

УДК 625.7/8

**С.Й.Солодкий, Ю.В.Сідун, О.Є.Волліс**  
**Національний університет «Львівська політехніка»**  
**ПРИСКОРЮВАЧІ ШВИДКОСТІ НАБОРУ КОГЕЗІЙНОЇ МІЦНОСТІ ДЛЯ**  
**ЛИТИХ ЕМУЛЬСІЙНО-МІНЕРАЛЬНИХ СУМІШЕЙ**

*Розроблено рецепти бітумних емульсій для технології литих емульсійно-мінеральних сумішей. Досліджено вплив спеціальних прискорювачів швидкості набору когезійної міцності для литих емульсійно-мінеральних сумішей та встановлено терміни формування структури тонкошарового покриття.*

**Ключові слова:** *лита емульсійно-мінеральна суміш, когезійна міцність, окислений бітум, бітумна емульсія, спів-емульгатор*

*Рис 1. Табл 6. Літ 17*

**С.Й.Солодкий, Ю.В.Сідун, О.Э.Воллис**  
**УСКОРИТЕЛИ СКОРОСТИ НАБОРА КОГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ДЛЯ**  
**ЛИТЫХ ЭМУЛЬСИОННО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ**

*Разработаны рецепты битумных эмульсий для технологии литых эмульсионно-минеральных смесей. Исследовано влияние специальных ускорителей скорости набора когезионной прочности для литых эмульсионно-минеральных смесей и установлены сроки формирования структуры тонкослойного покрытия.*

**Ключевые слова:** *литая эмульсионно-минеральная смесь, когезионной прочность, низко кислотный битум, битумная эмульсия, со-емульгатор.*

**S.Solodkyy, IU.Sidun, O.Vollis**  
**ACCELERATORS OF SPEED OF COHESIVE STRENGTH SET FOR SLURRY SEAL**  
**MIXES**

*According to international practice one of the most effective economical and industrial ways to prevent the premature destruction of road surface is to use a thin-layer protective covering based on Slurry Seal and Micro-surfacing mixtures (collective name Slurry Surfacing System). These coverings are designed to linger the usage of existing coverings by removing such surface defects as insufficient ruggedness, evenness and cohesion, the presence of potholes, cracks and ruts. In addition, these coverings meet the sanitary and environmental requirements (no dust, convenience of mechanical cleaning, removal of surface water) and increase the comfort and safety of traffic. Also the usage of thin-layer coverings of Slurry Surfacing mixtures has several advantages comparing with hot asphalt-concrete technology.*

*This technology is spreading all over Ukraine but the stages of designing of mixture structure is not studied well enough yet. One of the identified ways of usage of this technology is the use of bitumen emulsions on low-acid bitumen that do not provide the necessary speed of a cohesion strength set of enclosed cast-mixture, and thus intensive formation of coverings and movement openings in time. This problem is solved by new products Redicote 505 and Redicote 540 that are added to the water phase of the bitumen emulsion together with the emulsifier. They have been developed to alter the behavior of low acid bitumen to achieve sufficient increase speed of cohesive strength set.*

**Keywords:** *slurry seal, cohesive strength, oxidized bitumen, bitumen emulsion, co-emulsifier.*

**Вступ.** Використання литих емульсійно-мінеральних сумішей (ЛЕМС) є ефективним шляхом збереження експлуатаційних характеристик нового дорожнього покриття та економічним способом відновлення зношеного покриття. ЛЕМС утворюють характерну поверхню із підвищеними водостійкими та зчіпними якостями і дають змогу періодично відновлювати поверхню покриттів, що втратили експлуатаційні властивості. Ремонт за даною технологію варто проводити кожних 3-5 років залежно від інтенсивності руйнувань існуючої поверхні.

**Постановка проблеми.** ЛЕМС є однозначно прогресивними, але існує проблема реалізації даної технології на вітчизняній сировинній основі, адже не всі кам'яні матеріали і тим більше бітуми є придатними для застосування в даній технології. Оптимальними бітумами для литих сумішей за критерієм швидкості набору когезійної міцності є високо кислотні дистиляційні бітуми отримані із важкої нафти, які забезпечують швидке формування структури укладених сумішей. Такі бітуми на українському ринку представлені тільки імпортними виробниками та є далеко не дешевими, що обмежує їх застосування.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** ЛЕМС широко застосовується закордоном, особливо в США, де прийнята концепція збереження мережі автомобільних доріг шляхом підтримання експлуатаційних властивостей завдяки влаштування шарів зносу на основі цієї технології. За даними американських експертів дані тонкошарові покриття є водночас

якісними та економічними [16,17]. В Україні та державах ближнього зарубіжжя дана технологія впроваджується швидкими темпами про що свідчать дослідження науковців [10-15].

**Невирішені частини проблеми.** Швидкість формування покриття з ЛЕМС на вітчизняних окислених бітумах є недостатньою відповідно до норм національних та світових стандартів [3-7,9], отже потрібно вести пошук технологічних рішень для розв'язку даної проблеми.

**Мета дослідження.** Розробити ефективні склади ЛЕМС шляхом використання спеціальних прискорювачів швидкості набору когезійної міцності та визначити етапи формування структури покриття і відповідно час відкриття руху транспортних засобів по ньому.

**Основні результати дослідження.** Бітумна емульсія разом із кам'яним матеріалом є найвагомішими сировинними складниками ЛЕМС, тому потрібно ретельно слідкувати за дотриманням всіх технологічних параметрів їх приготування і використання відповідно до чинних нормативних документів.

Для приготування бітумної емульсії було використано бітум нафтовий дорожній в'язкий окислений марки БНД 60/90 ПАТ "Транснаціональна фінансово-промислова нафтова компанія Укртатнафта» (Україна, Полтавська область, місто Кременчук), що відповідає вимогам ДСТУ 4044-2001[1]. Розроблено наступні рецепти бітумної емульсії (табл.1), що були використані в подальшому при приготуванні литих сумішей.

Таблиця 1.

Рецепти бітумних емульсій для ЛЕМС

Компоненти емульсій	№ рецепту, мас.%			
	1	2	3	4
Бітум БНД 60/90	62	62	62	62
Емульгатор Redicote E-11	1,1	1,1	1,1	1,1
Спів-емульгатор Redicote 505	–	0,25	–	–
Спів-емульгатор Redicote 540	–	–	0,25	–
Соляна кислота у водній фазі до рівня рН	2,5	2,5	2,5	2,5
Вода	до 100	до 100	до 100	до 100
Натуральний Латекс,Algoltex C	–	–	–	3

Оптимізація рецептів бітумних емульсій з огляду на розвиток процесу формування структури покриття з ЛЕМС відбувалась шляхом введення прискорювачів швидкості набору когезійної міцності суміші, а саме рідких спів-емульгаторів Redicote 505 та Redicote 540 (рецепти № 2,3 табл.1) компанії Akzo Nobel (Швеція) та натурального латексу Algoltex C (рецепт № 4 табл.1) компанії Algol Chemicals (Фінляндія/Швеція).

Були проведені дослідження з визначення фізико-технічних показників емульсій (табл.2). Встановлено, що 1-3 рецепти бітумних емульсій відносяться до марки ЕК-П (катіонні немодифіковані повільнорозпадні), 4 рецепт до ЕКМ-П (катіонні модифіковані повільнорозпадні). Розроблені дорожні бітумні емульсії відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-129:2006 [2].

Таблиця 2.

Фізико-технічні показники емульсії

Назва показника	Норми та вимоги ЕК-П, ЕКМ-П	Рецепти емульсій			
		1	2	3	4
1. Зовнішній вигляд	Однорідна темно-коричнева рідина	Відповідає			
2. Показник концентрації водневих іонів, рН	1,5-6,5	3,12	3,14	3,13	3,22
3. Однорідність (залишок на ситі № 014), %, не більше	0,5	0,06	0,04	0,04	0,3
4. Вміст бітуму з	50-70	61,08	61,18	61,2	61,35

емульгатором, %						
5. Умовна в'язкість, с, за температури 25 °С на апараті з діаметром отвору витоку 4 мм, не більше:		20	10	9,2	9,4	7,2
6 Стійкість при зберіганні: залишок на ситі № 014, %, не більше:						
- після 7 д		0,8	0,12	0,08	0,08	0,7
- після 14 д		1,2	0,19	0,15	0,15	1,1
7. Зчеплюваність в'язучого, виділеного з емульсії, з поверхнею щебеню, %, не менше		90	95	95	95	95
8. Змішуваність із сумішами зернових складів	пористого	Так	Так	Так	Так	Так
	щільного	Так	Так	Так	Так	Так

Для визначення придатності кам'яного матеріалу для ЛЕМС були проведені дослідження за критерієм адсорбції метилену синього згідно з ТУ У В.2.7-45.2-00018112-208-2002 [4] на чотирьох гранітних щебенях взятих із наступних кар'єрів: ТОВ «Вирівський кар'єр», Виноградівський кар'єр, Клесівський кар'єр нерудних копалин «Технобуд», кар'єр ВАТ «Полонський гірничий комбінат»(табл.3).

Таблиця 3.

Випробування кам'яних матеріалів за критерієм адсорбції метилену синього

Область	Назва кар'єру	Показник метилену синього, мл	Придатність
Рівненська	Вирівський	10	Придатний
Закарпатська	Виноградівський	15	Не придатний
Рівненська	Клесівський	9	Придатний
Хмельницька	Полонський	10	Придатний

Було визначено, що найнижчі значення за цим критерієм спостерігаються на Клесівському щебені – 9 мл. при нормі 5-10 мл., відповідно він є найоптимальнішим кам'яним матеріалом з досліджуваних для приготування ЛЕМС. Саме цей кам'яний матеріал фракції 0-4 мм і був використаний в подальших дослідженнях.

Підбір складу ЛЕМС для влаштування шарів зносу виконували з метою отримання шару, який має певний заданий період формування і необхідні якісні характеристики відповідно до [3,4,9].

Для проектування складу суміші використали розроблені чотири рецепти бітумних емульсій та Клесівський гранітний щебінь, а також портландцемент ПЦ II/A-III-400, воду питну, як регулюючу добавку (присадку) взято 10% розчин емульгатора Redicote E-11.

Внаслідок оптимізації складів за критерієм розпаду (час розпаду суміші не раніше 180 с) визначили оптимальні склади на чотирьох досліджуваних емульсіях (табл.4).

Таблиця 4.

Оптимальні склади ЛЕМС за критерієм розпаду

Склад №	Вміст компонентів ЛЕМС, г					Час розпаду, с
	Кам'яний матеріал	Цемент	Вода	Присадка	Бітумна емульсія	
На не модифікованій емульсії (ЕК-II)						
1.	100	0,5	10	1,0	14	190
На не модифікованій емульсії із спів-емульгатором Redicote 505						
2.	100	1,0	10	1,0	14	215
На не модифікованій емульсії із спів-емульгатором Redicote 540						
3.	100	1,5	10	0,5	14	185

На модифікованій емульсії натуральний латексом Algoltex C						
4.	100	0,5	10	0,6	14	182

Швидкість набору когезійної міцності визначали в узгодженні з вимогами українського стандарту [4], нормативів Міжнародної асоціації будівельників шламових покриттів ISSA (International Slurry Surfacing Association) [9] та європейського стандарту [8] шляхом формування відповідних зразків суміші та випробування їх через певні періоди часу за допомогою модифікованого когезійного приладу. Випробуванні зразки з ЛЕМС класифікуються за характером руйнування і відповідним значенням крутного моменту на чотири типи згідно з нормами ISSA, в свою чергу за цими типами можливо визначити певний етап формування структури ЛЕМС та можливість відкриття руху транспортних засобів по влаштованому покриттю (табл.5). Дослідження проводились за температури повітря  $t=25^{\circ}\text{C}$  та відносної вологості повітря  $\varphi=75\%$ . Результати визначення швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС чотирьох оптимальних складів за критерієм розпаду суміші наведені в табл.6 та зображенні на рис.1.

Таблиця 5.

Визначення етапів формування когезійної міцності ЛЕМС

Характеристики міцності		Етапи формування ЛЕМС
Характер руйнування	Значення крутного момент, кг*см	
«N» – Normal	12-13	Схоплювання
«NS» – Normal Spin	20-21	Самоуцільнення (відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год)
«S» – Spin	23	Уцільнення
«SS» – Solid Spin	26	Затвердіння (відкриття руху без обмежень швидкості)*

\*Після даного етапу протікає етап остаточного набору когезійної міцності.

Таблиця 6.

Швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС

Склад №	Час випробування, год.	Характер руйнування	Прикладений крутний момент, кг*см
1.	0,5	N	12
	1,0	N	13
	3,0	N	13
	5,0	NS	20
	6,0	S	23
	7,0	SS	26
2.	0,5	N	12
	1,0	NS	20
	2,0	S	23
	3,5	SS	26
3.	0,5	N	12
	1,0	NS	20
	2,0	S	23
	3,0	SS	27
4.	0,5	N	12
	1,0	N	13
	3,0	NS	20
	4,0	S	23
	5,0	SS	26

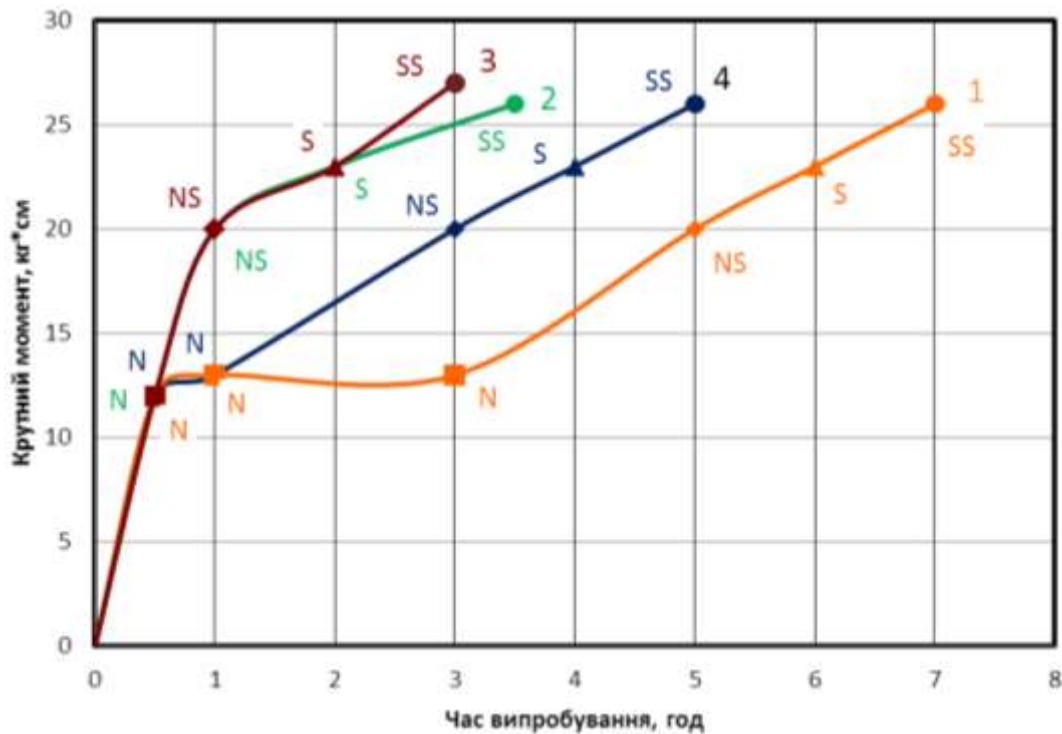


Рис.1 Швидкість набору когезійної міцності 1-4 складів ЛЕМС

#### Висновки.

1. Визначено, що найрезультативнішим прискорювачем швидкості набору когезійної міцності серед досліджуваних є Redicote 540. ЛЕМС (склад №3) на основі бітумної емульсії з цим спів-емульгатором показала найкращі результати за критерієм швидкості набору когезійної міцності: через 1 годину можливо відкрити рух транспортних засобів з обмеженням швидкості до 40 км/год, а через 3 години – без обмежень швидкості. Подібні результати показала ЛЕМС (склад №2) на бітумній емульсії з спів-емульгатором Redicote 505, але відкриття руху без обмежень можливе дещо пізніше (за 3,5 години). Ще одною перевагою Redicote 540 порівняно з Redicote 505 є його краща розчинність у водній фазі бітумної емульсії та значно вища температура спалаху.

2. Модифікація емульсії натуральним латексом Algoltex C для ЛЕМС (склад №4) обумовила значно гірші показники приросту когезії ніж інші прискорювачі. Лита суміш (склад №1) без спеціальних прискорювачів продемонструвала незадовільний результат.

3. Під час використання окислених бітумів для підвищення швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС рекомендуємо включати в рецепт бітумної емульсії спів-емульгатори Redicote 540 або Redicote 505 (компанії Akzo Nobel) в орієнтовній кількості 0,25 мас.%.

4. Вважаємо перспективним в подальшому проведення досліджень щодо модифікації окислених бітумів певними хімічними реагентами на українській сировинній основі з метою отримання таких бітумів, які б забезпечували належну швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС.

1. ДСТУ 4044-2001. «Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови.» - Київ: Держстандарт.2001.
2. ДСТУ Б В.2.7-129:2006. «Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови.» - Київ : Мінбуд України.,2006.
3. ВБН В.2.3-218-175-2002 «Влаштування тонкошарових покриттів з литих емульсійно-мінеральних та холодних асфальтобетонних сумішей» – Київ:Укравтодор. 2002.
4. ТУ У В.2.7-45.2-00018112-208-2002. «Суміші литі емульсійно-мінеральні та холодні асфальтобетонні» - Київ:Укравтодор.2002.
5. СТО СОЮЗДОРСТРОЙ 2.1.3.3.3.2/4-2012 «Автомобильные дороги. Ремонт асфальтобетонных покрытий. Часть 2. Устройство защитных слоёв и слоёв износа. Раздел 4. Устройство защитного слоя с использованием литой эмульсионно-минеральной смеси методом «Сларри-Сил». Москва 2012.
6. СТБ 2036-2010«Смеси асфальтобетонные литые холодные для устройства защитных слоев. Технические условия».

7. Методические рекомендации по устройству защитного слоя износа из литых эмульсионно-минеральных смесей типа «Сларри Сил». - Изд. офиц. - Отрасл. дор. методика / М-во трансп. Российской Федерации, Гос. служба дор. хоз-ва (Росавтодор). - М., 2001. - 33 с.
8. EN 12274-4, Slurry surfacing - Test methods - Part 4: Determination of cohesion of the mix.
9. ISSA Technical Bulletin A105 (Revised) May 2003, Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal, International Slurry Surfacing Association, Annapolis, MD.
10. Нагайчук В.М. Досвіду влаштування тонкошарових покриттів з емульсійно-мінеральних сумішей // Автошляховик України. - 2005. - № 4. - С. 47-48.
11. Островерхий О.Г. Вирівнююча здатність тонкошарового емульсійно-мінерального покриття // Автомоб. дороги і дор. буд-во.- 2001.- Вип. 63.- С. 52-54.
12. Скрыпник Т.В., Петрович В.В., Могильченко Д.Ю., Лисянец А.А. Усовершенствование технологических параметров устройства тонкослойного покрытия. 36. «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво», Київ: НТУ, 2004, № 71, с. 45-49.
13. Алферов В. И. Сларри Сил // Дороги России XXI. века - 2002г. - №4-с.66-67.
14. Попова Г. В. Устройство слоев износа по технологии «Сларри-Сил» сборник материалов VI всероссийской научно-технической конференции УГЛТУ // Попова Г В , Дмитриев В Н -Екатеринбург изд-во УГЛТУ, 2008 -С 328-331.
15. Разработка составов литых холодных асфальтобетонных смесей с улучшенными фракционными свойствами и увеличенной долговечностью за счет введения специальных волокнистых добавок и наполнителей: отчет о НИР (закл.) / РУП «БелдорНИИ». – 2004. - Арх. № 1027.
16. Slurry Seal / Micro-Surface Mix Design Procedure. Phase I Report /CALTRANS / March 2004.
17. Slurry Seal / Micro-Surface Mix Design Procedure. Phase II Report /CALTRANS / December 2010.

Стаття надійшла до редакції 09.04.2014