

ЛИТІ ЕМУЛЬСІЙНО-МІНЕРАЛЬНІ СУМІШІ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЛЬФАТУ АЛЮМІНІЮ

Сідун Ю. В.¹, Соболев Х. С.¹, Бідось В. М.¹, Стаднік В. Є.¹, Станчак С. А.²

¹Національний університет «Львівська політехніка»

²Військовий коледж сержантського складу Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

Анотація. У статті подано результати випробування щодо використання водного розчину сульфату алюмінію як регулятора розпаду для литих емульсійно-мінеральних сумішей та порівняно з розчином емульгатора амінного типу. Досліджено вплив розчину сульфату алюмінію на критерій розпаду та когезійної міцності литої суміші на основі відсівів із різними показниками метилену синього, визначеного за кількома методами випробувань. Обґрунтовано закономірності отримання високих показників метилену синього відсівів залежно від їх мінералогічних складів.

Ключові слова: литі емульсійно-мінеральні суміші, регулятор розпаду, емульгатор, сульфат алюмінію, когезійна міцність.

Вступ

Литі емульсійно-мінеральні суміші (ЛЕМС) призначені для влаштування шарів зносу дорожніх покриттів. Ця технологія дає змогу продовжити термін служби наявних покриттів за допомогою герметизації волосяних тріщин і невеликих вибоїв, суттєвого підвищення шорсткості та зчіпних властивостей, рівності поверхні, попередження тріщиноутворення, захисту від водонасичення. Загалом ЛЕМС відновлює зношений покритв та вберігає його від різних впливів.

Аналіз публікацій

ЛЕМС набуває все більшого поширення в Україні, проте одним із виявлених недоліків застосування цієї технології є недостатня швидкість формування суміші на низькокіслотних бітумах, отриманих з легкої нафти [1–4]. Це призводить до пізнього відкриття руху транспортних засобів по влаштованому шарі зносу й до підвищеного зносу шару. Також фактором, який впливає на приріст когезійної міцності в ЛЕМС, є вміст емульгатора в бітумній емульсії та наявність регулятора розпаду (присадки) у вигляді водного розчину спеціального емульгатора (поверхнево-активних речовин (ПАР) типу жирних поліамінів, амідоліамінів, імідазолінів і четвертинних амонієвих солей) у складі суміші. Емульгатор в емульсії перебуває в адсорбованому й так званому вільному стані. Відповідно за сталого вмісту бітуму та збільшення кількості емульгатора в емульсії зростає відсоток вільного емульгатора. Саме він пер-

шим адсорбується на кам'яному матеріалі, зменшуючи його поверхневий заряд, що веде до сповільнення розпаду емульсії. За таким самим принципом працює і регулятор розпаду, але він ефективніший, ніж вільний емульгатор в емульсії, оскільки додається безпосередньо в суміш під час виготовлення. На стадії проектування ЛЕМС, як правило, вміст емульгатора є близьким до 1 % мас. бітумної емульсії, а кількість регулятора розпаду залежить від «реактивності» кам'яного матеріалу за показником метилен синій, складу бітумної емульсії та її кислотного показника рН, кількості води та портландцементу в суміші, температури й вологості навколишнього середовища [5–11]. Відповідно, вміст емульгатора в бітумній емульсії для ЛЕМС є більш-менш сталим, а вміст регулятора розпаду в ЛЕМС залежить від багатьох факторів. Функція регулятора розпаду полягає у відтермінуванні часу до розпаду суміші, адже після його настання емульсійна суміш перестає бути литою, її вже неможливо укласти й отримати запланований шар зносу. У лабораторних умовах вміст регулятора розпаду призначають залежно від складу ЛЕМС. А на практиці його вміст здебільшого корегують залежно від температури, за якої виготовляють суміш.

Автори студій [12–14] зазначають, що регулятором розпаду можуть бути використані сухі добавки у вигляді кристалів сульфату алюмінію, сульфату амонію, хлориду алюмінію, натрію тетраборату та інші неорганічні солі. На практиці, як правило, застосовують

водні розчини цих добавок. Окрім регулятора розпаду, сам розпад суміші можна корегувати мінеральним наповнювачем. В Україні як наповнювач використовують портландцемент, хоча можна застосовувати й гашене вапно, вапняк, доломіт, базальт, золу [12, 15].

Необхідно зауважити, що нині в Україні для регулювання розпаду ЛЕМС використовують присадку у вигляді 10 % розчину легкорозчинного у водному середовищі емульгатора (який призначений для виготовлення повільнорозпадних емульсій) та портландцемент. Проте застосування такої присадки негативно впливає на зростання когезійної міцності суміші. Тому варто шукати альтернативну присадку, яка б меншою мірою впливала на швидкість формування шару зносу. Серед оглянутих альтернативних присадок у світовій практиці найбільш вживаним є сульфат алюмінію [5–13].

Мета й постановка завдання

Мета роботи – спроектувати та дослідити різний склад ЛЕМС із вкрапленням сульфату алюмінію як регулятора розпаду суміші.

Для досягнення поставленої мети необхідно розробити різний склад ЛЕМС із подальшим їх виготовленням і випробуванням за критеріями розпаду та швидкістю формування суміші.

Виклад основного матеріалу

Сульфат алюмінію (алюміній сірчанокислий) – неорганічна речовина, що є сіллю білого кольору із сірим, рожевим або блакитним відтінком; за звичайних умов існує у вигляді безбарвних кристалів кристалогідрату $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. У разі нагрівання спочатку втрачає воду, а надалі розкладається на Al_2O_3 та SO_3 . Добре розчинний у воді, гірше – у спиртах, гігроскопічний $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ широко застосовується в різних галузях народного господарства.

Щодо будівництва, то його використовують як кольматуючу добавку для бетонних сумішей та розчинів у вигляді технічного $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ [16-17]. Наразі в Україні є чинним стандарт ДСТУ EN 878:2022 [19] щодо $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, але він поширюється на сульфат алюмінію-коагулянт, який застосовують для очищення води, призначеної для споживання людиною.

Для досліджень було обрано доступний на ринку України імпортований з Туреччини $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ з показниками якості, наведеними в табл. 1.

Таблиця 1 – Показники якості використаного $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

№	Показник	Значення
1	Зовнішній вигляд	Білий кристалічний порошок
2	Масова частка оксиду алюмінію (Al_2O_3), %	17,12
3	Масова частка нерозчинного у воді залишку, %	0,09
4	Масова частка заліза в перерахунку на оксид заліза (III) (Fe_2O_3), %	0,003
5	pH (1 % розчину)	3,62
6	Грансклад, мм	0 - 1
7	Миш'як, мг/кг	0,2
8	Кадмій (Cd), мг/кг	0,1
9	Хром (Cr), мг/кг	0,8
10	Ртуть, мг/кг	0,3
11	Нікель (Ni), мг/кг	0,4
12	Свинець (Pb), мг/кг	1,6
13	Сурма (Sb), мг/кг	2,2
14	Селен (Se), мг/кг	2,2

Як традиційний регулятор розпаду використано ПАР типу жирних амінів (табл. 2).

Таблиця 2 – Показники якості використаної ПАР

№	Показник	Значення
1	Зовнішній вигляд	Рідина
2	Температура спалаху, °C	18
3	Температура застигання, °C	-20
4	Густина, г/см ³	0,9

Залежно від «реактивності» кам'яного матеріалу та температури, за якої влаштовують ЛЕМС, регулятор розпаду у вигляді ПАР готують різної концентрації, але найчастіше це 10 % водний розчин емульгатора для повільнорозпадних емульсій. За високої температури докільця (близько 30 °C) та/або високої реактивності кам'яного матеріалу можна використовувати розчини більшої концентрації. У праці [20] зазначено, що в Україні чимало кам'яних матеріалів із високою загальною поверхневою активністю. Тому для оперативного оцінювання реактивності кам'яного матеріалу впроваджують метод адсорбції метилена синього (МС, або МВ – від англ. *methylene blue*), що встановлює показник МС. Цей метод дає змогу виміряти здатність заповнювача до адсорбції МС та визначає загальну поверхневу активність мінералів, глинистих частинок і органічних домішок у ньому. Високі значення метилена синього і, відповідно, значна поверхнева активність викликають прискорену реакцію

заповнювача з бітумними емульсіями, що може спричинити передчасний розпад суміші і незадовільну зчеплюваність між компонентами ЛЕМС. Вітчизняний стандарт щодо ЛЕМС, СОУ 42.1-37641918-119:2014 [21] регламентує як метод випробувань, так і технічні вимоги щодо кам'яного матеріалу за показником МС. Крім того, в Україні чинний ДСТУ Б EN 933-9:2015 [22], що впорядковує метод визначення МС. Підхід до встановлення МС в цих двох методах випробувань здебільшого схожий, але в стандарті [22] аналітичною пробою є 30 г сухого кам'яного матеріалу фракції менше ніж 0,071 мм, а в ДСТУ [22] використовують не менше ніж 200 г фракції 0–2 мм для показника МВ та 30,0 г фракції 0–0,125 мм для показника МВ_F. Загальний вигляд випробування подано на рис. 1.



Рис. 1. Загальний вигляд визначення показника МС (МВ)

Для дослідження ефективності регуляторів розпаду $Al_2(SO_4)_3$ та ПАР типу жирних амінів було обрано гранітні відсіви із відносно високими показниками метилену синього (табл. 3).

Аналіз табл. 3 вказує на те, що за вітчизняним методом контролю та вимогами до нього (значення МС не перевищує 10 мл) [21] досліджені відсіви є високореактивними.

А з огляду на показники, взяті з джерела [22], відсів № 1 таким не є (значення МВ ≤ 2 г/кг та МВ_F ≤ 10 г/кг). Це можна пояснити різною фракцією та масою матеріалу для експериментів. Загалом дослідження виявило: що дрібніша фракція відсіву використовується, то показники метилену синього є вищими, адже саме в тонкодисперсних фракціях концентруються шкідливі домішки.

У чинному в Україні європейському стандарті ДСТУ EN 12273:2023 [24] щодо ЛЕМС відсутні вимоги до показника МС, але водночас рекомендовано визначати показник піщаного еквівалента за ДСТУ EN 933-8 [25], до якого також не висовуються граничні вимоги. Хоча в стандарті [25] МС і піщаний еквівалент є взаємозамінними методами, проте між ними немає чіткої кореляції [22]. Також для відсівів визначили вміст пилоподібних та глинистих частинок методом мокрого просіювання за ДСТУ 9179 [26]. Для відсіву № 1 він становив 8,6 % мас., а для № 2 – 4,5 % мас., що не відповідає результатам МС. Для розуміння закономірностей отриманих результатів щодо МС відсівів фракції менше ніж 0,071 мм визначили їх елементний, оксидний та мінералогічний склад. У відсіві № 2 виявили більшу кількість Mg у 2,4 раза, Fe – в 1,4 раза, Ca – у 1,5 та у 2,4 раза меншу кількість K за схожого значення Si та Al. Відповідно, виявлені елементи у складі відсівів утворюють оксиди MgO, Fe₂O₃, CaO, K₂O, Si₂O, Al₂O₃. Останні два оксиди мають тенденцію до зменшення активності поверхні та пористості, що ускладнює утримання молекул барвника МС.

Найбільше з виявлених оксидів підвищує адсорбцію МС Fe₂O₃, потім MgO. CaO та K₂O можуть змінювати структуру поверхні матеріалу, підвищуючи його здатність до адсорбції МС, до того ж CaO більш суттєво збільшує пористість із створенням активних поверхонь.

Таблиця 3 – Показники МС відсівів

Показник	Метод			
	СОУ [20], мл		ДСТУ Б EN [21], г/кг	
	МС	МВ _{0,071}	МВ _F	МВ
Фракція, мм	0–0,071		0–0,125	0–2
Маса проби, г	30		30	202
МС відсівів:				
№ 1	20	6,7	4,0	1,1
№ 2	35	11,6	6,7	2,2
Вимоги	5–10[20]	-	≤ 10 [22]	≤ 2 [22]

Таблиця 4 – Склад емульсій на основі бітуму 70/100 ORLEN

№ з/п	Вміст, % мас.	Емульгатор		НСІ до рівня рН у водній фазі
		Тип	Вміст, % мас.	
1	61	ПАР типу жирних амінів	1,1	2,5

Таблиця 5 – Різний склад ЛЕМС, підібрані за критерієм розпаду

Склад №	10 % водний розчин регулятора розпаду, г	Розпад, ПАР/ $Al_2(SO_4)_3$, с
Відсів № 1 (МС = 20 мл)		
1	-	0*
2	0,5	50/45
3	1,0	94/96
4	1,3	135/139
5	1,5	181/183
6	1,8	210/211
Відсів № 2 (МС = 35 мл)		
1	-	0*
2	0,5	30/28
3	1,0	61/64
4	1,5	111/109
5	1,8	145/143
6	2,0	182/183

*розпад ЛЕМС відбувався моментально.

Щодо мінералогічного складу, то у відсіві № 2 (МС 35 мл) наявний мінерал хлорит, а вміст мінералу біотит в 1,5 раза більший, ніж у складі відсіву № 1 (МС 20 мл). Хлорит і біотит належать до групи мінералів слюди й однозначно підвищують показник МС. Узагальнюючи, зауважимо, що хоча відсів № 2 має меншу кількість пилоподібних та глинистих частинок, ніж відсів № 1, але за різними методами випробувань демонструє більше значення МС. Це зумовлено вищою поверхневою активністю мінералів, які наявні в його складі. Окрім відсівів та регуляторів розпаду, до складу ЛЕМС додали бітумну емульсію (табл. 4), портландцемент (ПЦ ІІ/А-ІІІ-400) та воду.

Кожний склад ЛЕМС підібрано за критерієм розпаду на основі відсівів № 1 та № 2 (див. табл. 5). Вміст наступних компонентів ЛЕМС був сталим: відсів 100 г, ПЦ ІІ/А-ІІІ-400 – 1,0 г, вода – 10,0 г, емульсія – 14,0 г. Регулятор розпаду (10 % водний розчин) змінювали для досягнення розпаду не менше ніж 180 с (значення розпаду має бути не меншим за 180 с, але не значно більшим для забезпечення швидшого зростання когезійної міцності).

Випробування ЛЕМС проводили за температури 20 °С, готуючи традиційний 10 % водний розчин $Al_2(SO_4)_3$ та ПАР. Аналіз табл. 5 вказує на те, що вплив обох регуляторів розпаду схожий за використанням, як відсіву із значення МС 20 та 35 мл. Проте відсів № 2 вимагає більшу кількість присадки для

досягнення розпаду близького до 180 с, адже його реактивність вища.

Збільшення температури випробувань призводитиме до зменшення часу розпаду суміші [26] відповідно до необхідності збільшення кількості регулятора розпаду або збільшення активної речовини в ньому. ПАР, що використовуються як регулятори розпаду в ЛЕМС, як правило, легко розчинні у воді за різної концентрації. А щодо сульфату алюмінію, то його розчинність у воді залежить від температури процесу. За температури 20 °С та 30 °С концентрація насиченого розчину сульфату алюмінію у воді, відповідно, становить 41,18 % та 44,44 %. Тому для отримання однорідного водного розчину у виробничих умовах рекомендуємо готувати водний розчин $Al_2(SO_4)_3$ концентрації, що не перевищує 40 %. Різниця між 40 % та 50 % $Al_2(SO_4)_3$, виготовленими в лабораторії за температури води 30 °С, подано на рис. 2.

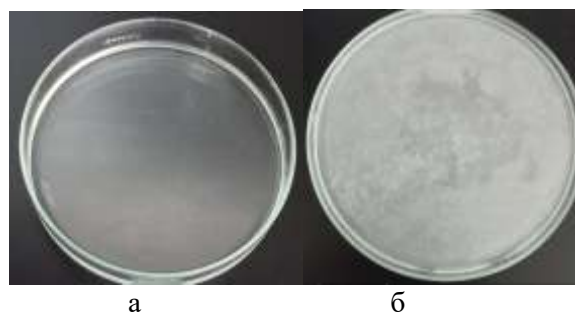


Рис. 2. Водний розчин $Al_2(SO_4)_3$:
а – 40 %; б – 50 %.

На рис. 2 видно, що за умови вмісту 50 % $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ у воді розчин є неоднорідним.

Швидкість формування ЛЕМС (табл. 6) визначено за характером руйнування відповідно до джерела [27].

- *Near Spin*: руйнування у вигляді однієї радіальної тріщини. Визначає етап самоущільнення суміші, можливе відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год та заборною розвороту.

- *Solid Spin*: відсутність руйнувань, але можливе зміщення або вилучення частинок в'язучого. Визначає етап затвердіння суміші, можливе відкриття руху без заборон.

Використання сульфату алюмінію як регулятора розпаду ЛЕМС дає як технічний, так і економічний ефект. Адже необхідний його вміст у ЛЕМС не перевищує вміст емульгатора, а вартість його є відчутно нижчою. Крім того, час набору необхідної когезійної міцності суміші з її застосуванням є меншим порівняно з розчином емульгатора.

Таблиця 6 – Когезійна міцність ЛЕМС

№ складу ЛЕМС	Регулятор розпаду	Час, год:хв	Характер руйнування
Відсів № 1, склад № 5	ПАР	4:00 (5:00)	Normal Spin (Solid Spin)
	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	3:00 (4:00)	
Відсів № 2, склад № 6	ПАР	4:30 (6:00)	
	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	3:30 (5:00)	

Висновки

Доведено можливість використання сульфату алюмінію як регулятора розпаду ЛЕМС за критерієм розпаду суміші та когезійної міцності на основі двох відсівів, що значно різняться за своїм мінералогічним складом, вмістом пилоподібних і глинистих частинок і, відповідно, за показником метилену синього.

Встановлено, що кількісний вплив 10 % водного розчину $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ на розпад суміші є схожим на аналогічний розчин ПАР, проте приріст когезійної міцності з використання сульфату алюмінію відбувається в середньому на годину швидше. Також окреслено гранично можливу концентрацію водного розчину $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ на рівні 40 %, яку можна застосовувати за високої температури матеріалів для ЛЕМС та навколишнього середовища.

Загалом використання $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, як доведено, є технічно доцільним, а з економічного боку його вартість є незначною, якщо порівнювати з традиційним регулятором розпаду ЛЕМС.

Робота виконана в межах реалізації проєкту «Інноваційні комплексні підходи для відновлення транспортних споруд» від Національного фонду досліджень України (грант № 2023.05/0026).

Література

1. Кішинський С. В., Гончаренко Ю. Ф., Гнатюк Е. М. Досвід та проблеми влаштування на дорогах України тонкошарових покриттів типу «Сларрі Сіл». *Дороги і мости*: збірник наукових праць. Київ: ДерждорНДІ, 2008. Вип. 10.
2. Климчук С. М. Вимоги до технології влаштування тонкошарових покриттів сумішей литих емульсійно-мінеральних та холодних асфальтобетонних. *Автошляховик України*. 2003. № 1. С. 31–33.
3. Сідун Ю. В., Гунька В. М., Поляк О. Є., Куліков Д. О. Кислотні числа – критерій придатності бітумів для шарів зносу із литих емульсійно-мінеральних сумішей дорожніх покриттів. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: збірник наукових праць*. 2024. Вип. 22. С. 206–214.
4. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-21](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-21) ДСТУ 2587:2010. Розмітка дорожня. Київ, 2011.
5. Юрій Сідун, Володимир Гунька, Олена Астахова. Кислотні числа нафтових бітумів для дорожніх емульсій. *XII Міжнародна науково-технічна конференція «Поступ в нафтогазо-переробній та нафтохімічній промисловості»*: матеріали конференції. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2024. С. 90–92.
6. Welcome to Solar Roadways. 2016. URL: <http://www.solarroadways.com> (дата звернення: 28.10.2018).
7. Sidun I., Sobol K., Novytskyi Y., Rybchynskyi S. Features of the mix time of bitumen emulsions with cement for slurry surfacing technology. *Theory and Building Practice*. 2023. Vol. 5, № 2. P. 12–17 DOI: <https://doi.org/10.23939/jtbp2023.02.012>
8. Oikonomou Nikolaos & Eskioglou P. (2007). Alternative fillers for use in slurry seal. *GlobalNEST International Journal*. 9.
9. Robati Masoud. (2011). Evaluation of a modification of current micro-surfacing mix design procedures.
10. Grilli Andrea & Graziani Andrea & Carter Alan & Sangiorgi Cesare & Specht Luciano & Callai Sergio. (2019). Slurry surfacing: a review of definitions, descriptions and current practices. *RILEM Technical Letters*. 4. 103–109. 10.21809/rilemtechlett.2019.91.

11. Takamura K. Portland cement-free microsurfacing, Proceedings of the 5th ISSA World Conference; 40th ISSA Annual Conference, March 2002, Berlin, Germany.
12. Deneuvillers C. Design of microsurfacing: methodology and applications. *European Roads Review (ERR)*, 2004, 13–19, http://library.brrc.be/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=52977.
13. Leroose Lane P. E., & Cheng D. (2019). Manual for Slurry Surfacing.
14. Hicks G. R., Seeds S. B., and Peshkin D. G. Selecting a Preventive Maintenance Treatment for Flexible Pavements. *Foundation for Pavement Preservation, Washington, D.C.*, June 14, 2000, 87 p.
15. Gransberg Douglas. (2010). Microsurfacing.
16. СОУ 42.1-37641918-119:2014 Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови.
17. Троян В. В. Т76 Додатки для бетонів і будівельних розчинів: навчальний посібник. Ніжин: Аспект-Поліграф, 2010. 228 с.
18. Присадки – модифікатори властивостей бетонних сумішей і бетону / Г. М. Бурак, О. М. Верста, В. В. Левінський та ін. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2012. Т. 13, № 1. С. 238–243.
19. ДСТУ EN 878:2022 Хімікати для очищення води, призначеної для споживання людиною. Алюмінію сульфат (EN 878:2016, IDT).
20. Кіщинський С. В., Гончаренко Ю. Ф., Гнатюк Е. М. Досвід та проблеми влаштування на дорогах України тонкошарових покриттів типу «Сларрі Сіл». *Дороги і мости: збірник наукових праць*. Київ: ДП «НІРІ», 2006. Вип. 6. С. 304–312.
21. СОУ 42.1-37641918-119:2014 Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови.
22. ДСТУ Б EN 933-9:2015 Методи випробувань геометричних характеристик заповнювачів. Ч. 9. Оцінювання тонких фракцій. Метод з використанням метиленового синього (EN 933-9:2009+A1:2013, IDT).
23. Nikolaides A & Manthos Evangelos & Sarafidou M. (2007). Sand equivalent and methylene blue value of aggregates for highway engineering. *Foundations of Civil and Environmental Engineering*. 10.
24. ДСТУ EN 12273:2023 Покрив з литої емульсійно-мінеральної суміші. Вимоги (EN 12273:2008, IDT).
25. ДСТУ EN 933-8:2021 Методи випробування з визначення геометричних характеристик заповнювачів. Ч. 8. Оцінювання тонких фракцій. Метод піщаного еквівалента (EN 933-8:2012 + A1:2015, IDT).
26. ДСТУ 9179:2022 Щебінь та гравій зі щільних гірських порід і металургійних шлаків для дорожнього будівництва. Методи фізико-механічних випробувань.
27. Солодкий С. Й., Сідун Ю. В., Волліс О. Є. Вплив температурного режиму на процес твердіння литої емульсійно-мінеральної суміші. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2017. Вип. 100. С. 85–90.
28. Technical Bulletin 139. Test Method to Determine Set and Cure Development of Slurry Surfacing Systems by Cohesion Tester. INTERNATIONAL SLURRY SURFACING ASSOCIATION. Revised 1/2025.

References

1. Kishchynskyi, S. V., Goncharenko, Y. F., Hnatiuk, E. M. Experience and problems of arrangement of thin-layer pavements of the “Slurry Seal” type on the roads of Ukraine. *Roads and Bridges: Collection of scientific papers*. Kyiv: Derzhdor NDI, 2008. Issue 10.
2. Klymchuk, S. M. Requirements for the technology of thin-layer coatings of mixtures of cast emulsion-mineral and cold asphalt concrete. *Avtoshlyakhovyk Ukrainy*. 2003. № 1. С. 31–33.
3. Sidun, Y. V., Gunka, V. M., Polyak, O. E., Kulikov, D. O. Acid numbers – a criterion for the suitability of bitumen for wear layers of cast emulsion-mineral mixtures of road pavements. *Modern technologies and methods of calculations in construction: a collection of scientific papers*. 2024. Issue 22. P. 206–214.
4. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-21](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-21) ДСТУ 2587:2010. Road markings. Kyiv, 2011.
5. Yuriy, Sidun, Volodymyr, Hunka, Olena, Astakhova. Acid numbers of naphthenic bitumen for road emulsions. *XII International Scientific and Technical Conference “Progress in Oil and Gas Processing and Petrochemical Industry”: conference proceedings*. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2024. P. 90–92.
6. Welcome to Solar Roadways. 2016. URL: <http://www.solarroadways.com> (accessed October 28, 2018).
7. Sidun, I., Sobol, K., Novytskyi, Y., Rybchynskyi, S. Features of the mix time of bitumen emulsions with cement for slurry surfacing technology. *Theory and Building Practice*. 2023. Vol. 5, No. 2. P. 12–17. DOI: <https://doi.org/10.23939/jtbp2023.02.012>
8. Oikonomou, Nikolaos & Eskioglou, P. (2007). Alternative fillers for use in slurry seal. *GlobalNEST International Journal*. 9.
9. Robati, Masoud (2011). Evaluation of a modification of current micro-surfacing mix design procedures.
10. Grilli, Andrea & Graziani, Andrea & Carter, Alan & Sangiorgi, Cesare & Specht, Luciano & Callai, Sergio. (2019). Slurry surfacing: a review of definitions, descriptions and current practices. *RILEM Technical Letters*. 4. 103–109. 10.21809/rilemtechlett.2019.91.
11. Takamura, K. Portland cement-free microsurfacing, Proceedings of the 5th ISSA World Conference; 40th ISSA Annual Conference, March 2002, Berlin, Germany.

12. Deneuvillers, C. Design of microsurfacings: methodology and applications. *European Roads Review (ERR)*, 2004, 13–19. http://library.brrc.be/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=52977.
13. Lerosé Lane, P. E., & Cheng, D. (2019). Manual for Slurry Surfacing.
14. Hicks, G. R., Seeds, S. B. and Peshkin D.G. Selecting a Preventive Maintenance Treatment for Flexible Pavements. *Foundation for Pavement Preservation*, Washington, D.C., June 14, 2000, 87 pp.
15. Gransberg, Douglas. (2010). Microsurfacing.
16. DSTU 42.1-37641918-119:2014 Cast emulsion-mineral mixtures. Technical conditions.
17. Troyan, V. V. T76 Additives for concrete and mortars: a textbook: Aspect-Polygraph Publishing House LLC, 2010. 228 p.
18. Burak, G. M., Versta, O. M., Levinsky, V. V., Struminska, O. V., Konup, V. I. Additives – modifiers of the properties of concrete mixtures and concrete. *Physics and Chemistry of Solids*. 2012. Vol. 13, No. 1, pp. 238–243.
19. DSTU EN 878:2022 Chemicals for the purification of water intended for human consumption. Aluminum sulfate (EN 878:2016, IDT).
20. Kishchynskiy, S. V. Experience and problems of the arrangement of thin-layer coatings of the “Slurry Seal” type on the roads of Ukraine: Collection of scientific papers. Kyiv: SE “NIRI”, 2006. Issue 6. 304–312.
21. DSTU 42.1-37641918-119:2014 Cast emulsion-mineral mixtures. Technical conditions.
22. DSTU B EN 933-9: 2015 Test methods for geometric characteristics of aggregates. Part 9: Evaluation of fine fractions. Method using methylene blue (EN 933-9:2009+A1:2013, IDT).
23. Nikolaidis, A & Manthos, Evangelos & Sarafidou, M. (2007). Sand equivalent and methylene blue value of aggregates for highway engineering. *Foundations of Civil and Environmental Engineering*. 10.
24. DSTU EN 12273:2023 Cast emulsion-salt-mineral mixture pavement. Requirements (EN 12273:2008, IDT).
25. DSTU EN 933-8:2021 Test methods for determination of geometric characteristics of aggregates. Part 8: Evaluation of fine fractions. Sand equivalent method (EN 933-8:2012 + A1:2015, IDT).
26. DSTU 9179:2022 Crushed stone and gravel from dense rocks and metallurgical slags for road construction. Methods of physical and mechanical tests.
27. Solodkyy, S., Sidun, Y., Wallis, O. Influence of temperature regime on the process of hardening of a cast emulsion-mineral mixture. *Automobile roads and road construction*. Issue 100. 2017. C. 85–90.
28. Technical Bulletin 139. Test Method to Determine Set and Cure Development of Slurry Surfacing Systems by Cohesion Tester. IN-

TERNATIONAL SLURRY SURFACING ASSOCIATION. Revised 1/2025/

Сідун Юрій Володимирович¹, к. т. н., доц.
кафедри автомобільних доріг та мостів, у-
rii.v.sidun@lpnu.ua,
тел. +380684638840;

Соболь Христина Степанівна¹, д. т. н., проф.,
завідувач кафедри автомобільних доріг та мостів,
khrystyna.s.sobol@lpnu.ua,
тел. +380976624976;

Бідось Володимир Миколайович¹, асист. кафе-
дри автомобільних доріг та мостів,
volodymyr.m.bidos@lpnu.ua,
тел. +380933217685;

Стаднік Віталій Євгенович¹, к. х. н., доц.
кафедри фізичної, аналітичної та загальної хімії,
vitalii.y.stadnik@lpnu.ua,
тел. +380977680284;

Станчак Світлана Анатоліївна², старший помі-
чник начальника навчального відділу,
svitlanastanchak@gmail.com,
тел. +380680132739.

¹Національний університет «Львівська політех-
ніка», вул. С. Бандери 32, 79013, Львів

²Військовий коледж сержантського складу
Національної академії сухопутних військ імені
гетьмана Петра Сагайдачного,
вул. Батуринська, 2, 79007, м. Львів

Slurry Surfacing using aluminum sulfate.

Abstract. Problem. Today, in Ukraine, a 10% solution of a water-soluble emulsifier (designed for the production of slow-setting emulsions) and portland cement is used to regulate the decomposition of slurry surfacing. However, the use of this additive negatively affects the cohesive strength of the mixture. Therefore, it is necessary to explore alternative additives that would have a lesser impact on the formation rate of the wear layer. Among the alternative additives reviewed in global practice, aluminum sulfate is the most commonly used. **Goal.** To design and study slurry surfacing compositions with the inclusion of aluminum sulfate as a decomposition regulator of the mixture. **Methodology.** Standardized Ukrainian, European and global research methods were used. **Results.** The article presents the results of using an aqueous aluminum sulfate solution as a decomposition regulator for slurry surfacing, compared to an amine-type emulsifier solution. The study examines the impact of the aluminum sulfate solution on the decomposition criterion and cohesive strength of the slurry surfacing, using screenings with varying methylene blue values determined by different test methods. Additionally, the research substantiates the relationship between high methylene blue values in screenings and their mineralogical composition. **Originality.** In Ukraine, aluminum sulfate is commonly used in construction as a coloring agent for concrete mixtures and mortars. However, its application as a decomposition regulator for slurry surfac-

ing remains largely unstudied and uncommon. **Practical value.** The use of aluminum sulfate as a decomposition regulator for slurry surfacing offers both technical and economic advantages. Its required dosage in slurry surfacing does not exceed that of the emulsifier, yet its cost is significantly lower. Moreover, it reduces the time needed to achieve the required cohesive strength of the mixture compared to the emulsifier solution.

Keywords: slurry surfacing, decomposition regulator, emulsifier, aluminum sulfate, cohesive strength.

Sidun Iurii¹, Ph.D., Assoc. Prof. of the Department of Highways and Bridges,
yurii.v.sidun@lpnu.ua,
tel. +380684638840;

Sobol Khrystyna¹, Professor, Doctor of Science,
Head of the Department of Highways and Bridges,
khrystyna.s.sobol@lpnu.ua,
tel. +380976624976;

Bidos Volodymyr¹, Assistant of the Department of Highways and Bridges,
volodymyr.m.bidos@lpnu.ua,
tel. +380933217685;

Stadnik Vitalii¹, Ph.D., Assoc. Prof. of the Department of Physical, Analytical and General Chemistry,
vitalii.y.stadnik@lpnu.ua,
tel. +380977680284;

Stanchak Svitlana², Senior Assistant to the Head of the Education Department,
svitlanastanchak@gmail.com,
tel. +380680132739

¹National University "Lviv Polytechnic", st. S. Bandera 32, Lviv

²Military College of Non-Commissioned Officers of the National Army Academy named after Hetman Petro Sahaidachnyi, 2 Baturynska St., 79007, Lviv, Ukraine
