

УДК 625.7/8

**ПРОФІЛАКТИЧНА ОБРОБКА ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ
ХІМІЧНИМИ ПРОТИОЖЕЛЕДНИМИ МАТЕРІАЛАМИ ДЛЯ
БОРЬБИ ІЗ ЗИМОВОЮ СЛИЗЬКІСТЮ**

**PREVENTIVE TREATMENT OF ROAD SURFACES WITH
CHEMICAL ANTI-ICE MATERIALS TO COMBAT WINTER
SLIPPERY**

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

**Siedov A.V., Ph.D., Associate Professor, Fomenko O.O., assistant
(Kharkiv National Automobile and Road University)**

У статті узагальнений аналіз міжнародного досвіду усунення і запобігання утворення зимової слизькості за даними міжнародних конференцій під егідою PIARC. Серед різних методів боротьби із зимовою слизькістю найбільше розповсюдження отримав хімічний метод із застосуванням протижеледних матеріалів, з використанням хлористих солей. В даний час особлива увага приділяється профілактичній обробці поверхні покриття дорожнього одягу протижеледними матеріалами, оскільки при утворенні ожеледиці різко зменшується коефіцієнт зчеплення колеса з дорожнім покриттям і підвищується кількість ДТП. Найбільш цікавий досвід країн Північної Європи, Канади і США, який поєднує в собі застосування сучасних засобів снігоприбирання і ефективних протижеледних реагентів, що забезпечують підтримку в належному стані дорожньої мережі цих країн і зниження негативної дії реагентів на оточуюче середовище. Перехід на профілактичну обробку дозволяє на 20 % знизити сумарну витрату хімічних протижеледних реагентів.

The article summarizes the analysis of the international experience of eliminating and preventing the formation of winter slippage according to the data from international conferences under the auspices of PIARC. Among the various methods of combating winter slippage, the chemical method with the use of anti-icing materials and the use of chloride salts has become the most widespread. The specificity of the anti-icing process is that both liquid and solid reagents can be used to combat icing. Analysis of international experience shows that there is almost no alternative if considered on a scale for each country separately and for all countries as a whole, the use of sodium chloride to eliminate winter slippage. At present, special attention is paid to the preventive treatment of the surface of road clothing with anti-icing materials, because when ice forms, the coefficient of adhesion of the wheel to the road surface sharply decreases and the number of road accidents increases. The most interesting experience of the countries of Northern Europe, Canada, and the USA, which combines the use of modern snow removal tools and effective anti-icing reagents, which ensure maintenance of the road network of these countries in good

condition and reduce the negative impact of reagents on the environment. The preventive method of combating ice consists of applying anti-icing materials to the road surface before the formation of ice, to form a boundary layer of reagent solutions between the coating and the ice layer. Solutions of chlorides and other salts included in the composition of the reagent are distributed in the form of films along the boundaries of ice crystals. This film breaks intercrystalline connections and under the action of external loads serves as a kind of lubricant, i.e. promotes the mutual movement of crystals. Thanks to this, the strength of ice with chloride solutions decreases as its saturation increases. Switching to preventive treatment allows to reduce the total consumption of chemical anti-icing reagents by 20%.

Ключові слова: хлористі протижеледні матеріали, профілактична обробка, щільність снігу, концентрація розчинів хлоридів.

Keywords: chloride anti-icing materials, preventive treatment, snow density, concentration of chloride solutions.

Експлуатаційний стан автомобільної дороги в зимовий період багато в чому залежить від характеру утворення сніжно-крижаних відкладень на дорозі (рис. 1).



Рисунок 1 – Сніжно-крижані відкладення на дорожньому покритті

За фізичним станом усі відкладення снігу та льоду на покритті можна розділити на чотири види: склоподібний лід, зернистий лід, сніжно-крижаний накат (твердий сніг) і пухкий сніг.

На утворення того або іншого виду сніжно-крижаних відкладень впливає температура і вологість повітря, опади і транспорт, що рухається по дорозі. Залежно від виду відкладень коефіцієнт зчеплення колеса з покриттям коливається від 0,08 до 0,25 [1].

Для боротьби з зимовою слизькістю застосовують механічний, тепловий, фізико-хімічний і хімічний методи (рис. 2). Найбільш розповсюдженим є хімічний метод, при якому розподіляють чисті протижеледні матеріали (ПОМ), які мають властивості розтоплювати лід.

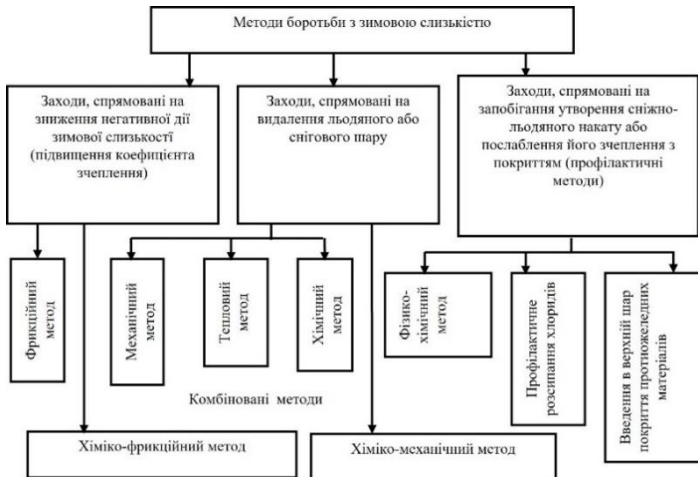


Рисунок 2 – Методи боротьби із зимовою слизькістю

Вимоги до рівня зимового утримання доріг та часу ліквідації слизькості, витрат протиожеледних матеріалів (ПОМ) і їх складу відрізняються між країнами та континентами [1-4].

Специфіка процесу проведення протиожеледної обробки полягає в тому, що для боротьби з ожеледицею можуть використовуватися як рідкі, так і тверді реагенти. Розподіл реагентів здійснюється відповідно до строго встановленої норми. Застосовувати хімічні протиожеледні матеріали можна з перших снігопадів і до танення снігового покриву.

Передові зарубіжні країни мають значний досвід протиожеледної обробки дорожніх покриттів. Найбільш цікавий досвід країн Північної Європи, Канади і США, який поєднує в собі застосування сучасних засобів снігоприбирання і ефективних протиожеледних реагентів, що забезпечують підтримку в належному стані дорожньої мережі цих країн і зниження негативної дії реагентів на оточуюче середовище [3-9].

У даний час особлива увага приділяється технології превентивної обробки дорожніх покриттів протиожеледними матеріалами. Аналіз міжнародного досвіду свідчить, що технологію попереднього розподілення ПОМ використовують до 85% країн. При чому третина із них використовує змочену сіль, інша третина – розчин NaCl (розсіл) і ще одна третина – обидва способи. Кількість ПОМ, яку використовують для профілактики, коливається залежно від ситуації в межах від 4 г/м² до 40 г/м². В Україні – 20-40 г/м² [10]. У половині випадків профілактичне розподілення використовують лише на основних дорогах, інші 50 % країн використовують його на всій мережі автомобільних доріг.

Наприклад, протиожеледні реагенти у Фінляндії і Швеції використовуються для запобігання утворення льоду, для полегшення процесу очищення від льоду і для уповільнення процесу промерзання снігу при низьких температурах повітря. Найбільш небезпечними вважаються випадки появи першого так званого «чорного льоду» (рис. 3) при зниженні температури. Методи попередньої обробки покриття розчином солі найбільш ефективні для запобігання таких небезпечних ситуацій при очікуваній підвищеній слизькості. Вважається, що хімічний спосіб боротьби із зимовою слизькістю найбільш ефективний, коли температура на поверхні покриття вище мінус 7 °С.



Рисунок 3 – Склоподібний лід

Досвід застосування реагентів у Північній Америці показав, що попередня обробка поверхні покриття дороги перед утворенням ожеледі або обробка поверхні покриття під час появи льоду чи випадання снігу суттєво запобігає виникненню плівки льоду або сніжного накату.

У США до 1993 року ця перспективна технологія не застосовувалася через неточні прогнози погоди. Нові технологічні розробки в області моніторингу за станом доріг і навколишнім середовищем дозволяють в даний час ефективно використовувати нову технологію профілактичної обробки дорожнього покриття. Досвід США показує, що в деяких випадках для превентивної обробки достатньо нанесення на покриття всього 4 г/м² солі, що складає 10–20% від норми витрат реагентів за традиційною технологією (23–38 г/м²).

Це пов'язано з механізмом формування сніжно-льодяних відкладень на поверхні покриття. Сніг потрапляє на дорожнє покриття у вигляді окремих сніжинок і в початковий момент представляє масу, що складається з найтонших кристалів льоду.

Стикаючись із дорожнім покриттям, а також під впливом інших факторів сніжинки деформуються і в першу чергу – широко розвинена периферійна поверхня сніжинок. Цей процес прискорюється при впливі на сніг коліс транспортних засобів.

Щільність снігу (табл. 1) збільшується тим швидше, чим вища його температура [6-8].

Таблиця 1 – Щільність снігу залежно від його стану

Стан снігу	Можливі зміни щільності, г/см ³
щойно випав:	
чистий незайманий	0,1-0,15
обвалований або окупений	0,2-0,3
обвалований лежаний	0,34-0,42
цілинний:	
лежаний (протягом 30 діб.)	0,2-0,3
лежаний (більше 30 діб.)	0,34-0,42

При температурі від 0 °С до мінус 2 °С щільність снігу вже на протязі 1-1,5 годин досягає своєї граничної величини. З пониженням температури снігу процес ущільнення проходить повільніше, особливо – при температурі нижче мінус 10 °С.

При впливі на сніг коліс транспортних засобів, пішоходів і робочих органів снігоочисних машин щільність снігу змінюється.

Так, після згрібання і змітання снігу та укладання в вали його щільність збільшується, як правило, більш ніж в 2 рази.

Технологічні прийоми і технічні засоби видалення ущільненого снігу і особливо льоду складніші, ніж снігу, який щойно випав, тому необхідна своєчасна очистка дорожніх покриттів від свіжого снігу, що забезпечує в найкоротші терміни належні умови для руху транспорту.

Сила примерзання льоду до поверхні будь-якого дорожнього покриття порівняна, як правило, з міцністю самого дорожнього покриття. Для зниження сил зчеплення з поверхнею дороги експлуатаційні дорожні служби використовують два методи застосування протижеледних реагентів: профілактичний і аварійний.

Профілактичний метод боротьби з льодом полягає у нанесенні протижеледних матеріалів на дорожнє покриття до утворення ожеледиці, для утворення прикордонного шару з розчинів реагентів між покриттям і шаром льоду (рис. 4). Як відомо, якщо концентрація розчинів хлоридів низька, можливе замерзання його з виділенням чистого льоду, що супроводжується підвищенням концентрації хлоридів у розчині, який залишився. При подальшому зниженні температури відносно нуля концентрація розчину хімічного реагенту поступово підвищується. Розчини

хлоридів та інших солей, що входять до складу реагенту, розподіляються у вигляді плівок по кордонах кристалів льоду.

Дана плівка порушує міжкристалічні зв'язки і при дії зовнішніх навантажень служить свого роду мастилом, тобто сприяє взаємному переміщенню кристалів.

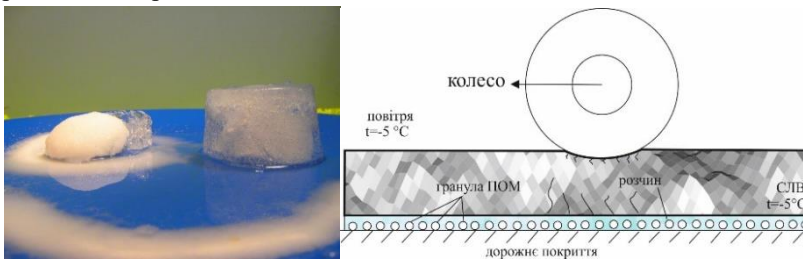


Рисунок 4 – Утворення прикордонного шару з розчинів протиожеледних матеріалів

Завдяки цьому міцність льоду з розчинами хлоридів знижується по мірі збільшення його насиченості. Ці плівки можуть переміщатися в прикордонному шарі льоду, тим самим послаблюючи сили змерзання льоду і покриття. Зниження температури повітря викликає зменшення обсягу вільного розчину, розосередженого в обсязі льоду, і, відповідно, підвищення концентрації розчину. При цьому скорочується загальний обсяг розчину реагентів, що утворюється на поверхні кристалів льоду, це призводить до підвищення міцності льоду і сил змерзання з покриттям. Науково доведено, що найбільш ефективно на коефіцієнт зчеплення льоду з дорожнім покриттям впливають реагенти, у яких кристали не перевищують 4 мм.

Профілактична обробка сприяє зміні внутрішнього тертя і зчеплення снігу і він зберігає властивості сипучості, загальмовує процес ущільнення і прикочування (рис. 5).

У таких умовах можна забезпечувати якісне очищення дорожніх покриттів плужно-щітковими снігоочисниками при інтенсивному русі транспортних засобів і дотриманні певної технології робіт.

На відміну від профілактичної обробки, аварійний метод застосовують, коли після збирання снігу, що випав на дорожньому покритті, залишаються місця, покриті шаром примерзлого льоду. При цьому методи по поверхні льоду розподіляються великі кристали протиожеледних реагентів, які в шарі льоду утворюють канали, заповнені розчинним реагентом.

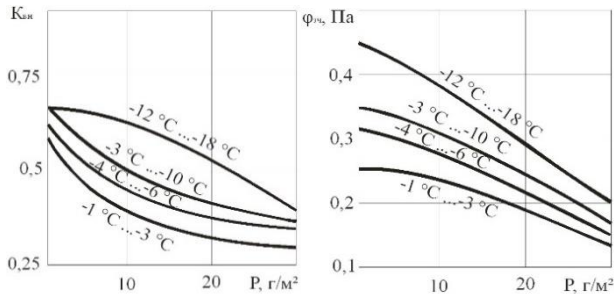


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнтів внутрішнього тертя ($K_{вн}$) і зчеплення снігу з дорожнім покриттям ($\phi_{зч}$) від кількості реагентів (P), тобто щільності посипання, при температурі зовнішнього повітря від мінус 1 °C до мінус 18 °C

Встановлено, що утворення наскрізних каналів у товщі льоду можливе тільки при певному співвідношенні величини кристалів реагенту, температури повітря і товщини шару льоду. Так, наприклад, при величині зерна реагенту до 3 мм і за кліматичної температурі мінус 15 °C глибина проникнення реагентів складає всього 10 мм (рис. 6).

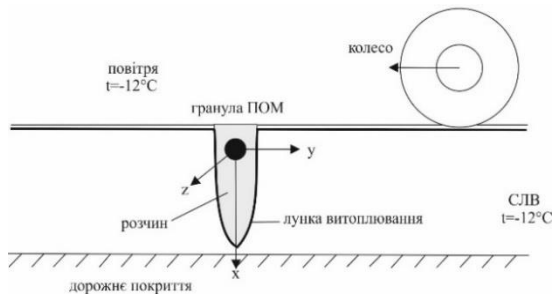


Рисунок 6 – Схема процесу взаємодії гранули ПОМ зі СЛВ

Глибина проникнення до 30 мм при тій же температурі повітря може бути отримана при використанні кристалів протижелезних реагентів розміром до 10 мм. Треба знати, що найбільша глибина каналів досягається у період перших двох годин попадання протижелезного реагенту на лід. На глибину каналів основний вплив має температура повітря. Зниження температури викликає зменшення глибини каналів.

Швидкість утворення розчинів хлоридів залежить від складу застосованих реагентів. Наприклад, при використанні хлористого кальцію,

особливо на початку взаємодії з льодом, глибина каналів зростає в 2 рази швидше, ніж при використанні хлористого натрію.

Сили, що з'єднують лід із дорожнім покриттям, можуть бути зруйновані тільки за умови, що канал, заповнений розчином, досягне верхнього шару дорожнього покриття, а сам розчин, що знаходиться в каналі, буде мати достатню концентрацію при даній температурі повітря. У цьому випадку розчин протижеледних матеріалів буде вступати в реакцію з нижнім шаром кірки льоду, і руйнувати зв'язки з дорожнім покриттям навколо утвореного каналу [4].

Дослідженнями встановлено, що присутність в льоді незначної кількості реагентів призводить до зниження міцності льоду і, що найбільш суттєво, – до різкого зменшення сил його змерзання з асфальто- або цементобетонним покриттям (рис. 7, а). А за наявності в льоді всього 1,5-2 % реагентів гарантоване відділення його від поверхні покриття. Встановлено також, що зниження сил змерзання може бути досягнуто при обробці шару льоду товщиною до 20 мм кристалами реагентів розміром $7 < K < 11$ мм. У цьому випадку кристали утворюють в шарі льоду канали, які заповнені розчином реагентів, і розчин на значній площі руйнує прикордонний шар льоду (рис. 7, б).

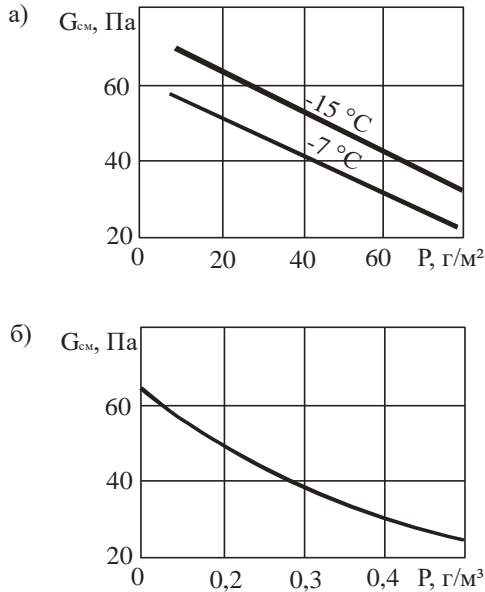


Рисунок 7 – Залежність змерзання льоду з дорожнім покриттям від кількості реагентів (P)

На практиці норми витрат твердих хлористих протиожеледних матеріалів для запобігання утворенню ожеледі в різних країнах витримують у межах 10-20 г/м² (табл. 2) [9].

Ці норми витрат ефективні до температури повітря не нижче мінус 10 °С. У рідкісних випадках для профілактичних обробок покриття при більш низьких температурах норми витрат повинні бути збільшені.

Для попередження утворення ожеледі не слід застосовувати хлористий магній, так як він збільшує слизькість сухого покриття.

Таблиця 2 – Норми витрат протиожеледних матеріалів

Країна	Матеріал	Витрата сухої речовини, г/м ²	Концентрація розсолу, %
Англія	NaCl	4-8	20
Скандинавські країни	NaCl	8	33
Франція	NaCl	14	28
Польща	CaCl ₂	9	-
Бельгія	CaCl ₂	6-20	CaCl ₂ , NaCl, MgCl ₂
Італія	CaCl ₂	5-10	-

Для запобігання утворенню тонкої крижаної плівки найкращим є метод застосування водних розчинів солі. Соляні розчини готуються з NaCl і CaCl₂. При цьому концентрації соляних розчинів складають: NaCl – в межах 23-25 %, CaCl₂ – в межах 30-32 % [5, 10].

При цьому треба мати на увазі, що товстий шар льоду або снігу не може повністю розтанути під дією соляного розчину, оскільки вода, що утворюється, знижує концентрацію соляного розчину. Тому застосування соляних розчинів буде ефективним після очищення поверхні покриття від снігу.

Розрахунками, підтвердженими експлуатаційною практикою, встановлено, що при виникненні ожеледної плівки нанесення на дорожнє покриття 20-30 г/м² реагентів призводить до утворення розчину такої концентрації, який не замерзає при негативних температурах, близьких до нуля, і не дає можливості утворюватися ожеледній плівці.

Наведені дані досліджень дозволяють зробити наступні висновки:

- зміна фізичних властивостей льоду на пряму залежить від хімічних особливостей насичених розчинів реагентів при їх замерзанні;
- нанесення розчинів протиожеледних реагентів з низькими температурами замерзання на покриття зменшує сили зчеплення і дозволяє майже повністю видалити укочений сніг механічним або ручним способом;
- зменшення сили змерзання кірки льоду висотою до 20 мм з дорогою можливе завдяки утворенню під льодом каналів, заповнених

концентрованими соляними розчинами. Лід слід видаляти через 2-3 години після внесення протижелезних матеріалів.

References

1. International Development of Application Methods of De-icing Chemicals - State of the Art and Best Practice. PIARC, 2019. 40 years.
2. Snow and Ice Databook - SIDB 2018EN. PIARC, 2019. 268 p. [in English].
3. Snow and Ice DataBook - SIDB 2014EN. PIARC, 2015. 223 p. [in English].
4. Didier Giloppé. Conclusions Drawn From the XVth International Winter Road Congress. Routes/Roads. 2018. N 377. P. 29–38. [in English].
5. Yurchenko V.O., Vasylenko K.O., Zabylina G.E. The influence of the highway on the environmental safety of urban areas. Life Safety. 2015. pp. 39–41.
6. Novizki L. etc. Zimowe utrzymanie drog. – Warszawa, 1981. – 102 S.
7. Runway Deicing: Simultaneous application of Liquid and Solid agents. - Airport Gorum, 1981, 11, N 2.
8. Fronc M.V. 0 problematike posypu ciest. - Strong. obzor, 1980, 4-1.
9. Shyshkov A.F., Zaporozhets V.V., Bilyakovich O.N. Theory and practice of winter maintenance of airfields: training. manual Kyiv: Dnipro, 2006. 196 p.
10. П Г.1-218-118:2009 Uniform rules for winter maintenance of highways. [Effective from 2009-11-15]. Kind. officer Kyiv-Kharkiv: Ukrdortehnologiya, 2009. 112 p.

Література

1. International Development of Application Methods of De-icing Chemicals - State of the Art and Best Practice. PIARC, 2019. 40 p.
2. Snow and Ice Databook - SIDB 2018EN. PIARC, 2019. 268 p. [in English].
3. Snow and Ice DataBook - SIDB 2014EN. PIARC, 2015. 223 p. [in English].
4. Didier Giloppé. Conclusions Drawn From the XVth International Winter Road Congress. Routes/Roads. 2018. N 377. P. 29–38. [in English].
5. Юрченко В. О., Василенко К. О., Забеліна Г. Є. Вплив автомобільної дороги на екологічну безпеку міських територій. Безпека життєдіяльності. 2015. С. 39–41.
6. Novizki L. etc. Zimowe utrzymanie drog. – Warszawa, 1981. – 102 S.
7. Runway Deicing: Simultaneous application of Liquid and Solid agents. - Airport Gorum, 1981, 11, N 2.
8. Fronc M.V. 0 problematike posypu ciest. - Siln. obzor, 1980, 4-1.
9. Шишков А. Ф., Запорожець В. В., Білякович О. Н. Теорія й практика зимового утримування аеродромів : навч. посіб. Київ : Дніпро, 2006. 196 с.
10. П Г.1-218-118:2009 Єдині правила зимового утримання автомобільних доріг. [Чинний від 2009-11-15]. Вид. офіц. Київ-Харків : Укрдортехнологія, 2009. 112 с.