

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**СІДУН ЮРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ**



УДК 691.167

**ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОСТІ НАБОРУ КОГЕЗІЙНОЇ МІЦНОСТІ  
ЛИТИХ ХОЛОДНИХ ЕМУЛЬСІЙНО-МІНЕРАЛЬНИХ СУМІШЕЙ**

Спеціальність 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті “Львівська політехніка”  
Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Солодкий Сергій Йосифович**  
Національний університет "Львівська політехніка",  
завідувач кафедри автомобільних доріг та мостів

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Гамеляк Ігор Павлович**  
Національний транспортний університет,  
завідувач кафедри аеропортів

кандидат технічних наук, доцент  
**Ільченко Володимир Васильович**  
Полтавський національний технічний університет  
імені Юрія Кондратюка, доцент кафедри автомобільних доріг,  
геодезії, землеустрою та сільських будівель

Захист відбудеться 03.10.2017 р. о 13:00 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.17 у Національному університеті “Львівська політехніка” (79013, м. Львів, вул. Карпінського, 6, П н. к., ауд. 212).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету  
“Львівська політехніка” (79013, Львів, вул. Професорська,1)

Автореферат розіслано 01.09. 2017 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 35.052.17,  
кандидат технічних наук, доцент



**Холод П.Ф.**

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Як свідчить світова практика, одним із найбільш економічних та індустріально-ефективних заходів запобігання і попередження передчасного руйнування дорожнього покриття є влаштування тонкошарових покриттів (ТП) на основі литих холодних 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.

Ця технологія набуває все більшого розповсюдження в Україні, проте є недостатньо вивченим етап проектування складу суміші. Одним із виявлених проблемних місць застосування даної технології є використання в'язучих та заповнювачів, що не забезпечують необхідної швидкості набору когезійної міцності укладеної литої суміші, а відтак інтенсивного формування ТП і своєчасне відкриття руху по них. ЛЕМС на основі окислених бітумів та неоптимальних за критерієм загальної поверхневої активності кам'яних матеріалів демонструють низьку швидкість набору когезійної міцності суміші відповідно до світових стандартів та практичних вимог. Ця особливість разом із залежністю ЛЕМС від температури та вологості навколишнього середовища спричиняє обмеженість використання технології. Отже, нагальною потребою є пошук технологічних рішень для розв'язку даної проблеми.

Підвищення швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС можливе за рахунок добору і покращенню властивостей вихідних матеріалів для литої суміші в контексті прискорення її твердіння в різних температурних умовах. Для цього потрібно вирішити завдання проектування складів ЛЕМС із властивостями, що відповідають заданим технологічним, експлуатаційним та кліматичним вимогам.

Основними складниками ЛЕМС є бітум в емульгованому вигляді та кам'яний матеріал фракцій від 0 до 15 мм. Приділяючи увагу добору, дослідженню та покращенню показників якості цих матеріалів, можна прискорити швидкість набору когезійної міцності суміші. Модифікація вихідного бітуму позитивно впливає на характеристики та швидкість твердіння ТП. Також регулювати властивості бітуму можна на етапі виготовлення бітумної емульсії, а саме включаючи в її склад спів-емульгатори, модифікатори. Загальна поверхнева активність кам'яного матеріалу повинна бути не високою, а зерновий склад має відповідати певному типу суміші. Комбінація ефективного в'язучого разом з раціонально підібраним кам'яним матеріалом повинна забезпечити швидкий розвиток процесу формування ТП з ЛЕМС.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри «Автомобільні дороги та мости» Інституту будівництва та інженерії доквілля Національного університету «Львівська політехніка» – «Розробка ефективних технологій і матеріалів для будівництва та ремонту дорожніх одягів» і виконана в межах держбюджетної науково-дослідної роботи «Розроблення технології одержання дорожніх бітумів та бітумних емульсій,

модифікованих полімеризаційними та конденсаційними смолами» (№ держ. реєстр. 0115U000425), а також низки госпдоговірних робіт з підрядними організаціями дорожньої галузі Західного регіону України.

**Мета і завдання досліджень.** Метою дисертаційної роботи є розроблення ЛЕМС для тонкошарових покриттів з високою швидкістю набору когезійної міцності шляхом удосконалення властивостей сировинних матеріалів і цілеспрямованого добору складу суміші.

**Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:**

- проаналізувати структурні типи наявних для використання в Україні дистиляційних і окислених бітумів, окислених модифікованих бітумів за критерієм групового-хімічного складу (ГХС) та розрахунковими показниками; визначити фізико-механічні властивості бітумів;
- розробити ефективні склади бітумних емульсій для марок ЕКМ-60 та ЕКПМ-60 на бітумах різного технологічного походження для використання в ЛЕМС та визначити вплив ступеня дисперсності бітумної емульсії на розпад ЛЕМС;
- встановити оптимальні кам'яні матеріали для використання в ЛЕМС за критерієм загальної поверхневої активності та підібрати розрахункові гранулометричні криві для кожного з трьох типів ЛЕМС;
- дослідити основні стадії взаємодії катіонної бітумної емульсії з кислим мінеральним матеріалом в процесі формування ЛЕМС;
- виділити основні, обґрунтувати і запропонувати нові показники оцінювання швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС;
- визначити вплив технологічного походження бітумів, загальної поверхневої активності кам'яних матеріалів, типу суміші ЛЕМС, прискорювачів твердіння, а також вплив температурного режиму на швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС.

**Об'єкт дослідження** – лита холодна емульсійно-мінеральна суміш для тонкошарових покриттів автомобільних доріг.

**Предмет дослідження** – закономірності швидкості набору когезійної міцності литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей.

**Методи дослідження:** ЛЕМС та їхні складові випробовували згідно з сучасними вітчизняними (СОУ, ДСТУ, тощо), європейськими (EN) та міжнародними (норми ISSA) чинними нормативними документами. У роботі використовували рентгенофазовий аналіз кам'яних матеріалів та лазерну дифракцію кам'яних матеріалів та бітумної емульсії. Запропоновано нові методики для оцінювання швидкості набору когезійної міцності, які дали змогу оцінити ЛЕМС за показниками початку набору когезійної міцності (комкування) та експрес-показником формування суміші.

Експериментальні дані опрацьовували за допомогою комп'ютерної техніки та прикладних програм (Microsoft Excel, Adobe Photoshop CS5, AutoCAD).

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- вперше запропоновано ЛЕМС на основі окисленого бітуму, модифікованого вітчизняним модифікатором інден-кумароновою смолою (ІКС), що дало змогу прискорити швидкість набору когезійної міцності суміші до нормативних показників та покращити показники витрати маси за вологого зносу покриття;

- виявлена закономірність впливу технологічного походження, структурного типу і кислотного числа бітумів на ефективність їх застосування в ЛЕМС, яка полягає в тому, що дистиляційні бітуми 2-го структурного типу «золь» з кислотними числами 3,5 мг КОН/г є оптимальними за критерієм швидкості набору когезійної міцності для використання в ЛЕМС, на противагу окисленим бітумам 3-го структурного типу «золь-гель» з кислотними числами 0,5-0,6 мг КОН/г;
- дістали подальшого розвитку методики оцінювання швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС за допомогою двох нових показників: початок набору когезійної міцності (комкування) та експрес-показник формування суміші;
- виявлено прямо пропорційну залежність часу розпаду та часу початку набору когезійної міцності суміші від вмісту цементу, води, регулюючої добавки, бітумної емульсії.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у використанні отриманих даних експериментально-теоретичних досліджень під час проектування складів ЛЕМС.

**Особистий внесок здобувача** полягає в аналізі літературних джерел, загальній постановці проблеми, плануванні та особистому виконанні експериментальних досліджень, узагальненні їх результатів; визначенні й участі в обґрунтуванні напрямків практичної реалізації результатів досліджень; формулюванні основних висновків. Внесок автора у вирішення завдань, що виносяться на захист, є вирішальним.

Визначення мети, завдань та черговості проведення досліджень, планування етапів виконання роботи, обговорення отриманих результатів, написання статей і тез доповідей на конференціях здійснювалося разом з науковим керівником – д.т.н., проф. Солодким С.Й.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та опубліковані в матеріалах міжнародних і вітчизняних наукових та науково-практичних конференціях: 70-та студентська науково-технічна конференція. Національний університет «Львівська політехніка» (м. Львів, жовтень-листопад 2012 р.), XIV Міжнародна наукова конференція «Актуальні проблеми будівництва та інженерії доквілля Львів – Кошице – Жешув» (м. Львів, 03-05 вересня 2013 р.), Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг» (м. Харків, 2013 р.), VII Міжнародна конференція «Поступ у нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості» (м. Львів 19–24 травня 2014 р.), III міжнародна науково-технічна конференція "Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей" (29 травня – 1 червня 2014 р., Луцьк-Світязь), Міжнародна науково-практична конференція «Покращення конструктивних, технологічних та експлуатаційних показників автомобільних доріг і штучних споруд на них в дослідженнях студентів і молодих науковців» (м. Харків, 2014 р.), Всеукраїнська студентська наукова конференція "Наукова Україна" з міжнародною участю (м. Дніпро, 25 травня 2015 р.), Міжнародній конференції «Сучасні методи і технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг, споруд на них та управління проектами їх розвитку» (м. Київ, 22-24 листопада 2016 р.).

**Публікації.** Основний зміст роботи викладений у 9 наукових фахових виданнях України (з них: 1 стаття – у виданні, що включене до наукометричної бази Scopus, та 2 статті – у виданні, що входить до бібліографічної бази даних РІНЦ) та в 1 статті у науковому періодичному виданні іншої держави та в 7 тезах доповідей на наукових конференціях та матеріалах конференцій.

**Структура та обсяг дисертаційної роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та 6 додатків. Загальний обсяг дисертації – 172 сторінки (основна частина – 120 ст.). Дисертація містить 46 таблиць, 51 рисунок, 161 найменування використаної літератури. Дисертаційна робота за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам МОН України.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, визначено мету, завдання, об'єкт та предмет досліджень, охарактеризовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено дані щодо особистого внеску здобувача, публікацій та апробації роботи.

У першому розділі наведено критичний огляд літературних джерел з проблеми технології ЛЕМС, а саме проаналізовано розвиток будівництва та переваги ТП на основі ЛЕМС, закордонний та вітчизняний досвід удосконалення технології ЛЕМС, розглянуто шляхи підвищення швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС. Сформульовано наукову гіпотезу, мету та задачі дослідження.

У світовому просторі найавторитетнішою організацією, що займається проблематикою ЛЕМС є International Slurry Surfacing Association (ISSA) – Міжнародна асоціація будівельників шламових покриттів. Становлення технології ЛЕМС відбулось завдяки працям: С. R. Benedict, С.М. Swede, W.R. Ballou, S.L. Engber, Т.М. O'Connell, G.H. Reinke, W.J. Harper, R.A. Jimenez, В.М Gallaway, W.J. Kari, L.D. Coyne, P. E. Bolzan, W. R. Ballou, S. L. Engber, Т. М. O'Connell, G. H. Reinke, R. T. Young, S.S. Kim, A. James, M. Engman, D. Needham, T. Ng, G. Holleran.

Дослідженню проблеми тонкошарових покриттів з ЛЕМС та в'язучих матеріалів для них присвятили праці такі вітчизняні вчені: Вирожемський В.К., Гамеляк І.П., Гончаренко Ю.Ф., Гнатюк Е.М., Жданюк В.К., Золотарьов В.О., Кіщинський С.В., Каськів В.І., Кушнір О.В., Катуюкова В.М., Островерхий О.Г., Климчук С. М., Мозговий В.В., Міщенко М.Л., Солодкий С.Й., Савенко В.Я. та ін. Також проблематикою ЛЕМС займаються білоруські та російські вчені: Вавілов П.В., Кравченко С.Е., Крутько Н. П., Мотіна І., Мінін А. В., Опанасенко О. Н., Попова Г. В, Радьков Н.В. та ін.

Аналіз літературних джерел засвідчив, що технологія ЛЕМС має низку переваг, але питання підвищення швидкості набору когезійної міцності вирішують за допомогою дороговартісних і не завжди доступних матеріалів. Також залишається невирішеним питанням, як швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС залежить від гранулометричного складу суміші та загальної поверхневої активності кам'яного матеріалу, а також від зовнішніх чинників довкілля. Тому особливої актуальності набувають дослідження та аналіз впливу зовнішніх та внутрішніх чинників на ЛЕМС, що дасть змогу прогнозувати та регулювати швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС.

У другому розділі наведено інформацію про використані сировинні матеріали для ЛЕМС та методи досліджень для аналізу вихідних матеріалів та самих ЛЕМС.

За походженням та складом сировинної нафти та її технологією перероблення сьогодні найпоширенішими видами дорожніх бітумів є окислені та дистиляційні (залишкові). Відтак дослідження проводили на двох окислених бітумах: БНД 60/90 «Укртатнафта», БНД 60/90 «Мозирський НПЗ» і на двох дистиляційних бітумах: Nynas 100/150 та Nybit E85 компанії Nynas (Швеція), та на бітумі модифікованому інден-кумароновою смолою, який складався із бітуму марки БНД 60/90 «Укртатнафта» – 85 мас.%, ІКС – 7 мас. % та пластифікатора (гудрону) – 8 мас.%.

Для дослідження придатності кам'яних матеріалів для ЛЕМС використали гранітний щебінь фракцій 5-15 мм та щебеневи відсів фракції 0-5 мм дев'яти українських кар'єрів. Також охарактеризовано інші сировинні матеріали для ЛЕМС.

Приведено стандартні методи досліджень для ЛЕМС та її складників і запропоновано класифікувати дослідні зразки з ЛЕМС не лише за значенням крутного моменту, як в СОУ 45.2-00018112-069, а і за характером руйнування на типи за нормами ISSA: «N» – Normal (стандартне) – характеризується практично повним руйнуванням зразка з наявністю радіальних тріщин, рівнозначна величина крутного моменту – 12-13 кг·см. «NS» – Normal Spin (нормальне кручення) – характеризується наявністю лише однієї руйнуючої радіальної тріщини, рівнозначна величина крутного моменту – 20-21 кг·см. «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. «SS» – Solid Spin (тверде кручення) – характеризується відсутністю тріщин. Зразок зберігає цілісність, можливе зміщення або видалення частинок бітуму, рівнозначна величина крутного моменту – 26 кг·см.

Швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС встановлювали шляхом формування відповідних зразків та випробування їх через певні періоди часу за допомогою когезійного приладу (рис. 1). Також виділено сім основних стадій



взаємодії катіонної бітумної емульсії з кислим мінеральним матеріалом в процесі формування ТП і запропоновано нові методики і відповідні їм показники оцінювання швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС: початок набору когезійної міцності (ПКМ) та експрес-методика формування суміші (ФС). За допомогою ПКМ встановлюємо момент часу з якого починається розвиток процесів формування ТП із ЛЕМС. За ПКМ вважаємо інтервал часу від розпаду суміші до моменту її переходу в квазітвердий стан (ЛЕМС збивається у грудки, комки).

Рис. 1. Когезійний прилад та кільця-форми

Визначено, що ПКМ повинен настати не пізніше, ніж за 30 с після розпаду суміші. Експрес-методика формування суміші дає можливість швидко оцінити чи підібраний склад за критерієм розпаду буде оптимальним за критерієм швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС. Експрес-методика полягає у виготовленні кулі із ЛЕМС одразу після розпаду суміші. Кулю випробовують вільно кидаючи з висоти 1,5 метра три рази на підлогу вимощеною плиткою. Якщо після випробування куля зруйнувалась чи на кулі спостерігається більше ніж одна поверхнева тріщина, запроєктований склад ЛЕМС попередньо є непридатним за критерієм швидкості набору когезійної міцності та не досягне за стандартним методом випробуваннями потрібної границя міцності на зсув: 0,42 МПа через 1 год та 0,55 МПа через 4 год.

Послідовність проведення досліджень проілюстровано за допомогою блок-схеми (рис.2) відповідно до поставленої мети і завдань досліджень.

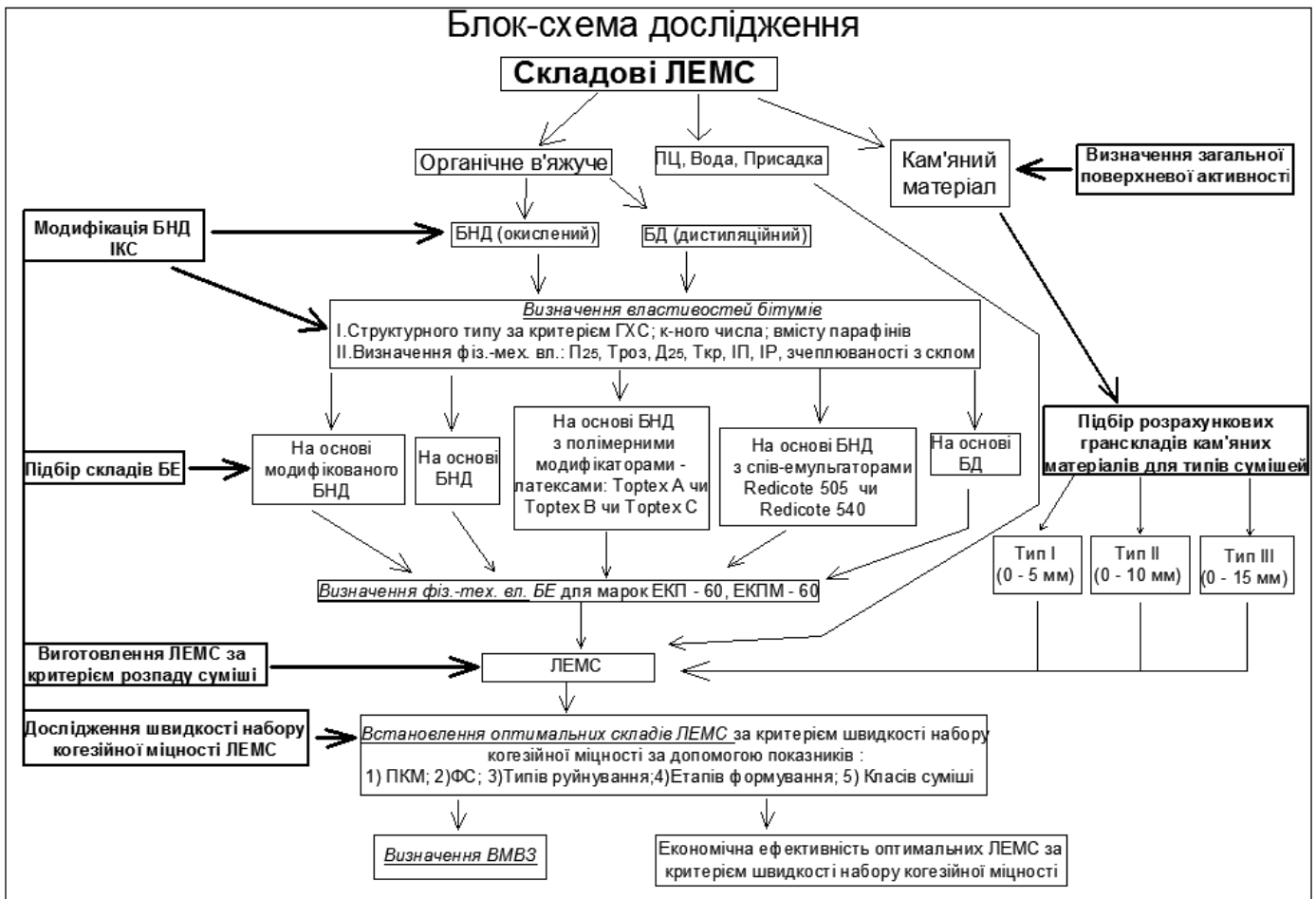


Рис. 2. Блок-схема дослідження

**Третій розділ** присвячений обґрунтуванню вибору, дослідженню та удосконаленню властивостей сировинних матеріалів для ЛЕМС.

Розподілення бітумів на структурні типи за критерієм ГХС виконували за даними Колбановської А.С. та Михайлова В.В. Аналіз бітумів Nynas 100/150 за вмістом асфальтенів та відношеннями А/А+С, А/С+М, та Nybit E85 за всіма показниками показав, що ці бітуми відносяться до 2-го структурного типу (золь), всі ж інші бітуми (№3-№5) за більшістю показників можна віднести до 3-го типу (золь-гель) (табл.1). Таке розподілення на структурні типи пояснюємо відмінностями використаної сировинної нафти та технологією одержання цих бітумів.



**Структурний тип бітумів за критерієм ГХС**

№ з/п	Марка бітуму	Груповий хімічний склад, мас. %					Відношення, *100%		Структурний тип за ГХС
		Виробник	Технологія одержання	Асфальтени (А)	Смоли (С)	Масла (оливи) (М)	А	А	
							А+С	С+М	
1	Nynas 100/150	Nynas	Дистиляція	12,1	29,5	58,4	29,1	13,8	2
2	Nybit E85	Nynas	Дистиляція	15,9	38,1	46,0	29,4	18,9	2
3	БНД 60/90	Мозирський НПЗ	Окислення	23	32,5	44,5	41,4	30	3
4	БНД 60/90	Укртатнафта	Окислення	25,3	24,7	50,0	50,6	33,9	3
5	БНД 60/90 з ІКС	Укртатнафта	Окислення	22,0	36,0	42,0	37,9	28,2	3

За модифікування БНД 60/90 «Укртатнафта» ІКС в ГХС відбуваються певні зміни, а саме: дещо зменшується кількість асфальтенів та масел, збільшується кількість смол. Загалом модифікований бітум стає більш відповідним до типу «золь» за вмістом смол та масел, але вміст асфальтенів свідчить, що цей бітум є типу «золь-гель».

Основною відмінністю між фізико-механічними показниками дистиляційних бітумів виготовлених із важкої нафти та окислених – з легкої є високі кислотні числа та малий вміст парафінів перших (табл.2). Модифікування БНД 60/90«Укртатнафта» та отримання БНД 60/90 з ІКС призвело до значного підвищення зчеплюваності бітуму із склом, зростання кислотного числа бітуму з 0,5 мг КОН/г до 2,5 мг КОН/г, зменшення вмісту парафінів, збільшення температури розм'якшеності бітуму за збереження пенетрації, що відповідає марці 60/90.

Таблиця 2

**Фізико-механічні показники бітумів**

№ з/п	Марка бітуму	Назва та значення показників								
		T <sub>роз</sub> , °С	P <sub>25</sub> , 0,1мм	D <sub>25</sub> , см	T <sub>кр</sub> , °С	П, °С	ІР	Вміст парафінів, мас.%	Кислотне число, мг КОН/г	Зчеплюваність із склом, %
1	Nynas 100/150	43	107	>100	-15	58	-1,25	0,5	3,5	20
2	Nybit E85	47	80	>100	-11	58	-0,8	0,5	3,5	24
3	БНД 60/90 «Мозирський НПЗ»	48	75	100	-21	69	-0,7	4,5	0,6	35
4	БНД 60/90 «Укртатнафта»	49	72	84	-18	67	-0,6	5,4	0,5	32
5	БНД 60/90 з ІКС	52	62	26	-16	68	-0,21	4,0	2,5	93

Досліджені дистиляційні бітуми №1 та №2, відповідають маркам БД 90/130 та БД 60/90 згідно з СОУ 45.2-00018112-069, окислені немодифіковані №3 та №4 – маркам БНД 60/90 згідно з ДСТУ 4044 та бітум №5, що був модифікований ІКС внаслідок відчутного збільшення показника зчеплення із склом можна віднести до марки БА 60/90 за ДСТУ Б В.2.7-135.



Рис. 3. Лабораторна бітумно-емульсійна установка SEP-0,3R

Розроблено рецепти та виготовлено бітумні емульсії на лабораторній бітумно-емульсійній установці SEP-0,3R Данської компанії «Денімотех» (рис. 3) для марки ЕКП-60 на основі бітумів №1-№4 (табл.3) та ЕКПМ-60 на основі бітуму №4 та №5 (табл.4). За фізико-технічними показниками всі виготовлені бітумні емульсії відповідають ДСТУ Б В.2.7-129.

Таблиця 3

### Рецепти не модифікованих бітумних емульсій

№ рецепту та вид бітуму	Компоненти емульсій, мас. %					
	Бітум	Емульгатор Redicote E-11	Спів-емульгатор Redicote 505	Спів-емульгатор Redicote 540	НСІ у водній фазі до рівня рН	Вода
1. Nynas 100/150	62,0	1,1	–	–	2,5	до 100
2. Nybit E85	62,0	1,1	–	–	2,5	до 100
3.1 БНД 60/90 «Мозирський НПЗ»	62,0	1,1	–	–	2,5	до 100
3.2 БНД 60/90 «Мозирський НПЗ»	62,0	1,1	0,25	–	2,5	до 100
4.1 БНД 60/90 «Укртатнафта»	62,0	1,1	–	–	2,5	до 100
4.2 БНД 60/90 «Укртатнафта»	62,0	1,1	0,25	–	2,5	до 100
4.3 БНД 60/90 «Укртатнафта»	62,0	1,1	–	0,25	2,5	до 100

Для визначення придатності кам'яних матеріалів за критерієм загальної поверхневої активності було встановлено показник метилену синього (МС) кам'яних матеріалів дев'яти кар'єрів України. Виявлено, що оптимальним відсівом за критерієм загальної поверхневої активності серед досліджених є Клесівський та Гайворонський з показниками метилену синього – 9 мл., а найбільш поверхнево-активним є Ушицький відсів з показником метилену синього – 20 мл за норми 5-10 мл.

## Рецепти модифікованих бітумних емульсій

№ рецепту та вид бітуму	Компоненти емульсій, мас.%						
	Бітум	Емульгатор Redicote E-11	НСІ водній фазі до рівня рН	Вода	Латекси		
					Toptex А	Toptex В	Algoltex С
4.4 БНД 60/90 «Укртатнафта»	62,0	1,1	2,5	до 100	3,0	–	–
4.5 БНД 60/90 «Укртатнафта»	62,0	1,1	2,5	до 100	–	3,0	–
4.6 БНД 60/90 «Укртатнафта»	62,0	1,1	2,5	до 100	–	–	3,0
5.БНД 60/90 з ІКС	62,0	1,1	2,5	до 100	–	–	–

Для встановлення причини різниці значень показників МС оптимального за цим критерієм Клесівського відсіву та поверхнево активного Ушицького відсіву провели рентгенофазовий аналіз. Аналіз дослідних зразків показав, що в складі заповнювачів (фр.< 0,071) присутні такі мінерали, як слюда, кварц, польовий шпат, хлорит. Також в Ушицькому заповнювачі присутній амфібол. Схожий мінералогічний склад відсівів спонукав для проведення лазерної дифракції цих заповнювачів для встановлення розміру частинок відсіву та їх розподілу (рис.4).

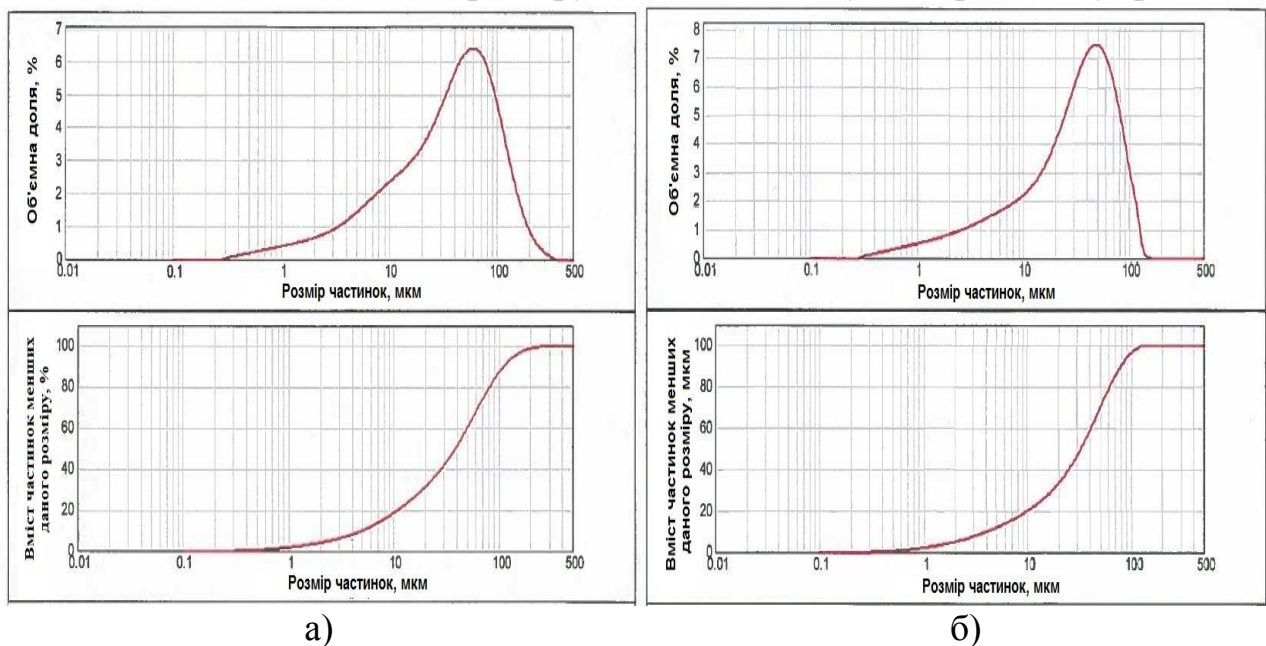


Рис. 4. Розмір частинок і аналіз їх розподілу Клесівського (а) та Ушицького відсівів (б)

Визначено, що відсоткове співвідношення частинок менше 3 мкм – 6,15% і частинок від 3 мкм до 90 мкм – 77,52% в Клесівському відсвіві менше порівняно з Ушицьким, відповідно 7,67% і 86,33%. А частинок більше 90 мкм навпаки більше (Клесівський – 16,33%, Ушицький – 5,99%). Питома поверхня Клесівського відсіву (1868 см<sup>2</sup>/г) також менша ніж Ушицького (2175 см<sup>2</sup>/г). Підсумовуємо, що показник МС Ушицького кам'яного матеріалу вищий ніж у Клесівського більш ніж в два рази,

через гранулометрію цього заповнювача. В Ушицькому відсіві присутня більша кількість пилюватих і глинистих частинок, які характеризуються вищою питомою поверхнею. Відповідно високий вміст таких часток в кам'яному матеріалі під час проектування складу ЛЕМС призведе до передчасного розпаду суміші. Тому для стабілізації суміші потрібно буде вводити значну кількість регулюючої добавки, що негативно позначиться на швидкості набору когезійної міцності литої суміші.

Проектування зернового складу суміші відбувалось на основі запропонованих гранулометричних складів для кожного типу ЛЕМС, з метою виключення впливу особливостей зернового складу кам'яних матеріалів з різних кар'єрів на показники швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС. Загалом в розділі підібрано та охарактеризовано сировинні матеріали для ЛЕМС та використані методи досліджень.

У четвертому розділі досліджено вплив компонентів ЛЕМС на розпад та початок набору когезійної міцності на основі дистиляційного та окисленого бітумів. Спостерігається прямо пропорційна залежність між вмістом регулюючої добавки (присадки) та розпадом і початком набору когезійної міцності ЛЕМС. На дистиляційних бітумах розпад суміші відбувається швидше, це вимагає включення у склад більшої кількості присадки, ніж на окислених для забезпечення нормативного значення розпаду суміші. Хоча вміст присадки на дистиляційному бітумі вищий, але час початку набору когезійної міцності є меншим. Встановлено, що додавання цементу в ЛЕМС до певного граничного значення сповільнює розпад суміші та початок набору когезійної міцності, але за перевищення даного значення цемент прискорює динаміку цих процесів. Визначено, що близьким до оптимального є вміст цементу в суміші на рівні 1 частина. В даній кількості цемент виконує функції мінерального наповнювача, покращує фракційний склад кам'яного матеріалу, регулює час розпаду і пластичність суміші. Вплив вмісту емульсії та води на досліджувані критерії є прямо пропорційним.

Для визначення впливу ступеня дисперсності бітумної емульсії на розпад суміші використано рецепт емульсії №4.3 БНД 60/90 «Укртатнафта» (табл. 3). Один зразок – БЕ 1Лаб був виготовлений на згадуваній лабораторній установці, інший – БЕ 2Пром на промисловій бітумно-емульсійній установці EmulTEK компанії Teknomak (Туреччина). Результати лазерної дифракції емульсій наведено на рис.5 та в табл. 5.

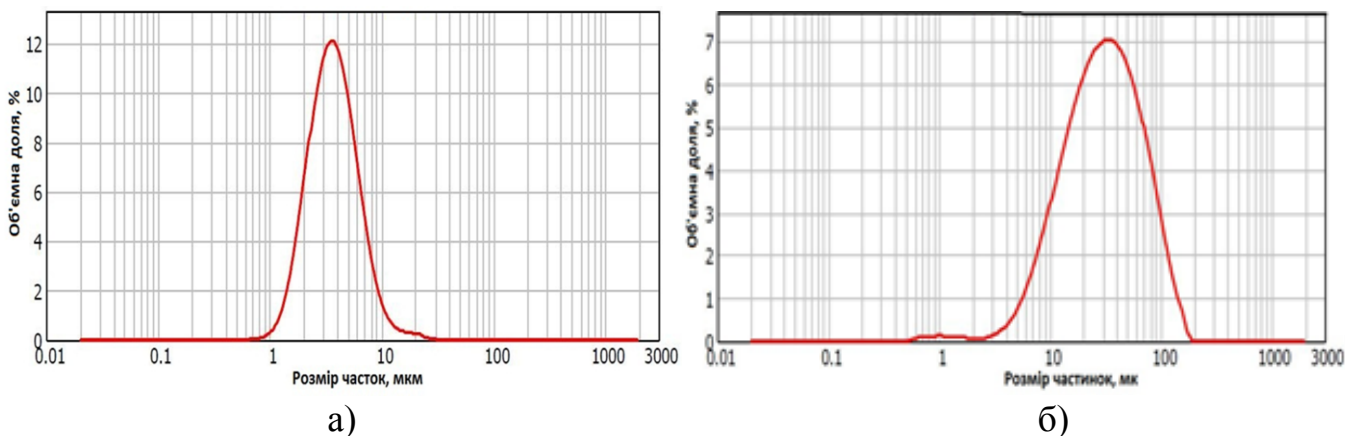


Рис. 5. Дисперсність БЕ 1Лаб (а) та БЕ 2Пром (б)

Аналізуючи дисперсність БЕ 1Лаб та БЕ 2Пром встановлюємо, що питома поверхня частинок бітуму в БЕ 1Лаб ( $1,85 \text{ м}^2/\text{г}$ ) є значно більшою ніж у БЕ 2Пром

(0,328 м<sup>2</sup>/г). Відповідно середньозважений на площу поверхні середній діаметр D[3,2] в БЕ 1Лаб (3,252 мкм) менший ніж в БЕ 2Пром (18,312 мкм). Показники D 10, D 50, D 90 БЕ 2Пром не відповідають рекомендаціям Akzo Nobel. Своєю чергою, середньозважений на об'єм діаметр D[4,3] дає змогу встановити, що середній розмір частинок в БЕ 2Пром є досить значний (38,943 мкм). Водночас середній розмір частинок БЕ 1Лаб складає 4,224 мкм, що є характерним для якісних емульсій. Таку відмінність показників пояснювали недосконалістю промислового емульсійного обладнання, зокрема колоїдного млина.

Таблиця 5

**Показники бітумних емульсій визначені за допомогою лазерної дифракції**

Показники, розмірність	Фактичні значення БЕ		Рекомендації Akzo Nobel, мкм
	БЕ 1Лаб	БЕ 2Пром	
D 10, мкм	1,95	9,821	1 - 2
D 50, мкм	3,624	30,140	3 - 8
D 90, мкм	6,994	81,247	10 -20
Питома поверхня, м <sup>2</sup> /г	1,85	0,328	-
D[3,2], мкм	3,252	18,312	-
D[4,3], мкм	4,224	38,943	-

Аналіз ЛЕМС на основі цих емульсій показав, що розпад БЕ 2Пром є нестабільним. Без присадки розпад суміші відбувається моментально, а з включенням її мінімальної кількості розпад суміші настає надзвичайно пізно (358 с), що призведе до пізнього твердіння покриття та низької швидкості набору когезійної міцності. Виготовлення ЛЕМС на БЕ 2Пром є неефективним саме через занадто великий розмір частинок бітуму в емульсії, що коливається від 1 до 100 мкм та відповідно незадовільні показники лазерної дифракції цієї емульсії.

Швидкість формування ЛЕМС було запропоновано ділити на певні етапи з відповідними характеристиками міцності та часовими рамками (табл. 6).

Таблиця 6

**Вимоги до швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС**

Час для досягнення потрібної когезійної міцності, год	Характеристики міцності			Етапи формування ЛЕМС
	Характер руйнування	Значення крутного моменту, кг·см,	Границя міцності на зсув, МПа, не менше	
Не більше 0,5	«N»– Normal	12-13	0,26	Схоплювання
Не більше 1	«NS»– Normal Spin	20-21	0,42	Самоуцільнення (відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год)
-	«S» – Spin	23	0,48	Уцільнення
Не більше 4	«SS» – Solid Spin	26	0,55	*Затвердіння (відкриття руху без обмежень швидкості)
*Після даного етапу протікає етап остаточного набору когезійної міцності (доуцільнення)				

Основними показниками швидкості набору когезійної міцності (рис. 6) запропоновано вважати: розпад суміші (Р), початок набору когезійної міцності (ПКМ), експрес-показник формування суміші (ФС), схоплювання (Сх), самоущільнення (відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год) (С), затвердіння (відкриття руху без обмежень швидкості) (З) та клас суміші (відповідно до запропонованих змін в класифікації СОУ 45.2-00018112-069).

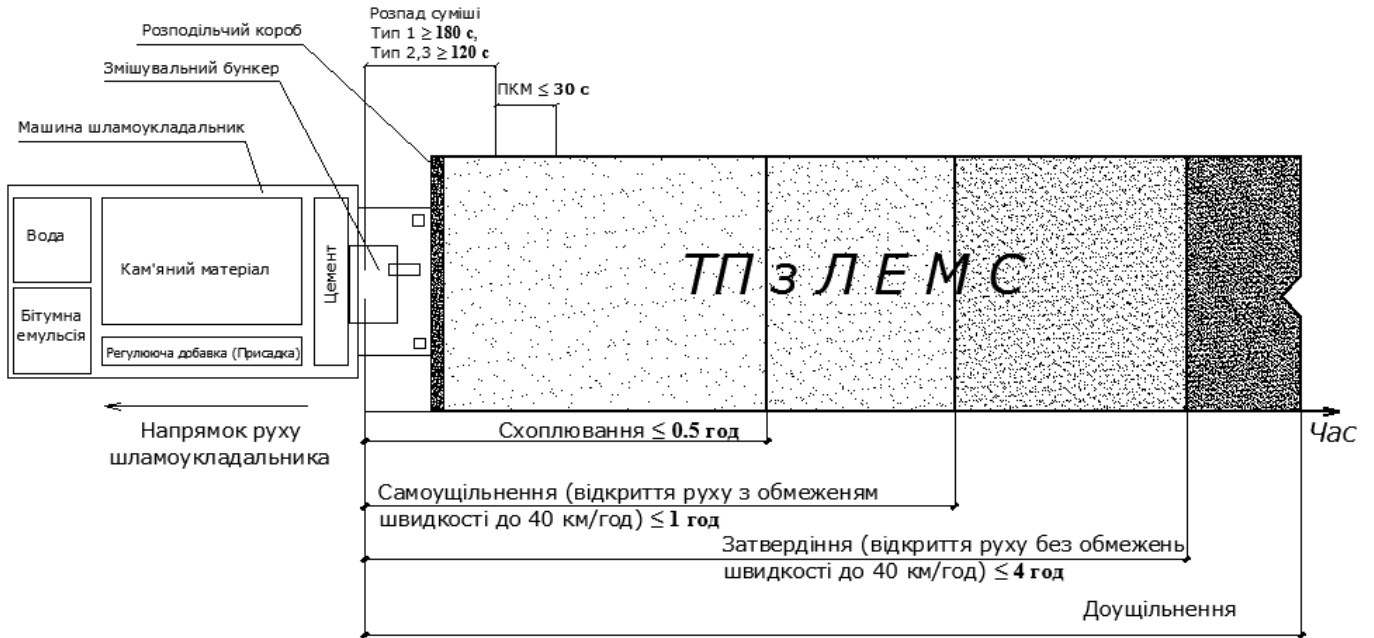


Рис. 6. Основні показники швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС

Для визначення впливу кожного з трьох типів сумішей та загальної поверхневої активності кам'яного матеріалу на показники когезійної міцності використали запропоновані гранулометричні склади 0-5, 0-10, 0-15 Клесівського та Ушицького щебеневого відсіву та щебеню. Як в'язучі були використані дистиляційний бітум Nybit E85 (БЕ №2, табл.3) та окислений БНД 60/90 «Укртатнафта» (БЕ №4.1, табл.3).

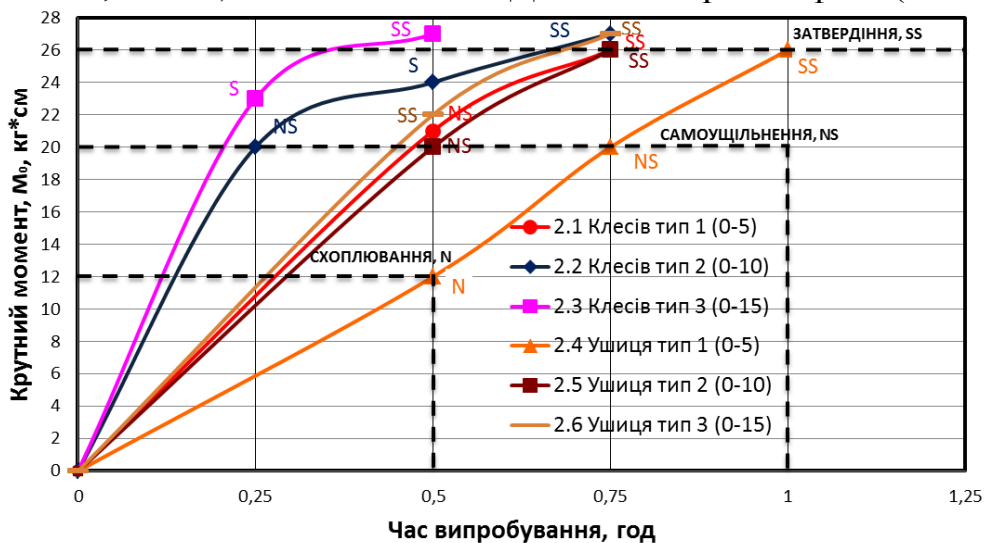


Рис. 7 Швидкість набору когезійної міцності оптимальних складів ЛЕМС за критерієм розпаду на основі БЕ №2

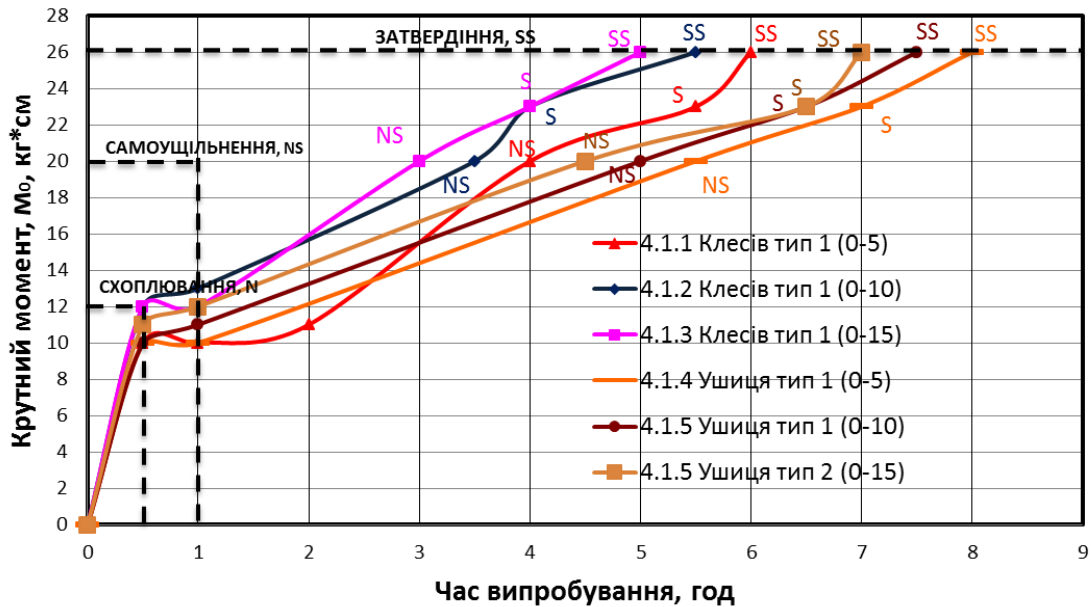


Рис. 8. Швидкість набору когезійної міцності оптимальних складів ЛЕМС за критерієм розпаду на основі БЕ №4.1

Встановлено закономірність (рис. 7 та 8), що незалежно від використаного бітуму (дистиляційний чи окислений), чим вище значення показника МС кам'яного матеріалу, тим швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС є нижчою. Гранулометричний склад кам'яного матеріалу, що відповідає типу суміші 3 (0-15) є найефективніший за критерієм швидкості набору когезійної міцності. Найповільніший ріст когезійної міцності спостерігаємо за використання гранскладу кам'яного матеріалу, що відповідає типу суміші 1 (0-5).

Досліджено вплив температурного режиму навколишнього середовища на показники швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС (табл. 7, рис. 9). Виділяли три критичних температурних режими: за температури  $+10^{\circ}\text{C}$  (висока вологість),  $+20^{\circ}\text{C}$  (нормальна вологість),  $+30^{\circ}\text{C}$  (висока вологість).

Таблиця 7

**Швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС на основі бітумних емульсій з використанням окислених та дистиляційних бітумів за різних температур**

Використаний бітум, температурний режим	Показники швидкості набору когезійної міцності						
	Р, с	ПКМ, с	ФС	Сх, год	С, год	З, год	Клас суміші
Nybit E85, $T=10^{\circ}\text{C}$	>120	<30	+	<0,75	0,75	1,0	5
Nybit E85, $T=20^{\circ}\text{C}$				<0,25	0,25	0,75	
Nybit E85, $T=30^{\circ}\text{C}$				<0,17	0,17	0,5	
БНД 60/90 «Укртатнафта», $T=10^{\circ}\text{C}$	>120	>30	-	0,5	5,0	7,0	2
БНД 60/90 «Укртатнафта», $T=20^{\circ}\text{C}$					4,0	6,0	
БНД 60/90 «Укртатнафта», $T=30^{\circ}\text{C}$					3,5	5,5	

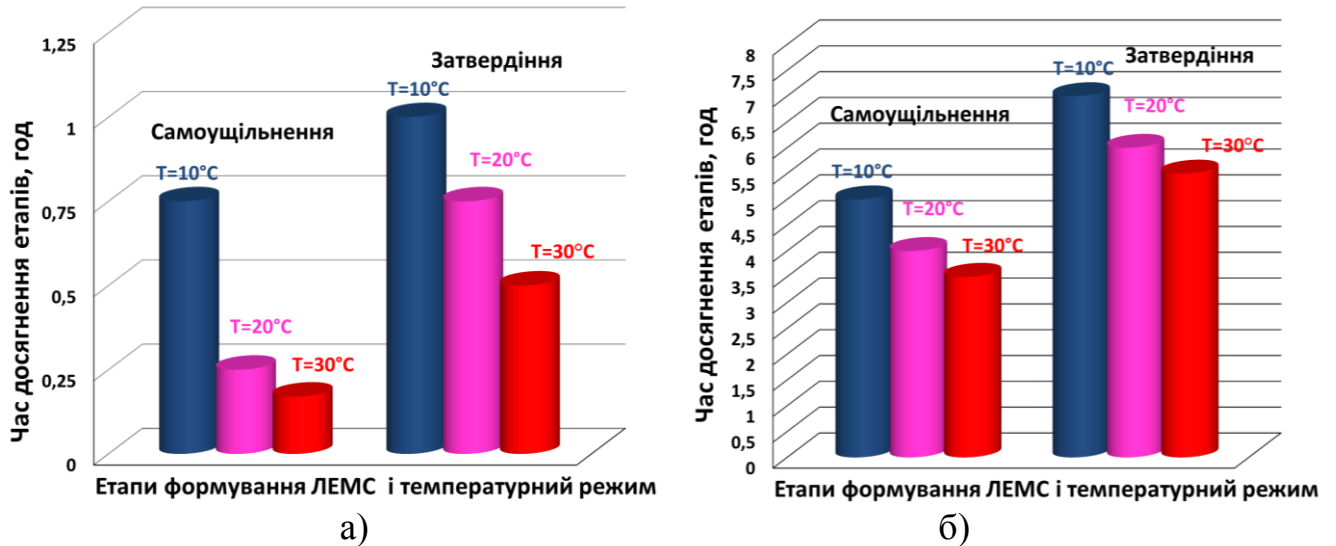


Рис. 9. Час досягнення етапу самоуцільнення та затвердіння на бітумі Nubit E85 та БНД 60/90 «Укртатнафта» за різних температурних режимів

Встановлено, що дистиляційні бітуми мають низку переваг порівняно з окисленими для використання в ЛЕМС. Суміш на дистиляційних бітумах за температури 20°C та нормальної відносної вологості повітря характеризується над швидким схоплюванням (<0,25 год), самоуцільненням (0,25 год) та затвердінням (0,75 год), а на окислених – швидким схоплюванням (0,5 год), повільним самоуцільненням (4,0 год) та затвердінням (6,0 год). Використання дистиляційного бітуму дає змогу виготовляти суміш навіть за температури 10°C та підвищеної відносної вологості повітря без значних витрат часу на її твердіння (самоуцільнення настає за 0,75 год, затвердіння за 1,0 год). Своєю чергою, ЛЕМС на основі окисленого бітуму навіть за високої температури (Т=30°C) не є ефективною за розвитком процесу формування ТП.

Підібрано оптимальні склади ЛЕМС за критерієм розпаду (табл.8) на основі Клесівського кам'яного матеріалу та базових бітумних емульсій (БЕ №3.1 та БЕ №4.1) і емульсій з прискорювачами твердіння (БЕ №3.2, БЕ № 4.2, БЕ № 4.3, БЕ № 4.4, БЕ № 4.5, БЕ № 4.6, БЕ №5).

Досліджена зміна швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС за використання спеціальних прискорювачів твердіння (табл.9). Метою включення прискорювачів швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС є зниження часу настання етапів самоуцільнення суміші ( $C \leq 1$  год) та затвердіння ( $3 \leq 4$  год).

Серед використаних прискорювачів швидкості когезійної міцності ЛЕМС ефективними є спів-емульгатори Redicote 505 та Redicote 540 та вітчизняний матеріал ІКС. ЛЕМС із цими прискорювачами та оптимальним кам'яним матеріалом за критерієм МС відноситься до класу суміші 4, що характеризується швидким схоплюванням суміші ( $\leq 0,5$  год) та швидким самоуцільненням ( $\leq 1,0$  год). Ці прискорювачі дають змогу скоротити час відкриття руху транспорту з обмеженням швидкості до 40 км/год до 1 години. Етап затвердіння і відповідно відкриття руху без обмежень швидкості відбувається за 2,5 – 3,0 год, що порівняно з ЛЕМС на окислених бітумах без прискорювачів (5,5– 6 год) є доволі ефективним.



**Оптимальні склади ЛЕМС за критерієм розпаду на основі Клесівського кам'яного матеріалу і базових бітумних емульсій та емульсій з прискорювачами твердіння**

№ складу	Вміст компонентів ЛЕМС, г, понад 100 г кам'яного матеріалу				P ≥ 120с
	Цемент	Вода	Присадка	Бітумна емульсія	
	БЕ №3.1 на БНД 60/90 «Мозирський НПЗ»				
3.1.1	1,25	10	1,0	14	124
	БЕ № 3.2 із Redicote 505 на БНД 60/90 «Мозирський НПЗ»				
3.2.1	1,0	10	1,0	14	123
	БЕ №4.1 на БНД 60/90 «Укртатнафта»				
4.1.2	1,25	10	1,0	14	122
	БЕ № 4.2 із Redicote 505 на БНД 60/90 «Укртатнафта»				
4.2.1	1,0	10	1,0	14	125
	БЕ № 4.3 із Redicote 540 на БНД 60/90 «Укртатнафта»				
4.3.1	1,0	10	1,0	14	122
	БЕ № 4.4 із Tортex А на БНД 60/90 «Укртатнафта»				
4.4.1	1,0	10	0,8	14	125
	БЕ № 4.5 із Tортex В на БНД 60/90 «Укртатнафта»				
4.5.1	1,25	10	0,8	14	126
	БЕ №4.6 Algoltex С на БНД 60/90 «Укртатнафта»				
4.6.1	1,25	10	0,8	14	125
	БЕ №5 на БНД 60/90 із ІКС				
5.1	1,25	10	1,25	14	124

Таблиця 9

**Швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС на основі Клесівського кам'яного матеріалу та бітумних емульсій з прискорювачами та за їх відсутності**

№ складу	Показники швидкості набору когезійної міцності						Клас суміші
	P, с	ПКМ, с	ФС	Сх, год	С, год	З, год	
3.1.1	>120	>30	-	0,5	3,5	5,5	2
4.1.2					4,0	6,0	
3.2.1	>120	<30	+	0,5	1,0	3,0	4
4.2.1						3,0	
4.3.1						2,5	
4.4.1							
4.5.1	>120	>30	-	0,5	3,0	5,0	2
4.6.1							
5.1						<30	

Для визначення втрати маси матеріалу за вологого зносу (ВМВЗ) ЛЕМС було взято ефективні склади ЛЕМС за критерієм швидкості набору когезійної міцності суміші. Найменші втрати маси матеріалу під час вологого зносу спостерігаємо у ЛЕМС на основі дистиляційних бітумів Nynas 100/150 (33 г/м<sup>2</sup>) та Nybit E85 (30 г/м<sup>2</sup>) та на окисленому бітуму БНД60/90 «Укртатнафта», що модифікований ІКС (59 г/м<sup>2</sup>) за норми не більше 530 г/м<sup>2</sup>.

У п'ятому розділі наведено дослідно-виробниче впровадження ЛЕМС на основі ЕКПМ-60 з ІКС в рамках якого було проведено ремонт асфальтобетонного покриття біля входу до Львівського центру Інституту космічних досліджень та впровадження в навчальний процес (розроблено дві методичні рекомендації). Також наведено відгук на проект другої редакції СОУ 42.1-37641918-XXX:201X «Суміші литі емульсійно-мінеральні. Технічні умови». Визначена економічна ефективність розроблених ЛЕМС. Вартість різних складів ЛЕМС переважно змінюється залежно від рецепту бітумної емульсії. Тому збільшення вартості розроблених рецептів бітумних емульсій порівнювали з базовим складом на окисленому бітумі – №4.1 БНД 60/90 «Укртатнафта». Встановлено, що найбільш економічним рецептом БЕ є №5 БНД 60/90 з ІКС. Модифікація бітуму ІКС призвела до збільшення вартості емульсії лише на 174 грн/т, на противагу емульсії на дистиляційних бітумах (3420 грн/т) та емульсії із спів-емульгаторами (515 грн/т).

### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання дисертаційної роботи вирішено наукове завдання із розроблення ЛЕМС для ТП з високою швидкістю набору когезійної міцності. Внаслідок проведених теоретичних та експериментальних досліджень сформульоване наступне:

1. На підставі аналізу структурних типів бітумів за критерієм групового хімічного складу встановлено, що дистиляційні бітуми виготовлені із важкої нафти тяжіють до 2 структурного типу «золь» та характеризуються кислотними числом 3,5 мг КОН/г, а окислені – до 3 структурного типу «золь-гель» та характеризуються кислотними числами 0,5-0,6 мг КОН/г.

Встановлено, що дистиляційні бітуми мають низку переваг порівняно з окисленими для використання в ЛЕМС. Суміш на дистиляційних бітумах за температури 25°C та нормальної відносної вологості повітря характеризується над швидким схоплюванням (<0,25 год), самоущільненням (0,25 год) та затвердінням (0,75 год), а на окислених швидким схоплюванням (<0,5год), повільним самоущільненням (4,0 год) та затвердінням (6,0 год). Використання дистиляційного бітуму дає змогу виготовляти ЛЕМС за різних температурних режимів без значних витрат часу на її твердіння на відміну від окислених бітумів.

2. Модифікація окислених бітумів інден-кумароновою смолою у кількості 7 мас.% та включення пластифікатора у кількості 8 мас. % дала змогу збільшити температуру розм'якшеності бітуму на 3 °С, зчеплюваність бітуму із поверхнею скла в 4 рази та зменшити вміст парафінів в 1,35 рази. Ключовим чинником впливу інден-кумаронової смоли на окислений бітум є підвищення його кислотного числа до значення 2,5 мг КОН/г, що робить його більш придатним для використання в ЛЕМС.

3. Розроблено склади бітумних емульсій для марок ЕКМ-60 та ЕКПМ-60 за ДСТУ Б В.2.7-129 на дистиляційних, окислених та модифікованих окислених бітумах. Для підвищення швидкості набору когезійної міцності в склади на окислених бітумах включали: спів-емульгатори Redicote 505, Redicote 540 в кількості 0,25 мас. % БЕ, синтетичні латекси Toptex А і Toptex В, натуральний латекс Algoltex С в кількості 3% понад масу БЕ.

Визначено вплив ступеня дисперсності бітумної емульсії, виготовленої на лабораторній та промисловій установках, на розпад суміші та встановлено, що розподіл краплин в бітумній емульсії повинен коливатись в інтервалі 0-10 мкм, за інтервалу 0-100 мкм виготовлення якісної ЛЕМС не можливо.

4. Порівняння рентгенофазового аналізу та лазерної дифракції оптимального кам'яного матеріалу за показником метилен синього із Клесівського кар'єру нерудних копалин «Технобуд» (МС=9 мл) та найбільш поверхнево-активного заповнювача серед досліджених із кар'єру ПАТ «Ушицького комбінату будівельних матеріалів» (МС=20 мл) дало змогу стверджувати, що за схожого мінералогічного складу, показник метилену синього буде вищим в тому матеріалі, в якому вміст пилуватих і глинистих частинок із високою питомою поверхнею є вищим.

Виявлено закономірність, що незалежно від природи бітуму (дистиляційний чи окислений) та типу суміші, чим вище значення показника МС кам'яного матеріалу, тим швидкість набору когезійної міцності ЛЕМС є нижчою. Гранулометричний склад кам'яного матеріалу, що відповідає типу суміші 3 (0-15) є найефективнішим за критерієм швидкості набору когезійної міцності. Найповільніший ріст когезійної міцності спостерігаємо за використання гранскладу кам'яного матеріалу, що відповідає типу суміші 1 (0-5).

5. Виділено сім основних стадій взаємодії катіонної бітумної емульсії з кислим мінеральним матеріалом в процесі формування тонкошарового покриття. Обґрунтовано та запропоновано нові методики оцінювання швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС: початок набору когезійної міцності та експрес-методика формування суміші. Запропоновано вважати основними показниками швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС: розпад суміші, початок набору когезійної міцності, експрес-показник формування суміші, схоплювання, самоущільнення (відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год), затвердіння (відкриття руху без обмежень швидкості) та клас суміші.

6. Виявлені закономірності впливу кожного з компонентів ЛЕМС на розпад суміші та початок набору когезійної міцності та встановлено прямо пропорційну залежність вмісту присадки, води, бітумної емульсії на ці показники. Вплив цементу також є прямо пропорційним, але тільки до певного граничного значення (приблизно 1 частини в суміші), після чого цемент за незначного підвищення вмісту особливо не впливає на ці показники, а за відчутного збільшення вмісту – зменшує їх. Встановлено, що серед досліджених прискорювачів оптимальними за критерієм швидкості когезійної міцності ЛЕМС є спів-емульгатори Redicote 505 і Redicote 540 та вітчизняний модифікатор бітуму інден-кумаронова смола. ЛЕМС із цими прискорювачами та оптимальним кам'яним матеріалом за критерієм метилен синій відноситься до класу суміші 4, що характеризується швидким схоплювання суміші ( $\leq 0,5$  год) та швидким самоущільненням ( $\leq 1,0$  год). Ці прискорювачі дають змогу скоротити час відкриття руху транспорту з обмеженням швидкості до 40 км/год до 1 години, а без обмежень до 2,5 – 3,0 годин. Водночас недоліком прискорювачів ЛЕМС є потреба у використанні лише оптимальних матеріалів за критерієм МС, на відміну від ЛЕМС на дистиляційних бітумах.

ЛЕМС на основі окисленого бітуму модифікованого інден–кумароною смолою властиві у 8,5 раз нижчі показники витрати маси за вологого зносу покриття ніж у ЛЕМС на основі окисленого бітуму із спів-емульгаторами для бітумної емульсії.

7. Досліджено, що за використання в ЛЕМС окисленого бітуму та оптимального кам'яного матеріалу за критерієм метилен синій для можливості відкриття руху транспортних засобів не пізніше ніж за 1 год. необхідно модифікувати вихідний бітум інден-кумароною смолою в кількості 3% понад масу бітуму або включати в склад бітумної емульсії спів-емульгатори Redicote 505, Redicote 540 в кількості 0,25 мас. % БЕ. За відсутності можливості використання оптимального кам'яного матеріалу за критерієм метилен синій в ЛЕМС необхідно використовувати дистиляційні бітуми отримані із важкої нафти з кислотними числами не менше 3,5 мг КОН/г.

8. ЛЕМС на основі ЕКПМ-60 з ІКС було використано для проведення ремонт асфальтобетонного покриття біля входу до Львівського центру Інституту космічних досліджень. Результати моніторингу відремонтованих ділянок у 2015-2017 роках відчутних пошкоджень не виявили.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Солодкий С.Й. Кінетика набору когезійної міцності холодних литих емульсійно-мінеральних сумішей на бітумах різного походження / С.Й. Солодкий, Ю.В. Сідун, О.Є. Волліс // Автошляховик України. - 2013. - № 3. - С. 36-40.

2. Солодкий С.Й. Підбір оптимального складу литої емульсійно-мінеральної суміші за критерієм її розпаду / С.Й. Солодкий, Ю.В. Сідун, О.Є. Волліс // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва.– 2013. - № 755. – С. 406-411.

3. Солодкий С.Й. Вплив складу холодної литої асфальтобетонної суміші на її розпад та початок набору когезійної міцності / С.Й. Солодкий, Ю.В. Сідун, О.Є. Волліс // Вісник ОДАБА. – Вип. №53. – Одеса: ОДАБА. – 2014.– С. 347-354.

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. збірник «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство». – 2014. - Вип. 45. – С.529-534.

5. Солодкий С.Й. Прискорювачі швидкості набору когезійної міцності для литих емульсійно-мінеральних сумішей / С.Й.Солодкий, Ю.В.Сідун, О.Є.Волліс // Наукові нотатки: Міжвуз. збірник «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство». – 2014. - Вип. 46. – С.516-521.

6. Пиш'єв С.В. Використання інден-кумаронової смоли для одержання модифікованих бітумів, емульсій та тонкошарових емульсійно-мінеральних дорожніх покриттів / С.В. Пиш'єв, Ю.Б. Гриценко, С.Й. Солодкий, Ю.В. Сідун// УглеХимический журнал. – 2015. – № 1-2. – С. 36-43.

7. Serhiy Pyshyev Using bitumen emulsions based on oxidated, distillation and modified oxidated bitumens for slurry seal production / Serhiy Pyshyev, Yuriy Grytsenko,

Serhiy Solodkyu, Iurii Sidun and Oleksiy Vollis // Chemistry & Chemical Technology. – 2015. - Vol 9, №3. – pp. 359-366.

8. Солодкий С.Й. Визначення швидкості набору когезійної міцності литої емульсійно-мінеральної суміші на ортофосфорній кислоті / С.Й. Солодкий, О.Є. Волліс, Ю.В. Сідун // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва.– 2016. - № 823. – С. 286-293.

9. Солодкий С. И. Пути повышения скорости набора когезионной прочности литыми эмульсионно-минеральными смесями. / С. И. Солодкий, Ю. В. Сидун, А. Е. Воллис // Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «Белдорнии». Научно-технический журнал Автомобильные дороги и мосты. – Минск, 2016 . – №1 (17).– С.55-61.

10. Солодкий С.Й. Вплив складових литої емульсійно-мінеральної суміші на кінетику її когезійної міцності / С.Й. Солодкий, Ю.В. Сідун, О.Є. Волліс // Автомоб. дороги і дор. буд-во.– 2016.- Вип. 98.- С. 256-264.

11. Сідун Ю. Технологічні чинники покращення властивостей литих емульсійно-мінеральних матеріалів (ЛЕМС) для захисних шарів дорожніх одягів / 70-та студентська науково-технічна конференція: Збірник тез доповідей. – Львів:Видавництво Львівської політехніки, 2012. – С.33-35.

12. Солодкий С.Й.Когезійна міцність литих емульсійно-мінеральних сумішей на окислених бітумах. / С.Й.Солодкий, Ю.В.Сідун, О.Є.Волліс // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг». –Харків: ХНАДУ, 2013.- С.282-286.

13. Сідун Ю. Бітумні емульсії для литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей/ Ю. Сідун, Ю. Гриценко. // Збірник тез доповідей VII Науково-технічної конференції „Поступ у нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості”.- Львів.– 2014. – С.111.

14. Сідун Ю.В. Вимоги до кам'яного матеріалу для литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей» / Ю.В. Сідун, О.Є. Волліс, А.В. Савицький // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Покращення конструктивних, технологічних та експлуатаційних показників автомобільних доріг і штучних споруд на них в дослідженнях студентів і молодих науковців» – Харків: ХНАДУ, 2014.– с.288-291.

15. Сідун Ю.В. Розпад та початок набору когезійної міцності литої емульсійно-мінеральної суміші. / Ю.В. Сідун, С.Й. Солодкий, Ю.Б. Гриценко., В.-В.В. Хоміц, Р.О. Бурбела // Наукова Україна. Збірник матеріалів Всеукраїнської студентської наукової конференції з міжнародною участю 25 травня 2015 р. – Дніпропетровськ: «SeKum Software», 2015. – С.394-395.

16. Пиш'єв С.В. Вплив інде-кумаронової смоли та Kraton D 1192 на властивості модифікованих ними бітумів / С.В. Пиш'єв., Ю.Б. Гриценко, Н.В. Данилів, Ю.В. Сідун // Наукова Україна. Збірник матеріалів Всеукраїнської студентської наукової конференції з міжнародною участю 25 травня 2015 р. – Дніпропетровськ: «SeKum Software», 2015. – С.289-291.

17. Сідун Ю.В. Модифікація катіонних бітумних емульсій латексами / Ю.В. Сідун, Д.А. Балабух, С.Й. Солодкий // Збірник матеріалів Всеукраїнської інтернет-

конференції молодих учених і студентів «Композиційні будівельні матеріали і виробы – шляхи підвищення надійності, довговічності, корозіє стійкості». Полтава: ПолтНТУ, 2015. – С.61-62.

### АНОТАЦІЯ

**Сідун Ю.В.** Підвищення швидкості набору когезійної міцності литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та виробы. – Національний університет "Львівська політехніка", Міністерство освіти і науки України, Львів, 2017.

Дисертація присвячена розробленню литих холодних емульсійно-мінеральних сумішей для тонкошарових покриттів автомобільних доріг з високою швидкістю набору когезійної міцності шляхом удосконалення властивостей сировинних матеріалів і цілеспрямованого добору складу суміші. Встановлено вплив технологічного походження бітумів, загальної поверхневої активності кам'яних матеріалів, типу суміші, прискорювачів твердіння, а також вплив температурного режиму на швидкість набору когезійної міцності литої холодної емульсійно-мінеральної суміші. Обґрунтовано та запропоновано нові методики оцінювання швидкості набору когезійної міцності ЛЕМС за допомогою двох нових показників: початок набору когезійної міцності (комкування) та експрес-показник формування суміші.

**Ключові слова:** лита холодна емульсійно-мінеральна суміш, когезійна міцність, бітум, бітумні емульсії, загальна поверхнева активність кам'яного матеріалу, спів-емульгатори, інден-кумаронова смола.

### ANNOTATION

**Sidun Yu. V.** Increasing the cohesive strength build-up rate for slurry surfacing mixes. - Qualifying scientific work on the manuscript rights.

Dissertation for Candidate of technical sciences degree (PhD) in speciality 05.23.05 "Building materials and products". - National University «Lviv Polytechnic» Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2017.

The dissertation is dedicated to development of slurry surfacing mixes for thin-layer road pavements with high cohesive strength build-up rate – by means of improving the raw materials' properties and targeted mix design. There was determined the influence of bitumens' technological origin, total surface activity of aggregates, type of mix, curing accelerators, as well as temperature mode – upon the cohesive strength build-up rate for slurry surfacing mix. There were substantiated and proposed the new methods for evaluation of the cohesive strength build-up rate for slurry surfacing mixes by means of the two new indicators: start of the cohesive strength build-up (lump formation) and express-indicator of mix formation

**Keywords:** slurry surfacing mix, cohesive strength, bitumen, bitumen emulsions, total surface activity of the aggregate, co-emulsifiers, indene-coumarone resin.

## АННОТАЦИЯ

**Сидун Ю.В.** Повышение скорости набора когезионной прочности литых холодных эмульсионно-минеральных смесей. - Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.23.05 - строительные материалы и изделия. - Национальный университет "Львівська політехніка", Министерство образования и науки Украины, Львов, 2017.

Диссертация посвящена разработке литых холодных эмульсионно-минеральных смесей для тонкослойных покрытий автомобильных дорог с высокой скоростью набора когезионной прочности путем усовершенствования свойств сырьевых материалов и целенаправленного отбора состава смеси. Установлено влияние технологического происхождения битумов, общей поверхностной активности каменных материалов, типа смеси, ускорителей твердения, а также влияние температурного режима на скорость набора когезионной прочности литой холодной эмульсионно-минеральной смеси.

Предложено семь основных стадий взаимодействия катионной битумной эмульсии с кислым минеральным материалом в процессе приготовления и твердения смеси, что позволяет регулировать процесс формирования тонкослойного покрытия.

Обосновано и предложено новые методики оценки скорости набора когезионной прочности смеси с помощью двух новых показателей: начало набора когезионной прочности (комкования) и экспресс-показатель формирования смеси. С помощью показателя начала набора когезионной прочности устанавливаем момент времени, с которого начинается развитие процессов формирования тонкослойного покрытия. В лабораторных условиях установлено, что начало набора когезионной прочности должен наступить не позднее, чем за 30 с после распада смеси. Экспресс-методика формирования смеси дает возможность быстро оценить будет или подобран состав по критерию распада оптимальным по критерию скорости набора когезионной прочности смеси.

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность получения литой холодной эмульсионно-минеральной смеси оптимальных составов по критерию скорости набора когезионной прочности на основе окисленных битумов путем подбора технологических факторов состава: оптимальных каменных материалов по критерию общей поверхностной активности, гранулометрического состава смеси, использование со-эмульгаторов Redicote 505 и Redicote 540 для битумных эмульсий, отечественного модификатора битума – инден-кумароновой смолы. Впервые изготовлено литую холодную эмульсионно-минеральную смесь на основе битума, модифицированного отечественным модификатором – инден-кумароновой смолой.

**Ключевые слова:** литая холодная эмульсионно-минеральная смесь, когезионная прочность, битум, битумные эмульсии, общая поверхностная активность каменного материала, со-эмульгаторы, инден-кумароновая смола.