

ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ СКЛОБОЮ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

USE OF SLAG WASTE IN ROAD CONSTRUCTION



Березіна Наталія Олександрівна, кандидат хімічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: nataberezina380@gmail.com, тел. +380636914132

<https://orcid.org/0000-0003-1154-8701>



Мудрак Клавдія Василівна, кандидат хімічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: klav@ukr.net, тел. +380632188034,

<https://orcid.org/0000-0002-0340-4399>



Пархоменко Неллі Георгіївна, кандидат хімічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: parkhomenko.nelly@gmail.com, тел. +380973488850

<https://orcid.org/00000-0002-6741-9397>

Анотація: Одним з перспективних напрямів сьогодення, які знижують негативні техногенні навантаження на довкілля і населення при здійсненні будівельної і господарської діяльності, є створення ресурсозберігаючих технологій, в яких замість первинних застосовуються вторинні сировинні матеріали, що дозволяє понизити об'єми розміщення в довкіллі неутілізованих відходів і залучити їх в ресурсний цикл, понизивши при цьому об'єми використання первинного природного ресурсу. Для підвищення характеристик міцності активної зони ґрунту земляного полотна його штучно покращують. Саме заходи з укріплення ґрунтової основи дозволяють зменшити товщини конструктивних шарів дорожнього одягу. Це дозволяє значно зменшити витрати дорогих привізних матеріалів, знизити транспортні витрати та витрати на виконання дорожньо-будівельних робіт. Крім того, укріплення і стабілізація ґрунту земляного полотна дозволяє суттєво знизити негативний вплив на довкілля за рахунок: зменшення витрат природних сировинних ресурсів, зменшення витрати пального при транспортуванні матеріалів на об'єкти будівництва, зменшення енергоресурсів при виконанні дорожньо-будівельних робіт. Тому були виконані дослідження стосовно можливості використання відходів склобою для підвищення характеристик міцності ґрунтів шляхом поліпшення зернового складу, використовуючи їх як гранулометричну добавку. На основі проведеної науково-дослідної роботи, аналізу вихідних даних характеристик продукції із склобою та вивчених чинних нормативних документів дорожнього будівництва стосовно можливостей використання продукції із склобою, можна зробити загальне заключення про те, що для виконання дорожньо-будівельних робіт при влаштуванні конструкції дорожнього одягу, склобій може застосовуватися практично в усіх його шарах.

Ключові слова: захист навколишнього середовища, відходи склобою, дорожнє будівництво.

Вступ

Через високий рівень концентрації промислового виробництва і сільського господарства та внаслідок інтенсивного використання природних ресурсів Україна перетворилася в одну з найнебезпечніших в екологічному відношенні країн [1,2]. Нинішня екологічна ситуація в країні характеризується як глибока еколого-економічна криза, котра зумовлена закономірностями функціонування адміністративно-командної економіки колишнього СРСР. Нарощування продуктивних сил здійснювалося практично без врахування екологічних наслідків, панував відомчий, споживацький підхід до розміщення нових виробництв. Було допущено серйозних помилок в організації комплексного використання природних ресурсів, недостатня увага приділялася управлінню охороною природи та контролю якості природного навколишнього середовища.

У нинішній час органами центральної влади приділяється значна увага нормативно-правовому регулюванню екологічних питань. Базовим Законом України з поліпшення екологічної ситуації та підвищення рівня екологічної безпеки "Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики на період до 2030 року" серед основних завдань передбачено управління відходами та ресурсами, повернення у господарський обіг ресурсоцінних матеріалів. Програмні завдання стратегії управління відходами в Україні до 2030 року схвалені розпорядженням Кабінету Міністрів України від 08.11.2017 р. № 820-р, на основі яких розроблено Національний план управління відходами до 2030 року, який затверджено Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 лютого 2019 р. № 117-р.

Скло є одним з поширених компонентів твердих побутових та промислових відходів. Неутилізовані відходи скла, що розміщуються в довкіллі без проведення необхідних захисних заходів, викликають забруднення ґрунтів, поверхневих та і підземних вод продуктами вилуговування, виводять землі з господарського обороту в результаті засмічення травмонебезпечними уламками скла, що призводить до обмеження природокористування.

Мета і методи. Метою роботи є визначення можливих шляхів багатотоннажної утилізації шляхом використання у дорожньому будівництві відходів склобою, що утворюються на підприємствах виготовлення скляних виробів, лікєро-горілчаних та консервних заводах. Дослідження здійснювались у науково-дослідній лабораторії «Технології матеріалів і конструкцій транспортного будівництва» ім. проф. Г.К. Сьоньї Національного транспортного університету при кафедрі дорожньо-будівельних матеріалів і хімії. Дослідження проводились за методикою та при участі П.П. Борковського. Раніше на основі проведених пошукових досліджень була показана можливість застосування продукції із склобою у дорожньому будівництві для влаштування дренажу [3]. У даній роботі розглядається можливість використання відходів склобою у різних конструктивних шарах дорожнього одягу.

Для випробувань використовували проби склобою у вигляді штучного піску різної гранулометрії розміром від 0 до 10 мм, отримані в результаті дроблення бою склотари. Проби склобою були відібрані на виробничих потужностях ТОВ «БУДІВЕЛЬНО-ФІНАНСОВИЙ АЛЬЯНС «ОЛІМПУС»».

З метою попереднього аналізу було визначено насипну щільність, гранулометричний склад, модуль крупності відібраних проб склобою та марку міцності за методикою випробувань на дробимість. Для порівняння паралельно проводились випробування річкового піску, як одного з основних компонентів при проведенні дорожньо-будівельних робіт.

Визначення насипної щільності та гранулометричного складу виконували згідно з ДСТУ Б В.2.7-232:2010 «Пісок для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань» та ДСТУ Б В.2.7-32-95 «Пісок щільний, природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови».

Результати і пояснення. Результати визначення зернового складу склобою та модуля крупності (M_k) відібраних характерних проб з різним ступенем подрібнення приведені в таблицях 1 – 4.

Таблиця 1 – Результати визначення зернового складу склобою проби №1

Table 1 – Results of the determination process of the grain composition of broken glass in sample No. 1

Залишки на ситах, %	Розмір отворів сит, мм							M _к
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16 (0,14)	0,071	
1. Часткові, г	20,21	202,47	142,8	208,1	192,83	125,29	108,30	2,83
2. Часткові, %	2,02	20,24	14,28	20,81	19,28	12,53	10,83	
3. Повні, %	2,02	22,26	36,54	57,35	76,63	89,16	100	

Таблиця 2 – Результати визначення зернового складу склобою проби №2

Table 2 – Results of the determination process of the grain composition of broken glass in sample No. 2

Залишки на ситах, %	Розмір отворів сит, мм							M _к
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16 (0,14)	0,071	
1. Часткові, г	82,55	446,18	179,33	141,13	75,57	35,82	23,43	4,0
2. Часткові, %	8,24	44,56	17,91	14,09	7,54	3,57	2,34	
3. Повні, %	8,24	52,8	70,71	84,8	92,34	95,91	98,25	

Таблиця 3 – Результати визначення зернового складу склобою проби №3

Table 3 – Results of the determination process of the grain composition of broken glass in sample No. 3

Залишки на ситах, %	Розмір отворів сит, мм							M _к
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16 (0,14)	0,071	
1. Часткові, г	2,01	2,34	67,77	237,5	292,89	184,13	127,05	1,8
2. Часткові, %	0,2	0,23	6,77	23,75	29,28	18,41	12,7	
3. Повні, %	0,2	0,43	7,2	30,95	60,23	78,64	91,34	

Таблиця 4 – Результати визначення зернового складу склобою проби №4

Table 4 – Results of the determination process of the grain composition of broken glass in sample No. 4

Залишки на ситах, %	Розмір отворів сит, мм							M _к
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16 (0,14)	0,071	
1. Часткові, г	75,53	364,37	165,58	161,0	110,65	57,63	37,62	3,7
2. Часткові, %	7,55	36,43	16,55	16,10	11,10	5,76	3,76	
3. Повні, %	7,55	43,98	60,53	76,63	87,69	93,45	97,21	

В таблиці 5 для порівняння приведені результати випробування зернового складу річкового піску.

Таблиця 5 – Результати визначення зернового складу річкового піску
Table 5 – Results of the determination process of the grain composition in river sand

Залишки на ситах, %	Розмір отворів сит, мм						M _к
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16 (0,14)	0,071	
1. Часткові, г	-	1,0	25,84	386,30	525,76	61,1	1,37
2. Часткові, %	-	0,1	2,58	38,63	52,57	6,1	
3. Повні, %	-	0,1	2,68	41,31	93,88	100	

Результати випробувань свідчать, що досліджуваний склобій в залежності від ступеню подрібнення можна отримувати у вигляді дрібного заповнювача згідно з ДСТУ Б В.2,7-32-95 різних груп за крупністю: дуже крупний, підвищеної крупності, крупний, середній та дрібний. Це дає можливість направлено регулювати зерновий склад найбільш поширених природних дрібних пісків, підвищуючи їх модуль крупності за рахунок часткового введення склобою до їх складу.

При визначенні механічних властивостей склобою у порівнянні із гранітним щебенем, було встановлено марку міцності за методикою випробувань на дробимість при випробуванні фракції розміром 5-10 мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-71-98 «Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт». Результати випробувань представлені в таблиці 6.

Таблиця 6 – Результати визначення марки міцності при стиску за методикою випробувань на дробимість

Table 6 – Results of the determination process of the compressive strength grade(index) by the method of aggregate crushing value test

Проба матеріалу	Склобій	Гранітний щебінь
Початкова маси проби, <i>m, г</i>	500	500
Маса залишку на контрольному ситі після просіювання подрібненої у циліндрі проби щебеню (гравію), <i>m₁ г</i>	420	430
Дробильність проби, <i>Д, %</i>	16	14
Марка за дробильністю	600	1200

Отримані результати свідчать, що за показниками міцності склобій має нижчі показники ніж граніт. Однак, згідно з ДСТУ Б В.2.7-29-95 «Будівельні матеріали. Дрібні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація» склобій відноситься за міцністю до групи «середня Б» і може бути придатним для дорожньо-будівельних робіт у шарах основи автомобільних доріг, а також для поліпшення фізико-механічних характеристик ґрунту земляного полотна [4].

Відомо, що одним із ефективних способів підвищення міцності і довговічності конструкцій дорожнього одягу є підвищення характеристик міцності активної зони ґрунту земляного полотна [4-6]. Його штучно поліпшують для підвищення міцності, кращої здатності розподіляти напруження та зменшення стискуваності. Саме заходи з укріплення ґрунтової основи дозволяють зменшити товщини конструктивних шарів дорожнього одягу. Це дозволяє значно зменшити витрати дорогих привізних матеріалів, знизити транспортні витрати та витрати на виконання дорожньо-будівельних робіт. Крім того, укріплення і стабілізація ґрунту земляного полотна дозволяє суттєво знизити негативний вплив на довкілля за рахунок: зменшення витрат природних сировинних ресурсів, зменшення витрати пального при транспортуванні матеріалів на об'єкти будівництва, зменшення енергоресурсів при

виконанні дорожньо-будівельних робіт. Тому були виконані дослідження стосовно можливості використання відходів склобою для підвищення характеристик міцності ґрунтів шляхом поліпшення зернового складу, використовуючи їх як гранулометричну добавку. При цьому були враховані наукові узагальнення професора Б.С. Радовського [5], суть яких полягає у наступному.

У ґрунтах оптимального зернового складу крупніші частки утворюють просторовий каркас (кістяк), що сприймає зовнішнє навантаження. Пілуваті частки, розміщені в порах між більш великими частками, підвищують стійкість каркасу. При високій вологості каркас, утворений великими зернами, вносить основний вклад у міцність ґрунту (опір зсуву). Глинисті частки, склеюючи більш великі зерна між собою, додають ґрунту зв'язність при малій його вологості. Щоб вийшов «каркас», повинна бути об'ємна доля крупних частинок більше 0,16 (масова доля більше 0,23). Ґрунт оптимального зернового складу повинний містити 60-80% (за масою) піщаних, 15-35% пілуватих і 5-10% глинистих часток. Таким способом досягається збільшення об'ємної частки твердої фази.

В механіці ґрунтів руйнуванням вважається необоротний зсув (зрушення) однієї частини ґрунту відносно його другої частини по поверхні, що їх відмежує. Тому міцність ґрунту характеризують його граничним опором зсуву $\tau_{гр}$ на одиниці площі поверхні ковзання, по якій відбувається зсув.

Випробування ґрунту проводилось згідно із ДСТУ Б В.2.1-4:96 «Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформаційності».

В лабораторії показники опору зсуву ґрунту визначають на приладі конструкції І. М. Літвінова.

Результати визначення кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення ґрунту і ґрунту зі склобом наведені в табл.7 та рис. 1.

Таблиця 7 – Визначення кута внутрішнього тертя і питомого зчеплення ґрунту і ґрунту зі склобом
Table 7 – Determination of the internal friction angle and the specific adhesion of soil, and soil to broken glass

Склад	Маса стискання навантаження на підвісці важеля, кг	Вертикальне напруження δ , МПа	Маса зсуваючого вантажу на підвісці важеля, кг	Граничний опір зсуву $\tau_{гр}$, МПа	Кут внутрішнього тертя φ , град	Питоме зчеплення C , МПа
Ґрунт	2	0,200	2,4	0,240	21,8	0,16
	3	0,300	2,8	0,280		
	4	0,400	3,2	0,320		
Ґрунт-70% Склобій-30% Вода-12%	2	0,200	2,8	0,280	26,5	0,18
	3	0,300	3,3	0,330		
	4	0,400	3,8	0,380		
Ґрунт-25% Склобій-75% Вода-7%	2	0,200	3,4	0,340	38,3	0,18

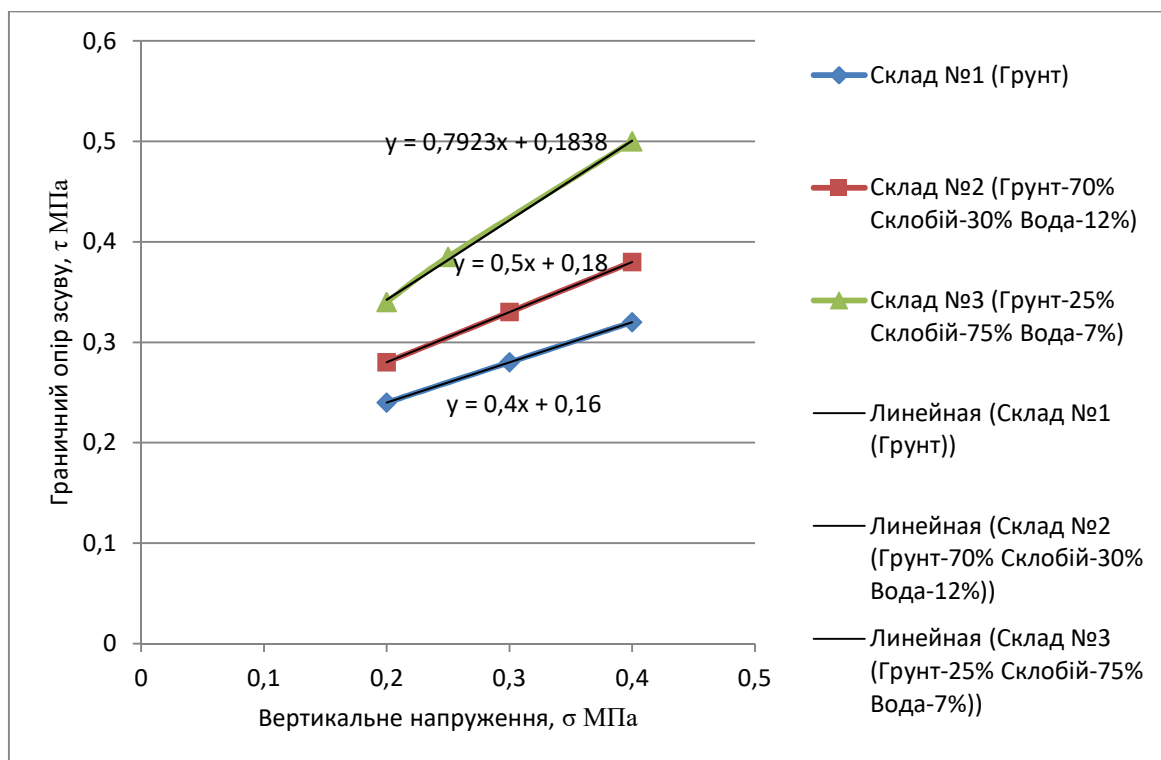


Рисунок 1 – Графіки залежності граничного опору ґрунту і ґрунту зі склом зсуву від нормального тиску.

Figure 1 – Graphs of ultimate resistance dependance of soil, and soil with shear glass under normal pressure/stress.

За результатами характеристик міцності ґрунту із додаванням склобою встановлено, що у ґрунті зі склобом до 75% граничний опір зсуву ґрунту становить 0,34 МПа, а ґрунті без склобою – 0,28 МПа, що свідчить про значне підвищення міцнісних характеристик ґрунту зі склобом.

При застосуванні мінеральних в'язучих для укріплення ґрунтів цементом, у зразках виготовлених із суміші ґрунт, склобій в співвідношенні 25 % :75 %, відповідно, в ранні строки твердіння (4 доби), які тверділи в нормальних умовах (вологість -90%, температура – 18⁰С) спостерігається значне підвищення міцності на стиск (4,05 МПа) по відношенню до зразків, виготовлених із суміші ґрунту і склобою 25%:75%, але без цементу. При застосуванні прискореного твердіння (вологість -90%, температура – 60⁰С) також спостерігається підвищення міцності в зразках, виготовлених із суміші ґрунту зі склобом в співвідношенні 25%:75% відповідно, яке становить 6,8 МПа. По результатам випробування міцності на стиск в ранні строки твердіння (3 доби) зразків ґрунту (глина легка пилувата) і склобою в кількості (25%:75%) при укріпленні суміші ґрунту зі склобом неорганічним в'язучим вапном спостерігається підвищення міцності зразка до 20 % по відношенню до зразків, виготовлених із суміші ґрунту з піском в співвідношенні 25% : 75%, контрольні, відповідно.

В процесі проведення науково–дослідних робіт визначалась можливість застосування склобою для влаштування основи дороги із укріплених ґрунтів. В якості ґрунту використовувалась глина легка пилувата.

Методом стандартного ущільнення виготовлялись зразки–циліндри діаметром 5 см та висотою 5 см оптимального складу в співвідношенні: ґрунт 25% і склобій 75% та контрольні зразки: ґрунт 25% і пісок 75%. В якості в'язучої речовини для укріплення ґрунтів використовувались неорганічні в'язучі: цемент (марка цементу 500) та вапно. Випробування зразків проводилось на ранніх строках твердіння (3, 4 доби твердіння в нормальних умовах при вологості 90 % та температурі 18⁰С). Крім того, для прискорення отримання результатів для зразків з цементом використовувався метод прискореного твердіння при температурі 60⁰С та вологості 90%.

Таким чином, за результатами проведеної науково-дослідної роботи були визначені основні характеристики склобою: насипна щільність ($\rho_{нас}=1455 \text{ КГ/см}^3$); гранулометричний склад, що відносить склобій до групи важких дрібних заповнювачів; зерновий склад склобою та модуль

крупності (Мк), в межах $MK=2,83-4,0$, що відносить склобій в основному до крупних дрібних заповнювачів, окрім проби склобою №3, який відноситься до групи дрібних заповнювачів (Мк-1,8). По характеристиці міцності на стиск склобій (фракція 5-10 мм) має міцність 600 кгс/см^2 , тоді як граничний щебінь фракції 5-10 мм по міцності становить 1200 кгс/см^2 , що в 2 рази більше, ніж у склобою ,що може обмежити його використання для відповідних дорожніх категорій.

Висновки і рекомендації

На основі проведеної науково-дослідної роботи, аналізу вихідних даних характеристик продукції із склобою та вивчених чинних нормативних документів дорожнього будівництва стосовно можливостей використання продукції із склобою, можна зробити загальне заключення про те, що для виконання дорожньо-будівельних робіт при влаштуванні конструкції дорожнього одягу, склобій може застосовуватися практично в усіх його шарах при дотриманні вимог чинних нормативних документів:

- у **грунті земляного полотна** склобій може бути використаний, як гранулометрична домішка для покращення зернового складу ґрунту і підвищення його характеристик міцності, що може сприяти зменшенню товщини шарів дорожнього одягу та економії привізних дефіцитних кондиційних матеріалів і зменшувати вартість будівництва;

- у **шарах додаткової основи** склобій може застосовуватися для влаштування одночасно дренажного та морозо-захисного шарів (як самостійно, так і у суміші з іншими матеріалами). Використання фракцій склобою 0,315мм та 0,63мм в суміші з дрібним піском можуть підвищити коефіцієнт фільтрації дрібного піску на 50-70%;

- у **шарах основ із неукріплених матеріалів** склобій може застосовуватися самостійно, або у суміші з іншими матеріалами;

- у **шарах основ і покриття із укріплених матеріалів та асфальтобетонних і бітумомінеральних сумішей** склобій може застосовуватися у різноманітних рецептах та у суміші з іншими компонентами;

- у **шарах покриття із асфальтобетонних або бітумомінеральних сумішей** при новому будівництві або реконструкції; капітальному, середньому ремонтах, а також ямковому ремонті (у тому числі за несприятливих погодних умов.

Перелік посилань

1. Хилько М. І. Екологічна безпека України: Навчальний посібник / М. І. Хилько. – К., 2017. –267 с.
2. Матус С.А., Левіна Г.М., Карпюк Т.С., Денищик О.Ю. Аналітичний звіт: «Базове дослідження стану та напрямів розвитку екологічної політики України та перспектив посилення участі організацій громадянського суспільства у розробці та впровадженні політик, дружніх до довкілля» <https://www.twirpx.com/file/3602596/>.
3. Кондратенко В.О. Технологія захисту навколишнього середовища за рахунок використання відходів склобою в дорожньому будівництві/ В.О.Кондратенко, О.В.Овсюк, І.О. Опрощенко, Б.Ю.Хамбір, В.І .Хом'як.// Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». –К: НТУ. 2021, Випуск 110, с. 108 – 114.
4. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво.
5. Радовский Б.С. Проблемы механики дорожно-строительных материалов и дорожных одежд / Б.С. Радовский// Киев: Полиграфконсалтинг. – 2003. – 260 с.
6. Carvajal E., Romana M. Analysis of the influence of soft soil depth on the subgrade capacity for flexible pavements. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, 2013, pp 1249-1253. <https://www.cfms-sols.org/sites/default/files/Actes/1249-1253.pdf>
7. БН В.2.3-218-537:2008 Споруди транспорту. Влаштування шарів дорожнього одягу методом ресайклінгу з використанням гранульованих доменних шлаків
8. ДСТУ Б.В.2.7-149:2008 Щебінь і щебенево-піщані суміші із шлаків металургійних для дорожніх робіт.
9. ДСТУ Б В.2.7-29-95 Будівельні матеріали. Дрібні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація
10. ДСТУ Б В.2.1-23:2009 Ґрунти. Методи лабораторного визначення коефіцієнту фільтрації
11. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування.

USE OF SLAG WASTE IN ROAD CONSTRUCTION

Berezina Nataliya O., candidate of chemical sciences, National Transport University, associate professor department of road building materials and chemistry, e-mail: nataberezina380@gmail.com, tel. [+380636914132](tel:+380636914132), <https://orcid.org/0000-0003-1154-8701>

Mudrak Klavdiya V., candidate of chemical sciences, associate professor, National Transport University, professor department of road building materials and chemistry, e-mail: klav@ukr.net, tel. [+380632188034](tel:+380632188034), <https://orcid.org/0000-0002-0340-4399>

Parkhomenko Nelly G., candidate of chemical sciences, professor National Transport University, professor department of road building materials and chemistry, e-mail: parkhomenko.nelly@gmail.com, тел. [+380973488850](tel:+380973488850), <https://orcid.org/00000-0002-6741-9397>

Abstract. One of the perspective directions of today that reduce the negative human-made pressure on the environment and the population in the implementation of construction and economic activities is the creation of resource-saving technologies that use secondary raw-materials instead of primary, which reduces the disposal of unused waste in the resource cycle, while reducing the use of primary natural resources. The possibility of using glass waste, the bulk of which is cullet, in road construction is considered. The results of researches are presented and it is shown that for performance of road-building works at the device of a design of road clothes, slag can be applied practically in all its layers.

Key words: environmental protection, slag waste, cullet, recycled glass, road construction.

References

1. Khylyk M. I. Ekolohichna bezpeka Ukrainy: Navchalnyi posibnyk / M. I. Khylyk. – K., 2017. –267 s. [in Ukrainian].
2. Matus S.A., Levina H.M., Karpiuk T.S., Denyshchuk O.Yu. Analitichnyi zvit: «Bazove doslidzhennia stanu ta napriamiv rozvytku ekolohichnoi polityky Ukrainy ta perspektyv posylennia uchasti orhanizatsii hromadianskoho suspilstva u rozrobtsti ta vprovadzhenni polityk, druzhnikh do dovkillia» <https://www.twirpx.com/file/3602596/>. [in Ukrainian].
3. Kondratenko V.O. Tekhnolohiia zakhystu navkolyshnoho seredovyscha za rakhunok vykorystannia vidkhodiv skloboiu v dorozhnomu budivnytstvi/ V.O.Kondratenko, O.V.Ovsiuk, I.O. Oproshchenko, B.Yu.Khambir, V.I .Khom'iak.// Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk «Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo». –K: NTU. 2021, Vypusk 110, s. 108 – 114. [in Ukrainian].
4. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo. [in Ukrainian].
5. Radovskyi B.S. Проблемы механики дорожно-строительных материалов у дорожных одежд / B.S. Radovskyi// Киев: Polyhrafkonsal'tynh. – 2003. – 260 s. [in Russian].
6. Carvajal E., Romana M. Analysis of the influence of soft soil depth on the subgrade capacity for flexible pavements. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, 2013, pp 1249-1253. <https://www.cfms-sols.org/sites/default/files/Actes/1249-1253.pdf>. [in English].
7. VBN V.2.3-218-537:2008 Sporudy transportu. Vlashtuvannia shariv dorozhnoho odiahu metodom resaiklinhu z vykorystanniam hranulovanykh domennykh shlakiv. [in Ukrainian].
8. DSTU B.V.2.7-149:2008 Shchebin i shchebenevo-pishchani sumishi iz shlakiv metalurhiinykh dlia dorozhnykh robit. [in Ukrainian].
9. DSTU B V.2.7-29-95 Budivelni materialy. Dribni zapovniuvachi pryrodni, iz vidkhodiv promyslovosti, shtuchni dlia budivelnykh materialiv, vyrobiv, konstruksii ta robit. Klasyfikatsiia. [in Ukrainian].
10. DSTU B V.2.1-23:2009 Hrunty. Metody laboratornoho vyznachennia koefitsiientu filtratsii. [in Ukrainian].
11. HBN V.2.3-37641918-559:2019 Avtomobilni dorohy. Dorozhni odiah nezhorstkyi. Proektuvannia. [in Ukrainian].