

УДК 691.167

**Ю. В. Сідун\***

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3606-6899>

Кафедра автомобільних доріг та мостів

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12,,Львів, Україна, 79013

**В.М. Гунька**

д.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Кафедра хімічної технології переробки нафти та газу

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12,,Львів, Україна, 79013

**Д.О. Куліков**

аспірант, ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Кафедра автомобільних доріг та мостів

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12,,Львів, Україна, 79013

**Н.Р. Тецишин**

Кафедра автомобільних доріг та мостів

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12,,Львів, Україна, 79013

**М. М. Кальмук**

студент, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3582-2539>

Кафедра автомобільних доріг та мостів

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013

\*автор-кореспондент, e-mail: [yurii.v.sidun@lpnu.ua](mailto:yurii.v.sidun@lpnu.ua)

## **Вплив компаундування бітумних в'язучих на властивості литих емульсійно-мінеральних сумішей**

Цитувати як:

Сідун, Ю. В., Гунька, В.М., Куліков, Д.О., Тецишин, Н.Р., Кальмук, М. М. (2025). Вплив компаундування бітумних в'язучих на властивості литих емульсійно-мінеральних сумішей. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 24, 427-439. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-37](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-37)

© 2025, Ю. В. Сідун, В.М. Гунька, Д.О. Куліков, Н.Р. Тецишин, М. М. Кальмук

*Розглянута можливість використання компаундованих бітумних в'язучих для виготовлення катіонних бітумних емульсій, як компонента в литих емульсійно-мінеральних сумішах. Компаундування проводили шляхом змішування взятого за базовий бітум 70/100 компанії PKN Orlen виготовленого із легкої нафти з дистильційними бітумами марок 70/100 та 100/150 компанії Nupac (Швеція), виготовлених із важкої нафти. Також базовий бітум змішували із попередньо підготовленим кислим гудроном (с. Грибовичі, Львівська область). В роботі дослідили властивості кислого гудрону і основні фізико-механічні властивості компаундованих в'язучих і їх кислотні числа. Для виготовлення катіонних бітумних емульсій використали компаундовані та не компаундовані в'язучі для порівняння. Також у склад бітумної емульсії включали катіоактивний емульгатор (на основі амінів), соляну кислоту та питну воду. Емульсію виготовляли за допомогою лабораторної бітумно-емульсійної установки по типу колоїдного млина. Литі емульсійно-мінеральні суміші виготовляли на основі емульсійних в'язучих, питної*

води, портландцементу марки ПЦ ІІ/А-Ш-400 та регулятора розпаду у вигляді 10% мас. розчину емульгатора (що був використаний для виготовлення катіонних бітумних емульсій). Літні емульсійно-мінеральні суміші випробували за показниками розпаду суміші, втрати матеріалу під час вологого абразивного зносу та показниками когезійної міцності, а саме: початок набору когезійної міцності, експрес показник формування суміші та характеристик руйнування NS та SS (що дозволяють встановити відкриття руху транспорту з обмеженнями і без обмежень відповідно). В роботі доведено, що ефективними варіантами компаундування є співвідношення дистиляційного бітуму з важкої нафти до бітуму з легкої нафти у пропорції 50 % мас. на 50 % мас. та додавання до бітуму з легкої нафти 10-15 % мас. кислого гудрону.

*Ключові слова:* коумпандування, легка та важка нафти, кислий гудрон, бітумні емульсії, цемент, літні емульсійно-мінеральні суміші.

### **Вступ**

Бітумне в'язуче (бітумний в'язівник) – це клейкий матеріал, що містить бітум. Згідно з ДСТУ EN 12597:2018 [1] бітумне в'язуче може бути в наступних формах: немодифіковане, модифіковане, окиснене, компаундоване, розріджене, емульговане. Проте в ДСТУ EN 12597:2018 [1] так і в інших стандартах ДСТУ EN, щодо дорожніх бітумів не дають визначення, що таке компаундуванні бітуми. У вітчизняному ДСТУ 4044 [2] вказано, що сфера застосування стандарту поширюється на бітуми нафтові дорожні в'язкі, які виготовляють окисненням залишків атмосферно-вакуумної перегонки нафти та селективного розділення нафтопродуктів (асфальтів деасфальтизації, екстрактів селективної очистки), а також компаундуванням високов'язких окиснених та неокиснених продуктів або прямою перегонкою нафти. На практиці в Україні сьогодні масово застосовують бітуми із компанії PKN Orlen, що постачають із Польщі та Литви. Також на ринку присутній і вітчизняний бітум від ПАТ «Укртатнафта» (Кременчуцький НПЗ). Ці бітуми отримують окисненням нафтових залишків. Загалом відомо два основні процеси окиснення гудронів з метою одержання бітумів [3-6]: легке окиснення – ректифікації із продуванням повітря; жорстке окиснення – окиснення бітуму у реакторі. Відповідно виготовлення дорожніх бітумів на заводах PKN Orlen проводять за легкого окиснення, а на Кременчуцькому НПЗ за жорсткого. При чому в обох випадках сировинною нафтою є легка. Відомо, що оптимальними бітумами для литих емульсійно-мінеральних сумішей (ЛЕМС) є ті, що виготовлені із важкої нафти методом дистиляції (так звані дистиляційні (залишкові) бітуми). Основним виробником таких бітумів (їх ще називають нафтовими) у світі є шведська компанія Nynas.

**Аналіз літературних джерел та постановка проблеми.** В основному в Україні досліджували окиснені та залишкові бітуми окремо, в деяких працях із порівнянням їх властивостей [7-10]. А щодо компаундування цих

бітумів між собою досліджень є обмежена кількість [11]. Загалом частіше проводять компаундування бітумів із іншими нафтовими залишками (мазутом, гудроном) [12-15], але таке поєднання не застосовують безпосередньо для ЛЕМС. Перспективним з екологічної точки зору є утилізація так званого кислого гудрону [16-17], шляхом його компаундування із бітумами і подальше їх використання для виготовлення бітумних емульсій, зокрема і для ЛЕМС [18]. Кислі гудрони є рідкими, в'язкими або твердими продуктами темного, майже чорного забарвлення, характерною особливістю яких є запах діоксиду сірки. У їх складі присутні залишки непрореагованої сірчаної кислоти, продукти взаємодії кислоти з вуглеводнями, а також з кисневмісними, сірковмісними та азотовмісними компонентами нафти, що не розчиняються у нафтових фракціях. Крім того, кислі гудрони містять воду та захоплені нафтові продукти. Склад і фізико-хімічні властивості кислих гудронів суттєво змінюються залежно від типу технологічної установки навіть у межах одного підприємства. Ставкові кислі гудрони, як правило, являють собою суміш відходів різного походження, що зумовлює значну різноманітність їх складу. Навіть у межах одного накопичувального ставка властивості гудронів можуть відрізнятися залежно від глибини відбору проби. Такі відмінності зумовлені перебігом окисних процесів, реакцій полімеризації або більш глибокими структурними перетвореннями смолистих компонентів, що входять до складу кислого гудрону. Фізико-хімічні характеристики цих матеріалів визначаються видом нафтової сировини, що піддається очищенню та сульфатуванню, природою сульфуючого агента, а також умовами проведення процесу, зокрема температурою, співвідношенням реагентів, тривалістю контакту та інтенсивністю перемішування. На відміну від більшості нафтопродуктів, кислі гудрони є хімічно активною системою. Під час зберігання в них самочинно відбуваються окисно-відновні реакції, які супроводжуються ущільненням органічної фази, виділенням діоксиду сірки та зміною фізико-хімічних властивостей. У результаті таких процесів відбувається зростання молекулярної маси органічних компонентів, утворення нерозчинних твердих сполук, зменшення кількості вільної сірчаної кислоти та збільшення вмісту води. З часом кислі гудрони характеризуються підвищенням в'язкості та зниженням розчинності як у воді, так і в нафтових продуктах. Інтенсивність цих змін істотно зростає зі збільшенням температури. Зазначені особливості необхідно враховувати під час зберігання, транспортування та утилізації кислих гудронів. Кислі гудрони можуть витримувати тривале нагрівання за температури до 40 °С протягом кількох днів, короткочасне нагрівання до 60 °С та нетривалий вплив температур 70–80 °С. Подальше підвищення температури призводить до інтенсифікації окисно-відновних процесів, унаслідок чого органічна частина матеріалу за відносно короткий час переходить у твердий стан. [16-19].

**Метою** роботи було дослідження впливу командування різних типів в'язучих на властивості ЛЕМС.

### Матеріали та методи

Впродовж 35 років Львівський дослідний нафтомаслозавод виготовляв трансформаторні оливи методом сірчаноокислотної очистки нафтових дистилатів. В результаті очистки одержували побічний продукт – кислий гудрон, який зберігали у ставках накопичувачах біля села Грибовичі (Львівська область). В 1990 році таке виробництво припинилось, але до сьогодні повної утилізації речовини в ставках так і не відбулось. За роки зберігання у ставках утворилось три шари кислої речовини. Верхній – водний шар у вигляді кислої води; середній – кислий гудрон (КГ), який являє собою суміш сульфокислот і непрореагованого нафтового дистилату; нижній – шар дуже твердого кислого гудрону. Орієнтовна кількість КГ у ставках накопичувачах становить – 300 тис. тонн, кислої води – 10 тис. м<sup>3</sup>. Для компаундування з бітумом 70/100 PKN Orlen (Плоцьк, Польща) було обрано КГ із середнього шару. КГ перед компаундуванням з бітумом сушили за температури 105 °С до постійної маси, після чого фільтруванням за цієї ж температури відділяли механічні домішки. Внаслідок чого робоча вологість КГ склала 42,6 % мас., а вміст механічних домішок 6,7 % мас.

Таблиця 1 Властивості КГ після просушування і видалення механічних домішок

Показники	Значення	Метод випробувань за
Густина при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	968	ДСТУ EN ISO 3675:2012 [22]
Зольність, % мас.	0,12	ДСТУ EN ISO 6245:2012 [23]
Вміст води, % мас.	0,78	ДСТУ EN ISO 9029:2022[24]
Вміст сірки, % мас.	3,72	ДСТУ EN ISO 8754:2022 [25]
Температура застигання, °С	33	ДСТУ EN ISO 3016:2022 [26]
В'язкість по віскозиметру з отвором 5 мм за 100 °С, сСт	96,5	ДСТУ EN ISO 3104:2022 [27]
Теплота згоряння, кДж/кг	38545	ДСТУ ISO 1928:2006 [28]
Кислотне число, мг КОН/г	74,7	ASTM D 664-01 [22]

Властивості КГ подано у табл. 1, а три основні фізико-механічні властивості ( за ДСТУ 4044 [20]) компаундованих в'язучих у табл. 2 разом із кислотним числом визначеним за ASTM D 664-01[21].

Для коумпандування бітумів між собою також використали бітум 70/100 компанії PKN Orlen виготовлений із легкої нафти та дистиляційний бітум 70/100 компанії Nynas (Швеція) виготовлений із важкої нафти. Коумпандування бітумів між собою і КГ здійснювалося за допомогою механічної мішалки з частотою 400 об/хв протягом 1 год за температури 140°C.

Аналіз табл. 2 вказує, на те що коумпандування низько кислотного бітуму 70/100 PKN Orlen із високо кислотним Nynas марок 70/100, 100/150 та із КГ дає можливість збільшити кислотне число і змінити фізико-механічні властивості вихідного бітуму.

Таблиця 2 Основні властивості досліджуваних в'язучих

Органічні в'язучі, % мас.				Пенетрація за температури 25 °С, 0,1 мм	Температура розм'якшення, °С	Дуктильність за температури 25 °С, см	Кислотне число, мг КОН/г
70/100 PKN Orlen	Nynas 70/100	Nynas 100/150	КГ				
100	-	-	-	71	45,2	>150	0,2
-	100	-	-	75	45,0		3,6
-	-	100	-	107	43,0		3,6
50	50	-	-	73	45,0		2,1
50	-	50	-	118	42,0		2,2
100	-	-	5	80	43,6		1,9
100	-	-	10	103	42,0		3,9
100	-	-	15	115	41,0		5,5

### Результати та обговорення

Для виготовлення катіонних бітумних емульсій для ЛЕМС використали всі в'язучі наведені в табл. 2, катіонну поверхнево-активну речовину амінного типу, хлороводневу (соляну) кислоту та водопровідну воду. Емульсійне в'язуче готували на лабораторній бітумно-емульсійній установці(типу колоїдного млина).

Таблиця 3 Склади бітумних емульсій

Компоненти емульсій, % мас.			
бітум	емульгатор	НСІ у водній фазі до рН	вода
61,0	1,1	2,5	до 100

ЛЕМС проектували та випробовували [29-32]. Для проектування ЛЕМС взяли гранітну щебенево-піщану суміш (ЩПС), характеристики якої наведені в [33]. Іншими складниками ЛЕМС були: питна вода, портландцемент марки ПЦ Ш/А-Ш-400 за ДСТУ Б В.2.7-46:2010 [33] та регулятор розпаду ЛЕМС у вигляді 10% розчину емульгатора (ЕМ) [35]. Оптимальні склади за критерієм розпаду проектували за сталого значення ЩПС на рівні 100 частин, бітумної емульсії 14 частин, змінюючи значення в першу чергу регулятора розпаду, далі цементу і води для досягнення розпаду суміші не менше 120 с (табл. 4).. Темп наростання когезійної міцності ЛЕМС визначали за запропонованими показниками в [32]: розпад суміші (Р), початок набору когезійної міцності (ПКМ), експрес показник формування суміші (ФС) та характером руйнування. Розпад ЛЕМС визначає час, протягом якого суміш повинна бути виготовлена і укладена. За допомогою показника ПКМ дізнаємось коли саме починається формування і твердіння ЛЕМС. За відсутності несприятливих природних чи механічних чинників під час усього періоду формування шару з ЛЕМС, чим швидше настає ПКМ, тим швидше суміш затвердіє для відкриття руху транспортних засобів. Якщо це відбудеться повільно виготовленій ЛЕМС буде властива низька швидкість набору когезійної міцності. ФС дає можливість швидко оцінити чи підібраний склад за критерієм розпаду буде оптимальним за критерієм швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС. Визначення ФС полягає у виготовленні кулі із ЛЕМС після розпаду суміші та випробуванні її шляхом кидку з висоти 1,5 метра три рази на підлогу вимощеною керамічною плиткою та застеленою картоном. У разі руйнування кулі після проведення випробування або за наявності на її поверхні більше однієї тріщини запроєктований склад ЛЕМС вважається попередньо непридатним з точки зору перебігу процесу формування. Придатність та не придатність виготовленої ЛЕМС позначається знаками «+» та «-» відповідно. Також проводили випробування на втрати матеріалу під час вологого абразивного зносу (ВМВЗ), який дає змогу визначити ступінь адгезії бітумного в'язучого до поверхні кам'яного матеріалу та встановити мінімально необхідний вміст бітуму в суміші і загалом вказує на довговічність шару зносу з ЛЕМС. Експеримент проводили при 20 °С та 50 % відносної вологості повітря. Дослідження наведені в табл.4 вказують на те що, компаундування бітуму 70/100 PKN Orlen із 70/100 Nynas або 100/150 Nynas у співвідношеннях 50 на 50 % мас. призводить до поліпшення

показників когезійної міцності ЛЕМС та ВМВЗ у однаковій мірі. Таке компаундування є ефективнішим чим додавання в бітум 70/100 PKN Orlen від 5 до 15 % мас. КГ. Проте, використання КГ у кількості 10-15 % мас також є доцільним, оскільки вдається збільшити час відкриття руху транспорту у більше ніж вдвічі за таких дозувань. А використання КГ на рівні 15 % мас демонструє найменші ВМВЗ серед компаундованих в'язучих.

Таблиця 4 Склади та показники швидкості набору когезійної міцності та ВМВЗ ЛЕМС

Бітум		Вміст, % мас.			P, ( $\geq 120$ ), с	Когезійна міцність				ВМВЗ, г/м <sup>2</sup>
		ЕМ	Цемент	Вода		ПКМ, с	ФС, (+/-)	Характер руйнування. год:хв		
								NS	SS	
PKN Orlen 70/100		0,4	1,0	9,0	135	255	-	4:00	6:00	486
Nynas	70/100	1,0	1,0	10,0	125	140	+	0:20	0:30	41
	100/150	1,0	1,0	10,0	123	139		0:45	1:50	52
50 % мас. 70/100 PKN Orlen + 50 % мас. 70/100 Nynas		0,7	1,0	10	130	180		0:45	1:50	223
50 % мас 70/100 PKN Orlen + 50 % мас. 100/150 Nynas		0,7	1,0	10	127	172		0:45	1:50	251
70/100 PKN Orlen +% мас. КГ	5,0	-	0,5	10,0	121	181	-	3:00	5:00	301
	10,0	-	0,5	10,0	122	151	+	1:50	3:00	240
	15,0	-	0,7	10,0	123	155	+			103

### Висновки

Встановлено, що збільшення вмісту дистиляційного бітуму з важкої нафти та кислого гудрону у складі в'язучого позитивно впливає на показники ЛЕМС. Найвища когезійна міцність ЛЕМС спостерігалася у компаундованих в'язучих, де вміст дистиляційного бітуму був 50 % мас. від загального вмісту в'язучого, що свідчить про швидке формування структури покриття. Показник вологого абразивного зносу також знижувався зі збільшенням частки кислого гудрону та за використання в

компаунді дистиляційного бітуму, що підтверджує підвищення зносостійкості та стійкості до дії води таких ЛЕМС.

В результаті дослідження підтверджено ефективність застосування компаундування різних типів бітумів для підвищення характеристик ЛЕМС. Ефективними дослідженими варіантами компаундування є співвідношення дистиляційного бітуму з важкої нафти до бітуму з легкої нафти у пропорції 50 %мас. на 50 % мас. та додавання до бітуму з легкої нафти 10-15 % мас. кислого гудрону.

### **Конфлікти інтересів**

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

### **Фінансування**

Подяка. Дана робота виконана в рамках реалізації проекту «Інноваційні комплексні підходи для відновлення транспортних споруд» від Національного фонду досліджень України (грант № 2023.05/0026).

### **Доступність даних**

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

### **Використання штучного інтелекту**

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

### **References**

- 1.DSTU EN 12597:2018. Bitumen and bituminous binders. Vocabulary of terms (EN 12597:2014, IDT).
- 2.DSTU 4044:2019. Road petroleum bitumens. Technical specifications.
- 3.Asphalt Institute & Eurobitume. (2015). The bitumen industry – a global perspective: production, chemistry, use, specification, and occupational exposure (3rd ed.).
- 4.Błażejowski, K., & Wójcik-Wiśniewska, M. (2017). Bitumen Handbook. Poland: ORLEN Asphalt. <https://asfalt.orlden.pl>
- 5.Revuelta, M. B. (2021). Construction Materials: Geology, Production and Applications. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-65207-4>
- 6.Gunka, V. M. (2024). Fundamentals of chemical modification technologies for petroleum residues and bitumens (Doctoral dissertation, National University “Lviv Polytechnic”). 451 p. <https://uacademic.info>
- 7.Zolotaryov, V. O., Pyrih, Y. I., Halkin, A. V., & Kudryavtseva-Valdes, S. V. (2010). Comparative study of properties of oxidized and residual bitumens. *Avtoshlyakhovyk Ukrainy*, 4, 32–37.
- 8.Grynshyn, O., Donchenko, M., Khlibyshyn, Y., & Poliak, O. (2021). Investigation of petroleum bitumen resistance to aging. *Chemistry & Chemical Technology*, 15, 438–442. <https://doi.org/10.23939/chcht15.03.438>
- 9.Kopynets, I. V. (2021). Improving the durability of asphalt concrete pavement by reducing technological aging of bitumens (Candidate dissertation, National Transport University). 188 p. [https://uacademic.info/download/file/0421U102035/Kopynets\\_dis.pdf](https://uacademic.info/download/file/0421U102035/Kopynets_dis.pdf)

10. Malyar, V. V., & Povzun, O. I. (2025). Group composition of bitumens as a basis for their temperature properties. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University*, 108, 244–244. <https://dspace.khadi.kharkov.ua>
11. Kishchynskyi, S. V., & Kopynets, I. V. (2015). Increasing the resistance of oxidized bitumens to aging by compounding with distillation bitumens. *Avtoshlyakhovyk Ukrainy*, 5, 50–52. <http://diser.ntu.edu.ua/>
12. Teltayev, B., Radovskiy, B., Seilkhanov, T., Oliviero, C., & Amirbayev, E. (2022). Low and high temperature characteristics of compounded and modified bitumens. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 648, 129308. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.129308>
13. Teltayev, B., Seilkhanov, T., Oliviero Rossi, C., Amirbayev, Y., & Begaliyeva, S. (2021). Low temperature resistance increase for bitumen by compounding with tar. *Applied Sciences*, 11(18), 8579. <https://doi.org/10.3390/app11188579>
14. Khlibyshyn, Y. Y., Grynshyn, O. B., & Pochapska, I. Y. (2025). Feasibility of producing bitumen from different types of tar. *Issues of Chemistry & Chemical Technology*, 2, 134–143. <https://udhtu.edu.ua/>
15. Evdokimova, N. G., Makhmutova, A. R., Aliyeva, N., & Guseinova, E. A. (2022). Production of thermostable road bitumens by the method of "oxidation-compounding." *Azerbaijan Chemical Journal*, 102–108. <https://akj.az/>
16. Lviv, O. M. (2007). Investigation of the possibility of using acidic tars in road construction. *Bulletin of National University "Lviv Polytechnic", Theory and Practice of Construction*, 602, 135–138.
17. Fryder, I. V., Topilnytskyi, P. I., & Grynshyn, O. B. (2013). Use of acidic tars in petroleum bitumen production. *Bulletin of Lviv Polytechnic University*, 761, 452–457. <https://science.lpnu.ua/uk/node/4547>
18. Topilnytskyi, P. I., Pryvarska, M. I., Romanchuk, V. V., & Didun, Ye. O. (2015). Problems of utilization of pond acidic tars. *Environmental Protection. Energy Saving. Balanced Nature Management: Proceedings of the 2nd International Congress*, 66.
19. Voloshyn, P. (2016). Analysis of the impact of Lviv landfill on the natural environment. *Bulletin of Lviv University, Geological Series*, 26, 139–147. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU\\_geol\\_2012\\_26\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU_geol_2012_26_13)
20. DSTU 4044:2019. Road petroleum bitumens. Technical specifications.
21. ASTM D664. Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration.
22. DSTU EN ISO 3675:2012. Crude oil and liquid petroleum products – Laboratory method for density determination using a hydrometer (EN ISO 3675:1998, IDT).
23. DSTU EN ISO 6245:2012. Petroleum products – Determination of ash (EN ISO 6245:2002, IDT).
24. DSTU EN ISO 9029:2022. Crude oil – Determination of water – Distillation method (EN ISO 9029:1995, IDT; ISO 9029:1990, IDT).
25. DSTU EN ISO 8754:2022. Petroleum products – Determination of sulfur content – Energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry (EN ISO 8754:2003, IDT; ISO 8754:2003, IDT).
26. DSTU EN ISO 3016:2022. Crude oil and related products – Determination of pour point (EN ISO 3016:2019, IDT; ISO 3016:2019, IDT).
27. DSTU EN ISO 3104:2022. Petroleum products – Transparent and opaque liquids – Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity (EN ISO 3104:2020, IDT; ISO 3104:2020, IDT).

28. DSTU ISO 1928:2006. Solid mineral fuels – Determination of gross calorific value by bomb calorimeter and calculation of net calorific value (ISO 1928:1995, IDT).
29. ISSA A105. Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal. Design Technical Bulletin, International Slurry Surfacing Association, Annapolis, MD (Revised May 2010).
30. ISSA A143. Recommended Performance Guidelines for Micro-Surfacing. Design Technical Bulletin, International Slurry Surfacing Association, Annapolis, MD (Revised February 2010).
31. ISSA Technical Bulletin 113. Test Method for Determining Mix Time for Slurry Surfacing Systems. International Slurry Surfacing Association, Revised 2021.
32. Sidun, Y. V. (2017). Increasing the rate of cohesion strength development of cold cast emulsion-mineral mixtures (Candidate dissertation, National University “Lviv Polytechnic”). 172 p. <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/6c924642-2648-4a4a-b236-46bee2fb00c5/content>
33. Sidun, Y. V., Hunka, V. M., Poliak, O. Y., & Kulikov, D. O. (2024). Acid numbers as a criterion for suitability of bitumens for wearing layers from cast emulsion-mineral mixtures of road pavements. *Modern Technologies and Calculation Methods in Construction*, 22, 206–214. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-21](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-21)
34. DSTU B V.2.7-46:2010. Building materials – General-purpose cements – Technical specifications.
35. Sidun, Y. V., Sobol, H. S., Bidos, V. M., Stadnik, V. Y., & Stanchak, S. A. (2025). Cast emulsion-mineral mixtures using aluminum sulfate. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University*, 109, 111–118. <http://bulletin.khadi.kharkov.ua/article/view/336094>

### Література

1. ДСТУ EN 12597:2018 Бітум та бітумні в'язучі. Словник термінів (EN 12597:2014, IDT)
2. ДСТУ 4044:2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови
3. Asphalt Institute and Eurobitume. (2015). *The bitumen industry – a global perspective: production, chemistry, use, specification, and occupational exposure*. Third edition.
4. Błażejowski, K. & Wójcik-Wiśniewska, M. (2017). *Bitumen Handbook*. Poland: *ORLEN Asfalt*. <https://asfalt.orlen.pl>
5. Revuelta, M. B. (2021). *Construction Materials: Geology, Production and Applications*. *Springer Nature*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-65207-4>
6. Гунька В. М. (2024) Основи технологій хімічного модифікування нафтових залишків і бітумів: дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук : 05.17.07 – хімічна технологія палива та паливно-мастильних матеріалів *Національний університет «Львівська політехніка»*, 451 с. <https://uacademic.info>
7. Золотарьов В.О., Пиріг Я.І, Галкін А.В, Кудрявцева-Вальдес С.В. (2010) Порівняльне дослідження властивостей окиснених і залишкових бітумів *Автомобілів України*, 4, 32-37.
8. Grynshyn, Oleg & Donchenko, Myroslava & Khlibyshyn, Yuriy & Poliak, Olha. (2021). Investigation of Petroleum Bitumen Resistance to Aging. *Chemistry & Chemical Technology*, 15, 438-442. 10.23939/chcht15.03.438

9. Копинець, І. В. (2021). Підвищення довговічності асфальтобетонного покриття шляхом зменшення технологічного старіння бітумів. *Кандидатська дисертація, Національний транспортний університет*. 188 с [https://uacademic.info/download/file/0421U102035/Korpnets\\_dis.pdf](https://uacademic.info/download/file/0421U102035/Korpnets_dis.pdf)
10. Маяр, В. В., Повзун, О. І. (2025). Груповий склад бітумів як основа їх температурних властивостей. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, 108, 244-244. <https://dspace.khadi.kharkov.ua>
11. Кіщинський, С. В., Копинець, І. В. (2015). Підвищення стійкості окислених бітумів до старіння шляхом їх компаундування з дистиляційними бітумами. *Автошляховик України*, 5, 50-52. <http://diser.ntu.edu.ua/>
12. Teltayev, Bagdat, Radovskiy, Boris, Seilkhanov, T., Oliviero, Cesare & Amirbayev, Erik. (2022). Low and high temperature characteristics of compounded and modified bitumens. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 648. 129308. 10.1016/j.colsurfa.2022.129308. <https://www.sciencedirect.com>
13. Teltayev, B., Seilkhanov, T., Oliviero Rossi, C., Amirbayev, Y., & Begaliyeva, S. (2021). Low Temperature Resistance Increase for Bitumen by Compounding with Tar. *Applied Sciences*, 11(18), 8579. <https://doi.org/10.3390/app11188579>.
14. Khlibyshyn, Y. Y., Grynshyn, O. B., & Pochapska, I. Y. (2025). Feasibility of producing bitumen from different types of tar. *Issues of Chemistry & Chemical Technology*, 2. 134-143. <https://udhtu.edu.ua/>
15. Evdokimova, N.G. & Makhmutova, A.R. & Aliyeva, Narmina & Guseinova, E.A.. (2022). Production of thermostable road bitumens by the method of "oxidation-compounding". *Azerbaijan Chemical Journal*. 102-108. 10.32737/0005-2531-2022-4-102-108. <https://akj.az/>
16. Львов О. М. (2007) Дослідження можливості використання кислих гудронів в дорожньому будівництві *Вісник Національного університету "Львівська політехніка", Теорія і практика будівництва*, 602, 135–138.
17. Фридер І.В., Топільницький П.І., Гринишин О.Б.(2013) Використання кислих гудронів у виробництві нафтових бітумів. *Вісник НУ «ЛП»*, 761,452-457. <https://science.lpnu.ua/uk/node/4547>
18. П. І. Топільницький, М. І. Приварська, В. В. Романчук, Є. О. Дідун (2015) Проблеми утилізації ставкових кислих гудронів *Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : збірник матеріалів 2-го Міжнародного конгресу*, с. 66.
19. Волошин П. (2016) Аналіз впливу Львівського сміттєзвалища на природне середовище *Вісник Львівського університету. Серія : Геологічна*, 26, 139-147. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU\\_geol\\_2012\\_26\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU_geol_2012_26_13)
20. ДСТУ 4044:2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови
21. ASTM D664 Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration
22. ДСТУ EN ISO 3675:2012 Нафта сира та нафтопродукти рідкі. Метод лабораторного визначення густини ареометром (EN ISO 3675:1998, IDT)
23. ДСТУ EN ISO 6245:2012 Нафтопродукти. Метод визначення золи (EN ISO 6245:2002, IDT)
24. ДСТУ EN ISO 9029:2022 Сира нафта. Визначення води. Метод дистиляції (EN ISO 9029:1995, IDT; ISO 9029:1990, IDT)

25. ДСТУ EN ISO 8754:2022 Нафтопродукти. Визначення вмісту сірки. Енергодисперсійна рентгенівська флуоресцентна спектроскопія (EN ISO 8754:2003, IDT; ISO 8754:2003, IDT)
26. ДСТУ EN ISO 3016:2022 Нафта та супутні продукти з природних або синтетичних джерел. Визначення температури застигання (EN ISO 3016:2019, IDT; ISO 3016:2019, IDT)
27. ДСТУ EN ISO 3104:2022 Нафтопродукти. Прозорі та непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості та обчислення динамічної в'язкості (EN ISO 3104:2020, IDT; ISO 3104:2020, IDT)
28. ДСТУ ISO 1928:2006 Палива тверді мінеральні. Визначення найвищої теплоти згоряння методом спалювання в калориметричній бомбі та обчислення найнижчої теплоти згоряння (ISO 1928:1995, IDT)
29. ISSA A105 Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal // Design Technical Bulletin, International Slurry Surfacing Association, Annapolis, MD, (Revised) May 2010.
30. ISSA A143 Recommended Performance Guidelines for Micro-Surfacing // Design Technical Bulletin, International Slurry Surfacing Association, Annapolis, MD, (Revised) February 2010.
31. ISSA Technical Bulletin 113 Test Method for Determining Mix Time for Slurry Surfacing Systems, International Slurry Surfacing Association, Revised 2021
32. Сідун Ю. В. (2017) Підвищення швидкості набору когезійної міцності литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.23.05 – будівельні матеріали та виробу *Національний університет "Львівська політехніка"*, С. 172. <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/6c924642-2648-4a4a-b236-46bee2fb00c5/content>
33. Сідун Ю. В., Гунька В. М., Поляк О. Є., Куліков Д. О. (2024) 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*, 22, 206–214. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-21](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-21)
34. ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови
35. Сідун Ю. В., Соболь Х. С., Бідось В. М., Стаднік В. Є., Станчак С. А. (2025) Литі емульсійно-мінеральні суміші з використанням сульфату алюмінію. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, 109, 111–118. <http://bulletin.khadi.kharkov.ua/article/view/336094>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 14.11.2025	Received 14.11.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 18.11.2025	Received in revised form 18.11.2025
Прийнято 25.11.2025	Accepted 25.11.2025
Опубліковано 25.12.2025	Published 25.12.2025

### **Sidun Iu. \***

Ph.D, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3606-6899>  
Department of Highways and Bridges  
Lviv Polytechnic National University, S. Bandera St., 12, Lviv, Ukraine, 79013

### **Gunka V.**

DSc, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3480-0693>  
Department of Chemical Technology of Oil and Gas Processing

Lviv Polytechnic National University, S. Bandera St., 12, Lviv, Ukraine, 79013

**Kulikov D.**

Associate Professor, Ph.D. in Engineering, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2554-5295>  
Department of Highways and Bridges  
Lviv Polytechnic National University, S. Bandera St., 12, Lviv, Ukraine, 79013

**Teshchyshyn N.**

Student, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3360-2099>  
Department of Highways and Bridges  
Lviv Polytechnic National University, S. Bandera St., 12, Lviv, Ukraine, 79013

**Kalmuk M.**

Student, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3582-2539>  
Department of Highways and Bridges  
Lviv Polytechnic National University, S. Bandera St., 12, Lviv, Ukraine, 79013

\*corresponding author, e-mail: [yurii.v.sidun@lpnu.ua](mailto:yurii.v.sidun@lpnu.ua)

## **Influence of bitumen binder compounding on the properties of slurry surfacing**

How to Cite:

Sidun Iu., Gunka V., Kulikov D., Teshchyshyn N., Kalmuk M. (2025). Influence of bitumen binder compounding on the properties of slurry surfacing. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 24, 427-439. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14\(24\)-37](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-14(24)-37)

*Abstract. The possibility of using compounded bituminous binders for the production of cationic bituminous emulsions, as a component in slurry surfacing mix, was investigated. Compounding was carried out by mixing a base 70/100 bitumen from PKN Orlen, produced from light crude oil, with 70/100 and 100/150 distilled bitumens from Nynas (Sweden), produced from heavy crude oil. Additionally, the base bitumen was mixed with pre-prepared acidic pitch (Hrybovychi, Lviv region). The study examined the properties of the acidic pitch and the main physical and mechanical characteristics of the compounded binders, including their acid numbers. For the production of cationic bituminous emulsions, both compounded and non-compounded binders were used for comparison. The composition of the bituminous emulsion also included a cationic emulsifier (amine-based), hydrochloric acid, and potable water. Emulsions were prepared using a laboratory bitumen–emulsion unit of the colloid mill type. Slurry surfacing mixtures were produced using emulsion binders, potable water, Portland cement grade PC II/A-III-400, and a breaking regulator in the form of a 10% wt. solution of the emulsifier used for the preparation of the cationic bituminous emulsions. The slurry surfacing mixtures were tested for mixture breakdown, material loss during wet abrasive wear, and cohesion strength parameters, specifically the onset of cohesion strength development, the express indicator of mixture formation, and the failure types NS and SS (allowing determination of transport opening with and without restrictions, respectively). The study demonstrated that effective compounding options include a ratio of distilled bitumen from heavy crude oil to bitumen from light crude oil of 50% wt. to 50% wt., and the addition of 10–15% wt. acidic pitch to the bitumen from light crude oil.*

*Keywords: compounding, light and heavy crude oils, acid tar, bituminous emulsions, cement, slurry surfacing mixtures.*