-nauk-prakt-internet-konferentsiya-1.pdf>
2. Pospelov, P. I.; Osipov, Iu. S., Kravets, S. L. (Eds.) (2007). *Dorogi. Bolshaia Rossiiskaia entsiklopediia. Vol. 9*. Moscow: Bolshaia rossiiskaia entsiklopediia, 767.
3. Thiollier-Alexandrowicz, G. (2000). *Itinéraires romains en France*. Faton, 431.
4. Werner, H. (2003). *Reisewege der Antike. Unterwegs im Römischen Reich*. Stuttgart: Konrad Theiss, 128.
5. Klee, M. (2010). *Lebensadern des Imperiums. Strassen im Römischen Reich*. Stuttgart: Konrad Theiss, 160.
6. Laurence, R. (2002). *The roads of Roman Italy: mobility and cultural change*. Routledge, 240.
7. *Reiting stran po kachestvu dorog*. Available at: <https://autostrada.info/ua/>
Last accessed: 22.04.2020

8. Iakunina, L. V., Kozhukhova, E. S. (2016). Problemy dorozhnogo stroitelstva i puti ikh reshenia. *Molodoi uchenii*, 6.3, 48–51. Available at: <https://moluch.ru/archive/110/27178/> Last accessed: 31.03.2019

9. Romanenko, I. I., Romanenko, M. I., Petrovnina, I. N. (2015). Novye materialy v dorozhnom stroitelstve. *Molodoi uchenii*, 7, 198–200. Available at: <https://moluch.ru/archive/87/16615/> Last accessed: 31.03.2019

10. DERZhSTANDART 7392-2014 «*Shchebin iz shchilnykh hirskykh porid dlia balastovoho sharu zaliznychnoi kolii. Tekhnichni umovy*» (2015). Available at: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293762/4293762301.pdf>

11. Halushko, V. O. (2009). Pat. No. 45279 UA. *Portal dlia vykonannia remontno-vidnovliuvalnykh robit*. MPK: E04G 21/00, B66C 17/00, E04G 23/00. declared: 21.05.2007; published: 10.11.2009, Bul. No. 21, 10.