

С. Й. Солодкий, О. Є. Волліс\*, Ю. В. Сідун,  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автомобільних шляхів,  
\*ТОВ “Про́лог ТД”

## ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ НАБОРУ КОГЕЗІЙНОЇ МІЦНОСТІ ЛИТОЇ ЕМУЛЬСІЙНО-МІНЕРАЛЬНОЇ СУМІШІ НА ОРТОФОСФОРНІЙ КИСЛОТІ

© Солодкий С. Й., Волліс О. Є., Сідун Ю. В., 2015

Проведено порівняльний аналіз двох литих емульсійно-мінеральних сумішей (ЛЕМС) – системи на ортофосфорній та на соляній кислотах. Визначено, що використання ортофосфорної кислоти під час приготування бітумної емульсії на окисленому бітумі призводить до значного покращення швидкості набору когезійної міцності порівняно з ідентичною системою на соляній кислоті. Для отримання подібних показників набору когезійної міцності система на ортофосфорній кислоті дає змогу використовувати меншу кількість бітумної емульсії, ніж того, що потребує система на соляній кислоті.

Отримані результати свідчать про різні природи розпаду та швидкості набору когезійної міцності систем на соляній та на ортофосфорній кислотах. Підтвердженням цього є можливість використання в системах із ортофосфорною кислотою кам'яних матеріалів, що за критерієм метилену синього є непридатними для таких технологій.

Отримані властивості систем ЛЕМС на ортофосфорній кислоті дають змогу прогнозувати значні переваги використання цих сумішей у гранично допустимих для бітумно-емульсійних технологій температурах навколишнього середовища.

Ключові слова – литі емульсійно-мінеральні суміші (Slurry Сіл), ортофосфорна кислота, соляна кислота, когезійна міцність, окислений бітум, метилен голубий.

In the present scientific work there is done the comparative analysis of two cast emulsion-mineral mixes (CEMM) – systems on orthophosphoric and hydrochloric acids. It was determined that application of orthophosphoric acid for preparation of bitumen emulsion on oxidized bitumen leads to the substantial improvement of cohesion strength build-up rate – in comparison with identical system on hydrochloric acid. To receive the similar indices of cohesion strength build-up – the orthophosphoric-acid-based system allow using less amount of bitumen emulsion than it is required for the system on hydrochloric acid.

The results received witness about the different natures of breakage and cohesion strength build-up rate for systems on hydrochloric and phosphoric acids. As a confirmation of this fact there can be considered the possibility of using (in the systems with orthophosphoric acid) the aggregates which by methylene blue criterion are unsuitable for such technologies.

The orthophosphoric-acid-based CEMM-systems' properties received allow forecasting the substantial advantages of using these mixes in limit-permissible, for bitumen-emulsion technologies, ambient temperatures.

Key words: cast emulsion-mineral mixes (Slurry Seal), orthophosphoric acid, hydrochloric acid, cohesion strength, oxidized bitumen, methylene blue.

### Вступ

Через складну ситуацію в Україні доволі критично стоїть питання відновлення великих обсягів дорожнього покриття в найкоротші терміни. На жаль, за такою постановки проблеми ми забуваємо про догляд та утримання відновлених та новозбудованих доріг, які з плином часу будуть зруйновані через підвищені навантаження на вісь та інтенсивність руху транспортних засобів. Тому постає проблема ефективного та швидкого захисту, відновлення дорожнього покриття. Вирішити цю проблему можливо завдяки влаштуванню тонкошарових покриттів із литих емульсійно-

мінеральних сумішей (ЛЕМС). Основним завданням для ЛЕМС є утворення надійного захисту наявного дорожнього одягу шляхом влаштування шару зносу за короткий проміжок часу (практично без обмеження руху на ремонтованій ділянці). Це завдання легко виконати шляхом використання високо смолистих дистиляційних бітумів, які забезпечують швидкий набір когезійної міцності ЛЕМС. Але такий бітум зараз є значно дорожчим, ніж широко вживані в Україні окиснені бітуми. Тому сьогодні є актуальними окреслення можливостей, які б покращили прискорення швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС на основі окислених бітумів. Однією з таких можливостей є використання ортофосфорної кислоти замість соляної в рецептурах бітумних емульсій для ЛЕМС. Використання ортофосфорної кислоти вирішує питання використання не придатних кам'яних матеріалів за критерієм "метилен синій", саме такі заповнювачі переважають на території України. Також використання ортофосфорної кислоти дає виробникам змогу не проходити ліцензування, яке потрібне під час використання соляної кислоти, що певною мірою економить їхній час та кошти.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Дослідження публікацій науковців, як вітчизняних, так і закордонних, показало, що питання використання ортофосфорної кислоти є недостатньо досліджено. Найвідомішими в питаннях застосування ортофосфорної кислоти в технологіях ЛЕМС є праці Алана Джеймса. У доповіді, представленій у листопаді 2008 року на Міжнародному симпозіумі з технології бітумних емульсій у Вашингтоні, Алан Джеймс і його колега Тоні Нг представили інформацію з впливу цементу на ЛЕМС, також наведено останні результати досліджень із емульсійним системам з ортофосфорною кислотою. Ця доповідь була продовженням презентації, представленій на Всесвітньому конгресі про емульсії 2006 року. У доповіді, презентованій у лютому 2008 р. на засіданні АЕМА в Мексиці, Алан Джеймс наводить опис катіонних емульсій зі швидким і середнім розпадом, приготовлених у системі ортофосфорної кислоти [1].

Науковці Держдор НДІ [2] виявили проблему використання кам'яних матеріалів, з властивостями, що не відповідають вимогам технології ЛЕМС. Вичерпну характеристику покриття із ЛЕМС надає О. Г. Островерхий [3].

### **Метою дослідження**

Проведені раніше дослідження [4] та роботи європейських науковців [1] показали, що системи на ортофосфорній кислоті є досить чутливими до вмісту цементу в суміші на відміну від систем на соляній кислоті. Подібна чутливість вказує про дещо іншу природу розпаду суміші та бітумної емульсії та приросту когезії покриття. Також існує гіпотеза, що система із ортофосфорною кислотою не залежна від реакційної здатності використаного кам'яного матеріалу.

### **Мета дослідження**

Визначення впливу бітумних емульсій на соляній та ортофосфорній кислоті на ЛЕМС з використанням неоптимального кам'яного матеріалу за критерієм метилену синього.

### **Матеріали та методи випробувань**

Матеріали, які використані та випробування, відповідали вимогам чинного ТУ У В.2.7-45.2-00018112-208-2002 [5]. Згідно з вимогами цього стандарту проведено випробування за критерієм адсорбції метилену синього. Цим методом вимірюється здатність наповнювача до адсорбції метилену синього. Оскільки синій метилен адсорбується переважно глиною, органічними компонентами, шаруватими силікатами і гідроксидом заліза, то це випробування дає уявлення про загальну поверхневу активність усіх цих компонентів. Високі значення метилену синього і, відповідно, висока поверхнева активність викликають прискорену реакцію заповнювача з бітумними емульсіями і добавками, що може привести до передчасного розпаду або поганого зчеплення – адгезії. Результати випробувань на гранітних відсівах різних кар'єрів, які відповідали вимогам ТУ [5] за

гранулометричним складом, наведено в табл. 1. Для подальших випробувань було обрано відсів Ушицького кар'єру через те, що він є найбільш "реактивним" серед досліджуваних.

Таблиця 1

**Показник адсорбції метилену синього**

Кар'єр	Показник метилену синього, мл
Вирівський	10
Рокитнянський	17
Ушицький	20
Виноградівський	15

Бітумні емульсії виготовлені на лабораторній бітумно-емульсійній установці SEP-0,3R виробництва Данської компанії "Денімотех" та випробувані згідно з ДСТУ Б В.2.7-129:2013 [6]. Виготовлені емульсії є катіонними повільнорозпадними (табл. 2). Використано бітум ПАТ "Укртатнафта" (Кременчуцький НПЗ) БНД 60/90, згідно з ДСТУ 4044-2001 [7] та емульгатор Redicote EM44 виробництва компанії AkzoNobel (Швеція).

Таблиця 2

**Рецептури бітумних емульсій**

Компоненти емульсій	Вміст компонентів у емульсії, % мас.	
	№ 1	№ 2
Бітум	62	62
Емульгатор Redicote EM44	1,1	1,1
Ортофосфорна кислота	–	до рівня рН 2,5 у водній фазі
Соляна кислота	до рівня рН 2,5 у водній фазі	–
Вода	до 100	до 100

Як видно, емульсії відрізнялись лише видом кислоти, всі решта компоненти були ідентичними. Для виготовлення сумішей ЛЕМС використано портландцемент ПЦ II/A-III-400, воду питну, регулюючу добавку (10 % розчин Redicote E-11) виробництва компанії AkzoNobel.

Взірці ЛЕМС виготовлено та випробувано згідно з вітчизняними [5] та міжнародними [8] нормативами. Випробування ЛЕМС відбувся за критерієм розпаду суміші та швидкістю набору когезійної міцності за температури навколишнього середовища 25 °С. Оскільки метою роботи є визначення впливу виготовлених емульсій на ЛЕМС, тому були досліджені варіанти рецептур із різним вмістом емульсії. Опрацьовано низку складів ЛЕМС на емульсіях № 1 та № 2, ключові склади, які відповідали вимогам стандартів, внесено в табл. 3. У цих складах вміст цементу був незмінним, присадка змінювалася лише у випадку неможливості досягнення потрібного часу розпаду (> 180 с). А вміст води змінювався обернено до вмісту емульсії для досягнення необхідної текучості суміші.

Для порівняння швидкості набору когезійної міцності відібрано рецептури із вмістом емульсії 12, 14 та 16 складових. Для емульсії № 1 – це склади 1.1, 1.3, 1.5 і відповідно для емульсії № 2 – це 2.1, 2.3, 2.5. Для визначення швидкості набору когезійної міцності використано модифікований когезійний тестер. Метою випробування є визначення, за який час сформований взірець досягне характерного руйнування SS, що означатиме відкриття руху транспорту без обмежень. А за досягнення руйнування типу NS відкриття руху на ділянці можливе за значних обмежень.

## Склади ЛЕМС

Склад	Вміст компонентів, г					Час розпаду, с
	Кам'яний матеріал	Портландцемент	Вода	Регулююча добавка	Емульсія	
Склади на основі емульсії № 1						
1.1	100	1,00	15	2,00	12	184
1.2	100	1,00	14	2,00	13	187
1.3	100	1,00	13,25	2,00	14	182
1.4	100	1,00	12,5	2,00	15	186
1.5	100	1,00	8	2,25	16	190
1.6	100	1,00	7,5	2,25	17	181
Склади на основі емульсії № 2						
2.1	100	0,75	14	2,5	12	180
2.2	100	0,75	12,5	2,5	13	191
2.3	100	0,75	12	2,5	14	180
2.4	100	0,75	12	2,25	15	182
2.5	100	0,75	10	2,25	16	183
2.6	100	0,75	9	1,75	17	180

Таблиця 4

## Показники швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС

1.1	Час випробування, хв	60	120	180	240	300	360	420
	Характер руйнування	N	N	N	NS	S	S	S
	Прикладений крутний момент, кг·см	12	12	12	20	23	23	23
1.3	Час випробування, хв	60	150	200	210	270	300	360
	Характер руйнування	N	N	N	NS	S	S	S
	Прикладений крутний момент, кг·см	12	12	12	20	23	23	23
1.5	Час випробування, хв	30	60	90	150			
	Характер руйнування	N	N	NS	SS			
	Прикладений крутний момент, кг·см	12	12	20	26			
2.1	Час випробування, хв	30	60	90	120	180	240	300
	Характер руйнування	N	N	N	N	N	N	N
	Прикладений крутний момент, кг·см	12	12	12	12	12	12	12
2.3	Час випробування, хв	30	60	90	120	130		
	Характер руйнування	N	N	NS	S	SS		
	Прикладений крутний момент, кг·см	12	12	20	23	26		
2.5	Час випробування, хв	30	45	60	90	105		
	Характер руйнування	NS	NS	NS	S	SS		
	Прикладений крутний момент, кг·см	20	20	20	23	26		

З результатів наведених у табл. 4 видно, що ЛЕМС за вмісту емульсії 12 частин не залежно від емульсії не досягає необхідних показників міцності навіть за дуже тривалий період часу. Тому результати випробувань складів 1.1 та 2.1 в порівняльному аналізі не відобразатимуться. Під час порівняння результатів інших складів (рис. 1) можна побачити, що незначне підвищення вмісту емульсії в складі ЛЕМС забезпечує зростання швидкості набору когезійної міцності як на ортофосфорній, так і на соляній кислоті. Використання ортофосфорної кислоти порівняно зі соляною кислотою забезпечує підвищену швидкість набору когезійної міцності. Використання меншого вмісту емульсії на ортофосфорній кислоті (склад 1.5) в складі ЛЕМС дає змогу економити бітум та досягати кращого показника швидкості набору когезійної міцності, на відміну від ЛЕМС на соляній кислоті (склад 2.3).

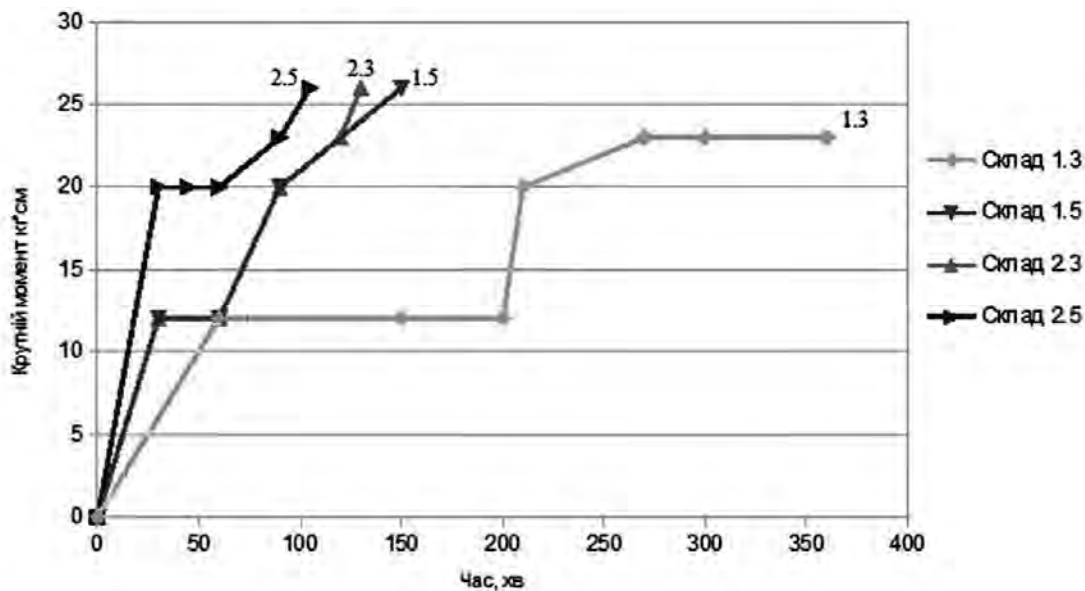


Рис. 1. Швидкість набору когезійної міцності покриття з складів 1.3, 1.5, 2.3, 2.5

### Висновок

Виявлено значні переваги за показником швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС на ортофосфорній кислоті, ніж суміші виготовлені на соляній кислоті. Ці переваги дають можливість досягати показників когезійної міцності необхідних для пуску транспорту за значно коротший період та за меншого вмісту емульсії.

Спираючись на досвід вітчизняних лабораторій та дорожніх інститутів з використання дистиляційних бітумів у технологіях ЛЕМС, можна стверджувати, що отримані результати дають змогу використовувати окиснені бітуми на рівні із дистиляційними. А це сьогодні є одним з основних завдань у розвитку технології ЛЕМС в Україні.

Отримані результати свідчать не тільки про переваги ортофосфорної системи над соляною, але й підтверджують те, що природа розпаду та набору когезійної міцності в цих системах відрізняється. Це дає нам змогу використовувати на системах із ортофосфорною кислотою кам'яні матеріали, що за критерієм метилену синього є непридатними.

Наведене вище дає змогу планувати можливості використання систем на ортофосфорній кислоті за мінімально допустимих в емульсійних технологіях температур, що, своєю чергою, дає змогу значно розширити сезон використання ЛЕМС та можливість його вкладання в нічний час.

1. AkzoNobelSurfaceChemistry. Інформаційний бюлетень відділу дорожніх добавок – Європа. Вип. 80, осінь 2009. 2. Дороги і мости / С. В. Кіщинський, Ю. Ф. Гончаренко, Е. М. Гнатюк // Зб. наук. пр. “Досвід та проблеми влаштування на дорогах України тонкошарових покриттів типу” “Сларрі Сіл”. – К. : ДерждорНДІ, 2008. – Вип. 10. 3. Островерхий О. Г. Проектування тонкошарових емульсійно-мінеральних покриттів дорожніх одягів : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.11 / О. Г. Островерхий / Нац. транспорт. ун-т. – К., 2002. – 16 с. 4. Солодкий С. Й. Можливість використання фосфорних кислот в технологіях литих емульсійно-мінеральних сумішей / С. Й. Солодкий, О. Є. Волліс, Ю. В. Сідун // Наукові нотатки : міжвуз. зб. (за галузями знань “Машинобудування та металообробка”, “Інженерна механіка”, “Металургія та матеріалознавство”). – 2014. – Вип. 45. – С. 529–534. 5. ТУ У В.2.7-45.2-00018112-208-2002. “Суміші литі емульсійно-мінеральні та холодні асфальтобетонні”. – К. : Укравтодор, 2002. 6. ДСТУ В.2.7-129:2013. “Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови”. – К. : Мінбуд України, 2014. 7. ДСТУ 4044-2001. “Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови”. – К. : Держстандарт, 2001. 8. ISSA Technical Bulletin A105 (Revised) May 2003, Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal, International Slurry Surfacing Association, Annapolis, MD.