

УДК 625.768.6

Харитоновна Н. М., <https://orcid.org/0000-0001-5732-3407>Ярошук О. С., <https://orcid.org/0000-0003-1550-0131>*Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна*

АЛЬТЕРНАТИВНІ ПРОТИОЖЕЛЕДНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ БОРОТЬБИ З УТВОРЕННЯМ ТА ЛІКВІДАЦІЇ ЗИМОВОЇ СЛИЗЬКОСТІ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

Анотація

Вступ. Зимовий період року є найскладнішим для експлуатації доріг та організації руху. До основних чинників, що впливають на умови руху автомобілів у зимовий період року відносять наявність ожеледиці та сніжно-льодового накату, які призводять до різкого зниження зчіпних якостей дорожнього покриття, погіршення його рівності збільшення опору коченню, тощо.

Проблематика. Проблеми щодо попередження утворення ожеледиці на автомобільних дорогах і боротьби з нею на сьогоднішній день, приділяється пріоритетна увага в усіх країнах, території яких щорічно зазнають впливу негативних температур. З метою боротьби із зимовою слизькістю на автомобільних дорогах в нашій країні довгий час використовували сіль заводу «Артемсіль». На початку війни завод було зруйновано. Тому виникла потреба у пошуку альтернативних протиожезедних матеріалів для автомобільних доріг і вулиць.

Мета. Виконати дослідження щодо можливості застосування альтернативних протиожезедних матеріалів (відходів промисловості, місцевих матеріалів тощо) для боротьби із зимовою слизькістю на автомобільних дорогах у умовах воєнного стану..

Матеріали і методи. Інформаційно-аналітичні, лабораторні випробування за діючими методиками щодо дослідження протиожезедних матеріалів.

Результати. Були виконані лабораторні дослідження 14 альтернативних протиожезедних матеріалів, які потенційно можна використовувати при запобіганні утворенню і ліквідації зимової слизькості під час зимового утримання на автомобільних дорогах і вулицях. Під час лабораторних досліджень лише 3 зразки відповідали вимогам національних стандартів.

Висновки. Лабораторні дослідження є лише першим етапом для пошуку та визначення властивостей альтернативних протиожезедних матеріалів. На наступних етапах передбачається визначення економічної ефективності застосування тих чи інших протиожезедних матеріалів з урахуванням регіонального та техніко-економічного критеріїв.

Ключові слова: автомобільна дорога, зимове утримання, протиожезедні матеріали, технічна сіль.

Вступ

Зимове утримання автомобільних доріг включає не тільки очищення проїзної частини від снігу, це комплекс робіт, які проводять дорожньо-експлуатаційні організації для забезпечення безперебійного та безпечного руху на автомобільних дорогах у зимовий період, і включають очищення доріг від снігу, їхній захист від снігових заносів і боротьбу із зимовою слизькістю, а також цілодобове чергування фахових працівників і техніки [1].

У теперішній час, у зв'язку з військовими діями на території України, дорожня галузь бореться із цілим рядом проблем, таких як доступність матеріалів та зростаюча їх вартість, управління каналами постачання тощо (**рис. 1**). Питання зимового утримання доріг також постало дуже гостро у зв'язку з дефіцитом технічної солі, яку зазасту використовували як матеріал протиожезедний плавильний (МПП), що стимулює пошук заміників існуючих протиожезедних матеріалів (ПОМ).

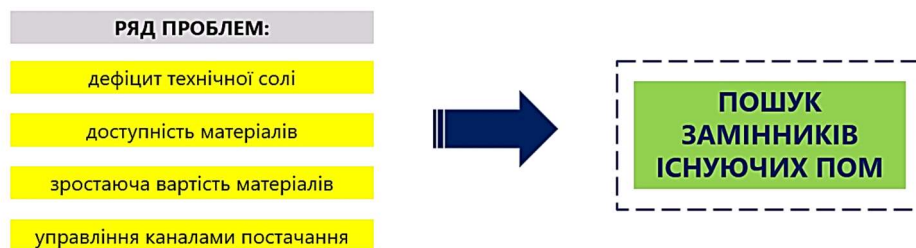


Рисунок 1 — Перелік проблемних питань щодо зимового утримання

З метою обґрунтування можливості застосування альтернативних протиожезедних матеріалів (відходів промисловості, місцевих матеріалів) для боротьби із зимовою слизькістю на автомобільних дорогах в умовах воєнного стану в лабораторії ДП «НІРІ» було випробувано низку матеріалів, результати яких і будуть представлені в даній статті.

Основна частина

Зима — найскладніший період для експлуатації доріг у багатьох країнах світу. Поряд із такими характерними для цього періоду явищами як хуртовини та снігопади, серйозною проблемою для сфери транспорту та зв'язку є утворення льодових відкладень.

Це створює труднощі у русі транспортних засобів і забезпеченні безпеки учасників дорожнього руху, а експлуатуючі організації не завжди можуть вирішити цю проблему.

З метою забезпечення безпеки дорожнього руху у зимовий період необхідно проводити відповідні заходи з утримання доріг. Ці операції в основному базуються на очищенні доріг від снігу і розподілі хімічних реагентів чи інертних матеріалів на дорогах спеціалізованим транспортом.

Зимова слизькість включає всі види сніжно-льодяних утворень на поверхні дорожнього покриття, що призводять до зниження коефіцієнта зчеплення колеса автомобіля з покриттям [2].

Ожезедниця утворюється, як правило, за температури повітря від плюс 3 °С до мінус 5 °С і відносної вологості повітря понад 90 % та за відсутності реагентів на покритті. Ожезедниця з'являється на покритті у вигляді гладкої склоподібної плівки або у вигляді матової білої шорсткої кірки. Пухкий сніг на покритті утворюється під час випадання снігу та хуртовин. Найбільш інтенсивно сніг ущільнюється за температури повітря близько 0 °С. При несвоєчасному розсипанні протиожезедних матеріалів і прибиранні пухкого снігу, під дією автотранспорту сніг перетворюється у сніговий або сніжно-льодяний накат. Боротьба із зимовою слизькістю включає заходи щодо запобігання і ліквідації ожезедниці та сніжно-льодяного накату, профілактичного оброблення покриття для запобігання ожезедниці та ослаблення зчеплення льоду з поверхнею проїзної частини, розсипання фрикційного матеріалу із хімічними речовинами для плавлення снігу та льоду з наступним видаленням їх за межі проїзної частини.

Існує декілька традиційних технологічних прийомів боротьби із зимовою слизькістю на автомобільних дорогах. Серед них найбільш часто застосовуються:

- оброблення дорожнього покриття хлоридами, кристалічного або рідкого стану;
- посипання покриття фрикційним матеріалом, зокрема підігрітим;
- оброблення покриття піщано-соляною сумішшю;
- механічне прибирання снігового настилу.

Для ліквідації ожезедниці та сніжно-льодяного накату використовують такі протиожезедні матеріали:

- тверді — хлористий натрій (технічна сіль), піщано-соляна суміш, хлористий кальцій лусковидний, суміш хлористого натрію та кальцію, каїніт природний Стебниківського калійного заводу тощо;
- рідкі — розчини хлористого кальцію, хлористого натрію, бішофіт (хлористий магній), рідкі відходи хімічних виробництв, що містять у собі солі. Із хімічних засобів, які на теперішній час

найбільш розповсюджені для боротьби із зимовою слизькістю, вигідними з економічної точки зору є хлористі солі металів: хлористий натрій (NaCl — поварена сіль), хлористий кальцій (CaCl_2) і хлористий магній (MgCl_2).

На території України зосереджена велика кількість нерудних корисних копалин. Серед них родовища кам'яної солі, що зосереджені на Донбасі, у Дніпровсько-Донецькій западині, на Прикарпатті, Закарпатті та в озерах і лиманах Чорного й Азовського морів. Високий вміст солі в Україні зосереджений в чотирьох соленосних басейнах (рис. 2).



Рисунок 2 — Соленосні басейни в Україні

Найбільший соленосне родовище з видобутку солі в Україні — Артемівське, яке зосереджене у східному регіоні. Через військову агресію російської федерації була зупинена діяльність Державного підприємства «Артемсіль», найбільшого виробника солі в Європі, тому стало неможливим здійснювати закупівлю протижелезедного матеріалу у підприємства та здійснювати його заготівлю. Дефіцит солі наразі відчувається по всіх регіонах України.

Для пошуку альтернативних протижелезедних матеріалів для запобігання утворення та ліквідації зимової слизькості були направлені листи-запити до профільних організацій і місцевих органів самоврядування та надано оголошення в популярних соціальних мережах. На дослідження були надані відходи промисловості, супутні води видобування нафти і газу, розчини з природних родовищ тощо.

Виконано лабораторні дослідження 14 зразків матеріалів, які потенційно розглядаються як альтернатива традиційним протижелезедним матеріалам. Із них 11 зразків випробували як матеріали протижелезедні плавильні, 3 — матеріали протижелезедні фрикційні.

Серед характеристик і властивостей матеріалів протижелезедних плавильних основним показником є їхня плавильна здатність. Із матеріалів, що були досліджені за цим показником, задовольняють вимогам ДСТУ 8853 [3] три зразки:

— зразок 3 — розсіл із Солевиварювального Дрогобицького заводу (плавильна здатність становить 3,3 г/г);

— зразок 5 – розчин бішофіту від виробника (плавильна здатність становить — 6,2 г/г);
 — зразок 10 – соляні відкладення Стебницького родовища у Львівській області (плавильна здатність становить — 21,8 г/г).

У **табл. 1** наведено інформацію щодо місця знаходження зазначених родовищ матеріалів та їхнього зовнішнього вигляду, результати лабораторних випробувань наведено в **табл. 2**.

Таблиця 1

Матеріали, протиожеледні плавильні

Ч.ч.	Зовнішній вигляд		Інформація щодо місця знаходження
Зразок 3		Розсіл – розчин прозорий, без осаду, без запаху	м. Дрогобич, Львівська область
Зразок 5		Розчин, світло-жовтого кольору, без осаду, без запаху	м. Полтава, Полтавська область
Зразок 10		Соляні відкладення – зволожені гранули, світло-сірого кольору, без запаху	Львівська область, Дрогобицька ОТГ, Стебницьке родовище

Солевиварувальний Дрогобицький завод

Дрогобицька солеварня щонайменше від XIV ст. безперервно діяла на одному і тому ж місці, біля джерел «сировиці» — соляної ропи. Тому Дрогобицький солеварний завод, що працює й сьогодні, можна вважати найстарішим постійно діючим промисловим підприємством в Україні. Протягом століть розквіту Дрогобичу сприяла солеварня, яка постачала сіль не лише до Галичини і Закарпаття, але і для Волині, Холмської землі, Київщини.

На теперішній час, сировинною базою підприємства служить шурф № 1 (szyb Krolewski № 1), який введений в експлуатацію ще у 1473 році. Поперечний розріз цього шурфа (3,5 × 2,5) м, глибина 48,0 м, а насос для викачування розсолу встановлений на глибину 47,7 м. Дебіт шурфа складає 55 м³/добу, середня мінералізація розсолу 300 г/л. Сьогодні на підприємстві випускається продукція двох видів: «Сіль кухонна виварна йодована» і «Сіль кухонна виварна без добавок», які мають Сертифікат відповідності Державної системи сертифікації «УКРСЕПРО», зареєстрований в Реєстрі за № 11А 1.021.X003763-07. Сіль відповідає вимогам ДСТУ 3583:2015 [4].

Бішофіт

Бішофіт — це водний хлорид магнію $MgCl_2 \cdot 6H_2O$. Він є хомогенною речовиною — осадовим утворенням, отриманим у результаті кристалізації солей замкнених водних басейнів. Цей мінерал був виявлений у цехштейнових відкладеннях Німеччини, вивченням його займався німецький хімік і геолог Карл Густав Бішоф, у честь якого згодом цей мінерал і названий. Мінерал відноситься до класу галогенідів. У природі знаходиться в складі відкладень морської солі пермського періоду. За складом — це хлормagneзійовий комплекс із вмістом солей і мікроелементів: калію, кальцію, натрію, міді, заліза, кремнію, титану, молибдену, літію, бору, бромю, йоду тощо.

У викопному стані бішофіт зустрічається у вигляді соляної зернисто-кристалічної породи. У чистому вигляді кристали бішофіту прозорі, але можуть мати забарвлення від білого до бурого кольору залежно від домішок.

Видобувають бішофіт методом підземного розчинення через свердловину. При видобутку методом підземного розчинення отримують не кристалічний бішофіт, а його водний розчин. Одержуваний водний розчин має ті ж властивості, що і кристалічний бішофіт. Це напівнасичений розчин щільністю (1,25 – 1,32) г/см³, прозорий або жовтуватий, маслянистий на дотик, без запаху, не горючий, не вибухонебезпечний, гігроскопічний, не токсичний. Абсолютна в'язкість розчину становить 0,62 СПз при 50 °С.

Розчин природного бішофіту характеризується низькою корозійної активністю, яка не перевищує активність водопровідної води. Температура замерзання розчину природного бішофіту залежить від його щільності, орієнтовно мінус 35 °С.

Стебницьке родовище

Руди Стебницького родовища мають складний мінералогічний склад і представлені в основному сполученнями калію і магнію у хлористо-сульфатній формі. До 1966 року діючий калійний комбінат виробляв сиромолотий каїніт, який без збагачення поставляли сільському господарству. Від 1966 року на збагачувальній фабриці комбінату (нині ДГХП «Полімінерал») флотаційним методом почали випускати новий вид сульфатних добрив — калійно-магнієвий концентрат (калімаг) з вмістом до 19 % K₂O і 8 % – 9 % MgO. У 1961 році було введено в експлуатацію комплекс шахти «Нова» потужністю 1 млн т калійних солей на рік. У 1971 році потужність рудника Стебницького калійного комбінату дорівнювала 3,0 млн т руди на рік. З 1988 року розпочата реконструкція заводу з метою переведення його з флотаційної на галургійну схему перероблення руди і організації виробництва добрива калімагу (40 %) потужністю 145 тис. т на рік. У 1991 році побудована перша черга цеху з виробництва калійно-магнієвого добрива з вмістом 28 % K₂O і 5 % MgO на базі сиромолотого каїніту і привезеного хлористого калію. З 1992 року випуск цього добрива склав всього 4,7 тис. т. Запроваджений у 1966 році флотаційний метод збагачення руди у Стебнику виявився неефективним через багатокомпонентність складу руди, високий вміст глинистих домішок, значну різницю між проектним і фактичним якісним складом руди. У результаті ступінь видобування калію із флотоконцентрату був дуже низьким, і цінні компоненти (калій- і магнійсульфати) спрямовували у відходи, які становили (0,7 – 0,8) т на 1 т руди. Кількість позабалансових розсолів складала 3 тис. м³/добу. Як наслідок — нагромаджені мільйонні маси відходів розсолів у відстійниках, що призводить до екологічної катастрофи. Із цих причин у 2004 році припинено виробництво калійних руд на ДГХП «Полімінерал».

Таблиця 2

Результати випробувань матеріалів протиозжеледних плавильних (МПП)

Найменування показників	Вимоги ДСТУ 8853		Результати випробувань		
	МПП тверді	МПП рідкі	МПП тверді	МПП рідкі	
			Зразок 10	Зразок 3	Зразок 5
Зовнішній вигляд	Гранули, кристали, луска або їхня суміш	Водний розчин без механічних включень і осаду	Гранули	Водний розчин без механічних включень і осаду	Водний розчин без осаду
Колір	Від білого до світло-сірого (допускається світлокоричневий, світлорожевий)	Світлий, прозорий (допускається із слабким забарвленням жовтого кольору)	Світло-сірий	Прозорий	Світло помаранчевого кольору

Найменування показників	Вимоги ДСТУ 8853		Результати випробувань		
	МПП тверді	МПП рідкі	МПП тверді	МПП рідкі	
			Зразок 10	Зразок 3	Зразок 5
Запах	Відсутній			Відсутній	Відсутній
Зерновий склад, %, за масою, зерен розміром: – понад 10 мм – 1 мм і менше	Не допускається 15, не більше	–	15 %	–	–
Температура кристалізації, °C	–	Мінус 10	–	Мінус 18	Не кристалізується
Вміст нерозчинних у воді речовин, %, за масою*	2,5 не більше	–	19,8	–	–
Водневий показник, (pH)	5-9		–	7	5
Насипна густина, г/см³	0,80-1,15	–	0,98	–	–
Густина розчину, г/см³	–	1,1 – 1,3	–	1,19	1,21
Плави́льна здатність, г/г	5, не менше	2,5, не менше	21,8	3,3	6,2
Масова концентрація хлориду натрію (калію), г/дм³	–		–	–	–
* Цей показник хоч і передбачений табл. 2 ДСТУ 8853 для твердих МПП, але на ефективність хімічного чи хіміко-фрикційного методу боротьби із зимовою слизькістю не впливає. Тому перевищення встановленої норми (навіть у значній мірі) вважаємо за можливе.					

Встановлено, що вищенаведені природні розсоли, розчини магнію хлористого (бішофіт) та соляні відкладення можна використовувати для боротьби із зимовою слизькістю, зокрема попередження її утворення, під час зимового утримання мережі автомобільних доріг загального користування і вулиць.

Висновки

Фахівці ДП «НІРІ» провели дослідження альтернативних протиожеледних матеріалів для визначення можливості їхнього використання під час зимового утримання автомобільних доріг і вулиць населених пунктів.

Були виконані лабораторні дослідження 14 зразків матеріалів, які потенційно розглядались як альтернатива традиційним протиожеледним матеріалам. Із них 11 зразків випробували як матеріали протиожеледні плави́льні, 3 — матеріали протиожеледні фрикційні.

Під час лабораторних робіт було випробувано розсоли натрієвих, калієвих і магнієвих солей, відходи від буріння нафтових свердловин. Серед характеристик і властивостей матеріалів протиожеледних плави́льних основним показником є їхня плави́льна здатність. Із матеріалів, що були досліджені за цим показником, задовольняли вимогам три зразки: зразок 3 — розсіл із

ДП «Солевиварювальний Дрогобицький Завод» (плавильна здатність становить 3,3 г/г); зразок 5 — розчин бішофіту (6,2 г/г) та зразок 10 — соляні відкладення Стебницького родовища у Львівській області (21,8 г/г).

У результаті виконах, досліджень були знайдені альтернативні протиожеледні матеріали, які можна використовувати для боротьби із зимовою слизькістю, зокрема попередження утворення та ліквідації її, при зимовому утриманні мережі доріг загального користування і вулиць населених пунктів.

Слід зазначити, що на даному етапі були виконані лише лабораторні дослідження вищезазначених матеріалів на відповідність їх вимогам ДСТУ 8853 [3], але є необхідність продовжити дослідження в напрямку економічної ефективності застосування тих чи інших протиожеледних матеріалів з урахуванням регіонального та техніко-економічного критеріїв.

Список літератури

1. Каськів В. І., Півторацький Д. С., Бідненко Н. А., Дубова О. А., Узагальнення міжнародного досвіду в боротьбі із зимовою слизькістю. *Дороги і мости*. Київ, 2021. Вип. 24. С. 225–236. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.225>.
2. ДСТУ 9185:2022 Настанова щодо зимового утримування автомобільних доріг. Київ, 2022. 82 с. (Інформація та документація).
3. ДСТУ 8853:2019 Матеріали протиожеледні для автомобільних доріг. Технічні умови. Київ, 2019. 13 с. (Інформація та документація).
4. ДСТУ 3583:2015 Сіль кухонна. Загальні технічні умови. З поправкою. Київ, 2022. 16 с. (Інформація та документація).
5. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. 104 с. (Інформація та документація).
6. П Г.1-218-118:2005 Єдині правила зимового утримання автомобільних доріг. Київ, 2005. 105 с. (Інформація та документація).
7. П Г.1-218-113:2009 Технічні правила ремонтів та утримання автомобільних доріг загального користування України. Київ, 2009. 253 с. (Інформація та документація).

References

1. Kaskiv V. I., Pivtoratskyi D. S., Bidnenko N. A., Dubova O. A., Uzahalnennia mizhnarodnoho dosvidu v borotbi iz zymovoiu slyzkistiu (Generalization of international experience in the fight against winter melt.). *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2021. Issue 24. P. 225–236. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.225> [in Ukrainian].
2. DSTU 9185:2022 Nastanova shchodo zymovoho utrymuvannia avtomobilnykh dorih (Guidelines for winter road maintenance). Kyiv, 2022. 82 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
3. DSTU 8853:2019 Materialy protyozheledni dlia avtomobilnykh dorih. Tekhnichni umovy (Anti-icing materials for highways. Technical conditions). Kyiv, 2019. 13 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
4. DSTU 3583:2015 Sil kukhonna. Zahalni tekhnichni umovy. Z popravkoiu (Table salt. General technical conditions. Z popravkoiu). Kyiv, 2022. 16 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
5. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo (Motor roads. Part I. Design. Part II. Construction). Kyiv, 2015. 104 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
6. P H.1-218-118:2005 Yedyni pravyla zymovoho utrymannia avtomobilnykh dorih. Kyiv, 2005. 105 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
7. P H.1-218-113:2009 Tekhnichni pravyla remontiv ta utrymannia avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia Ukrainy (Technical rules for repairs and maintenance of highways of general use in Ukraine). Kyiv, 2009. 253 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

Nataliia Kharytonova, <https://orcid.org/0000-0001-5732-3407>

Olesia Yaroshchuk, <https://orcid.org/0000-0003-1550-0131>

State Enterprise "National Institute for Development Infrastructure" (SE "NIDI"), Kyiv, Ukraine

ALTERNATIVE DE-ICING MATERIALS FOR PREVENTION AND ELIMINATION OF WINTER SLIPPERINESS CONDITIONS ON ROADS

Abstract

Introduction. The winter season is the most challenging for road maintenance and traffic management. Key factors affecting vehicle movement during winter include the presence of ice and snow-ice buildup, leading to a sharp decline in tyre grip, increased rolling resistance, and deteriorating surface evenness.

Problem Statement. Addressing the prevention and elimination of ice on roads is a priority in all countries that experience negative temperatures annually. In our country, the salt from the "Artemsil" plant was traditionally used to combat winter slipperiness. However, the plant was destroyed at the beginning of the war, necessitating the search for alternative de-icing materials for roads and streets.

Objective. To study the possibility of using alternative de-icing materials (industrial waste, local materials, etc.) for combating winter slipperiness on roads during the martial law period.

Materials and Methods. Information-analytical methods and laboratory testing according to current standards for de-icing materials.

Results. Laboratory tests were conducted on 14 alternative de-icing materials, which have the potential to prevent and eliminate winter slipperiness on roads and streets. Only 3 samples met national standards during the laboratory testing process.

Conclusions. Laboratory research is only the first step in identifying the properties of alternative de-icing materials. Future steps will involve determining the economic efficiency of using these materials, taking into account regional and techno-economic criteria.

Keywords: road, winter maintenance, de-icing materials, technical salt.