

УДК 625.7

Ілляш С. І., <https://orcid.org/0000-0002-3001-8012>Мудриченко А. Я., <https://orcid.org/0000-0001-9787-2523>Балашов І. О., <https://orcid.org/0000-0002-9469-2591>Грінчук А. Г., <https://orcid.org/0000-0001-8581-5476>

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна»
(ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ҐРУНТІВ І ВТОРИННИХ ПРОДУКТІВ ПРОМИСЛОВОСТІ, ОБРОБЛЕНИХ ВОДНИМ РОЗЧИНОМ СИЛІКАТУ НАТРІЮ В ШАРАХ ОСНОВИ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Анотація

Вступ. Зростаючі об'єми дорожнього будівництва збільшують необхідність розширення та раціонального використання сировинних ресурсів. Потребу в кам'яних матеріалах можливо задовольнити за рахунок широкого використання місцевих матеріалів, вторинних продуктів промисловості в шарах основи дорожнього одягу та зменшити об'єми використання природних будівельних матеріалів, шляхом їх заміни альтернативними, зокрема ґрунтами, шлаковими матеріалами які є відходами металургійного виробництва. У дорожньому господарстві України накопичено досвід використання шлаків чорної металургії. Їх застосування дає можливість подовжувати будівельний сезон, збільшує міцність та надійність дорожніх конструкцій за рахунок своїх фізико-механічних властивостей, суттєво знижує енергоємність дорожнього одягу, спрощує технологію робіт та кошторисну вартість будівництва дороги. При цьому встановлено, що шари дорожнього одягу, влаштовані з відвальних доменних шлаків мають високу несну здатність. Шлакові конструкції через 5–10 років твердіння не поступаються, а через 10–20 років перевершують цементобетонні за міцнісними показниками і деформаційною стійкістю. Проте є нагальна потреба в забезпеченості міцності і відкриттю руху по вже збудованій ділянці автомобільної дороги в найкоротші терміни, тому виникає потреба в пришвидшенні активації повільнотвердіючого в'язучого. Для чого використовується водний розчин силікату натрію.

Мета. Мета роботи полягала у дослідженні доцільності використання ґрунтів і вторинних продуктів промисловості, оброблених водним розчином силікату натрію в шарах основи дорожнього одягу.

Матеріали та методи. Проведено експериментальні випробування ґрунтів та доменних шлаків оброблених водним розчином силікату натрію з різним вмістом водного розчину силікату натрію.

Результати. Встановлено доцільність використання асфальтобетонних сумішей на основі ґрунтів і вторинних продуктів промисловості, оброблених водним розчином силікату натрію в шарах основи дорожнього одягу. Надано рекомендації щодо технологічних параметрів приготування, транспортування, укладання та ущільнення таких сумішей.

Висновки. Проведені дослідження показали, що за фізико-механічними показниками ґрунти та доменні шлаки оброблених водним розчином силікату натрію відповідають вимогам чинних нормативних документів України. Відзначено переваги використання, а саме: можливість заміни традиційних кам'яних матеріалів місцевими матеріалами та вторинними продуктами промисловості, зменшення транспортної складової в вартості будівництва. Отримані результати вказують на доцільність застосування ґрунтів і вторинних продуктів промисловості, оброблених водним розчином силікату натрію в дорожньому будівництві.

Ключові слова: водний розчин силікату натрію, вторинні продукти промисловості, ґрунти, рідке скло, шлаки доменні гранульовані.

Вступ

Працівниками Державного підприємства «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ») виконували дослідження щодо можливості використання ґрунтів та доменних шлаків оброблених водним розчином силікату натрію в шарах основи дорожнього одягу.

За своїми характеристиками (хімічний, мінералогічний склад, морозостійкість) шлаки є цінною сировиною для приготування щебених матеріалів і мінеральних в'язучих, на основі яких виготовляють цементо- і асфальтобетонні суміші для влаштування верхніх шарів дорожньої основи та дорожнього покриття. В дорожньому будівництві використовуються шлаки металургійної (чорної та кольорової) промисловості, які класифікують за хімічним складом на неактивні (кислі) та активні (основні). Кислі з переважною часткою кремнію та алюмінію, основні з високим вмістом магнію, кальцію та марганцю. При охолодженні шлак може зберігати аморфний стан і частково або повністю перетворюватися в кристалічний стан. Це говорить про те, що з шлаків одного і того ж складу можна отримати матеріали різної структури, а отже, і властивостей. Шлаки у відвалах мають кристалічну і склоподібну структуру, яка є основним фактором, що визначає їх властивості. Кількість шлаків тієї чи іншої структури різко змінюється і залежить від умов охолодження.

У металургійних шлаках чорної металургії виділяють: доменні, сталеплавильні та феросплавні. Доменні шлаки отримують під час виплавки чавуна, істотний вплив на їх властивості мають характеристики флюсів, палива та режим плавлення. Сталеплавильні шлаки, залежно від способу виробництва сталі, можуть бути мартенівськими, конверторними й електросталеплавильними. Феросплавні шлаки отримують під час виробництва феросплавів. Поділяються за видами залежно від елемента, наприклад хрому, кремнію, марганцю, який додають до заліза для отримання феросплаву.

У шлаках кольорової металургії за видами виплавлених металів виділяють мідеплавильні, нікелеві, свинцеві та цинкові шлаки.

Неактивні шлаки можуть замінити гірські породи 1–3 класів, тому їх застосовують для влаштування шарів основи й покриття різноманітних типів. Технологія влаштування шарів дорожнього одягу з неактивних шлаків така ж, як і при влаштуванні щебених основ і покриттів.

Активні шлаки, насамперед доменні, в залежності від умов охолодження поділяють на гранульовані (отримані при швидкому охолодженні вогнево-рідких шлаків водою, повітрям або комбінованим способом) та відвальні (вогнево-рідкі шлаки повільно охолоджуються на повітрі, набуваючи пінисту або осередчасту структуру). Мелений шлак у вигляді тонкого порошку з водою має в'язкі властивості, аналогічні властивостям цементів низьких марок або вапна.

Основна частина

Дослідження можливості застосування ґрунтів та доменних шлаків оброблених водним розчином силікату натрію в шарах основи дорожнього одягу було виконано в ДП «ДерждорНДІ». Ці дослідження передбачали проведення ряду експериментів щодо приготування та застосування ґрунтів та доменних шлаків оброблених водним розчином силікату натрію в шарах основи дорожнього одягу.

Для приготування сумішей ґрунтів і вторинних продуктів промисловості, оброблених водним розчином силікату натрію використовували:

- ґрунти (супісок, суглинок та глини);

- шлак доменний гранульований;
- шлак відвальний № 1 фракції 0–10 (№ 1.1), фракції 5–20 (№ 1.2) ПрАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь», м. Маріуполь;
- шлак відвальний № 2 фракції 0–10 (№ 2.1), фракції 5–20 (№ 2.2) Металургійний комбінат ПАТ «Запорізький металургійний комбінат «Запоріжсталь»;
- водний розчин силікату натрію.

Під час виконання дослідження було проведено випробування з визначення вихідних характеристик ґрунтів (визначення вологості, визначення границі текучості, визначення границі розкочування, визначення числа пластичності, визначення оптимальної вологості та максимальної щільності).

Визначення границі міцності при стиску водонасичених зразків:

- супіску з додаванням рідкого скла в кількості — 1,0 %; 1,5 %;
- суглинку з додаванням рідкого скла в кількості — 1,0 %; 1,5 %;
- глини з додаванням рідкого скла в кількості — 1,0 %; 1,5 %.

Таблиця 1

**Результати випробування границі міцності при стиску супіску
із додаванням рідкого скла**

Суміш	Показники міцності зразків, МПа			Середнє значення, МПа
Супісок	0,009	0,005	0,001	0,005
Супісок +1 %	0,148	0,148	0,162	0,153
Супісок +1,5 %	0,139	0,233	0,171	0,181

За результатами випробувань супіску встановлено, що границя міцності при стиску вихідного ґрунту становить 0,005 МПа, а з додаванням рідкого скла в кількості 1 % та 1,5 % відповідно 0,15 МПа та 0,18 МПа.

Таблиця 2

**Результати випробування границі міцності при стиску суглинку
з додаванням рідкого скла**

Суміш	Показники міцності зразків, МПа			Середнє значення, МПа
Суглинок	0,003	0,004	0,003	0,003
Суглинок +1 %	0,062	0,074	0,038	0,058
Суглинок +1,5 %	0,106	0,127	0,143	0,125

За результатами випробувань суглинку встановлено, що границя міцності при стиску вихідного ґрунту становить 0,003 МПа, а з додаванням рідкого скла в кількості 1 % та 1,5 % відповідно 0,058 МПа та 0,125 МПа.

Таблиця 3

Результати випробування границі міцності при стиску суглинку з додаванням рідкого скла

Суміш	Показники міцності зразків, МПа			Середнє значення, МПа
Глина	1,04	1,18	1,33	1,18
Глина + 1 %	1,29	1,13	1,66	1,36
Глина + 1,5 %	1,11	1,20	1,36	1,22

За результатами випробувань глини встановлено, що границя міцності при стиску вихідного ґрунту становить 1,18 МПа, а з додаванням рідкого скла в кількості 1 % та 1,5 % відповідно 1,36 МПа та 0,122 МПа.

Випробування відвальних шлаків:

- визначення зернового складу шлаку та встановлення відповідності її зернового складу вимогам ДСТУ 9043 [2];
- підбір зернового складу суміші, який відповідає вимогам до зернового складу суміші з максимальним розміром зерен 20 мм;
- випробування ущільнених сумішей без додаванням рідкого скла, відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-207 [4];
- випробування ущільнених сумішей із додаванням 0,8 % рідкого скла від маси суміші та витриманих відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-207 [4];
- випробування ущільнених сумішей із додаванням 1,0 % рідкого скла від маси суміші та витриманих відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-207 [4];
- випробування ущільнених сумішей із додаванням 1,2 % рідкого скла від маси суміші та витриманих відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-207 [4].

Фізико-механічні показники шлаку № 1 залежно від кількості доданого скла наведено у **табл. 4**, а їх порівняння представлено на **рис. 1** та **рис. 2**.

Фізико-механічні показники шлаку № 2 залежно від кількості доданого скла наведено у **табл. 5**, а їх порівняння представлено на **рис. 3** та **рис. 4**.

Таблиця 4

Фізико-механічні показники шлаку № 1 залежно від кількості доданого рідкого скла

Показники	Значення показників залежно від кількості рідкого скла, %			
Кількість рідкого скла, %	-	+ 0,8 %	+ 1,0 %	+ 1,2 %
Середня густина, г/см ³	2,27	2,29	2,24	2,23
Водонасичення, % за об'ємом	7,05	5,42	5,18	5,17
Границя міцності при стиску, МПа	2,2	2,3	2,5	2,5
Границя міцності при стиску у водонасиченому стані	1,9	2,3	2,4	2,4

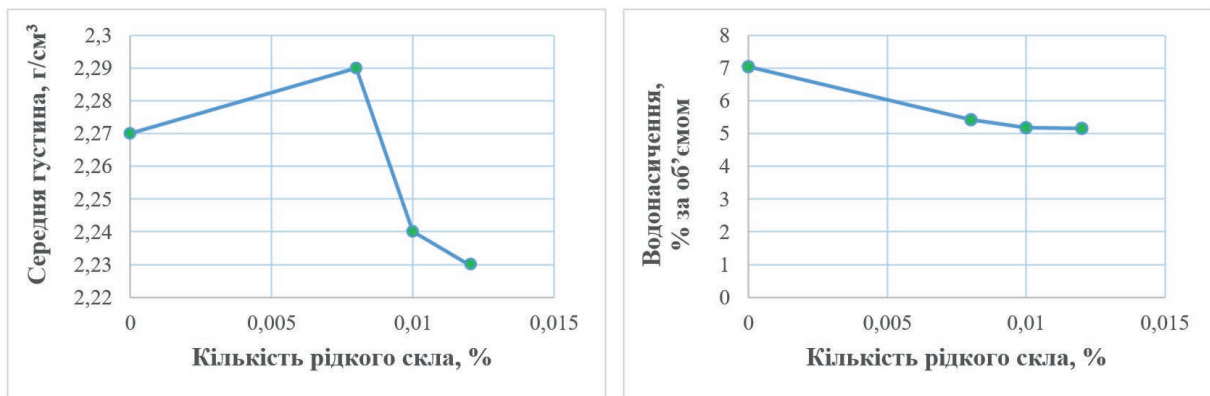


Рисунок 1 — Порівняння фізичних показників шлаку № 1 залежно від кількості доданого рідкого скла

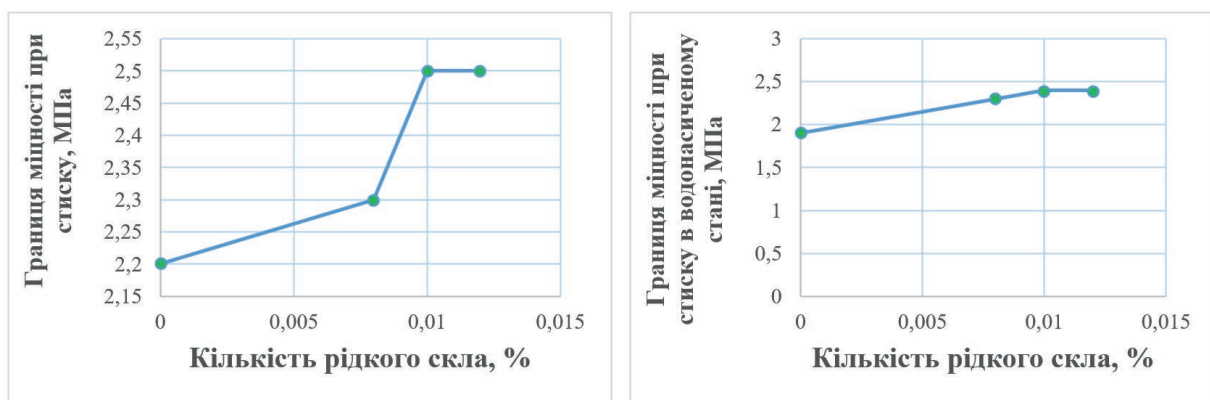


Рисунок 2 — Порівняння механічних показників шлаку № 1 залежно від кількості доданого рідкого скла

Таблиця 5

Фізико-механічні показники шлаку № 2 залежно від кількості доданого рідкого скла

Показники	Значення показників залежно від кількості рідкого скла, %			
	-	+ 0,8 %	+ 1,0 %	+ 1,2 %
Кількість рідкого скла, %	-	+ 0,8 %	+ 1,0 %	+ 1,2 %
Середня густина, г/см³	2,21	2,33	2,33	2,33
Водонасичення, % за об'ємом	2,35	1,47	2,51	2,28
Границя міцності при стиску, МПа	1,92	2,1	2,14	2,21
Границя міцності при стиску у водонасиченому стані	1,85	2,05	2,1	2,12

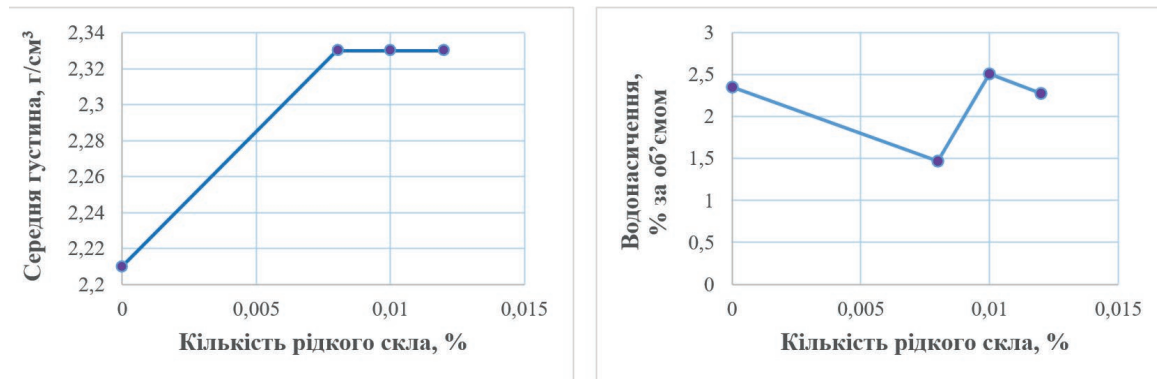


Рисунок 3 — Порівняння фізичних показників шлаку № 2 залежно від кількості доданого рідкого скла

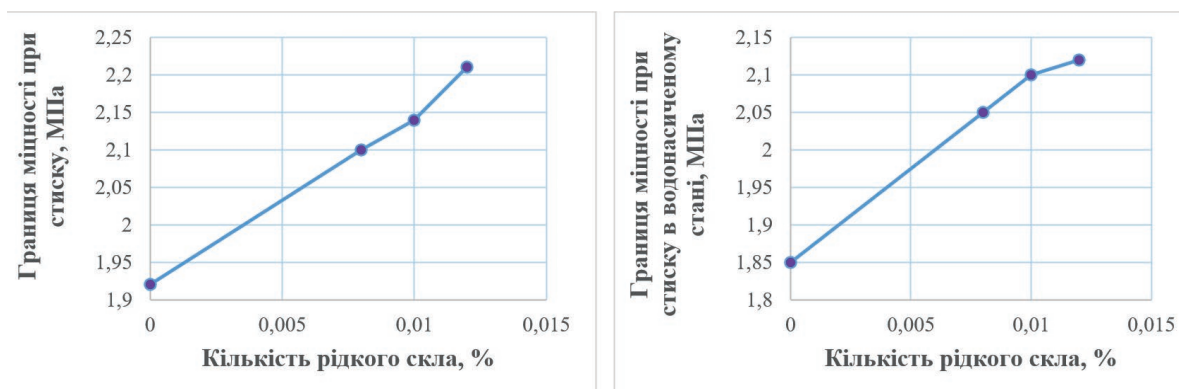


Рисунок 4 — Порівняння механічних показників шлаку № 2 залежно від кількості доданого рідкого скла

За результатами випробувань ущільнених шлаків з додавання рідкого скла в якості активатора дають можливість зробити наступні висновки: використання рідкого скла дає змогу збільшити щільність суміші та зменшити водонасичення в порівнянні з показниками, що отримані без рідкого скла, показники границі міцності при стиску ущільнених сумішей відповідає значенню марки суміші М20, показники границі міцності при стиску водонасичених зразків відповідає значенню марки суміші М20, при введенні активатора має місце зростання водостійкості при тривалому водонасиченні ущільнених сумішей. Раціональний вміст активатора залежить від активності шлаку та гранулометричного складу шлаку. Вміст добавки оптимальний при введенні в кількості 1:10 води. В кожному конкретному випадку необхідний вміст рідкого скла необхідно визначати в лабораторії за результатами випробування зразків ущільнених сумішей. Необхідна кількість матеріалів залежить від складу шлаку, складу доданих матеріалів та типу суміші.

Висновки

Проведені дослідження використання ґрунтів і вторинних продуктів промисловості, оброблених водним розчином силікату натрію в шарах основи дорожнього одягу дають змогу зробити такі висновки:

1. Фізико-механічні характеристики цих сумішей, встановлені під час випробувань згідно з затвердженими методиками, відповідають вимогам чинних нормативних документів.

2. Результати вказують на доцільність застосування даної технології в Україні, оскільки за рахунок покращення вихідних характеристик місцевих матеріалів та вторинних продуктів промисловості, з'являється можливість заміни ними природних кам'яних матеріалів.

3. Удосконалено технічну базу для будівництва автомобільних доріг загального користування. Розроблені рекомендації щодо приготування та застосування ґрунтів і вторинних продуктів промисловості, оброблених водним розчином силікату натрію в шарах основи дорожнього одягу містять вимоги до вихідних матеріалів та кінцевої продукції, технологію приготування, методи контролювання, порядок укладання та ущільнення.

Список літератури

1. ВБН В.2.3-218-537:2008 Споруди транспорту. Влаштування шарів дорожнього одягу методом ресайклінгу з використанням гранульованих доменних шлаків. Київ, 2008. (Інформація та документація).

2. ДСТУ 9043:2020 Матеріали щебеневі зі шлаків металургійних для дорожнього будівництва. Технічні умови. Київ, 2020. 26 с. (Інформація та документація).

3. ДСТУ Б.В.2.7-307:2015 Вторинні продукти вугільної промисловості для будівництва автомобільних доріг. Класифікація. Київ, 2016. 15 с. (Інформація та документація).

4. ДСТУ Б В.2.7-207:2009 Будівельні матеріали. Матеріали щебеневі, гравійні та піщані, оброблені неорганічними в'язучими. Технічні умови. Київ, 2010. 15 с. (Інформація та документація).

5. ДСТУ Б В.2.7-71-98 Будівельні матеріали. Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань. Київ, 1999. 91 с. (Інформація та документація).

6. ДСТУ-Н Б В.2.3-39:2016 Настанова з влаштування шарів дорожнього одягу з кам'яних матеріалів. Київ, 2017. 66 с. (Інформація та документація).

References

1. VBN V.2.3-218-537:2008 Sporudy transportu. Vlashtuvannia shariv dorozhnoho odiahu metodom resaiklinhu z vykorystanniam hranulovanykh domennykh shlakiv [Federal building regulations (VBN V.2.3-218-537:2008) Transport facilities. Building of layers of pavement by recycling using granular blast furnace slag]. Kyiv, 2008. (Information and documentation) [in Ukrainian].

2. DSTU 9043:2020 Materialy shchebenevi zi shlakiv metalurhiinykh dlia dorozhnoho budivnytstva. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU 9043:2020) Crushed stone materials from metallurgical slags for road building. Specifications]. Kyiv, 2020. 26 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

3. DSTU B V.2.7-307:2015 Vtorynni produkty vuhilnoi promyslovosti dlia budivnytstva avtomobilnykh dorih. Klasyfikatsiia [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-307:2015) Coal industry secondary products for road construction. Classification]. Kyiv, 2016. 15 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

4. DSTU B V.2.7-207:2009 Budivelni materialy. Materialy shchebenevi, hraviini ta pishchani, obrobleri neorhanichnymy v'iazhuchymy. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-207:2009) Crushed stone, gravel and sand materials. Building materials. Treated by hydraulic binders]. Specifications. Kyiv, 2010. 15 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

5. DSTU B V.2.7-71-98 Budivelni materialy. Shchebin i hravii iz shchilnykh hirsykykh porid i vidkhodiv promysloвого vyrobnytstva dlia budivelnykh robot. Metody fizyko-mekhanichnykh vyprobuvan [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-71-98) Building materials. Mountainous rock road-metal and gravel, industrial waste products for construction works. Methods of physical and mechanical tests]. Kyiv, 1999. 91 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

6. DSTU-N B V.2.3-39:2016 Nastanova z vlashtuvannia shariv dorozhnoho odiahu z kamianykh materialiv [State Standard of Ukraine (DSTU-N B V.2.3-39:2016) Guide on construction of road pavement courses of stone materials]. Kyiv, 2017. 66 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Sergii Illiash, <https://orcid.org/0000-0002-3001-8012>

Anatolii Mudrychenko, <https://orcid.org/0000-0001-9787-2523>

Ivan Balashov, <https://orcid.org/0000-0002-9469-2591>

Andrii Hrinchuk, <https://orcid.org/0000-0001-8581-5476>

M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

USE OF SOILS AND RECYCLED INDUSTRIAL PRODUCTS TREATED WITH WATER GLASS IN THE ROAD PAVEMENT BASE COURSES

Abstract

Introduction. Growing volumes of road construction increase the need to expand and rationally use of raw materials. The need for stone materials can be solved through the wide spread using of local materials, recycled products of industry in the pavement base courses and decreasing the use of natural construction materials by replacing them with alternatives, including soils, slag materials that are metallurgical industry wastes. Experience of ferrous metallurgy slag usage has been accumulated in the road industry of Ukraine. Their usage makes it possible to extend the construction season, increases the strength and reliability of road structures due to their physical and mechanical properties, significantly reduces the road pavement energy consumption, simplifying the technology of works and the estimated cost of road construction. It was determined that the layers of pavement made from blast furnace slag have a high bearing capacity. Slag structures in 5–10 years of hardening are not inferior to, and in 10–20 years surpass cement structures on durability and deformation resistance. However, there is an urgent need to provide strength and open road traffic on the already built road section in a shortest possible term, so there is a need to accelerate the activation of the slow-setting binder. Therefore water glass (water solution of sodium silicate) is used.

Purpose. The purpose of the work is to study the feasibility of using the soils and recycled industry products treated with water glass in the road pavement base courses.

Materials and methods. Experimental tests of soils and blast furnace slags treated with water glass with different content of water solution of sodium silicate were performed.

Results. The feasibility of using the asphalt concrete mixtures on the basis of soils and recycled products of industry treated with water glass in the pavement base courses is determined. Recommendations regarding technological parameters of preparation, transportation, laying and compaction of such mixes are given.

Conclusions. Performed studies have shown that the physical and mechanical parameters of soils and blast furnace slags treated with water glass meet the requirements of current regulations of Ukraine. The advantages of use are noted, namely: the possibility of replacement of traditional stone materials by the local materials and recycled products of industry, reducing the transport component in the cost of construction. The obtained results indicate the feasibility of using the soils and recycled products of industry treated with water glass in the road construction.

Keywords: soils, recycled products of industry, graded blast furnace slag, water solution of sodium silicate, water glass.