

**Литі емульсійно-мінеральні суміші для тонкошарових  
покриттів автомобільних доріг з використанням різних  
варіантів в'язучих**

## АНОТАЦІЯ

наукової роботи під шифром «Альтернативна кислота»

Однією із сучасних технологій, яка дозволяє вирішити проблеми захисту верхніх шарів конструкцій дорожніх одягів і швидкого відновлення їх транспортно-експлуатаційних властивостей, є влаштування тонкошарових покриттів (ТП) із литих емульсійно-мінеральних сумішей (ЛЕМС). Основним завданням влаштування ТП з ЛЕМС є продовження терміну служби існуючих покриттів в результаті герметизації волосяних тріщин і невеликих вибоїн, суттєвого підвищення шорсткості та зчіпних властивостей, рівності покриття, попередження тріщиноутворення, захисту від водонасичення, загалом – відновлення зношеного або збереження існуючого верхнього шару дорожнього покриття.

*Актуальність роботи.* Ця технологія набуває все більшого розповсюдження в Україні, проте є недостатньо вивченим етап проектування складу суміші. Одним із виявлених проблемних місць застосування технології є використання таких складів бітумних емульсій, що не забезпечують належну швидкість набору когезійної міцності укладеної литої суміші, а відтак інтенсивне формування і твердіння тонкошарових покриттів і своєчасне відкриття руху по них. Крім того використання не ефективних складів бітумних емульсій для ЛЕМС призводить до зниження зносостійкості та довговічності покриття.

*Метою роботи* є запроектувати, дослідити та порівняти склади ЛЕМС із різними варіантами в'язучих (бітумних емульсій) для влаштування тонкошарових покриттів.

*Об'єкт дослідження:* підбір оптимального складу литих емульсійно-мінеральних сумішей в залежності від технологічних (розпад суміші) та міцнісних (формування шару зносу, вологий знос покриття) критеріїв.

*Предмет дослідження:* лита емульсійно-мінеральна суміш для тонкошарових покриттів.

*Завдання досліджень* полягають в наступному:

1. Підібрати сировинні матеріали для технології та запроєктувати та випробувати склади бітумних емульсій для ЛЕМС.

2. Підібрати склади ЛЕМС на різних варіантах бітумних емульсій.

3. Дослідити можливість і ефективність використання систем ЛЕМС з окисленими бітумами на ортофосфорній кислоті із досягненням високих показників швидкості набору когезійної міцності в порівнянні з більш поширеними та відомими системами на соляній кислоті.

4. Визначити показники волого абразивного зносу ефективних складів із ЛЕМС.

5. Провести економічне порівняння розроблених ЛЕМС.

В роботі використанні стандартні методи та методики досліджень згідно з українськими СОУ та нормативами міжнародної асоціації ISSA (International Slurry Surfacing Association).

*Загальна характеристика наукової роботи* (анотація, зміст, вступ, стан з питання дослідження литих емульсійно-мінеральних сумішей, матеріали для ЛЕМС, методи досліджень, експериментальна частина, висновки, література, обсяг 31 сторінка, додаток А економічна частина, таблиць 9, рисунків 12, використаних літературних джерел 20).

## ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. СТАН ПИТАННЯ З ДОСЛІДЖЕННЯ ЛИТИХ ЕМУЛЬСІЙНО-МІНЕРАЛЬНИХ СУМІШЕЙ (ЛЕМС)	5
2 МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЛЕМС	7
2.1 Бітумна емульсія	7
2.2. Кам'яний матеріал	8
2.3. Мінеральний наповнювач	8
2.4. Регулятор розпаду	9
2.5. Вода	9
3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
3.1 Визначення фізико-технічних показників емульсій	10
3.2 Визначення адсорбції метилену синього кам'яного матеріалу	10
3.3 Визначення розпаду суміші	12
3.4 .Визначення швидкості формування ТП	13
3.5 Визначення втрати матеріалу при вологому абразивному зносі (ВМВЗ)	15
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	17
4.1 Виготовлення та встановлення фізико-технічних показників емульсії	17
4.2. Випробування кам'яного матеріалу для ЛЕМС	19
4.2.1 Визначення адсорбції метилену синього	19
4.2.2 Визначення відповідності зернових складів кам'яних матеріалів типам ЛЕМС	20
4.3 Проектування складу ЛЕМС за критерієм розпаду	21
4.4 Визначення часу твердіння ЛЕМС з ТП	24
4.5 Визначення втрати матеріалу при вологому абразивному зносі	28
ВИСНОВКИ	30
ДОДАТОК А ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	33

## ВСТУП

Як свідчить світова практика однією з прогресивних, найбільш економічних та індустріально-ефективних заходів запобігання і попередження передчасного руйнування дорожнього покриття є влаштування тонкошарових захисних покриттів на основі литих емульсійно-мінеральних сумішей. Дані покриття влаштовують при температурі навколишнього середовища, вони призначені для продовження терміну служби наявного дорожнього одягу, покращення текстури поверхні та збільшення шорсткості, без додаткових витрат вирівнюють злегка деформовану дорожню поверхню, поздовжні та поперечні нерівності, усувають тріщини, підвищують стійкість до проникнення води. Крім цього, вони відповідають санітарно-гігієнічним та екологічним вимогам (безпильність, зручність механічного прибирання), після їхнього влаштування отримуємо однорідну та естетично красиву поверхню з підвищеною комфортністю та безпекою дорожнього руху. Ще однією перевагою технології ЛЕМС є те що вони можуть бути покладені на більшості дорожніх покриттів (асфальтобетон, ЩМА, бетон, покриття після ресайклінгу). Ця технологія застосовується в різних варіантах, які відрізняються типом, розмірами зерна заповнювача, видом бітуму та емульгатора використаних для виготовлення емульсії, типом модифікатора, який застосовувався в залежності від умов руху дороги на яку він спроектований. ЛЕМС в основному влаштовують шаром, товщина якого дорівнює висоті одного камінця найбільшої фракції, що входить до складу мінерального заповнювача.



Рис.1 Влаштування ЛЕМС на а/д М 06 Київ - Чоп

## 1. СТАН ПИТАННЯ З ДОСЛІДЖЕННЯ ЛИТИХ ЕМУЛЬСІЙНО-МІНЕРАЛЬНИХ СУМІШЕЙ (ЛЕМС)

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 технологією варто проводити кожних 3-5 років залежно від інтенсивності руйнувань існуючої поверхні.

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.

Щодо кислот, згідно технічних вимог діючого ДСТУ Б В.2.7-129:2013 [1] кислоти, які ми можемо використовувати для приготування катіонних емульсій це: соляна, ортофосфорна, оцтова. Після проведеного літературного огляду [5-16] було встановлено, що використання ортофосфорної кислоти в технологіях ЛЕМС є не до кінця дослідженим, на відміну від використання соляної кислоти.

Закордоном проблема використання вищезгаданих кислот неодноразово піднімалося на наукових конференціях та семінарах. Також проблема використання ортофосфорної кислоти була обговорена на Всесвітньому конгресі по емульсіям в 2006 році, на цій конференції були представлені останні результати досліджень провідної компанії AkzoNobel Asphalt Applications (сьогодні Nouryon) по емульсійним системам з ортофосфорною кислотою для

покривів ЛЕМС. За словами учасника конференції Алана Джеймса: «цемент використовується при необхідності стимулювання початку розпаду емульсії і створення когезії. Механізм дії як і раніше залишається не до кінця зрозумілим. Цемент здатний нейтралізувати кислоти в емульсії, але рівень рН у ЛЕМС приготуваних в системі ортофосфорної кислоти набагато нижчий у порівнянні з використанням хлористоводневої кислоти. Кислота і цемент утворюють іони кальцію, але рівень розчинних іонів кальцію в системі ортофосфорної кислоти нижче. Іони кальцію знижують адсорбцію емульгаторів мінеральних речовинами, виміряну метиленом синім показником, тому мінеральні речовини стають більш реактивними в системах ортофосфорної кислоти. На додаток, заряд самого цементу стає позитивним в системі кислоти і від'ємним в системі ортофосфорної кислоти, що було встановлено за допомогою електрокінетичного методу вимірювання. Тому сам цемент може безпосередньо реагувати з позитивно зарядженими краплями емульсії. Ортофосфорна кислота активізує цемент у напрямку до катіонних емульсій, використовуваним при поверхневій обробці, і знижує активність мінеральних речовин в меншій мірі, ніж у випадку хлористоводневої кислоти» Отже, система ортофосфорної кислоти забезпечує створення кращої когезії і скорочує час до відкриття дороги для руху. Ущільнення в системі ортофосфорної кислоти можливо залежить від більш гідрофобної поверхні цементу (внаслідок адсорбції поверхнево-активної речовини), що призводить до змочування цементу бітумом. У доповіді, представлений в лютому 2008 на засіданні АЕМА в Мексиці вже відомий нам автор А. Джеймс, наводить опис катіонних емульсій з швидкою і середньою усадкою, приготуваних в системі ортофосфорної кислоти. Цемент не використовується для поверхневої обробки або в сумішах з відкритим гранулометричним складом, для яких застосовуються емульсії з середньою усадкою, але дослідження показали, що ортофосфорної кислота може реагувати з вапняком з утворенням більше негативно заряджених поверхонь. В результаті поліпшуються адгезія і характеристики розпаду, в порівнянні з використанням

катіонних емульсій. Джеймс говорить: "Кислота зазвичай потрібна для катіонної емульсії і, як правило, це хлористоводнева кислота" [18-19].

Одним з найпотужніших дослідників технології ЛЕМС є вже згадувана компанія Nouryon, яка після низки ґрунтовних досліджень запропонувала нову систему швидкого розпаду на будь-якому бітумі з використанням ортофосфорної кислоти. Дана система отримала назву Redipave (в перекладі з англійської «швидке покриття»). У традиційних системах ЛЕМС для отримання емульсій використовується соляна кислота. В системі Redipave використовується ортофосфорної кислота разом з патентованими емульгаторами для виробництва швидкорозпадних систем сларрі і мікропокриття, що дозволяють швидко відкрити рух, які мають хороші експлуатаційні показники з широким діапазоном бітумів, в тому числі з низькокислотним бітумом. Можуть бути також використані емульсії модифіковані латексом. У Європі рекомендується використовувати зручний у застосуванні рідкий емульгатор Redicote EM44, тоді як в Північній і Південній Америці застосовуються Redicote EM44-A і Redicote C-320. Додатки дозволяють адаптувати емульсії для щебеню з високою реакційною здатністю або на укладачі відрегулювати час розпаду. Відповідно на теренах нашої держави виробництво емульсій з використання ортофосфорної кислоти є не дослідженим та не характерним, але як показує світовий досвід використання цієї кислоти в емульсіях має ряд переваг. Ця проблема залишається не вивченою, тому потрібно провести ґрунтовні дослідження для вирішення даного питання [19-20].

## **2. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЛЕМС**

### **2.1 Бітумна емульсія**

Для приготування сумішей ЛЕМС потрібно застосовувати середньо- та повільнорозпадні катіонні бітумні дорожні (не модифіковані та модифіковані) емульсії згідно з ДСТУ Б В.2.7-129:2013. «Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови» [1]. Масова доля бітуму з емульгатором повинна становити 60...65 %. Середній розмір часток бітуму в емульсії повинен бути меншим 2 мкм, а



найбільший – 5 мкм. Не менше 95 % їх кількості повинні мати розмір менше 5 мкм. Для приготування катіонних бітумних емульсій необхідно застосовувати бітуми згідно з ДСТУ 4044 [3]. Марка бітуму визначається видом покриття, інтенсивністю руху і кліматичними умовами згідно з ДБН В.2.3-4:2015 [4].

## **2.2 Кам'яний матеріал**

Для приготування сумішей застосовують кам'яні матеріали (щебінь, щебенево-піщані суміші і відсів) згідно з ДСТУ Б В.2.7-30, ДСТУ Б В.2.7-75, ДСТУ Б.В.2.7-32, ДСТУ Б.В.2.7-76, які отримують при подрібненні переважно вивержених або метаморфічних гірських порід із границею міцності на стиск не менше 100 МПа.

Кам'яний матеріал (щебінь) має проходити двостадійне дроблення. Форма зерен повинна максимально наближатися до кубічної, а лещадність не перевищувати 10 %.

Загальна поверхнева активність глинистих часток, органічних домішок, шкідливих мінералів (слюди, гідрослюди, хлоридів, магнетитів, гематитів, гетитів та ін.) кам'яного матеріалу, оцінюється за адсорбцією метилену синього і повинна бути в межах 5-10 мл. При перевищенні вказаних меж, кам'яний матеріал є непридатним для використання в цих сумішах. Результати тесту «метилен синій» дозволяють оперативно надати оцінку кам'яному матеріалу і прийняти рішення про його подальше випробування.

## **2.3 Мінеральний наповнювач**

Для покращення фракційного складу кам'яного матеріалу, регулювання часу розпаду бітумної емульсії і пластичності суміші слід використовувати цемент згідно з ДСТУ Б В.2.7-46. Допускається одночасно з цементом або замість нього використовувати такі мінеральні тонкодисперсні наповнювачі, як молотий вапняк, доломіт, базальт, зола, тощо згідно з ДСТУ Б В.2.7-121. Потрібно використовувати тільки свіжий або герметично запакований мінеральний наповнювач. Зерновий склад наповнювача повинний бути в межах, які зазначені в таблиці 1.

## Зерновий склад мінерального наповнювача

Назва компонента суміші	Масова доля, % зерен мінерального матеріалу менше, мм		
		0,315	0,140
Мінеральний наповнювач	90-100	75-100	67-100

**2.4 Регулятор розпаду**

Для прискорення або уповільнення розпаду емульсії у литій суміші, а також для поліпшення якості поверхні покриття (основи) слід застосовувати поверхнево-активні речовини типу хлористих або оцтовокислих солей моноамінів, поліамінів, амідоамінів, або четвертинних солей амонію за технічними умовами заводів-виробників. Кількість добавки або розчин певної концентрації попередньо назначається лабораторією під час підбору складу суміші і остаточно корегується на місці робіт.

**2.5 Вода**

Для приготування сумішей необхідно використовувати питну воду згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 або технічну воду згідно з ДСТУ Б В.2.7-273 без механічних домішок із середньою жорсткістю не вище 6 мг-екв/л. Кількість води, яка додається в литу емульсійно-мінеральну суміш повинна складати 6...11 %, а в литу асфальтобетонну суміш – 6...8 % маси сухого кам'яного матеріалу. При додаванні води менше 6 % суміш стає малорухомою, а при додаванні більше 11 % – не стабілізується. В окремих випадках вміст води може перевищувати 11% якщо не досягається потрібний рівень рухливості суміші.

### **3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

#### **3.1 Визначення фізико-технічних показників емульсій**

Дослідження розроблених рецептів бітумних емульсій проводилось згідно з ДСТУ Б В.2.7-129:2013. «Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови» [1] за низкою показників:

- визначення зовнішнього вигляду емульсії (визначають візуальним обстеженням поверхні скляної палички або фарфорового шпателью після їх занурення в емульсію);

- визначення показника концентрації водневих іонів (рН) (визначають потенціометричним методом);

- визначення однорідності емульсії (характеризують масою часток в'язучого розміром більше 0,14 мм);

- визначення вмісту бітуму з емульгатором (визначають методом випарювання води із емульсії);

- визначення умовної в'язкості (час впродовж якого 50 мл емульсії витікає на апараті через отвір діаметром 4мм при температурі  $(25,0 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ );

- визначення зчеплюваності в'язучого, виділеного з емульсії, з поверхнею щебеню (визначають візуально за величиною поверхні щебеню (у відсотках), на якій збереглася плівка в'язучого після витримання в дистильованій воді за температури  $(95,0 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ .);

- визначення індексу розпаду

#### **3.2 Визначення показника адсорбції метилену синього відсіву**

Випробування за критерієм адсорбції метилену синього проводять відповідно до СОУ 42.1-37641918-119:2014 [2]. Даним методом вимірюється здатність наповнювача до адсорбції метилену синього. Так, як 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

наповнювача з бітумними емульсіями і добавками, що може привести до передчасного розпаду або поганого зчеплення (адгезії).

Спосіб випробування за адсорбцією метилену синього служить для оцінки наповнювачів, які використовують для одержання суміші. Його не використовують для наповнювачів, екстрагованих із суміші.

Адсорбційна здатність мінеральних матеріалів за цим методом контролю повинна бути в межах 5-10 мл, при перевищенні вказаних меж, кам'яний матеріал є непридатним для використання в ЛЕМС.

Порядок проведення досліду наступний 30 г сухого кам'яного матеріалу фракції менше 0,071 мм (далі – наповнювача) поміщають у колбу з 200 мл дистильованої води. Дану суспензію змішують при 700 об/хв протягом 1 хв, а далі при 400 об/хв до кінця випробування. Крильчатка змішувача повинна бути занурена на глибину 1 см від дна колби. Потім до цієї суспензії додають 5 мл розчину метилену синього. Наступний крок – за допомогою скляної палички беруть краплю і поміщають її на фільтрувальний папір. Отримана на папері пляма складається з ядра з інтенсивним синім забарвленням, яке оточене вологим, слабо забарвленим (безбарвним) колом. Узята крапля повинна бути настільки великою, щоб діаметр ядра складав 8...12 мм. Випробування вважається позитивним, якщо зовнішнє коло має світло-синє забарвлення; і вважається негативним, якщо коло залишається безбарвним. При негативному результаті додають наступну порцію (1 мл) розчину метилену синього. Після цього щохвилини на протязі 5 хв беруть краплю суспензії для випробування. Якщо протягом цього часу останнє коло залишається безбарвним, то тоді додають наступний 1 мл розчину метилену синього і повторюють відбір суспензії.

Випробування продовжується доти, поки результат не буде позитивним протягом 5 хв. В якості результату випробування вказується середньоарифметичне значення трьох визначень витрати розчину метилену синього в мілілітрах, округлене з точністю до  $\pm 1$  мл. Відхилення значень між

собою не повинно перевищувати плюс, мінус 10 %. Виконання випробування наведено на рисунку

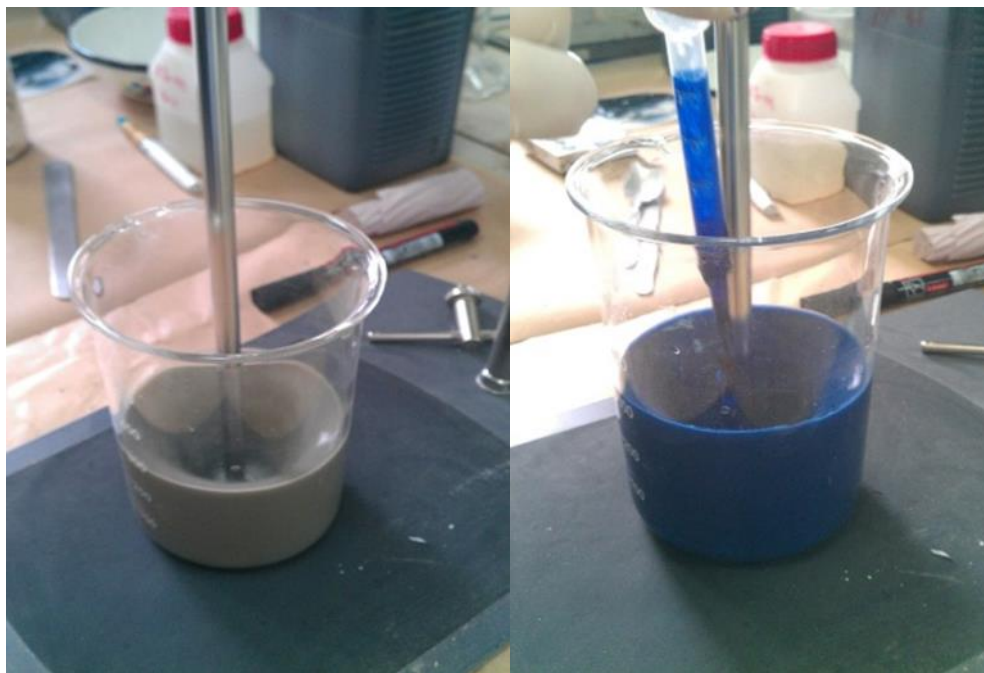


Рис. 2 Виконання випробування метилєну синього

### 3.3 Визначення розпаду суміші

Випробування з визначення часу розпаду суміші проводили відповідно до СОУ 42.1-37641918-119:2014 [2]. Критерій розпаду визначає час, протягом якого суміш повинна бути виготовлена і укладена в тонкошарове покриття.

Розпад ЛЕМС в лабораторних умовах визначали в наступній послідовності:

- змішування мінеральних компонентів, води, регулюючої добавки (присадки) та емульсії в емальованому посуді;
- ручне перемішування утвореної суміші шпателем в нахиленому посуді для можливості оцінювання рухливості суміші впродовж усього часу перемішування;
- фіксування розпаду суміші, як часу від змішування всіх компонентів суміші до моменту, коли емульсійно-мінеральна система втратить рухливість і можливість подальшого перемішування.

Оптимальним складом ЛЕМС за критерієм її розпаду вважається такий вміст кам'яного матеріалу, мінерального(них) наповнювачів, води, регулюючої добавки (присадки) та емульсії, що забезпечує розпад не раніше 180 секунд для

суміші гранскладу 0-5 мм та не раніше 120 секунд для суміші гранскладу 0-15 мм.



Рис. 3 Розпад суміші

### **3.4 .Визначення швидкості формування ГП**

Визначення ЛЕМС виконують згідно з СОУ 42.1-37641918-119:2014 [2] шляхом формування відповідних зразків суміші та випробування їх через певні періоди часу за допомогою модифікованого когезійного приладу (рис.).

Кам'яний матеріал просіюють через сито з розміром отворів, які дорівнюють розміру найбільшої фракції кам'яного матеріалу. Вихідні матеріали дозують в чашу для змішування. Час змішування з емульсією вимірюють секундоміром, час змішування повинен становити 45 с. Суміш виготовляють у кількості від 600 г до 700 г.

Зразок виготовляють шляхом заповнення сумішшю кільця необхідного розміру, висота якого дорівнює розміру найбільшої фракції. Підготовлений таким чином зразок із кільцем і пластиною придатний для встановлення на площадку приладу і проведення вимірювання.

Температура зразка повинна дорівнювати температурі повітря, яка прогнозується у місці проведення робіт. Перед початком випробувань проводять калібрування приладу. З цією метою виконують серію вимірювань крутного

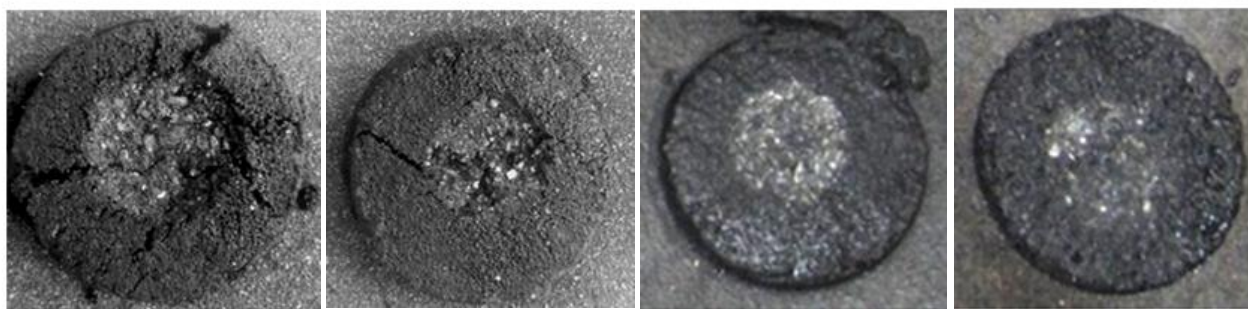
моменту на шліфувальному папері, поки вибірка з 10 послідовних випробувань не буде мати середнє значення близько 0,3 кгс×см.

Вимірювання крутного моменту проводять через 30 хв. та 60 хв. після змішування компонентів суміші з емульсією відповідно з даними таблиці 3 цього стандарту.

Зразок встановлюють без кільця-форми і центрують під наконечником, опускають шток приладу, дозволяючи наконечнику вільно лягти на поверхню зразка.

Нагнітають компресором повітря у циліндр до тиску 200 кПа, створюючи, через шток, вертикальне навантаження на зразок і витримують від 5 с до 6 с. Потім на шток накладають динамометричний ключ і провертають його на кут в межах від 90° до 120° (рівним, горизонтальним рухом з однаковим зусиллям протягом від 0,5 с до 0,7 с та знімають значення крутного моменту. Піднімають шток та очищують гумову поверхню наконечника шпателем.

Випробуванні зразки з ЛЕМС класифікуються за характером руйнування і відповідним значенням крутного моменту на типи (рис. 4):



1. «N»

2. «NS»

3. «S»

4. «SS»

Рис. 4 Типи руйнування зразків з ЛЕМС нові фото

1.«N» – Normal (стандартне) – характеризується практично повним руйнуванням зразка з наявністю радіальних тріщин. Рівнозначна величина крутного моменту – 12-13 кг\*см.

2.«NS» – Normal Spin (нормальне кручення) – характеризується наявністю лише однієї руйнуючої радіальної тріщини. Рівнозначна величина крутного моменту – 20-21 кг\*см.

3.«S» – Spin (кручення) – характеризується відсутністю тріщин, але спостерігається викришування зерен кам'яного матеріалу або зміщення їх по колу. Рівнозначна величина крутного моменту – 23 кг\*см.

4.«SS» – Solid Spin (тверде кручення) – характеризується відсутністю тріщин. Зразок зберігає цілісність, можливе зміщення або видалення частинок бітуму. Рівнозначна величина крутного моменту – 26 кг\*см.



Рис. 5 Зображення когезійного приладу.

### **3.5 Визначення втрати матеріалу при вологому абразивному зносі (ВМВЗ)**

Втрати матеріалу при волого абразивному зносі покриття визначаємо відповідно до СОУ 42.1-37641918-119:2014 [2]. Суть цього методу полягає у визначенні втрати маси водонасиченого матеріалу із суміші при механічному стиранні гумовою поверхнею протягом 5 хв. Це випробування відтворює умови зносу вологого покриття дороги колесами автомобіля.

Для кожного із трьох зразків обчислюємо втрату матеріалу при вологому



абразивному зносі,  $\text{г/м}^2$ :

$$ВМВЗ = (m_0 - m_1) \times k,$$

де  $ВМВЗ$  – втрата маси матеріалу при вологому зносі;

$m_0, m_1$  – відповідно маса зразка до і після зносу;

$k$  – перевідний коефіцієнт, який залежить від марки змішувача і змінюється в діапазоні від 29 до 35.

За результати визначення приймаємо середньоарифметичне значення випробувань трьох зразків, округлене до цілого, між результатами випробування окремих зразків не повинно перевищувати  $\pm 10\%$ .



Рис. 6 Процес зносу покриття приладом HOBART

## 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

### 4.1 Виготовлення та встановлення фізико-технічних показників емульсії

Для приготування бітумної емульсії було використано бітум нафтовий дорожній в'язкий окислений марки БНД 60/90 ВАТ «Мозирський НПЗ» (Білорусь, Гомельська область, місто Мозир) та дистиляційний бітум Nybit E85 шведської компанії Nupas, що відповідають вимогам ДСТУ 4044-2001[3].

Спираючись на рекомендації виробників емульсії та практичний досвід українських та європейських компаній було розроблено та виготовлено ряд рецептів, найбільш ефективні та якісні з них наведено в таблиці 2, саме ці рецепти було використано для порівняння впливу ортофосфорної та соляної кислоти на формування суміші ЛЕМС.

Таблиця 2

Рецепти бітумної емульсії для ЛЕМС

Компоненти, % мас.	Рецепт емульсії, №					
	1	2	3	4		
Бітум	Nybit E85 (БД 60/90) - 62%мас	БНД 60/90 (ВАТ «Мозирського НПЗ») – 62 %мас				
Емульгатор	Redicote 404 – 1,1 %мас.	Redicote 404 - 1,3 %мас. Redicote 540 - 0,25 %мас.	Redicote EM44 - 1,1 %мас.	Redicote C-320E		
				4.1	4.2	4.3
				1,2 %	1,6 %	1,8 %
pH водної фази (кислота)	pH=1,5 (HCl)	pH=2,5 (HCl)	pH=2,5 (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )			
Латекс	Tortex B – 2 %мас.					

Дослідження емульсій розроблених рецептів підтвердили, що бітумні емульсії є катіонними модифікованими повільнорозпадними (ЕКПМ-60) відповідають нормам та вимогам ДСТУ Б В.2.7-129:2013 [1] за всіма показниками й придатні для використання в технології ЛЕМС (табл. 3).

## Фізико - технічні показники емульсій

Найменування показника	Склад емульсії				Вимоги ДСТУ Б В.2.7-129:2003 для ЕКМП-60
	1. Nynas – 62% Redicote 404 - 1,1% рН=1,5 (НСІ)	2. Мозир – 62% Redicote 404 - 1,3% Redicote 540 – 0,25% рН=2,5 (НСІ)	Мозир – 62% Redicote EM44 - 1,0% рН=2,5 (Н <sub>3</sub> РО <sub>4</sub> )	Мозир – 62% Redicote C-320E - 1.2% рН=2,5 (Н <sub>3</sub> РО <sub>4</sub> )	
1.Зовнішній вигляд	Однорідна темно-коричнева рідина	Однорідна темно-коричнева рідина	Однорідна темно-коричнева рідина	Однорідна темно-коричнева рідина	Однорідна темно-коричнева рідина
2.Показник концентрації водневих іонів, рН	1,5	2,5	2,5	2,5	1,5-6,5
3.Однорідність (залишок на ситі №014), не% не більше	0,01	0,01	0,01	0,01	0,25
4.Вміст залишкового в'язучого	60,91	61,01	61,88	61,97	58-62
5.Умовна в'язкість, за температури 20°С на апараті з діаметром отвору витоку 4 мм, с	8,3	8,2	8,4	8,5	Від 5 до 25
6.Стійкість при зберіганні 7 діб, залишок на ситі №014, %, не більше	0,02	0,05	0,04	0,03	0,3
7.Стійкість при зберіганні 14 діб, залишок на ситі №014, %, не більше	0,16	0,14	0,14	0,13	0,4
8.Зчеплюваність залишкового в'язучого з поверхнею щебеню, балів не менше	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
9.Індекс розпаду	175,62	175,70	183,21	183,35	170-230

Після занурення скляної палички в бітумну емульсію на її поверхні не було виявлено жодних частинок та ниток непроемульгованого бітуму, скляна паличка була вкрита однорідною темно-коричневою плівкою для чотирьох рецептів бітумної емульсії. Показник концентрації водневих іонів рН для рецептів емульсії на соляній кислоті є набагато вищим, ніж для рецептів на ортофосфорній. Ступінь однорідності даних емульсій не перевищував 0,01 %.

Після проведення дослідів на вміст в емульсії бітуму з емульгатором було виявлено, що вміст в'язучого для першого та другого складу емульсії є меншим в порівнянні з третім і четвертим, але входив в межі вимог для даного типу емульсій. Зчеплюваність залишкового в'язучого з поверхнею зерен щебеню було оцінено найвищим балом для чотирьох рецептів, оскільки вся поверхня була вкрита плівкою емульсії. Індекс розпаду для систем на соляній кислоті був відносно нижчим ніж для систем на ортофосфорній. Дані рецепти емульсій були взяті для подальших досліджень, оскільки вони відповідають всім показникам та нормам за ДСТУ Б В.2.7-129:2013 [1] і є придатні для використання в технології ЛЕМС.

## 4.2. Випробування кам'яного матеріалу для ЛЕМС

### 4.2.1 Визначення адсорбції метилену синього

Були проведені дослідження за критерієм адсорбції метилену синього на гранітному щебеню взятому із Клесівського кар'єру в Рівенській області.

*Таблиця 4*

#### Результати показника метилену синього

Кам'яний матеріал	Фактичні дані,мл	Вимоги СОУ 42.1-37641918-119:2014
Клесівський відсів	15	5-10

Встановлено, що показник метилену синього рівний 15 мл, це є вище ніж допустима межа за цим методом (5-10 мл), але як відомо системи ЛЕМС на ортофосфорній кислоті дозволяють використання реактивного заповнювача. В Україні більшість кам'яних матеріалів є реактивними тому було вирішено проводити випробування на основі клесівського відсіву. При досягненні

позитивних результатів можна буде стверджувати, що системи працюють з кам'яними матеріалами, які визнані непридатними для використання в ЛЕМС за показником метилену синього.

#### 4.2.2 Визначення відповідності зернових складів кам'яних матеріалів типам ЛЕМС

Метою підбору гранулометричного складу ЛЕМС було отримання типів сумішей 0-5 мм та 0-15 мм. Встановлено, що зерновий склад щебневих висівок клесівського кар'єру фракцій 0-5 мм входить в межі рекомендованих граничних кривих ЛЕМС для 1 типу суміші (0-5 мм) згідно з нормами (рис.7), а для отримання найбільш наближеного значення гранулометричної кривої до вимог ЛЕМС 3 типу суміші (0-15 мм), було об'єднано щебневий відсів 0-5 мм та щебневі висівки та щебінь фракції 0-15 мм у кількості 75% та 25% відповідно та отримано щебневу суміш 0-15 (рис.8).

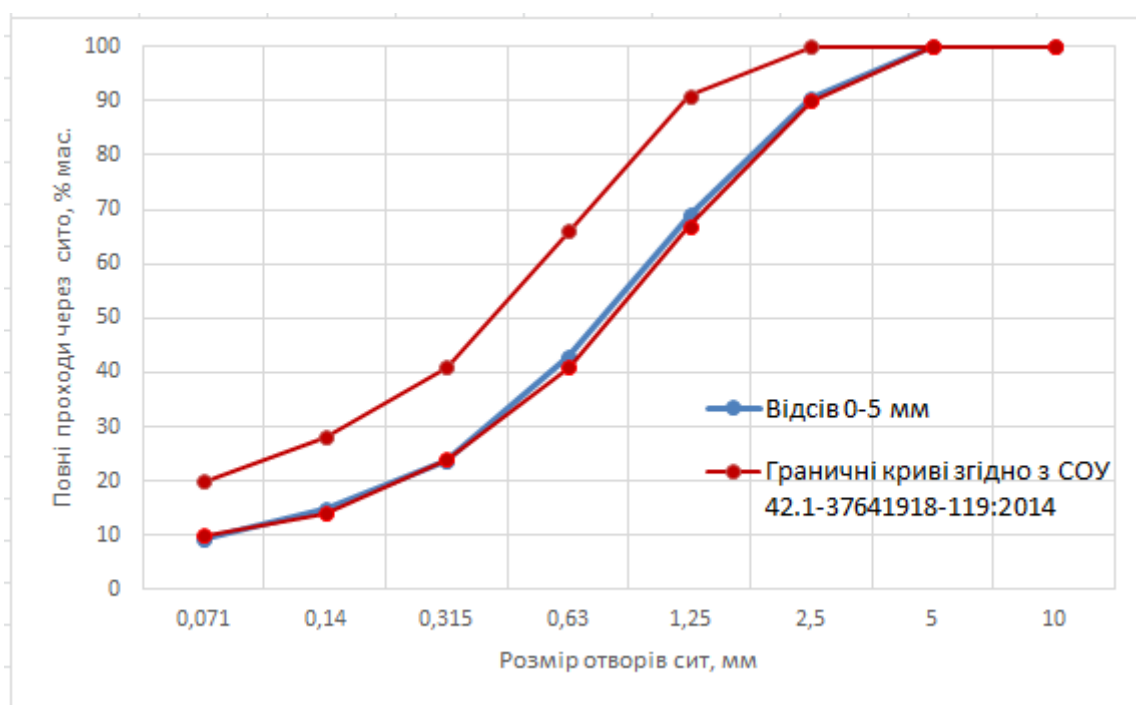


Рис. 7 Відповідність гранулометричного складу клесівського щебеню 1-му типу за нормативами СОУ 42.1-37641918-119:2014.

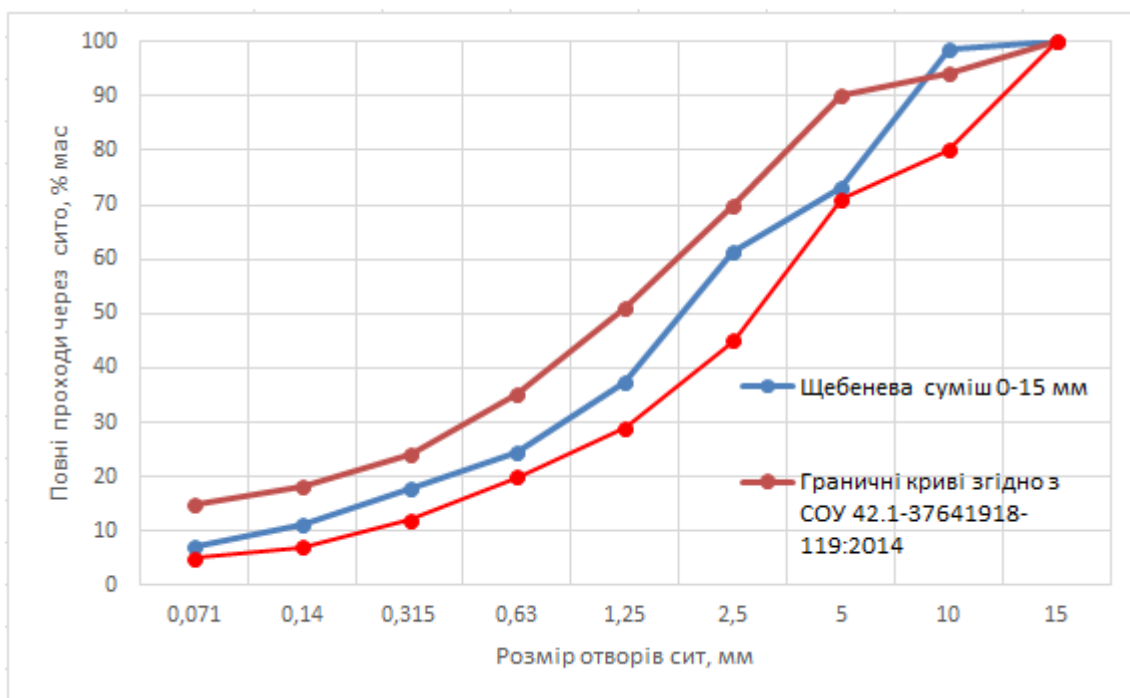


Рис. 8 Граничні криві згідно з СОУ 42.1-37641918-119:2014 для типу 3 ЛЕМС

Для подальших випробувань було обрано щебеневі висівки фракції 0-5 мм та щебенева суміш 0-15 мм в яку входять: фракція 0-5мм (75%мас.) і фракція 0-15мм (25% мас.)

### 4.3 Проектування складу ЛЕМС за критерієм розпаду

Підбір складу литих емульсійно-мінеральних сумішей для влаштування шарів зносу виконують з метою отримання поверхні, яка має певний заданий період формування і необхідні якісні характеристики.

Склад суміші залежить від категорії дороги, стану дорожнього покриття з врахуванням кліматичних умов. Орієнтовно на 100 частин кам'яного матеріалу необхідно приблизно 1 частину мінерального наповнювача, 10-13 частин емульсії, 4-5 частин хімічних добавок, 6-11 частин води. В окремих випадках вміст води може перевищувати 11% якщо не досягається потрібний рівень рухливості суміші.

Для підбору оптимального складу ЛЕМС за критерієм розпаду із кам'яного матеріалу було відібрано фракцію 0-5 мм та фракцію 0-15 мм. За наведеною вище методикою підбору оптимального складу ЛЕМС за критерієм розпаду було опрацьовано склади на дистиляційному бітумі Nybit E85 та на окисленому бітумі

БНД 60/90 «Мозирський НПЗ» на чотирьох розроблених рецептах емульсій на основі ортофосфорної та соляної кислоти.

Оптимальним складом ЛЕМС за критерієм її розпаду вважається такий вміст компонентів, за яких запроєктована суміш розпадеться не раніше ніж за 120 секунд. Досліди з визначення розпаду та початком набору когезійної міцності суміші проводились при температурі +25°C.

Таблиця 5

## Склади ЛЕМС

№ складу суміші ЛЕМС		Компоненти , г				Час розпаду, хв:с	Комкування, хв:с	Щебенева суміш,мм	
		Цемент	Вода	Присадка	Емульсія				
1.Nynas – 62% Redicote 404 - 1,1% pH=1,5 (HCl)	1.1	0,7	12,0	2,0	14,0	2:20	2:15	0-5	
	1.2	1,0	10,0	1,15	14,0	2:20	2:30	0-15	
2.Мозир – 62% Redicote 404 - 1,3% Redicote 540 – 0,25% pH=2,5 (HCl)	2.1	1,0	13,0	1,3	14,0	2:10	2:20	0-5	
	2.2	1,0	10,0	0,7	14,0	2:10	2:25	0-15	
	2.3	1,0	11,0	1,0	16,0	2:10	2:20	0-5	
	2.4	1,0	11,0	0,5	16,0	2:20	2:30	0-15	
3.Мозир – 62% Redicote EM44 - 1,0% pH=2,5 (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	3.1	0,5	11,0	3,0	14,0	2:10	2:40	0-5	
	3.2	0,5	10,0	1,4	14,0	2:30	2:55	0-15	
4.Мозир – 62% Redicote C-320E - pH=2,5 (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	1,2%	4.1	0,5	12,0	2,25	14,0	2:40	3:05	0-5
	1,2%	4.2	0,5	10,0	0,5	14,0	2:30	2:55	0-15
	1,6%	4.3	0,5	8,0	-	14,0	2:35	3:00	0-15
	1,8%	4.4	0,5	14,0	-	14,0	3:19	3:33	0-5

Розпад ЛЕМС в лабораторних умовах визначали в наступній послідовності: змішування в емальованому посуді мінеральних компонентів води, присадки та емульсії;

ручне перемішування суміші шпателем в нахиленому посуді для можливості оцінювання рухливості суміші впродовж усього часу перемішування; фіксування розпаду суміші, як час від змішування всіх компонентів суміші до

моменту, коли емульсійно-мінеральна система втратить рухливість і можливість подальшого перемішування.

За початок набору когезійної міцності вважаємо інтервал часу від розпаду суміші до моменту її переходу в квазітвердий стан. Після втрати рухливості суміші і можливості подальшого перемішування вона починає збиватись у грудки, комки (комкується). В лабораторних умовах час початку набору когезійної міцності встановлювали коли на шпателі можливо сформувати і утримати комок (грудку) із утвореної суміші в продовж декількох секунд

Цей критерій визначає час, коли ЛЕМС розподілена по поверхні укладання і вже не може бути відкоригованою без порушення цілісності та однорідності її шару. Початок набору когезійної міцності є важливим показником, адже після розподілення ЛЕМС спеціальною машиною шламоукладальником можуть виникати певні недоліки, дефекти влаштованого шару, а саме: неоднорідні місця, місця без суміші, або з її надлишком. Ці місця потрібно ліквідувати рівномірним розрівнюванням суміші вручну за допомогою швабр та скребок. Несвоєчасне, пізні виправлення даних недоліків призводить до порушення новоствореної композитної структури ЛЕМС та до не належного схоплювання та самоущільнення суміші. Внаслідок цього під час ущільнення описаних місць котками чи транспортними засобами можлива дезінтеграція суміші, її відшарування та утворення поверхневих вибоїн, луцення, розвиток тріщин.

За допомогою показника початку набору когезійної міцності дізнаємось момент часу з якого починається розвиток процесів формування ТП із ЛЕМС. За відсутності несприятливих природних чи механічних чинників під час усього періоду формування шару з ЛЕМС, чим швидше настає початок набору когезійної міцності тим швидше ТП набере потрібну когезійну міцність для відкриття руху по дорозі. В лабораторних умовах встановлено, що початок набору когезійної міцності повинен настати не пізніше ніж за 30 секунд після розпаду суміші для 2-5 класів ЛЕМС залежно від розвитку процесу формування та ущільнення суміші [2].



#### 4.4 Визначення часу твердіння ЛЕМС з ТП

Приготування та випробування литих емульсійно-мінеральних сумішей здійснено відповідно до вимог СОУ 42.1-37641918-119:2014 [2]. Також у дослідженнях використано метод оцінювання набору когезійної міцності готової ЛЕМС згідно з вимогами технічного бюлетеня ISSA (International Slurry Surfacing Association). Дослідження проведено шляхом формування зразків ЛЕМС одного складу (рис.9) та подальшого випробування їх через певні періоди часу на когезійну міцність за допомогою модифікованого когезійного тестера The Modified ASTM D3910-80a Cohesion Tester.



Рис. 9 Процес формування зразків для випробування на когезійну міцність

Визначення когезійної міцності ЛЕМС за характерним типом руйнування і відповідним значенням крутного моменту проводили через визначені інтервали часу залежно від рецепту використаної бітумної емульсії і добавок, починаючи приблизно через 15–30 хвилин після формування зразків у кільці-формі (час визначали шляхом візуального оцінювання готовності зразків для проведення випробувань). У результаті випробування візуально оцінювали тип руйнування зразка при фіксуванні відповідного значення крутного моменту. Також в ході дослідження було виявлено, що поверхня зразків систем ЛЕМС на ортофосфорній кислоті володіє значним прилипанням до гумового наконечника ступні приладу (рис.10)

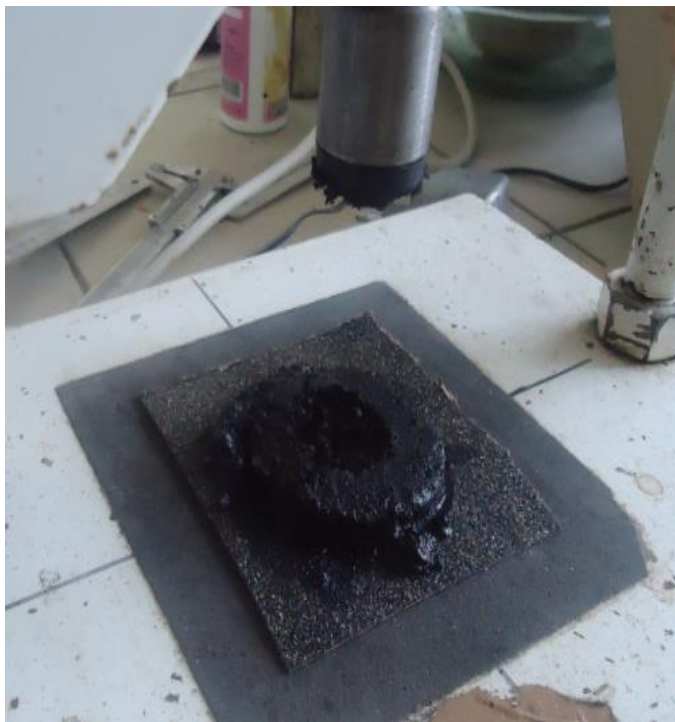


Рис. 10 Візуальне зображення липкості поверхні зразків на системах ЛЕМС з  $H_3PO_4$

Для проведення досліду було вибрано склади ЛЕМС (табл. 5), що є оптимальними за критеріями забезпечення нормативного значення розпаду суміші (не раніше двох хвилин) на основі чотирьох розроблених рецептів емульсій:

- 1) на дистиляційному бітумі Nybit E85 шведської компанії «Nynas» із емульгатором Redicote 404 в кількості 1,1 мас. % емульсії
- 2) на окисленому бітумі БНД 60/90 виробництва ВАТ «Мозирський НПЗ» із емульгаторами Redicote 404 в кількості 1,3 мас. % емульсії та Redicote 540 в кількості 0,25 мас.% емульсії
- 3) на окисленому бітумі БНД 60/90 виробництва ВАТ «Мозирський НПЗ» із емульгатором Redicote 44 в кількості 1,0 мас. % емульсії
- 4) на окисленому бітумі БНД 60/90 виробництва ВАТ «Мозирський НПЗ» із емульгатором Redicote C-320 E

Таблиця 6

**Результати випробувань по визначенню швидкості набору когезійної  
міцності ЛЕМС**

ЛЕМС		Склад		Тип суміш	Вміст емульсії, частин	Показники		Значення показників			
<b>1.Nynas – 62% Redicote 404 - 1,1% pH=1,5 (HCl)</b>		1.1		0-5	14	Час випробування, хв.	<b>0:15</b>	<b>0:25</b>	<b>0:30</b>	<b>0:45</b>	
						Характер руйнування	<b>N</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>SS</b>	
		1.2		0-15	14	Час випробування, хв.	<b>0:15</b>	<b>0:20</b>	<b>0:25</b>	<b>0:30</b>	
						Характер руйнування	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>SS</b>	
<b>2.Мозир – 62% Redicote 404 - 1,3% Redicote 540 – 0,25% pH=2,5 (HCl)</b>		2.1		0-5	14	Час випробування, хв.	<b>2:00</b>	<b>3:00</b>	<b>4:00</b>		
						Характер руйнування	<b>NS</b>	<b>S</b>	<b>SS</b>		
		2.2		0-15	14	Час випробування, хв.	<b>1:00</b>	<b>1:30</b>	<b>2:00</b>		
						Характер руйнування	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>S</b>		
		2.3		0-5	16	Час випробування, хв.	<b>1:00</b>	<b>2:15</b>	<b>3:00</b>	<b>4:00</b>	
						Характер руйнування	<b>N</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	
		2.4		0-15	16	Час випробування, хв.	<b>1:00</b>	<b>2:00</b>	<b>3:00</b>	<b>4:00</b>	
						Характер руйнування	<b>N</b>	<b>N</b>	<b>N</b>	<b>N</b>	
<b>3.Мозир – 62% Redicote EM44 - 1,0% pH=2,5 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)</b>		3.1		0-5	14	Час випробування, хв.	<b>2:00</b>	<b>4:00</b>			
						Характер руйнування	<b>N</b>	<b>N</b>			
		3.2		0-15	14	Час випробування, хв.	<b>1:15</b>	<b>1:30</b>	<b>2:00</b>	<b>2:30</b>	
						Характер руйнування	<b>N</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>S</b>	
<b>4.Мозир – 62% Redicote С-320Е - pH=2,5 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)</b>	<b>1,2%</b>	4.1		0-5	14	Час випробування, хв.	<b>0:30</b>	<b>1:00</b>	<b>2:30</b>	<b>4:00</b>	
						Характер руйнування	<b>N</b>	<b>N</b>	<b>N</b>	<b>NS</b>	
	<b>1,2%</b>	4.2		0-15	14	Час випробування, хв.	<b>1:00</b>	<b>1:15</b>	<b>1:30</b>		
						Характер руйнування	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>SS</b>		
	<b>1,6%</b>	4.3		0-5	14	Час випробування, хв.	<b>0:30</b>	<b>0:45</b>			
						Характер руйнування	<b>S</b>	<b>SS</b>			
	<b>1,8%</b>	4.4		0-15	14	Час випробування, хв.	<b>0:20</b>	<b>0:30</b>	<b>0:45</b>		
						Характер руйнування	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>SS</b>		

Після отриманих результатів дослідження (табл.6) було побудовано два порівняльні графіки набору когезійної міцності для сумішей 0-5 мм та 0-15 мм відповідно (рис.11 та рис.12).

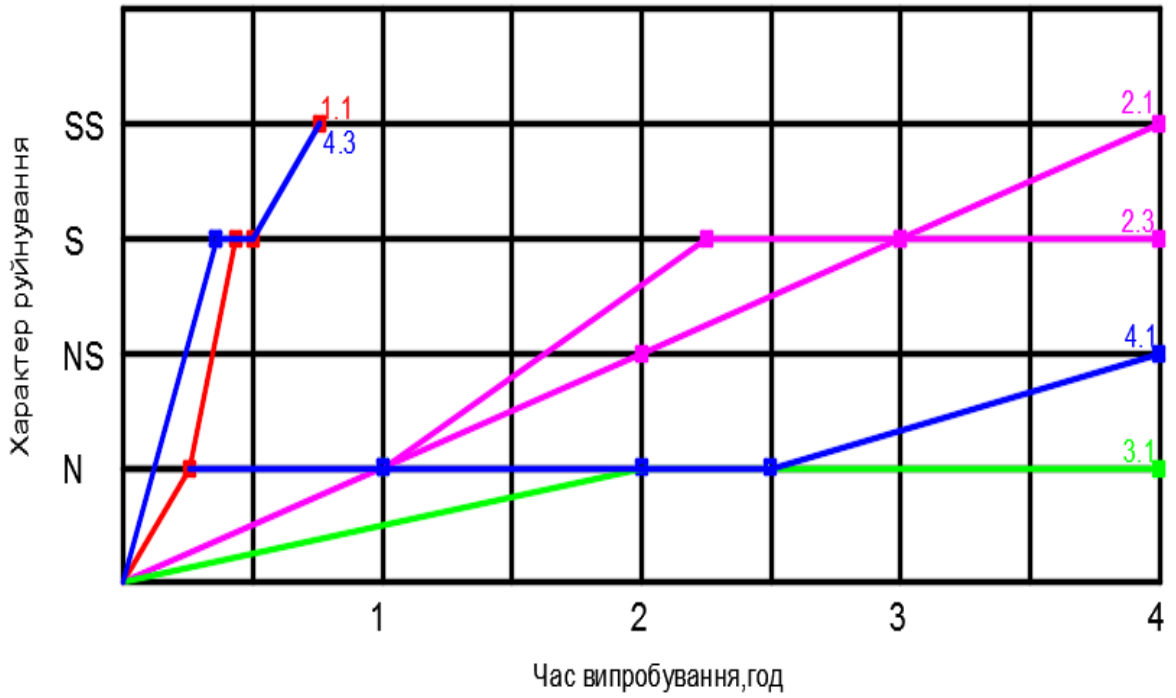


Рис.11 Графік набору когезійної міцності ЛЕМС для суміші 0-5мм на різних варіантах в'язучих

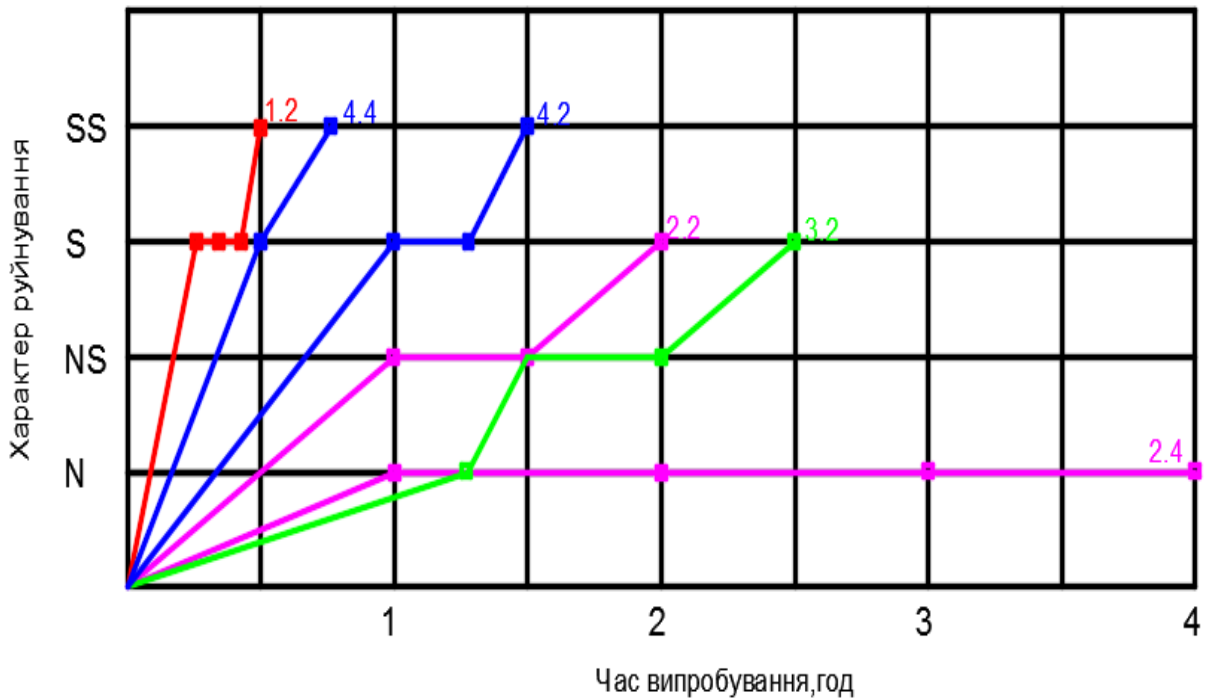


Рис.12 Графік набору когезійної міцності ЛЕМС для суміші 0-15мм різних варіантах в'язучих

Як видно з даних табл.6 та рис.11-12 найвищі темпи набору когезійної міцності ЛЕМС на використаних емульсіях забезпечують склади на дистиляційному бітумі Nybit E85 та на окисленому бітумі БНД 60/90

виробництва ВАТ “Мозирський НПЗ” із емульгатором Redicote С-320 Е в кількості 1,8 мас. % емульсії. Відкриття руху транспорту можна починати за 45 хв для ЛЕМС на щебеновій суміші 0-5 мм (рис.11), та через 30 хв для складу на дистиляційному бітумі Nybit Е85 і 45 хв для складу на окисленому бітумі БНД 60/90 для ЛЕМС на щебеновій суміші 0-15 мм (рис.12).

Склад ЛЕМС з вмістом емульсії на рецептурі на ортофосфорній кислоті із Redicote ЕМ44 демонструє негативний результат, оскільки час необхідний для формування покриття із можливістю відкриття руху з обмеженнями (для кам'яного матеріалу 0-5 мм) не досягається за 4 години. Тому подальші випробування на складі 3.1 та 3.2 (табл.6) не проводились.










#### **4.5. Визначення втрати матеріалу при вологому абразивному зносі**

Для проведення дослідів було взято такі склади ЛЕМС: на дистиляційному бітумі Nybit Е85 шведської компанії «Nynas» із емульгатором Redicote 404; на окисленому бітумі БНД 60/90 виробництва ВАТ “Мозирський НПЗ” із емульгаторами Redicote 404 та Redicote 540; на окисленому бітумі БНД 60/90 виробництва ВАТ “Мозирський НПЗ” із емульгатором Redicote С-320. При дослідженні кожного складу ЛЕМС було використано по три рецепти із різним вмістом бітумної емульсії: 12 г, 14 г та 16 г на 100 г кам'яного матеріалу.

Аналізуючи, результати випробувань (табл. 7), найменші втрати матеріалу під час вологого зносу (за норми не більше 530 г/м<sup>2</sup> згідно з СОУ 42.1-37641918-119:2014 [2]) спостерігаємо, як і у випадку тесту на швидкість набору когезійної міцності, у ЛЕМС на основі дистиляційних бітуму Nybit Е85 та окисленому бітумі БНД 60/90 виробництва ВАТ “Мозирський НПЗ” із емульгатором Redicote С-320Е в кількості 1,8 мас. %. Загалом склади з вмістом бітумної емульсії 14 частин є економічнішими, тим більше, що збільшення витрати емульсії до 16 частин не супроводжується різким зменшення витрат матеріалу за вологого абразивного зносу

Таблиця 7

Визначення втрати матеріалу при вологому абразивному зносі ефективних складів ЛЕМС

ЛЕМС №	Вміст емульсії ,г на 100 г кам'яного матеріалу та втрата маси матеріалу при вологому зносі, г/м <sup>2</sup>		
	12,0	14,0	16,0
1.			
	2168	36	16
2			
	2395	1066	46
4.4	$E_m=12$ 	$E_m=14$ 	$E_m=16$ 
	204	23	20

## ВИСНОВКИ

1. Запроектовано ефективні склади ЛЕМС для ремонту доріг загального користування: на соляній кислоті Nynas – 62% Redicote 404 - 1,1%, на ортофосфорній кислоті Мозир 62% Redicote C-320E – 1,8%
2. Доведено можливість і ефективність використання систем ЛЕМС з окисленими бітумами на ортофосфорній кислоті із досягненням високих показників швидкості набору когезійної міцності в порівнянні з більш поширеними та відомими системами на соляній кислоті.
3. Доведено, що системи ЛЕМС на ортофосфорній кислоті менш залежні від реактивності кам'яного матеріалу ніж системи на соляній, що дає можливість використання практично всіх кам'яних матеріалів, які відповідають вимогам гранулометричного складу.
4. Визначено що досягнення вимог стандарту за показником волого абразивного зносу для рецептів з використанням окисленого бітуму на ортофосфорній кислоті вимагає менше емульсії, ніж рецептура на соляній кислоті.
5. Системи ЛЕМС з використанням емульсії на ортофосфорній кислоті та окисненому бітумі є економічніші ніж системи на соляній кислоті та дистиляційному бітумі.

## ДОДАТОК А ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В додатку А наведені розрахунки наведені в табличній формі (табл. А1 та А2) для встановлення економічної доцільності застосування розроблених ефективних складів ЛЕМС, а саме порівняння ЛЕМС на основі бітумної емульсії на дистильційному бітумі та соляній кислоті (склад 1) та на окисленому бітумі та ортофосфорній кислоті (склад 4.4).

*Таблиця А1*

### Витрати матеріалів на 1 т бітумної емульсії

Компоненти емульсій	Витрата бітумних емульсій			Вартість, грн	
	%, мас	% в 100% мас	на 1 т, кг	Складника, 1 кг	Бітумної емульсії 1 т
<b>Рецепт бітумної емульсії №1</b>					
БД 60/90 (Nybit E85)	62,0	60,194	601,94	21,2	21 083,97
Емульгатор Redicote 404	1,1	1,068	10,68	182	
Соляна кислота у водній фазі	1,0	0,971	9,71	18,8	
Вода	35,9	34,854	348,54	8	
Синтетичний латекс Torptex В	3,0 понад 100	2,913	29,13	117	
<b>Рецепт бітумної емульсії № 4.4</b>					
Бітум БНД 60/90 ВАТ «Мозирський НПЗ»	62,0	60,194	601,94	15	18 915,74
Емульгатор Redicote С-320Е	1,8	1,747	17,47	204	
Ортофосфорна кислота у водній фазі	1,0	0,971	9,71	13	
Вода	35,9	34,854	348,54	8	
Синтетичний латекс Torptex В	3,0 понад 100	2,913	29,13	117	



Таблиця А2

## Вартість ЛЕМС для рецепту 1.1

Розмірність	Кам'яний матеріал	Цемент	Вода	Присадка	Емульсія
Витрати матеріалів згідно складу, понад 100 частин заповнювача	100	0,7	12,0	2,0	14,0
Витрати матеріалів для ЛЕМС, %	77,71	0,54	9,32	1,55	10,88
Витрати матеріалів на 1 т ЛЕМС, т	0,7771	0,0054	0,0932	0,0155	0,1088
Вартість матеріалу, грн/т	620	1560	800	100	21083,97
Вартість кожного матеріалу ЛЕМС відповідно до складу, грн	481,802	8,42	74,6	1,55	2293,93
Загальна вартість 1 т ЛЕМС, грн	3013,75				

Таблиця А3

## Вартість ЛЕМС для рецепту 4.4

Розмірність	Кам'яний матеріал	Цемент	Вода	Емульсія
Витрати матеріалів згідно складу, понад 100 частин заповнювача	100	0,5	14,0	14,0
Витрати матеріалів для ЛЕМС, %	77,72	0,39	10,89	10,89
Витрати матеріалів на 1 т ЛЕМС, т	0,7772	0,0039	0,1089	0,1089
Вартість матеріалу, грн/т	620	1560	800	18915,74
Вартість кожного матеріалу ЛЕМС відповідно до складу, грн	481,864	6,084	87,12	2059,92
Загальна вартість 1 т ЛЕМС, грн	2634,99			

Економічний розрахунок проведений враховуючи лише вартість сировинних матеріалів для кінцевого продукту.

Аналізуючи табл. А2 і А3 встановлюємо що склад ЛЕМС №4.4 є економічно вигіднішим ніж склад № 1.1 в 1,14 рази.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ Б В.2.7-129:2013. «Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови.» - Київ : Мінрегіон України., 2014.
2. СОУ 42.1-37641918-119:2014 Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови - Київ:Укравтодор.2014.
3. ДСТУ 4044-2001. «Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови.» - Київ: Держстандарт 2001.
4. ДБН В.2.3-4:2015. Споруди транспорту. Автомобільні дороги.
5. Сларри Сил [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.metrayol.com.tr/katalog/Slurry\\_Seal\\_Ru.pdf](http://www.metrayol.com.tr/katalog/Slurry_Seal_Ru.pdf)
6. Сідун Ю.В. «Підвищення швидкості набору когезійної міцності литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей». Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Науковий керівник / консультанти: д.т.н., проф. Солодкий С.Й. Національний університет "Львівська політехніка", Міністерство освіти і науки України, Львів, 2017.
7. Дороги і мости: Збірник наукових праць. Кіщинський С.В., Гончаренко Ю.Ф., Гнатюк Е.М., Досвід та проблеми влаштування на дорогах України тонкошарових покриттів типу «Сларрі Сіл». – К.: ДерждорНДІ, 2008. – Випуск 10.
8. 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.
9. Солодкий С.Й. Інноваційні матеріали і технології для будівництва та ремонту дорожніх одягів автомобільних доріг: навч. посібник / С.Й. Солодкий. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013.-140 с.Нагайчук В.М. Досвіду влаштування тонкошарових покриттів з емульсійно-мінеральних сумішей // Автошляховик України. - 2005. - № 4. - С. 47-48.

10. В.Я. Савенко; О.Г.Островерхий, В.І.Каськів. Влаштування тонкошарових покриттів на автомобільних дорогах державного значення // Автошляховик України. - 2007. - № 1. - С. 40-42.
11. Климчук С. М. Вимоги до технології влаштування тонкошарових покриттів з сумішей литих емульсійно-мінеральних та холодних асфальтобетонних. // Автошляховик України. - 2003. - № 1. - С. 31-33.
12. Солодкий С.Й., Сідун Ю.В., Волліс О.Є. Кінетика набору когезійної міцності холодних литих емульсійно-мінеральних сумішей на бітумах різного походження // Автошляховик України. - 2013. - № 3. - С. 36-40.
13. Поводырев М. Что такое микросюрфейсинг / Автомобильные дороги, 2006, № 4, с. 52-53.
14. Скрышник 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.
15. Поводырев Г. Сургутская прописка Сларри-Сил // Автомобильные дороги, 2001, № 4, с. 12-14.
16. Устройство тонкослойных покрытий из литыхэмульсионно минеральных смесей «Сларри Сил».Стандарт предприятия СТП ДИСиТ 03 02. Технологический регламент. Сургут. 2002. С. 29.
17. Петров А.В. Опыт применения литых эмульсионно-минеральных смесей на дорогах РФ. Проблемы и пути развития. Каталог-справочник «Дорожная Техника - 2006». Информационно-поисковая система строителя. Stroit.Ru » Библиотека »Дорожная техника» Применение литых эмульсионно-минеральных смесей.
18. AkzoNobel Surface Chemistry. Інформаційний бюлетень відділу дорожніх добавок – Європа. Випуск 80, осінь 2009.
19. ISSA Technical Bulletin A105 (Revised) May 2003, Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal, International Slurry Surfacing Association, Annapolis, MD.

20. ISSA Technical Bulletin 139. Test Method to Classify Emulsified Asphalt/Aggregate Mixture Systems by Modified Cohesion Tester Measurement of Set and Cure Characteristics, International Slurry, Surfacing Association, Washington, DC, 1990.